



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación

Gestión del agua en época romana: Sistemas de abastecimiento, canalización y evacuación.

Alumno: Luis Ruiz Ulloa

Tutor: Prof. Dr. Luis María Gutiérrez Soler.

Dpto: Patrimonio Histórico.

Julio, 2015

ÍNDICE

	Página
Resumen.....	2
1. Metodología y Justificación.....	2
2. Introducción.....	4
3. El agua en la ciudad.....	7
3.1. Salubridad y captación de aguas	9
3.2. Ingenieros, topógrafos, instrumentos de medición y materiales de construcción.....	10
3.3. Instrumentos de medición.....	11
3.4. Materiales de construcción.....	12
3.5. Acueductos: canales de agua rodada.....	13
3.6. Desarenadores o piscinas limarias.....	16
3.7. El <i>castellum aquae</i> o repartidor.....	19
3.8. La distribución de agua (<i>erogatium aquarum</i>).....	23
3.9. Cálices, válvulas, tuberías, ventosas o aireadores y arquetas de distribución.....	23
3. 10. La red de saneamiento.....	29
4. El agua en la industria: La minería.....	31
5. Conclusiones.....	36
6. Bibliografía.....	37
7. Anexo.....	40

RESUMEN

El ciclo integral del agua comprende la captación, el transporte, el almacenamiento, la distribución y finalmente la evacuación. Estas mismas características se dan desde época imperial hasta nuestros días. Los elementos que conforman cada apartado del ciclo son una evolución de la ingeniería hidráulica romana. Los mismos elementos que se daban en la Roma del siglo I d.C. se dan en la Hispania romana, en general, y en la Bética, en particular. Las necesidades hídricas de las ciudades romanas del Alto Guadalquivir son consecuencia de unas normativas aplicadas desde Roma, donde las excavaciones arqueológicas han demostrado la presencia de estas infraestructuras hidráulicas. Los tratados de Vitruvio y Frontino nos proporcionan aspectos destacados de cómo deben construirse estas estructuras, así como recomendaciones de cómo se debe gestionar la captación, el transporte, el almacenamiento y la distribución en una ciudad, sin dejar atrás la red de cloacas. La ciudad ibero-romana de Cástulo nos proporciona un marco propicio para la investigación, dada su extensión, que nos puede aportar valiosa información acerca de la relación del agua respecto al urbanismo. Por otra parte y dentro del mismo territorio de Cástulo nos encontramos con las minas de Palazuelos, en el actual término municipal de Carboneros, donde según la tradición, se encuentra el mítico pozo de *Baebelo*. Los Palazuelos nos proporciona un marco idóneo para estudiar el ciclo del agua, pero esta vez vinculado a una actividad industrial como es la minería. Este ciclo comprende por una parte el drenaje de la mina, el lavado del mineral y el almacenamiento de agua en cisternas y por otra comprendería la extracción del mineral, la manipulación, la manufactura y el transporte.

Palabras clave: Gestión del agua, hidráulica, Alto Guadalquivir, etapa altoimperial romana, Cástulo, urbanismo, minería.

1. METODOLOGÍA Y JUSTIFICACIÓN.

“El agua es el principio de todo, es el elemento básico del Universo: el agua produce todas las cosas; las plantas y animales no son más que agua condensada bajo diversas formas y en agua se convierten una vez mueren”.

Tales de Mileto

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”.

Isaac Newton

La elección de este tema no es casual, deviene principalmente de mi profesión de fontanero. El trabajo como fontanero me propició una serie de experiencias técnicas que a lo largo de mi vida laboral se han transformado en una acumulación de conocimientos que llevados a la práctica conforman mi vida laboral y, por ende, profesional. Pero faltaba algo, faltaba aquellos aspectos históricos que los observamos en los restos arqueológicos y que con frecuencia son objeto de estudio, esto último lo he podido experimentar a lo largo de estos años con el Grado en Historia del Arte con mención en

arqueología. Y empecé a hacerme preguntas ¿qué sucedía en la Hispania romana con los recursos hidráulicos ante la nueva situación administrativa? Y, más en concreto, ¿qué pasaba en el Alto Guadalquivir? ¿Por qué se construían estas estructuras hidráulicas? ¿Cómo se gestionaban? Y, ¿Por qué se abandonan?

El ciclo integral del agua comprende en la actualidad la captación, la canalización, el almacenamiento, la distribución y finalmente la evacuación. Los elementos de captación los proporcionan los embalses o pantanos, los acuíferos y los ríos. Para el transporte se requiere de una serie de tuberías de material y diámetro variables, válvulas y otros dispositivos conformarán la red hidráulica y dependerá en función de la necesidad del sitio donde se destine el consumo, ya sea urbano, rústico o industrial. Al llegar al lugar se precisa de un sistema de almacenamiento en previsión de las necesidades a cubrir. El siguiente paso es proporcionar el líquido elemento a la población, este aspecto lo realizan una serie de sistema de canalizaciones y dispositivos que tendrán como finalidad el disfrute del agua en las viviendas, en los trabajos y en los lugares de ocio. Finalmente, el agua sobrante se depositará en una serie de canalizaciones destinadas a la evacuación tanto de aguas blancas (de lluvia o riego), como de aguas negras, las de desecho, es decir una red de saneamiento. Evidentemente, se precisa de un marco jurídico que ordene y regule todas las acciones que conforman el ciclo integral del agua y esto se traduce en leyes, decretos, ordenanzas municipales, etc. Llegado a este punto mi curiosidad fue más allá, o mejor dicho, necesitaba comprobar que todos los aspectos antes mencionados provenían de unas técnicas aplicadas en aquella época en la que Roma era la capital del mundo civilizado conocido de donde emanaban las ideas que confluían en todo el Imperio. Y así ha sido, el ciclo del agua en Roma comienza con la captación del agua (*caput aquae*), continua con el transporte canalizado (*aquaeductus*), llega a las piscinas limarias y, de ahí, a los *castella aquae*, donde se distribuye mediante unos sistema de tuberías que se insertan en la trama urbana y que se fabricaron en diferentes materiales, cuyo fin son termas, fuentes, *domus* y letrinas. Estas aguas de consumo, evidentemente tiene que ser evacuadas y ahí entra en función la última fase del ciclo, las cloacas (Anexo, fig. 1). En el mundo rural también se da este ciclo, evidentemente con variaciones, al igual que en la minería, el ciclo es el mismo pero la función es diferente.

El trabajo lo he realizado siguiendo una metodología similar a la de una asignatura de la carrera. Con una búsqueda y consulta de material tanto escrito como gráfico del cual he echado mano a aquellas fuentes primarias e indispensables como son el tratado de Vitrubio “Los diez libros de arquitectura” y el inventario que realiza Frontino sobre “Los acueductos de Roma” (Anexo, fig. 2), también de otra clase de escritos, tanto publicados como no publicados. El apartado de prácticas lo he centrado en la visita a aquellos lugares que menciono en el trabajo, es decir Giribaile, Cástulo, Baeza-Puente del Obispo y Los Palazuelos; otros lugares visitados han sido el Museo arqueológico de Cuenca, el Museo Arqueológico Nacional y el Museo de Galera, en estos sitios he podido recoger información gráfica sobre tuberías de plomo. Me pareció lógico y coherente acercarme a los lugares de referencia y comprobar de primera mano las

condiciones de una serie de acuíferos, en concreto dos de Giribaile, a los cuales tomamos medidas y referencias geográficas, así como los aspectos geológicos que conforman el farallón. La mayor parte del trabajo lo he centrado en la ciudad ibero-romana de Cástulo (Anexo, fig. 3), donde se pudieron comprobar los complejos hidráulicos que funcionaron en la ciudad desde el siglo I a.C. hasta el siglo V d. C., también se han visitado los posibles sitios donde, presuntamente, se captaba el agua que posteriormente se transportaría a la población: El Fontanar (Anexo, fig. 4). Palazuelos es el mejor ejemplo a estudiar, respecto a la gestión del agua en la minería, ya que confluyen varias tareas: la de drenaje y evacuación de agua; la de lavado de mineral y la de almacenamiento de agua (Anexo, fig. 5).

Dado que es un trabajo de fin de grado y, por ende, culmen de todo lo aprendido durante la carrera, he intentado introducir aquellos aspectos que durante este tiempo han conformado la materia dada en el plan de estudios. Por otra parte, si hablamos de lugares hay que hablar de geografía, si hablamos de grupos humanos hay que hablar de antropología, si hablamos de estructuras y de edificios hay que hablar de técnicas constructivas, evidentemente si hablamos de fuentes escritas tenemos que tener en cuenta las literarias e, incluso, hasta la música o ¿acaso el discurrir del agua no propicia una cierta musicalidad? y, por su puesto la arqueología, no en vano la carrera es el Grado en Historia del Arte con mención de arqueología. En definitiva, lo que intento con este trabajo es comprender el ciclo del agua en época altoimperial romana para compararlo con la época actual, seguro que, aparte de las cuestiones tecnológicas, encuentro más similitudes que diferencias.

El presente trabajo es, en líneas generales, un acercamiento al aprovechamiento y gestión del agua en la Hispania imperial romana, centrado en el Alto Guadalquivir. Echaremos mano tanto de fuentes literarias como de aspectos técnicos y constructivos, pues no en vano la arqueología como ciencia nos ayuda a explicar y a reconstruir la historia material del mundo romano y, por ende, a investigar su cultura y la ingeniería hidráulica nos proporciona cuestiones técnicas.

He pretendido darle un enfoque más cercano, centrándome, principalmente en dos ámbitos y dos espacios geográficos, todos ellos dentro de la provincia de Jaén. El ámbito urbano se focalizará en la ciudad ibero-romana de Cástulo (Linares) y sus sistemas de abastecimiento y distribución de agua, el ámbito industrial, en concreto la minería, en el sistema hidráulico que presenta Palazuelos (Carboneros). Para una mayor comprensión de los elementos que presento he tenido que echar mano de otros lugares de la provincia de Jaén, de Andalucía y del resto de España.

2. INTRODUCCIÓN.

El agua es un factor esencial para el desarrollo de las civilizaciones. Los hombres han necesitado del agua tanto para su indispensable ingestión e higiene como para la producción industrial, agrícola y ganadera, permitiendo así el desarrollo de las ciudades.

Las más notables civilizaciones nacieron a orillas de los grandes ríos y las civilizaciones y su progreso ha estado condicionado siempre por la obtención y el control del agua.

Son muchas las evidencias de la Antigüedad que han dejado constancia de los conocimientos y experiencias de las distintas civilizaciones sobre el agua. Así, como la preocupación del hombre por su control y por la resolución de desastres provocados por ella. Quedan testimonios egipcios, babilonios, hebreos, griegos, chinos y romanos. Precisamente Plinio el Viejo, el historiador romano del siglo I, hablaba así del agua en su Historia Natural, “*Este elemento manda sobre todos los demás, las aguas se tragan las tierras, ahogan las llamas, suben a las alturas y también reclaman para sí el cielo. Ellas mismas, al caer, se convierten en causa de cuanto nace en la tierra, circunstancia realmente maravillosa si se considera que para que broten los cereales y para que vivan los árboles y las plantas las aguas emigran al cielo y de ahí les traen, incluso a la hierbas, su aliento vital*” (Lib. XXXI. Cap. I).

Es bien sabido que el medio fluvial y el marino en la Antigüedad romana fue principalísima vía de comunicación. Este medio de comunicación era menos costoso, más seguro y más rápido que el terrestre. Este aspecto permitió cierto esplendor de las ciudades del interior a través de los siglos, el simple nacimiento de dichas ciudades encuentra gran parte de su explicación por hallarse situadas a orilla de los ríos. Así Zaragoza, Mérida, Sevilla no están ahí por casualidad. Mucho de su esplendor e importancia en el pasado se debe a su ubicación en puntos estratégicos de comunicación en los que el río jugó un papel preponderante: el *Hiberus* (Ebro) para *Caesaraugusta* (Zaragoza); el *Anas* (Guadiana) para *Emerita Augusta* (Mérida) y el *Baetis* (Guadalquivir) para *Hispalis* (Sevilla). En tiempos romanos los ríos jugaron un papel importantísimo en la estrategia conquistadora primero y colonial después. Recordemos que la conquista de la fértil Andalucía la inician los romanos en el alto valle del Guadalquivir y la culminan en su desembocadura, siendo los principales hitos la batalla de *Baecula* (Santo Tomé), la toma de Jaén (*Aurgi*), Carmona (*Carmo*) y Alcalá del Río (*Ilipa*), para finalizar con la anexión de Cádiz (*Gades*) al imperio romano. Todo ello en tan solo seis años, 212- 206 a.C.

El control del río Guadalquivir, desde su cabecera hasta su desembocadura, permitió a los romanos controlar y hacerse dueños de la economía de su cuenca fluvial. Las aguas del río y las de sus afluentes irrigaban los campos, produciendo excedentes para la exportación, mantenían la ganadería, permitían las labores mineras y eran imprescindibles en las industrias artesanales. Tan importante arteria fluvial resultó ser una importantísima vía de comunicación gracias a la cual se intensificaron las relaciones comerciales del mediodía peninsular con el Mediterráneo, principalmente, y por el Guadalquivir penetraron los valores culturales romanos como anteriormente lo hicieron los fenicios. Dominar el río era hacerse con las gentes y los esfuerzos económicos de la región, muy pronto convertida en provincia romana, pues el agua era poder.

Pero si importantes eran los ríos, para los romanos no era menos importante la calidad de las aguas que debían consumir en las ciudades. Ya Vitrubio decía al inicio del libro

VIII en su obra “Los diez libros de Arquitectura” que: *“El agua es imprescindible para la vida, para satisfacer necesidades placenteras y para el uso de cada día”*. El capítulo tres finaliza con estas palabras: *“De todas las sustancias naturales, ninguna cubre mayor número de necesidades que el agua; así, observando la naturaleza de todos los seres vivos, aunque carezcan de forraje pueden conservar su vida alimentándose con los frutos de los árboles, con carne, con pescado o cualquier otra comida; pero sin agua, ni los seres vivos, ni el poder nutritivo de la comida pueden darse, ni mantenerse, ni prepararse. Por todo esto, debe ponerse la máxima atención y habilidad en buscar y elegir bien los manantiales para proteger la salud de los humanos”* (Lib. VIII, Cap. III). Y continúa *“las aguas que discurren por terrenos llanos son salobres, gruesas, algo templadas y de mal sabor [...] excepto las que procedan de las mismas montañas que, siguiendo un curso subterráneo, broten en medio de la llanura; a la sombra de los árboles resultan tan agradables como las aguas de los manantiales de alta montaña. Si hay manantiales que hacen fluir el agua al descubierto, será sencillo disponer de ella; pero si no aflora al exterior, deben buscarse y deben captarse bajo tierra sus manantiales”* (Lib VIII, Cap III).

La traída y canalización del agua para la ciudad fue un fenómeno relativamente reciente en la historia de Roma. Frontino nos dice en una de sus obras “Los acueductos de Roma”, que las primeras conducciones de agua a la ciudad se dieron 441 años después de su fundación. Si la fecha tradicional para la fundación se cifra en el 754 a.C., nos da el año 313 a.C. como la fecha en la que se construyó el primer acueducto, el *aqua Appia* y el primero con arcos es el *aqua Marcia* 144 a.C. Hasta entonces Roma se abasteció de agua del río Tíber, que baña la ciudad, y de cisternas que recogían el agua de lluvia y del agua de los pozos. El panorama en la Hispania romana hubo de ser semejante, habida cuenta que en las ciudades protohistóricas ya disponían de balsas, depósitos, cisternas y otros métodos de recogida de agua. Así, en el palacio del príncipe de Puente Tablas (Jaén), en una estancia enlosada, cubierta, cerrada al oeste y abierta al patio, se pudo constatar la presencia de un pequeño depósito sin revestimiento a modo de base donde iría una bañera de madera (Ruiz y Molinos 2015: 111).

En un primer momento las ciudades de nueva construcción se abastecieron del agua de los ríos próximos a ellas, de la lluvia que recogían en depósitos y del agua de los pozos contruidos al efecto. En las casas particulares (*domus*) el agua de lluvia se recogía gracias a una fuente dispuesta en el atrio de la casa cuyo tejado, en *compluvium*, vertía el agua al cubeto de la fuente denominado *impluvium*, por debajo se disponía una cisterna o depósito subterráneo (Anexo, fig. 6). En un segundo momento, ya en época imperial, se produjo la canalización de las aguas desde medias o largas distancias y su traída hasta la ciudad. Fue éste un fenómeno relativamente tardío en las ciudades de la Bética romana, en realidad en las ciudades romanas de la cuenca del Mediterráneo y tiene mucho que ver con la mejora en su estatuto político, con unas finanzas adecuadas, propias o ajenas pero al servicio de la ciudad, y con un crecimiento demográfico y económico.

Cuando las ciudades contaron con recursos económicos suficientes abandonaron la recogida de agua de los ríos y emprendieron la canalización de aguas tomadas de manantiales y arroyos alejados de la ciudad, sin descuidar seguir tomando el agua de la lluvia y almacenándola en depósitos. A partir de ese momento se ejecutarán las obras de ingeniería hidráulica acordes con la orografía por donde habría de discurrir el agua canalizada. A tal efecto construyeron embalses; muros para sostener los canales; arquerías para elevarlos; sifones, para salvar también desniveles; túneles; puentes, para conducir el agua salvando los ríos; depósitos limarios y depósitos terminales. En definitiva, toda una labor de ingeniería hidráulica. Pero el agua sirve también para otros menesteres: para beber, para el uso doméstico o cotidiano y para nuestro deleite.

El agua la encontramos en las casas romanas, resultando necesaria para el aseo y la higiene diaria y personal. La encontramos en los ninfeos de los jardines de las casas particulares para recreo y refresco de sus ocupantes y huéspedes, hasta el punto de que el agua era una parte importante en el diseño de las mansiones, desde el agua de lluvia que se recogía en cisternas, hasta el agua que se canalizaba desde los depósitos urbanos.

Encontramos el agua en las fontanas de las ciudades, para consumo humano sobre todo; no olvidemos que los romanos desconocían el agua corriente en sus casas y que habían de ir a recogerla (para la elaboración de la comida sobre todo) a estas fuentes, y el agua sobrante (los grifos en las fuentes eran inexistentes) permitía limpiar las cloacas y regar y adecentar las calles. Las fuentes eran de dos tipos, a cielo abierto y cubiertas y, por lo general, estaban dedicadas a alguna divinidad. El agua permitía hacer más saludable la vida en las ciudades.

El agua resulta necesaria para la industria, sobre todo determinadas labores necesitaban de mucha agua; es el caso de las batanerías y tintorerías, de las industrias de elaboración de materias primas del mar y del ganado (salsas, salazones, curtidos). El campo no puede subsistir sin el agua, imprescindible para todo tipo de cultivos y más aún si hablamos y pensamos en una agricultura de regadío. El agua es necesaria, vital, para el desarrollo de la cabaña ganadera. Resulta necesaria para las labores mineras en los distintos procesos de extracción y, sobre todo, para el lavado y beneficiado del mineral. En definitiva el agua era fundamental para la vida de los romanos.

3. EL AGUA EN LA CIUDAD.

“Tot aquarum tam multis necessariis molibus pyramidas uidelicet otiosas compares aut cetera inertia sed fama celebrata opera Greacorum”

“Con moles tan numerosas y necesarias de tantos acueductos compara, si quieres, las superfluas pirámides o las construcciones de los griegos, inútiles aunque famosas”

De acueductu urbis Romae (I, XVI). Frontino.

El agua que cae sobre la tierra tiene diversos destinos, hay una parte que se evapora y vuelve a la atmósfera; otra parte corre por la superficie de la tierra, por zonas impermeables y una tercera parte que penetra en el interior del suelo por terrenos porosos o por rocas partidas que permiten al agua discurrir por canales naturales hasta alcanzar zonas impermeables y dando lugar a capas freáticas que empapan formaciones porosas como las arenas. Debido a que el agua no es siempre abundante el hombre ha tenido que idear diferentes sistemas para obtenerla, a veces como la excavación de pozos, tarea demasiado trabajosa que podía finalizar sin éxito y que requería de la profesionalidad de los zahoríes, personas que afirmaban tener capacidad para detectar la presencia del agua en el subsuelo mediante el uso de instrumentos sencillos como una varilla o un péndulo, que es el método más actual. Esta forma tradicional de buscar aguas se utiliza desde hace 4500 años aproximadamente.

En las aguas subterráneas cuando una capa permeable está situada entre dos capas impermeables forma lo que se denomina un acuífero cautivo o confinado y generalmente el agua que contiene está sujeta a una elevada presión. Si se abre una fisura en la capa impermeable el agua asciende hasta alcanzar el nivel freático.

Antes que los acueductos, que son una de las obras más clásicas de la ingeniería romana, los romanos excavaron pozos, un antiquísimo y sencillo mecanismo para el aprovechamiento del agua almacenada en las capas freáticas que ha pervivido en uso en muchos pueblos y aldeas hasta bien entrado el siglo XX. Los romanos los llamaban *putei*, y dependiendo de la técnica empleada para su construcción las secciones eran unas veces circulares y otras rectangulares. En su parte superior se disponía un brocal que servía a la vez de seguridad y de soporte físico a la polea simple (*orbiculus*) por la que se elevaba el agua (Anexo, fig. 7). La calidad de las aguas subterráneas dependía de la naturaleza del terreno y de la mayor o menor contaminación causada por los hombres; en el mundo romano no tuvieron mucha aceptación como modo de abastecimiento de agua potable a las grandes ciudades. Otro modo de asegurarse el abastecimiento del agua fue mediante la construcción de cisternas donde recogían y almacenaban el agua de lluvia y que posteriormente se distribuía a las casas y edificios públicos próximos. En ocasiones el agua de los ríos también servía para el abastecimiento y si era necesario se elevaba con ingeniosos mecanismos como la noria que era accionada mediante fuerza humana pisando en una serie de travesaños situados en su parte exterior o el tornillo de Arquímedes (la *cochlea* de Vitrubio), que era un artefacto inventado en el siglo III a.C. muy utilizado en agricultura para irrigación así como en la minería para el achique del agua de los pozos. Su accionamiento se hacía mediante fuerza humana aplicada en el extremo del cilindro interior con las manos o con los pies.

Tanto si se trataba de aguas subterráneas como de arroyos superficiales, era necesario asegurarse de que la calidad del agua (*bonitas*) era apta para el consumo humano, y de que el volumen (*conceptum, copia*) era suficiente para satisfacer el suministro incluso en época de estiaje. No obstante, el abastecimiento de agua a las ciudades es uno de los logros más completos de la ingeniería romana. En él están implicados tres sistemas hidráulicos sucesivos y conectados entre sí: captación de las aguas, conducción hasta la

ciudad y distribución dentro de ella a los distintos lugares de utilización y consumo. Conviene recordar, llegado este punto, que el término acueducto etimológicamente se refiere a la conducción de agua, designa por lo tanto todo el recorrido desde el punto de captación (*fons, lacus, origo, caput*), pasando por todos los desniveles o dificultades del terreno, hasta llegar al punto de distribución (*castellum aquae*) (Roda *et al.*, 2005: 20).

3.1. Salubridad y captación de aguas.

Independientemente del origen de la captación de aguas, era imprescindible asegurarse de su calidad y de su cantidad, de que eran unas aguas aptas para el consumo humano y de que el volumen que iban a obtener fuese el suficiente para asegurarse el abastecimiento en épocas de sequía.

Antes de comenzar con el periplo del agua es menester apuntar algunas recomendaciones respecto a la salubridad, calidad y cantidad que el agua destinada a la ciudad debía de tener, a este respecto Vitruvio nos proporciona una valiosa información: *“Deben realizarse las siguientes experiencias y pruebas para detectar la calidad del agua. Si se trata de aguas corrientes y al descubierto, antes de emprender su conducción, obsérvese y examínese atentamente la constitución de los miembros de las personas que viven en sus alrededores; si poseen cuerpos robustos, un color fresco de la piel, unas piernas sin defectos y ojos limpios, el agua será de inmejorable calidad. De igual modo, si el manantial de agua procede de pozos nuevos, su agua será excelente si no deja ninguna huella al echarla en un vaso corintio [vaso hecho con una aleación de oro, plata y cobre] o de bronce de buena calidad. Si hervimos el agua en un recipiente de bronce, la dejamos reposar y luego la derramamos fuera, será un agua de calidad contrastada si no deja arenilla ni barro en el fondo del recipiente. (...) Si el agua fluye limpia y transparente, si en los lugares por donde discurre o se derrama no crecen ni musgo ni juncos y si el lugar no ofrece ninguna suciedad sino que presenta un aspecto limpio, es una señal clarísima de que el agua es suave y perfectamente salubre”* (Lib VIII, Cap. IV).

Para abastecer de agua a una ciudad se requería en primer lugar realizar una adecuada captación (*caput aquae*), de nuevo recurrimos a Vitruvio: *“Los manantiales de agua deben buscarse principalmente en las montañas y en las regiones orientadas al norte, ya que las aguas captadas en estos lugares son más agradables, más salubres y más abundantes. (...) Son lugares donde abundan densos bosques de árboles y donde la sombra que proyectan los montes sirve de protección para que los rayos solares no incidan directamente sobre la tierra y, en consecuencia, no puedan evaporar su humedad. Los valles que se extienden entre montañas recogen gran cantidad de agua de las lluvias y, debido a los bosques tan densos que crecen en ellos, las nieves se mantienen durante mucho tiempo, gracias a las sombras de los árboles y de las montañas; cuando se funden las nieves, se filtran por los poros de la tierra y van a parar a las faldas de las montañas, donde emanan a través de los chorros de los manantiales”* (Lib. VIII, Cap. I), y si no afloraban debían de captarse bajo tierra. Vitruvio desaconsejaba para la captación de aguas los terrenos arcillosos, los de arenas

sueltas, la búsqueda del agua en terrenos llanos pues sus aguas unas eran cenagosas, otras gruesas, y todas de sabor desagradable.

Como hemos podido observar si las condiciones eran las adecuadas se podía recurrir al aprovechamiento directo de manantiales (*fontes*) que brotaban en la superficie, siempre que tuviesen un caudal constante, incluso en tiempos de carestía, para asegurar un abastecimiento seguro a la ciudad. Es posible que este fuese el sistema utilizado en la ciudad ibero-romana de Cástulo, ya que a unos 1612 metros hacia el norte se localiza el cortijo El Fontanar, topónimo bastante significativo, por cierto, posible punto de abastecimiento de agua. A este respecto hay que matizar que se trata sólo de una hipótesis, aunque el lugar presenta unas condiciones idóneas para creer que éste era el *caput aquae* debido a la presencia de abundante agua, utilizada hoy día para riego del olivar. Por la zona se aprecian otros cortijos con presencia de albercas y balsas, lo que denota una abundante presencia de agua. Sería mucho aventurar pero se podría decir que el agua provendría de estos lugares más cercanos a Cástulo y no de la ciudad de Linares, teniendo en cuenta que el coste en infraestructuras sería menor, al ser menor el trazado. Otro factor a tener en cuenta sería el control de los manantiales que estaría garantizado por el camino que va desde el Fontanar hasta Cástulo, vinculado al posible trazado del acueducto, donde aparece abundante material pétreo que es utilizado hoy día para retener la tierra que forma terraza en una de las laderas situadas en un nivel superior. Tanto el cortijo del Fontanar como los cortijos de los alrededores: el de Los Granados; Malas Patas; San Rafael y el Álamo, reúnen las condiciones idóneas para ser candidatos al abastecimiento de Cástulo. En la salida al campo realizada el 09 de julio de 2015 con Antonio Quiles como guía y María Alejo como técnico en el manejo del GPS, pudimos tomar los puntos de referencia para intentar vincular el lugar a Cástulo. Los puntos tomados posteriormente fueron procesados y pasados a un mapa con escala 1:10.000 (Anexo, fig. 8). El Fontanar permite un desnivel de cota desde el cortijo hasta la ciudad de unos 41 m (pendiente media 0,7%). Aclarar que los puntos para calcular la pendiente están realizados con el Google Earth y la aplicación trazado de perfil topográfico (Anexo, fig. 9).

3.2. Ingenieros, topógrafos, instrumentos de medición y materiales de construcción.

El trazado y la traída de aguas era una decisión importante, social, política y económica que requería del asesoramiento de técnicos especializados. En Roma la decisión final la tomaba el censor mientras que en las provincias la responsabilidad recaía en los duunviros. Una vez que el proyecto fuera aprobado se procedía a la *derectura*: el trazado del canal del acueducto por donde debían rodar las aguas hasta los depósitos, los *castella aquae*, que estaban en la ciudad.

Por lo general este trabajo era realizado por técnicos especialistas, sobre todo ingenieros y topógrafos militares, quienes realizaban las obras de ingeniería hidráulica. Tenían los conocimientos técnicos necesarios para emprender las obras y entendían y utilizaban los aparatos de medición necesarios para calcular desniveles y trazar

trayectos. Los *libratores* eran una especie de ingenieros que calculaban la pendiente de los terrenos, ayudados por instrumentos como la *groma*, el *chorobates*, la *libella* y la *dioptra*; el *agrimensor*, topógrafo experto en el arte de medir y nivelar las tierras; el *gromaticus*, experto en el manejo de la *groma* para mediciones en el campo y, por último, estaba el *redemptor*, especie de contratista de las obras que se atenían a los planos que les entregaban los ingenieros y topógrafos.

Contaban para la realización de la obra con mano de obra, por lo general, esclava para los cometidos más duros como la tunelación, trabajo en las canteras para la obtención de la piedra o la excavación de las galerías subterráneas, aunque no se descartaba la mano de obra de los hombres libres de las poblaciones o aldeas próximas al trazado del trayecto.

Con el fin de garantizar la llegada del agua al depósito o *castellum* tras un largo recorrido, era necesario tener la seguridad de que la pendiente del canal fuese suficiente para compensar las pérdidas por rozamiento en el camino, tratando además de que el trazado fuese relativamente uniforme. En general la pendiente de los canales en Hispania oscila entre una y tres milésimas (0,3 %), y sólo en ocasiones excepcionales se podían alcanzar las cinco milésimas (0,5 %) que recomienda Vitruvio. Evidentemente, el suelo sobre el que se asentaba no se adaptaba a esa pendiente, esto obligaba a llevar a cabo diversas obras de ingeniería, tanto más notable y complejas cuanto más abrupto y desigual era el terreno en que se apoyaba.

3.3. Instrumentos de medición.

La *libella* es el instrumento de nivelación más sencillo, consistía en tres piezas de madera, dos patas y un travesaño horizontal, en forma de “A”. Las dos patas tenían la misma longitud y el travesaño horizontal estaba graduado de manera que facilitaba, con ayuda de una plomada (*perpendicularum*), la lectura del desnivel cuando se apoyaba en el terreno. Este instrumento es poco preciso y tiene el inconveniente de que no permite realizar nivelaciones cuando hace viento, pues al oscilar la plomada no se puede hacer una lectura segura sobre el travesaño, que es el que permite el desnivel entre las dos patas de la *libella* (Anexo, fig. 10).

La *dioptra* (Anexo, fig. 11) es un instrumento inventado por los griegos, en torno al 300 a.C., que mediante la triangulación del terreno permitía determinar la dirección de vías, túneles y otras estructuras. Es similar al teodolito, de invención británica en el siglo XVI, y es más precisa que su antecesor, la *groma* (Anexo, fig. 12). Pero a diferencia del teodolito (y por eso éste es más avanzado técnicamente) carece de compás y de lentes. Se trataba de un instrumento suficientemente preciso para la construcción de túneles trabajando simultáneamente desde las dos bocas, y siempre se empleó para el trazado de los acueductos.

El *chorobates* es una regla con una longitud aproximada de 20 pies (cerca de 6 m). En sus extremos posee unos brazos transversales que se corresponden con exactitud, poseen la misma medida y están fijados en los extremos de la regla, formando un

ángulo recto; entre la regla y estos brazos van unos travesaños sujetos por medio de espigas, que tienen unas líneas trazadas en perpendicular, con toda exactitud; además, lleva unas plomadas suspendidas en cada uno de los extremos de la regla; cuando la regla está en su correcta posición, si las plomadas rozan de manera idéntica a las líneas trazadas, es señal de que el *chorobates* está perfectamente nivelado (Vitruvio, *Los diez libros de arquitectura* VIII 5) (Anexo, fig. 13).

Era un instrumento grande, incómodo para trasladar de un sitio a otro, pero sin embargo proporcionaba una información precisa sobre la declinación del terreno. El *librator* se situaba en uno de los extremos menores del *chorobates*, una vez instalado en el terreno. Se miraba por la mirilla y el canal central que tenía la regla y en un punto distante de él, en la trayectoria del acueducto, se situaba un hombre con un jalón que a sus indicaciones lo subía o bajaba, lo movía a la derecha o a la izquierda hasta quedar enrasado con el canal por donde miraba el *librator*. El desnivel era la lectura del jalón menos la altura del *chorobates*.

3.4. Materiales de construcción.

Opus caementicium.

Del latín *caementum* = mortero, argamasa. Se definía así al hormigón resultante de la mezcla de cal, que actuaba como aglomerante, al que se añadía arena y agua, con los áridos. El resultado era un mortero muy resistente, duradero y barato. Fue muy profusa su utilización. El modo de empleo era el siguiente: se realizaba un encofrado con tabloncillos, con sillería, con mampostería o con ladrillo. En el interior del encofrado se vertía una tongada de áridos, de no mucho espesor, y sobre ella el aglomerante (la mezcla de cal, arena y agua). Se dejaba que penetrara bien en los intersticios, para lo cual se valían los operarios de mazas o pisones (*fistulae*), y vuelta a realizar la misma operación con una nueva tongada de áridos y su correspondiente aglomerante, hasta alcanzar la altura deseada o el grosor que se necesitara. Cuando el hormigón había fraguado se retiraba el encofrado, si era de tabloncillos de madera.

Opus signinum.

Se llamaba *signinum* porque en origen se realizaba con ladrillo muy triturado procedente de la localidad italiana de Signia. Se trata de un hormigón impermeabilizante y, como tal, destinado a aquellas superficies por las que había de discurrir el agua o había de albergar agua, tales como el *specus*, los *castella aquae et divisorium*, las piscinas de decantación (*piscinae limariae*), suelos y paredes de las piscinas termales.

El hormigón estaba compuesto de cal, arena muy fina y ladrillo muy triturado; cuanto más triturado, más fina sería la argamasa resultante. La técnica empleada para la impermeabilización pasaba por aplicar, como norma, tres capas. La primera era basta, pues en la mezcla iban trozos de ladrillo escasamente triturados, la segunda capa era más cuidada, pues los trozos de ladrillo eran objeto de una mayor molturación, mientras

que la tercera capa, la superior, era fina, más fina cuanto mayor fuese el triturado de los trozos de ladrillo. El acabado podía ser impecable, si finalmente se pulimentaba o bruñía el hormigón. A veces se sustituía el polvo de ladrillo de la capa superior por polvo de mármol, con lo que daba al pavimento un lustre blanco, pero eran soluciones que se aplicaban en obras hidráulicas de los particulares, en termas, ninfeos, etc., aunque también como pavimentos de estancias nobles como los comedores (*triclinia*) y los salones de recepción.

Opus incertum.

Se trata de una obra de fábrica con paramento de piedras irregulares, de tamaños diferentes, sin que pueda apreciarse una línea de hiladas, tomadas con cal. Es una obra económica y rápida de construir, y fue de uso frecuente como encofrado de *opus caementicium*, encofrado duradero, en obras hidráulicas. Lo podemos apreciar en el acueducto de Sexi así como en gran parte del trazado de los acueductos de Córdoba, Itálica, Cádiz o Baelo Claudia.

Opus quadratum.

Es una obra de fábrica realizada con bloques de piedra perfectamente escuadrados, de forma paralelepípeda, formando hiladas, sin argamasa para unirlos, montados a hueso por lo general. En ocasiones solían revestir paramentos de *opus caementicium*. Su utilización más frecuente era en las pilastras y arcos de los puentes-arquerías de los acueductos. Sin duda era la obra de mayor calidad, con hiladas a soga (sillares vistos longitudinalmente) y tizón (sillares vistos en su cara menor).

3.5. Acueductos: canales de agua rodada.

Una vez localizado el sitio de abastecimiento el siguiente paso sería encauzar el agua, para esta cuestión los ingenieros romanos ideaban canales denominados *specus*, los cuales derivaban el agua desde la captación hacia los canales de agua rodada. En función del destino final del agua estos canales serían de dos tipos: el primero sería el *specus* (Anexo, fig. 14), para un canal de agua potable; en este caso iría cubierto y dispondría de una serie de elementos como losas de piedra o bóvedas de ladrillo, cantería u hormigón y el revestimiento estaría compuesto por el *opus signinum*, que se aplicaría en la solera y la caja del canal practicando una media caña y hasta una cierta altura. Estos elementos irían destinados a garantizar un agua potable, cuyo fin era el consumo humano; el segundo sería el *corrugas* (Anexo, fig. 15), destinado a un uso industrial (mover molinos harineros o provocar derrumbes en explotaciones mineras) y agrícola; se trataría de un canal abierto, sin cubierta y en algunas ocasiones simplemente excavado en la roca, sin revestimiento alguno en solera y cajeros.

Los canales cubiertos (*specus*) conducían el agua desde la captación de cabecera hasta los depósitos (*castella*) ubicados en los puntos elevados de las poblaciones, desde donde se llevaba a cabo el reparto a los diferentes destinos (fuentes, casas particulares, palacios, termas...)

La longitud de estos canales variaba en función de la distancia entre la población y el sitio donde se encontraba el agua; algunos tenían pocos kilómetros, podría ser el caso de Cástulo, otros, sin embargo, alcanzaban una gran longitud, superando el centenar de kilómetros. Entre los grandes acueductos cabe la posibilidad de que el de *Cartago* fuese el más largo, ya que tenía 132 km. En Hispania, el acueducto romano de mayor recorrido lo encontramos en la antigua ciudad de *Gades* (Cádiz), con una longitud de aproximadamente 75 km.

En el caso de Cástulo no podemos precisar la distancia, ya que desconocemos el sitio exacto del abastecimiento, pero si tenemos en cuenta lo expuesto anteriormente estaríamos rondando los 1.612 m. con la traída del agua desde el cortijo del Fontanar. Lo que sí se puede constatar es que la ciudad de Cástulo disponía de al menos un acueducto. En una reconstrucción de la ciudad realizada por Martínez de Mazas (Anexo, fig. 16) en el siglo XVIII todavía se puede apreciar el tramo de acueducto que entraba por la parte norte de la ciudad, y en las conversaciones mantenidas tanto con Marcelo Castro, director de las excavaciones de Cástulo, como con Antonio Quiles y Tomás Cerón, voluntarios, también afirman que hasta hace poco por las inmediaciones se podían ver restos de materiales que, de confirmarse, formarían parte de la estructura hidráulica.

La visita realizada el día 11 de junio del presente año me ha permitido ver *in situ* algunas estructuras y materiales que estarían asociados al acueducto. Se trata, posiblemente, de un tramo que formaría parte de una arcada perteneciente al acueducto; la pieza mide 1,20 m de longitud y 0,60 m de ancho (Anexo, fig. 17) y se localiza barranco abajo, en la zona de la Necrópolis de la Puerta Norte. En otro lugar se aprecia un espacio cuadrangular con unas medidas aproximadas de 2.90 por 2.60 m (Anexo I, fig. 18). Unos metros más arriba otro espacio cuadrangular, posiblemente la base de un pilar con unas medidas de 1,5 por 1,5 m (Anexo, fig. 19). Alrededor de estos restos se localizan hasta seis fragmento de grandes dimensiones, que pudiesen estar relacionados con un posible cambio de dirección del acueducto, es decir, llegado un punto el ingeniero que realiza el trazado se ve en la necesidad de ejecutar un cambio de dirección que enfile la conducción hasta la piscina limaria. Abundan los ladrillos, placas de piedra labrada cuadrangulares, sillares, sillarejos, fragmentos de mármol y fragmentos de cerámica asociados a las estructuras, además de evidencias de lo que parece ser una calzada. En cualquiera de los casos, a fecha de hoy no se ha realizado ninguna campaña de investigación que siga el trazado desde el cortijo del Fontanar hasta Cástulo y que, por tanto, de respuestas fehacientes de la presencia de esos materiales en ese lugar. Al igual que se hizo con el Fontanar en esta zona también se tomaron puntos GPS y se pasaron a mapa (Anexo, fig. 20). La idea de tomar estos puntos es la de intentar seguir el hipotético trazado del acueducto desde el Fontanar hasta las piscinas limarias (Anexo, fig. 21).

La presencia de estas instalaciones dentro de la provincia de Jaén se puede constatar también en otros lugares; es el caso del tramo que va desde Puente del Obispo hasta Baeza, o el de la propia capital de Jaén con el acueducto de los Cármenes, visible hasta

los años 70 del pasado siglo XX, cuya desaparición fue debida a la edificación y remodelación de lo que hoy es la Plaza de los Escuderos.

En el transcurso de las obras de la Autovía del Olivar salieron a la superficie una serie de construcciones hidráulicas pertenecientes a época romana imperial. Los trabajos de la excavación arqueológica realizados por el equipo dirigido por Rosa Fernández Casado, del Instituto Universitario de Investigación en Arqueología Ibérica de la Universidad de Jaén (Fernández *et al.*, 2011), llevados a cabo durante el año 2010, permitieron confirmar que los restos arqueológicos son construcciones hidráulicas relacionadas con una ciudad romana, de nombre desconocido, que se localiza en el cerro del Cortijo del Ahorcado. Se trata de tres acueductos consecutivos en el tiempo, destinados al abastecimiento de agua potable a esta ciudad y para el regadío de los campos del entorno. La superficie estudiada es de 40.000 m² en una zona localizada en el entorno del Cortijo de El Ahorcado, en el paraje conocido como Loma de la Carnicera. El conjunto de infraestructuras hidráulicas está vinculado a dicho asentamiento. La secuencia cronológica se sitúa en las primeras décadas del siglo I d.C., momento en el que se construiría un acueducto de trazado superficial que comienza a aflorar en superficie para desarrollar un tramo de obra elevada mediante pilares de aproximadamente 1,20 x 1,20 m (estas medidas se asemejan bastante a las de la figura 23) a intervalos regulares de 2,70 m que soportan las arcadas (*arquationes*) que sostenían la conducción de agua. El tramo aéreo del acueducto tendría más de 1 km de longitud, describiendo un amplio arco para recorrer el punto más elevado de la Loma de la Carnicera y el antiguo camino del Boticario. Este acueducto tendría un desnivel de unos 12 m desde el punto detectado más al norte hasta el punto de recepción de aguas en la ciudad (Anexo, fig. 22).

Las características del terreno provocarían el deterioro de este acueducto, que hacia el siglo III d.C. fue sustituido por un canal rodado subterráneo paralelo al anterior, cuya pendiente obliga a pensar en un punto de recepción de aguas situado en una cota más baja que el primero, o bien, en un sistema sifón para salvar el desnivel de la cañada que bordea el asentamiento de El Ahorcado por el norte. Otra de las causas de este deterioro pudiera estar relacionada con la falta de recursos económicos que se destinaban para la conservación y el mantenimiento de la infraestructura hidráulica por parte del *duumvir*.

Respecto a las captaciones de agua (*caput aquae*), las videncias materiales conservadas sugieren que estarían en un punto elevado indeterminado situado más al norte, por lo que todo indica que deberían localizarse en el entorno del cortijo de Perolitos, donde se observa un afloramiento rocoso del cual mana un manantial natural (*fontes*) y donde existen pozos explotados en la actualidad.

En Jaén (*Aurgi*) para abastecer la zona oriental y la zona sur se construyó el acueducto del Carmen, cuyos restos se pudieron apreciar hasta el año 1976 en el que desaparece por demolición como consecuencia de los nuevos planes urbanísticos acometidos en la ciudad. Su presencia se constató en la zona denominada Senda de los Huertos, en el

Barranco de los Escuderos, por lo que también se le conoce por estos nombres (Fornell, 2011: 316)

Las imágenes conservadas en archivos fotográficos permiten documentar la existencia de un tramo de muro continuo de mampostería, de unos 3 m de altura, sobre el que se articulaba una arcada de 2,5 m formada por 14 arcos de medio punto (Anexo, fig. 23). Tradicionalmente, se consideraba que el tramo visible del acueducto quedaba justificado por el desnivel que propicia el cruce del Barranco de los Escuderos. Sin embargo, nuevas aportaciones consideran que el acueducto va paralelo al barranco y que el tramo aéreo se acometió para salvar las escorrentías que descendían por las actuales calles Ruano, Los Almendros y Celadores, hasta desembocar en el propio Barranco de los Escuderos. Basándose en esta hipótesis, la estructura formaría parte de un trasvase hídrico que tendría su *caput aquae* en el manantial de Santa María y no en el Guadalbullón; a continuación su trazado discurriría al aire junto a la ladera norte del barranco, salvando algunos desniveles y girando gradualmente hacia el norte (Fornell, 2011: 316-317). Si esto es así habría que considerar la posibilidad de que esta conducción fuese de salida y no de entrada, es decir hay que barajar la posibilidad de que pudiese formar parte del aporte de agua para una *villae* o para los sistemas de riego de las centuriaciones que supuestamente estarían asociadas a la ciudad de *Aurgi*. Respecto a la construcción de esta infraestructura, hasta la fecha la arqueología no ha podido constatar dato alguno, pero es posible que se pueda dar una cronología relativa en torno al siglo I d.C., momento de auge urbanístico y, por tanto, proliferan infraestructuras y edificios.

3.6. Desarenadores o piscina limaria.

Una vez finalizado el trayecto y antes de penetrar en el *castellum aquae* (generalmente en el tramo final de la conducción, a veces también en puntos intermedios significativos, como en el tránsito del canal de agua rodada al sifón), el agua pasaba por las *piscinae limariae*, donde por sistema de decantación eran eliminadas las partículas en suspensión (*limus*), que el agua arrastraba a lo largo de todo el trayecto. Las *piscinae limariae* también recibían el nombre de depósitos de decantación o desarenadores. En ellos aumentaba considerablemente la sección hidráulica con el fin de disminuir la velocidad del agua; este modo de proceder permitía la sedimentación de arenilla y limos arrastrados por la corriente. Una pequeña trampilla en el fondo, a modo de buzón de registro, permitía eliminar los fangos que se iban acumulando en el fondo cada cierto tiempo. Frontino (XIX) en su libro señala que los acueductos “desembocan en desarenadores en donde, como si el recorrido de los canales tomase un respiro, depositan sus impurezas”.

En el estudio realizado siguiendo el trazado del *Aqua Virgo* de Roma, a partir del depósito de decantación se pueden apreciar estas indicaciones. Desde el acueducto el agua pasaba a un espacio superior, desde ahí caía a otro inferior, y de aquí a un espacio contiguo, desde el que ascendía a otro espacio superior para, de esa forma, proseguir su recorrido al *castellum divisorium*. La decantación se producía en las cámaras inferiores

a las que se podía acceder para su limpieza desde una abertura practicada y adjunta a la salida del *castellum*. Es decir, los niveles inferiores se utilizaban como espacios de decantación, con su correspondiente registro para su limpieza y los superiores se utilizaban para la llegada del agua y la salida al *castellum*, esta vez con el agua más apta para el consumo (Anexo, fig. 24).

En las ciudades de la Bética se localizan una serie de piscinas limarias que se asocian a las canalizaciones que traían el agua a la población. En el Paseo de Córdoba, al oeste de la intersección de la Avenida de América con la Avenida del Gran Capitán, al lado de la antigua Estación de Ferrocarril, se encuentra una *piscina limaria*. Se descubrió en el sitio arqueológico de Cercadilla durante el transcurso de las obras de construcción de la nueva Estación de Ferrocarril y fue trasladada hasta aquí para permitir su conservación. Formaba parte del circuito hidráulico que abastecía el Palacio de Cercadilla y hasta ella llegaba el agua para ser limpiada o filtrada de residuos sólidos antes de su posterior distribución. Se trata de un gran estanque de unos 33 m de largo por 3,6 m de ancho, fabricado en *opus caementicium* y revestido de *opus signinum*. Seguramente contó con una cubierta, quizás de madera, aspecto que se deduce de la observación del retranqueo en sus bordes (Anexo, fig. 25).

La ciudad romana situada en Sierra de Aznar (Arcos de la Frontera), de la que aún se desconoce su nombre latino, es un importante sitio arqueológico bien estudiado. El conjunto conforma un complicado sistema de ingeniería hidráulica, muy logrado, que no tiene parangón en Andalucía. En Sierra de Aznar se ha identificado un *castellum aquae*, que estaría integrado principalmente por una cisterna con una capacidad de almacenamiento de 2 millones de litros de agua (1.910 m³), unas piscinas limarias y una cisterna de distribución. Las grandes dimensiones de la cisterna de almacenamiento han permitido plantear distintas hipótesis: que esta provisión hídrica pudiera suministrar agua a otros lugares, hacia el exterior ya que como se ha podido observar superaba las necesidades de abastecimiento de una ciudad, que se abasteciera al acueducto de *Gades* o a las *villae* del entorno, para las explotaciones agrarias e, incluso, que el complejo pudiese estar vinculado con alguna actividad económica que requiriera un gran aporte de recurso hídrico, como pudiera ser la producción minera (Mata *et al.*, 2010: 261-262). En cualquiera de los casos, en este apartado nos interesa el estudio del conjunto que conforman las piscinas limarias.

Las *piscinae limariae* o Grupo Estructural C se localizan a media ladera del cerro y su función debió ser la de frenado, depuración y decantación del agua. En este caso se trataría de un conjunto conformado por una serie de diez depósitos de planta cuadrada (en torno a 2,5 x 2,5 m) y dos cisternas de planta rectangular, estas últimas situadas en el extremo meridional del sistema, cuya función sería la de almacenaje provisional del agua despresionizada y decantada. Hasta hace poco conservaban el arranque de las tuberías de plomo que se dirigían ladera abajo. Tanto los depósitos como las cisternas presentarían cubierta abovedada (que no se conserva) y estarían intercomunicadas entre sí, trasvasándose el agua de una a otra en la parte superior, por el sistema de rebose. Todos los depósitos cubren sus paredes interiores y suelo con *opus signinum*.

Posiblemente, esta red de cisternas dobles actuó como auténtico sistema de “ruptura de presión”. Si no existiera este sistema de frenado, la presión del agua, debido a la diferencia tan notable de altitud, hubiera terminado por reventar las cañerías. Asimismo, el sistema actuaría como un impresionante filtro de decantación y limpieza del agua (Guerrero 2000: 35) (Anexo, fig. 26).

En Cástulo se conserva un conjunto formado por un depósito de aproximadamente 5,2 x 5,8 m y dos cisternas de planta rectangular de 11,13 x 7,57 m la primera y 10,79 x 7,91 m la segunda (Anexo, fig. 27). Llegado este punto es menester realizar una apreciación, ya que en la cartela explicativa se relaciona este conjunto con el *castellum aquae*, aunque en mi opinión se acerca más al sistema de piscinas limarias. No sabemos si existen más estructuras adosadas de este tipo, pero lo que si parece evidente es que conforman un complejo que se asemeja en algunos aspectos al de Sierra Aznar; según mi hipótesis, la disposición de estas estructuras permitiría la entrada por el depósito o depósitos de menores dimensiones que sería el encargado de depurar y decantar el agua, posteriormente el agua se trasvasaría a la primera cisterna, mediante el sistema de rebose y así hasta la segunda o las que hubiese, esto permitiría disponer de una gran cantidad de agua, la última o las últimas dispondrían de una salida que llevaría el agua hasta los *castella*. Es posible que tuviesen algún sistema de registro para realizar las labores de limpieza, si esto es así se vincularía a un sistema de desagüe que iría a parar a la cloaca. Tampoco tengo constancia de que tuviesen algún tipo de cubierta, pero es posible que fuese abovedada, como suele ser habitual en esta clase de estructuras. Marcelo Castro nos comentó que posiblemente la cubierta fuese plana porque no se observa el arranque de la bóveda. Respecto a la cantidad de cisternas nos comentó que pudieron existir hasta seis y que el trasvase se realizaría por su parte inferior. Aunque técnicamente esto es posible, para realizar un trasvase por la parte inferior hay que tener en cuenta las deposiciones en la base, este hecho puede provocar la obturación de la entrada de agua y para que esto no ocurra se precisa colocar la tubería un nivel más alto que el suelo. Puede ser que lo que se documentó fuese la salida de agua de la cisterna hacia los *castella*; en cualquiera de los casos lo que sí es cierto que estamos ante un importante complejo hidráulico y que merece la pena ser estudiado. En cuanto a los materiales constructivos se puede apreciar la presencia de *opus caementicium* y la forma constructiva sería mediante encofrado de cañas y relleno de hormigón, por último se aplicaría un *opus signinum*, a modo de revestimiento. Este mismo sistema constructivo se aprecia en una cisterna de la ciudad romana de *Lucentum* (Tossal de Manises, Alicante) (González *et al.*, 2002). Unos metros más abajo y, posiblemente vinculado a las anteriores, aparece otra estructura sin excavar cuyo lateral presenta una forma similar a la de Sierra Aznar o al caso de *Emerita Augusta*, de modo que en la parte que forma la pared exterior aparece una pileta, que bien pudiese conformar una fuente de la cual, a media altura, saldría un caño, seguramente en bronce y representando algún animal o personaje mitológico. La pileta o pilón posiblemente tuviese la función de abrevadero para los animales, como viene siendo común en este tipo de fuentes.

3.7. El *castellum aquae* o repartidor.

Las aguas, libres de la mayor parte de los sedimentos que arrastraban, podían ya conducirse a los depósitos de la ciudad, los *castella aquae*, para su distribución por los edificios públicos y privados. Se situaban en puntos elevados para poder distribuir el agua por gravedad a toda la población. Estos depósitos terminales recibieron inicialmente el nombre de *dividiculum*; posteriormente, con el fin de evitar vertidos que contaminasen el agua y prevenir las tomas de agua ilegales, los depósitos se hicieron cada vez más robustos, poco a poco se van conformando como unas auténticas fortalezas, de ahí deriva, precisamente su nombre *castellum aquae* o *castellum divisorium*. Se construían generalmente en *opus caemecicium* (hormigón romano), utilizando como encofrado perdido un muro de *opus quadratum* (sillería de piedra) o de *opus testaceum* (aparejo de ladrillo). Todos los *castella* tienen una entrada de agua única, la que procede del canal o *specus* cubierto y múltiples orificios de salida en cada uno de las cuales iba empotrada una tubería de plomo que distribuía el agua a una zona de la ciudad. Los empleados que los custodiaban y los mantenían eran los *castellarii*, operarios que trabajaban por cuenta del servicio de aguas de la ciudad.

Las formas de los *castella* suelen ser diversas (Anexo, fig. 28), pero sin duda nos viene a la mente la imagen que presenta el acueducto de Nemausus (Nîmes) (Anexo, fig. 29) en la Galia. Se trata de un depósito de planta circular, de 5,5 m de diámetro interior y 1,40 m de profundidad. En él se vierten las aguas del *specus*, de sección rectangular de 1,18 m de ancho por 1,33 m de alto. Las aguas almacenadas en el *castellum* se reparten entre diez orificios circulares en las que se instalaron tuberías de plomo de 30 cm (300mm) de diámetro. Para evitar el rebosamiento se dispusieron en la solera tres desagües circulares de fondo. Otras veces estos depósitos tienen planta rectangular y, en ocasiones, presentan diversas plantas a modo de cisternas; este aspecto resulta ventajoso ya que se pueden vaciar y limpiar mientras se están utilizando los otros y de esta manera no se interrumpe el servicio. Evidentemente, la higiene era tenida en cuenta además de la impermeabilización, para ello los paramentos interiores en contacto con el agua se revestían con un enlucido de *opus signinum*. El de Pompeya (Anexo, fig. 30) es el mejor conservado ya que presenta 5 m de altura con planta trapezoidal, que encierra una planta circular con un diámetro de 5,70 m. El agua que allí llega atraviesa dos filtros sucesivos, cuya función era posibilitar el continuo reparto del agua que discurría en tres direcciones, mediante la inserción de tres tuberías de plomo de 25 cm (250 mm) de diámetro, cuyas aguas irían destinadas a las termas, las fuentes y edificios públicos.

En la zona del norte de la Península Ibérica encontrarnos la villa romana de Andelos (Mendigorría, Navarra). Las investigaciones en esta villa han propiciado un profundo estudio respecto al sistema hidráulico, ya que se encuentran todos los elementos necesarios para seguir el curso del agua desde el embalse hasta la población. En la campaña de 1987 apareció una estructura que se traduce como un *castellum aquae* (Anexo, fig. 31). Se hallaba cubierta por construcciones medievales en cuyos muros están reaprovechados numerosos sillares de este edificio. Los restos constatan que debió de poseer una cierta monumentalidad. Se conserva parte del podio compuesto por unos

grandes sillares de 1 x 0,60 m que forman su cimentación. Sobre ellos va una hilera de sillares cúbicos de 0,60 m de lado y sobre éstos otra hilera de sillares grandes moldurados. A esta altura, en el interior, aparece el suelo recubierto por argamasa, formada por las tres capas: la inferior de canto rodado (*statumen*), la segunda de arena y piedra pequeña (*rudus*) y una capa de cerámica machacada, cal y arena (*nucleus*), con revoque final alisando la superficie. La ejecución es idéntica a la de los pavimentos de *opus signinum*, y es común en los revestimientos hidrófugos de aljibes. En el paramento situado al este hay una serie de acanaladuras en los sillares que hacen suponer la existencia en esta parte de una gran fuente pública y, quizá, de un ninfeo. Junto al paramento sur se ha detectado la presencia de numerosos ladrillos redondos, de los utilizados en las *suspensurae* de las termas, por lo que como una hipótesis de trabajo cabe suponer la presencia de algún establecimiento termal en las inmediaciones (Mezquiriz, 1988: 303-305).

Junto al denominado arroyo A de la Zona Arqueológica de Marroquíes Bajos, en Jaén, se localizó un gran *specus* o canal cubierto que realiza un recorrido de aproximadamente 100 m. Discurre paralelo al arroyo, desde el cual, en un punto determinado capta el agua, probablemente por el sistema de azud “dique de pequeña altura (*saeptum*)”. Se trata de una construcción realizada en mampostería de 0,80 m de ancho y con un caudal aproximado de 0,25m³/seg. Se adapta al terreno natural conservando una pendiente descendente desde el arroyo hasta lo que se denominó *castellum aquae*. Este presenta una planta circular y está fabricado en *opus signinum* (Anexo, figura 32). Sólo se conserva su cimentación, la estancia circular, de 5 m de diámetro, con un suelo en *opus signinum*, un acceso en rampa empedrada de 2 m de ancho y un pequeño canal de 30 cm de anchura, cubierto con algunas *tegulae*. Allí se repartía el agua de forma controlada a través de conductos que estarían empotrados en el muro circular y de los que no ha quedado huella, ya que se encontrarían en un nivel más elevado en el muro, del que sólo se conserva unos 15 cm de alzado. El canal realizaría la función de desagüe, decantación de impurezas y de sistema para el mantenimiento, tal y como suele ser habitual en estos sistemas.

Para ejemplificar el funcionamiento de estas estructuras es menester ponerlas con relación a los *castella divisoria* (denominación que también se da a los *castella aquae*), que se encuentran mejor conservados y que guardan mucha similitud con el de Marroquíes Bajos. Los más conocidos son el de Pompeya y el de Nîmes, aunque Frontino afirma que en Roma había unos 247.

Dada la continua amortización del espacio del *castellum* de Marroquíes, se constata la falta de algunos elementos como serían las conducciones hacia las que la estructura repartiría el agua, en concreto al estaque que se encuentra a unos 15 m y que debe de ponerse en estrecha relación. Los diámetros de todas estas estructuras son muy similares, al igual que sus elementos estructurales, es decir, canal que desemboca en una estancia circular con el suelo y que suele estar horizontal para que reposen las impurezas a modo de arqueta sifónica decantadora. De esta forma queda garantizada la distribución de agua de una forma equitativa, del caudal, de la presión y de la pureza

(Barba, 2007: 52-53). Conviene tener en cuenta que este *castellum* es un buen ejemplo de cómo las estructuras que sirven a la ciudad se trasladan al ámbito rural.

En Cástulo, Bautista Ceprián del Castillo y Joaquín de la Torre Meduiña plantean la hipótesis de que en el Cortijo del Guarda estuviese el *castellum aquae* (Anexo I, figura 33), dada su topografía y su emplazamiento con respecto a la *piscina limaria* y al propio urbanismo de la ciudad (Ceprian, La Torre, 2010: 11-14). Las excavaciones realizadas en la zona en 2008 sacaron a la luz dos muros (sur y este) y una dependencia más pequeña asociada al muro este. Todo parece indicar que se asemeja, aunque vagamente, al *castellum* de Nîmes y, en menor medida, al de Pompeya. Ahora bien, aunque el de Nîmes parece más bien un *dividiculum* y nunca estuvo fortificado, el de Pompeya si presenta una estructura trapezoidal que envuelve otra circular, cuestión que aquí no se aprecia. Sea como fuere, lo cierto es que los denominados muro sur y este presentan aspecto robusto, de más de medio metro de grosor, compuesto por cantos rodados de río y material de acarreo de tamaño considerable (40 cm de diámetro), en una fábrica de *opus incertum* y unida por *opus caementicium*, este espacio conformaría un perímetro rectangular o cuadrangular. Como ya he comentado, adosada al muro este de la habitación se localizó una nueva dependencia rectangular de 1 m x 1,6 m, delimitada por muros menos gruesos y recubiertos al interior por una capa de estuco, interpretada como una dependencia anexa al edificio.

Para verificar la hipótesis del *castellum* sería necesario excavar todo el edificio, tanto en profundidad como en extensión, para de esta forma poder determinar su funcionalidad y su cronología exacta, cuestión que no se ha realizado a día de hoy. Según el registro arqueológico los arqueólogos plantearon dos posibles lecturas divergentes. La primera estaría relacionada con la capa de *opus caementicium* que cubre las cuatro paredes interiores que definen el pequeño cubículo rectangular antes mencionado y la posible repetición de cubículos similares a lo largo del muro este. La ausencia de *opus signinum* en las paredes de este habitáculo puede explicarse por no estar excavado, por una pérdida total, por desprendimiento o porque la impermeabilización se hizo a base de estuco y paramento hidrófugo con teselas, como las recogidas en la excavación; este último aspecto estaría más relacionado con la presencia de una fuente monumental. La segunda lectura se relaciona con el adosamiento de contrafuertes que contrarresten los empujes producidos por la presión del agua al exterior. La existencia de una unidad sedimentaria muy dura, con textura arcillosa, de color anaranjado y con nódulos de cal, y la presencia de la misma dispuesta inmediatamente al exterior del muro norte que limita con la dependencia cuadrangular pequeña, permitió concretar otra hipótesis, y es que el espacio mencionado cumpliría otra función no asociada al *castellum*, como espacio de almacenaje. De todas formas si tenemos en cuenta el interior de los de Nîmes o Pompeya nos percataremos que el agua sólo llega, en el caso de Pompeya a una altura de 1,36 m, y a 1,40 m en el de Nîmes; ese agua se distribuye a unos canales y, de ahí, es canalizada y transportada por la tubería que corresponda en función del destino. Esto nos permite concretar que el agua nunca está almacenada, sino que fluye constantemente.

Otra cuestión es la presencia de numerosas cisternas sobre el cerro; una de las mejores estudiada forma parte de un complejo sistema de acumulación y distribución de aguas desde esta zona al resto de la ciudad. Se trata de una construcción subterránea, excavada en la base geológica, con una cubierta realizada con sillares de piedra sustentados por los laterales de la construcción y por tres columnas en la zona central. Estas columnas están rematadas por zapatas y el acceso a la construcción se realiza a través de una abertura de forma circular horadada en uno de los sillares que forman la cubierta en el extremo norte del aljibe (Anexo, fig. 34). Las paredes y el fondo fueron recubiertos por mortero de cal y arena para asegurar la impermeabilidad, como ocurre con la mayor parte de las construcciones de tipo hidráulico, y la unión de los sillares, donde puede apreciarse por la ausencia del revoco, se amortigua con planchas de plomo. Finalmente, la base de esta construcción cuenta con juntas de estanqueidad rematadas con molduras. El aljibe ha sido construido con materiales procedentes de edificaciones abandonadas y derruidas, de forma que entre los elementos que podemos observar destacan varias cornisas, capiteles de factura muy sencilla y columnas, todas ellas realizadas en arenisca muy dura; junto a estos elementos se utilizan sillares ligeramente almohadillados. Este conjunto de materiales de construcción presenta características que lo diferencian de los que se asocian en Cástulo a construcciones del siglo I d.C. y, aunque por el momento no podemos definir con precisión su fecha de construcción, esas características nos llevan a suponer que los materiales proceden de edificios derruidos con antelación a la transformación urbana de la primera ciudad durante la segunda mitad del siglo I d.C., y debieron formar parte de edificaciones del siglo I a.C. Suponemos, por tanto, que debió construirse en un momento indefinido del siglo I d.C., para estar en pleno uso durante el siglo II d.C., durante un periodo muy breve, seguido de un rápido abandono (Choclan y Navarro, 2002).

Las edificaciones diseminadas por todo el cerro parecen indicar que en el bajo imperio en esta zona estaba ubicado un complejo edilicio público cuya función era el almacenaje y distribución del agua potable a la casi totalidad de la ciudad y demuestra que Cástulo es una ciudad de importancia y estratégica para el estado romano en el s. IV d.C., con un desarrollo económico importante, como demuestra la existencia del mantenimiento de un complejo sistema de abastecimiento de agua potable y la restauración de unas termas públicas como las del Complejo Arquitectónico de la Villa del Olivar (García y Blázquez 1999: 156).

Justo en la cara oeste de la meseta se documenta el brocal de un pozo (Anexo, fig. 35) y unos metros más abajo una cisterna, y en la misma línea del muro este se localiza otra pequeña cisterna, conformando un complejo hidráulico. Llegados a este punto es menester hacerse otra pregunta, ¿todo el conjunto funciona a la vez? O por lo contrario algunas de estas cisternas son de época posterior, cuando ya no funcionaba el sistema. Sea como fuere esta pregunta se queda sin respuesta por falta de información y de campañas de prospección y excavación. En mi opinión y como hemos podido observar en el depósito antes mencionado, creo que efectivamente algunos elementos funcionan a la vez, pero como apoyo, es decir, posiblemente durante la construcción del *castellum*

estén funcionando algunas cisternas o el propio depósito con el fin de no dejar sin servicio a la ciudad. Posteriormente, cuando entra en funcionamiento el *castellum* estas infraestructuras servirían de sistemas auxiliares cuando se requiriesen, por ejemplo durante la limpieza y el mantenimiento del *castellum* o prolongados periodos de sequía.

3.8. La distribución de agua (*erogatum aquarum*).

Cuando los romanos elegían el emplazamiento de una ciudad diseñaban la distribución de agua (*erogatum aquarum*) y se trazaba la red de tuberías que llevarían el agua a las fuentes públicas, a los palacios, a las casas privadas, a los baños públicos y a las industrias. Desde los grandes depósitos se llevaba el agua a otros más pequeños que actuaban como *castella divisoria* y desde los cuales se distribuían a las diferentes zonas de la población. Es en los sistemas de distribución donde se han producido más variaciones desde los romanos.

El volumen de agua disponible en los depósitos de la ciudad se administraba como un bien escaso, se marcaban tarifas al consumo para evitar su despilfarro y poder financiar con los ingresos las obras propias de conservación, reparación, administración y ampliación de la red. El cuidado y mantenimiento de las tuberías obligaba a abrir y cerrar zanjas en la ciudad con frecuencia, lo que provocaba la protesta de los sufridos ciudadanos, como suele suceder en la actualidad.

Este procedimiento era el normal en la distribución del agua en una ciudad sin grandes desniveles y con una prolongación de alturas horizontales. Las tuberías generales seguían el trazado urbano de arriba abajo de la ciudad. Por el contrario, en ciudades con grandes desniveles se procedía a colocar una columnaria cada cierto desnivel para perder presión, ya que esto provocaría una descompensación entre el usuario de la parte alta de la ciudad, que recibiría menos caudal y el usuario de la parte baja que recibiría más caudal, habiendo contratado los dos la misma cantidad, pongamos el caso de una quinaria.

3.9. Cálices, válvulas, tuberías, ventosas o aireadores y arquetas de distribución.

La distribución de agua implicaba una serie de elementos consistentes en cálices, válvulas de corte, ventosas y arquetas de distribución o de registro. A partir de las válvulas, el resto de los dispositivos iban canalizados mediante zanjas a una cierta profundidad (entre 60 y 90 cm) con el fin de evitar al máximo roturas o aplastamientos.

Los romanos no tenían contadores de agua, por consiguiente repartían el agua en función del diámetro de las tuberías. Había una red muy extensa de tuberías y el usuario contrataba el número de quinarias que necesitaba para sus necesidades (la quinaria es la unidad básica hidráulica). Frontino nos explica muy bien el fraude que se producía en el reparto del agua, al igual que hoy día. Este fraude consistía en sustituir la tubería de plomo que instalaba el especialista (*plumbarius*) por otra de mayor diámetro para pagar menos agua, es decir recibir más agua por la misma cantidad de dinero. Para evitarlo los romanos utilizaron un elemento denominado *calix* (Anexo, fig. 36). Los cálices eran

unas tuberías, generalmente de bronce, calibradas con ornamentaciones consistentes en dibujos, singulares y detallados, que los plumbarios instalaban en la toma general de la tubería para evitar los fraudes, de manera que cuando se producía una inspección, lo primero que se visitaba era el *calix*. En el caso de que se detectase un cambio en la instalación se castigaba al defraudador con una fuerte multa, como se puede observar la picaresca es patrimonio de todas las épocas (Frontino XXXVI, I).

Una vez el agua salía del *castellum*, y según cuenta Vitruvio (Libro VIII. Cap VI: 318), el agua se controlaba mediante un sistema de válvulas o llaves de paso (Anexo I, figura 37) (*epitonium* es el término latino para denominarlas) situadas en puntos estratégicos de la red de distribución del agua, a la salida, por ejemplo, de los *castella* o depósitos secundarios que se encontraban dispersos por la ciudad. En general, el *epitonium* servía para dejar pasar o cortar el agua en las tuberías según se girase; el giro era de un cuarto de vuelta. A ambos lados del *axis*, o llave de grifo, se ajustaban las tuberías, normalmente de plomo y con medidas estándares y controladas por las autoridades para garantizar el correcto uso del agua tanto en los servicios públicos (fuentes, termas, etc.) como, sobre todo, en el abastecimiento a particulares. Estas válvulas generalmente se fabricaban en bronce y plomo.

Las tuberías (*fistulae aquariae*) se hacían de plomo, porque eran fáciles de trabajar, son resistentes y al mismo tiempo el plomo era un subproducto de la plata, de manera que era un material bastante abundante, aunque hoy día no se encuentra mucho porque ha sido rapiñado y reutilizado en época medieval y en etapas posteriores.

El calibre básico para las tuberías de plomo era el *quinarius*, que correspondía a una tubería de un diámetro interior de 2,3 cm (23 mm), siendo la tubería de menor dimensión. La tubería normalizada de mayor tamaño que se fabricaba tenía algo menos de 23 cm (230 mm) de diámetro interior. La unión de tuberías, así como la reparación, se hacía mediante la soldadura de plomo y estaño (estañar). Cuando las tuberías quedaban listas para su utilización en sus lugares definitivos había que procurar que la parte de la soldadura quedase en la parte superior, para facilitar posibles reparaciones (Anexo I, fig. 38). Como norma, las fístulas llevaban impresa información diversa que indicaban el nombre de su dueño, como la encontrada en Astigi (Écija, Sevilla) que nos dice que pertenecía a la red de distribución de los colonos de *Augusta Firma*. Otros ejemplos serían las encontradas en Itálica, la R.E. 3363 (Anexo, fig. 39) presenta dos cartelas rectangulares, de 10,5 x 2,8 mm, en cuyo interior puede leerse: IMP·C·H·A·, *Imp(eratoris) C(aesaris) H(adriani) A(agusti)*, “Del emperador César Adriano Augusto”, y la R.E. 3862 (Anexo I, fig. 40) que presenta una pequeña cartela con un ligero relieve, de 11 x 3,5 cm. de lado, en la que se puede leer C·A·A·I·, *C (olonia) A(Elia) A(ugusta) I(tálica)*.

A lo largo de la carrera he tenido la oportunidad de visitar algunos sitios con motivo de las prácticas de varias asignaturas. Así, el día 25 de octubre de 2013 visitamos el Museo de Galera donde pude ver un tramo de estas tuberías de plomo, no pude constatar su longitud con exactitud pero el tramo bien pudiera medir unos 70 cm, con un diámetro de

aproximadamente 4 cm (40 mm) (Anexo, fig. 41). En la visita realizada al Museo Arqueológico de Cuenca, con fecha 10 de abril de 2015 y expuesta en una vitrina se encontraba un tramo de *fistulae* de aproximadamente 70 cm y 5 cm de diámetro (50 mm), su procedencia era de la ciudad romana de Segobriga (Anexo, fig. 42).

Hasta la fecha no he podido constatar la presencia de este elemento en la ciudad ibero-romana de Cástulo. No obstante, es seguro que la red hidráulica que abastecía a las distintas partes de la ciudad utilizaba el plomo como materia principal para la fabricación de tuberías, teniendo en cuenta que este material procede de la plata, cuestión que conviene ponerla con relación a las minas del entorno.

También se emplearon para la red de distribución urbana las tuberías de material cerámico (*tubuli fictiles*) (Anexo, fig. 43). Vitruvio ensalza sus ventajas: son baratas, dice, y el agua que transporta es más salubre que la transportada por cañerías de plomo (Lib. VIII, Cap VI.). Medio siglo largo más tarde, Plinio el Viejo aseverará que no hay nada mejor que las cañerías de barro. La materia prima era barata; mucho más barata que el plomo y, además, no requería mano de obra cualificada para su manipulación, como sí lo requerían los procesos para la obtención del plomo y manufactura de las tuberías. A pesar de ello, y de la poca confianza que merecía el plomo, los romanos prefirieron el empleo del plomo a la cerámica, quizá por su maleabilidad.

Cuando se emplean cañerías de cerámica, por regla general suelen ir protegidas y embutidas en una estructura de *opus caementicium*, para impedir su rotura dada la fragilidad de la materia prima. El acueducto de Sexi (Almuñécar, Granada) (Anexo, fig. 44) ha proporcionado pruebas del uso de dichas cañerías embutidas en *opus caementicium*. Solían ser piezas de medio metro o poco más de longitud que se ajustaban entre sí gracias al estrechamiento de uno de los extremos en los que para mayor refuerzo debían de tener unas lengüetas. Decía Vitruvio “que las juntas había que embadurnarlas con cal viva diluida en aceite” (Lib. VIII, Cap VI.).

Aunque poco frecuentes, también utilizaron los romanos tuberías de madera. Sobre todo se hallan en zonas en las que la madera abunda, zonas boscosas. Se aprovechan grandes troncos rectos que se horadaban con brocas apropiadas y cuyas juntas, una vez empalmadas, se sellaban las más de las veces con barro o con cubos de piedra perforados. En las excavaciones de *Vindolanda* (Northumberland, Inglaterra) se localizaron varias de estas tuberías, servían para el suministro de agua al fuerte romano que se hallaba en tierra fronteriza y la madera es de aliso (Anexo, fig. 45).

Otro elemento era el aireador, ventosa o purgador, ya que se le conoce con estos tres nombres. En el transcurso de las campañas de excavación de 2004 y 2006 se localizaron en la ciudad romana de *Iesso* (Guissona, provincia de Lleida) dos dispositivos plúmbeos, de características muy similares pero de dimensiones ligeramente divergentes; se encontraron conectados a la tubería de la última fase de distribución de agua a *Iesso*. El primer dispositivo estaba ubicado justo en el centro de la calzada del *Cardo 2* (Anexo, fig. 46), dentro de la zanja de introducción de la cañería y completamente cubierto por los estratos de relleno que protegían el tubo de plomo. Es

posible que existiese una caja de registro, seguramente en madera (motivo por el cual no haya quedado vestigio alguno), para proteger el dispositivo y asegurar su correcto funcionamiento. Hay que tener en cuenta que la válvula se encontraba en medio de una vía con presencia de tráfico rodado continuo por lo que se precisa algún sistema de protección. Este sistema permitiría el mantenimiento del dispositivo, así como su correcto funcionamiento. El hecho de que la zanja tenga un ancho ligeramente superior justo en el punto donde se ubica el dispositivo constituye un argumento más en este sentido. El objeto en cuestión mide 35 cm de alto, 16 cm de diámetro superior y 30 cm de diámetro inferior (Anexo, fig. 47). La segunda pieza, descubierta a 21,10 m más al oeste, tras cruzar varias estancias termales, se encuentra en el acceso del patio, alrededor de la *natatio* del complejo de baños (Anexo, fig. 48). Al contrario de lo que sucedía con el ejemplar anterior, el dispositivo troncocónico de las termas sobresalía entre 10 y 12 cm respecto al relleno de la zanja donde había sido insertado. Esta posición, que muy probablemente se debía a su ubicación en un sitio sin riesgo de daños, facilitaba un acceso rápido al dispositivo y un óptimo funcionamiento del mismo. Al igual que en la anterior pieza, se desconoce si existió una caja de registro que lo enmarcara, aunque es posible que no la necesitase por su ubicación. Este elemento presenta menor tamaño que el anterior, 30 cm de alto, 12,5 cm de diámetro superior y 24 cm de diámetro inferior (Anexo, fig. 49) (Romaní 2007: 530). Las dos piezas estaban insertadas en sus correspondientes tuberías, soldadas con las técnicas antes comentadas y dispuestas en sendas zanjas. Esto permite hacernos una idea de la intención que había de presentar un urbanismo con todos los servicios que se requería para un cierto bienestar en la ciudad. El proceso de fabricación para estas piezas se realizó mediante una plancha de plomo de entre 0,85 y 1 cm de grosor, de forma trapezoidal con los lados paralelos redondeados, enrollada y soldada por sus lados laterales con plomo fundido. Para resolver el cierre del fondo de la pieza, se utilizó un disco igualmente de plomo pero de mayor grosor, entre 2,5 y 2,7 cm, encajado al orificio inferior del cuerpo troncocónico mediante un ligero repicado y soldado, finalmente, con una colada de plomo.

El funcionamiento de estos sistemas se basa en un principio hidrostático por el cual el aire es expulsado al exterior mediante un dispositivo obturador accionado por un cierto volumen de agua; este cierre hermético tapa la abertura superior permitiendo el correcto fluir del agua por el interior de la tubería (Anexo, fig. 50). Aunque no se ha detectado ni la presencia de ningún tipo de cierre hermético de los dispositivos ni ninguna traza que indique su existencia original, no es posible que éstos funcionaran sin las razones técnicas antes mencionadas. La falta de presión hidrostática que provocaría su ausencia generaría una fuga en el sistema de transporte hídrico que impediría que el agua llegara a su destino final. Este motivo ha llevado a plantearse qué tipo de tapón u obturador pudo existir que, al desaparecer, no dejara rastro físico. La opción más lógica y coherente pudo ser que el obturador esférico, macizo, estuviese hecho en material perecedero, probablemente de madera. Introducido por la parte inferior antes de soldar la tapa de cierre del aireador, la presencia de una bola de madera impediría la salida del agua tras llenarse el sistema, por la misma presión hidrostática existente en el interior de la pieza y la flotabilidad de la materia prima. Asimismo, parece razonable la presencia

de un disco perforado, encajado justo por encima de las soldaduras de plomo de conexión del tronco de cono con la tubería, que sería introducido también por la parte inferior del objeto antes de la soldadura de la tapa. Esta pieza responde a una tipología similar a los filtros en metal de época romana, de los que se conocen numerosos ejemplares, sobre todo en plomo. Este disco se emplearía como elemento de sujeción de la boya en caso de corte o disminución del volumen del suministro hídrico, para evitar que al descender la esfera de madera obturara la entrada del agua por el caño de la tubería una vez recuperada la circulación (Anexo, fig. 51).

Estas ventosas, aireadores o purgadores de aire, servían esencialmente para la eliminación del aire que tiende a acumularse dentro las conducciones hídricas. La presencia y acumulación de aire es uno de los grandes problemas que sufren los sistemas de transporte hídrico en tuberías, especialmente los que funcionan por gravedad con trazado sinuoso y con tramos de conducción forzada. En estos casos se debe procurar la introducción de mecanismos para su eliminación, preocupación básica tanto en las redes de distribución antiguas, como demuestra el caso de Guissona, como en las actuales. Los gases que se depositan en el interior de las tuberías tienen distintas procedencias. Una de las acumulaciones mayores se da durante el llenado inicial de la conducción, cuando el aire que ocupa las tuberías es sustituido progresivamente por agua, desplazando el primero a lo largo del trazado hasta llegar al punto de consumo, donde éste es expulsado. Aun así, en las conducciones con perfil sinuoso, el aire no se elimina completamente y tiende a acumularse en ciertos puntos, especialmente los picos altos, hasta crear grandes bolsones estacionarios (Anexo, figura 52) (Corcos 2005: 7-8).

De igual manera, el agua misma lleva por lo general una cierta cantidad de aire disuelto, que se va desprendiendo a medida que ésta se mueve. Las pequeñas porciones de aire se acumulan paulatinamente en ciertos puntos de la tubería, generando, una vez más, los peligrosos bolsones. Existen, además, ciertos factores, como las altas temperaturas o una presión hidrostática elevada que favorecen la liberación de estos gases, agravando el problema (García 1999: 41). Estas válvulas ventosa tienen hoy día la misma función que en aquella época, evitar el exceso de aire en una canalización que puede perjudicar la libre circulación de agua; evidentemente el diseño y la tecnología no es la del presente, pero la función y la utilidad es la misma (Anexo, fig. 53). Y, ¿qué tipo de complicaciones genera la circulación de oxígeno por las conducciones? Una de las principales es, como ya se ha dicho en las líneas precedentes, su acumulación en ciertos puntos del recorrido en forma de bolsones que, según sus dimensiones, o bien reducen parcialmente la sección del tubo por donde puede circular el fluido y, como consecuencia, se ve mermado el caudal en el punto final de la línea de transporte, o bien impiden totalmente el paso, cortando completamente el flujo. Una de las consecuencias más graves que puede tener es la rotura de la conducción debido a los niveles sobreelevados de presión que genera su presencia, especialmente cuando las grandes masas de aire acumulado se encuentran en movimiento (Mendiluce 1984: 178-179). La ausencia absoluta de aire en la cañería, los fenómenos de vacío, generan igualmente situaciones de riesgo para la integridad del sistema, pudiendo provocar el aplastamiento

y la fractura de las conducciones, teniendo en cuenta que la tubería de plomo es propensa al aplastamiento.

En Hispania se han documentado varias de estas válvulas ventosas en plomo de época romana, todas ellas procedentes de la Bética. La única descubierta en un contexto arqueológico es un ejemplar de Itálica localizado durante las excavaciones de finales de los años 1970 debajo de la pavimentación de una de las aceras de una calle situada al sur de la zona conocida como Cañada Honda y que, actualmente, está expuesta en el Museo Arqueológico de Sevilla. Otro de los ejemplares pertenece a la colección Ròmul Gavarró, expuesta en el Museu de l'Aigua-Molí de Rigat, a Vilanova del Camí (Barcelona). En Córdoba se encontró un tercer ejemplar en el transcurso de una campaña de excavación en 1993 de la Calle Imágenes. Un último ejemplar, procedente de las excavaciones de la ciudad romana de *Baelo Claudia* (Bolonia, Cádiz), se expone en el centro de interpretación que recientemente ha estrenado el yacimiento (Anexo, fig. 54).

Al igual que con las tuberías de plomo, en Cástulo no se ha documentado, de momento, ninguna de estas piezas. Pero es posible que existiesen dado el desnivel que se aprecia en la topografía propensa al fenómeno antes citado del aire dentro de las tuberías. Tampoco tengo constancia de que en otros lugares de la provincia de Jaén hayan aparecido estas válvulas ventosas. La más cercana procede, como he comentado antes, de Córdoba. Como hemos podido comprobar, y a pesar del poco conocimiento de este tipo de mecanismos en los sistemas de distribución hídrica romanos, existe un cierto número de ejemplares de ventosas/purgadores. Este desconocimiento puede estar relacionado con una recuperación y reutilización del plomo como materia prima para otros usos; también es posible que por su morfología sea confundida con otro objeto o que se localice fuera de su contexto, lo que evidentemente dificultaría la lectura de su funcionalidad. Por último, comentar que los ejemplares encontrados contemplan una cronología que abarcan los siglos I y II d.C.

El último dispositivo que presento es la arqueta de distribución (Anexo, fig. 55). Este dispositivo tenía la función de derivar el agua a otros puntos de la ciudad, sobre todo está relacionada con la ampliación de una zona. Con el crecimiento de la ciudad se necesitaba ampliar la red hídrica, estos dispositivos permitía tal acción, sin necesidad de realizar la obra desde el *castella* o desde los depósitos intermedios. Se construían en plomo y permitían la inserción de varios materiales, es decir permitía la inserción tanto de tuberías de plomo como de cerámica, además de la instalación de tuberías en paralelo. También permitía realizar cambios de dirección, ya que los romanos no poseían la tecnología que permitiese realizar piezas en derivaciones de 90° o 45°. Posiblemente se colocarían en el centro de las vías, enterradas a una cierta profundidad, igual que la válvula ventosa, de tal manera que mediante una tapa de registro, posiblemente losa de piedra, permitiesen las operaciones de mantenimiento pertinentes. Por último resaltar que hoy día estas arquetas se fabrican tanto en obra como en material de plástico duro (PVC) (Anexo, fig. 55).

3. 10. La red de saneamiento.

Las mismas técnicas usadas por los agrimensores romanos tanto para el emplazamiento de la red de *castella* y la proyección e instalación de la red de abastecimiento de agua servían para el trazado de galerías subterráneas que en su conjunto constituían la red de saneamiento (red de alcantarillado).

A la par que se levantaba una nueva ciudad se construía la galería subterránea destinada al saneamiento, contando la ciudad con unos sistemas de desagües que permitían la evacuación de toda clase de aguas sobrantes (Anexo, fig. 56). A estas galerías llegaba el agua de lluvia (*aqua puvia*) recogida de las cunetas de las calles, diseñadas con un determinado peralte para este menester y que mediante sumideros pasaban a las cloacas menores y de estas a la *cloaca máxima*, colector principal que finalmente desembocaba, fuera del recinto urbano, en las aguas de un río, de un arroyo o del mar. También terminaba en las cloacas el *aqua caducae* que rebosaba de las pilas, de las fuentes y los ninfeos y que se utilizaba para limpiar las calles y, con frecuencia, para sanear las letrinas de las casas privadas (*letrinae*) y públicas (*foricae*). Ya Frontino señala la conveniencia de que estas aguas sobrantes sirvan “no sólo a la salubridad de nuestra ciudad, sino también para la limpieza de las alcantarillas” (CXI). A mediados del siglo I d.C. las *aquae caducae* comenzaron a utilizarse también para llenar unos depósitos contruidos con la finalidad de facilitar la extinción de los frecuentes incendios.

En el conjunto arqueológico de *Baelo Claudia* (Anexo, fig. 57) se conserva un sistema de cloacas cuya eficacia es tal que trasciende la línea del tiempo. Durante la puesta en marcha del conjunto arqueológico y la puesta en valor de la ciudad, una parte de este sistema de drenaje se limpió y esta acción permite, en la actualidad, evacuar el agua de lluvia de la zona sin ningún gasto adicional añadido.

Las galerías de saneamiento o cloacas estaban cubiertas, las de menores dimensiones con losas de piedra, y las de mayor tamaño con bóvedas de piedra, de ladrillo u hormigón. Esto permitía su visita e inspección para realizar las labores de limpieza y mantenimiento. Generalmente, la pendiente media de estas cloacas era muy superior a la de los acueductos, esto permitía que a mayor pendiente, mayor velocidad y, por tanto, mayor arrastre de las inmundicias que eran expulsadas fuera de la ciudad evitando que los sedimentos se depositasen en la cloaca, lo que podía llegar a su obturación y, por ende, a su inutilización. Estas canalizaciones subterráneas, revestidas de piedra o de ladrillo, estaban provistas de registros lo que permitía que fueran visitadas.

A las cloacas también desaguaban las aguas negras (aguas sucias) de muchas actividades industriales que se desarrollaban en el interior de la ciudad. En primer lugar las procedentes de las *fullonicae*, establecimientos que contaban con productos detergentes (orines humanos, tierras de batán, cenizas de plantas o maderas lavadas, cal) y en los que se lavaba la ropa doméstica y en los que además se abatanaban los paños nuevos después de tejidos para encurtirlos y eliminar la grasa y suciedad antes de darles el acabado final. A las cloacas iban también a parar las coloreadas aguas procedentes de las *tinctoriae*, establecimientos que se dividían en dos grupos: los *offectoriae*, donde se

teñía telas usadas (para darle nuevo color o el mismo en el caso de haberse quedado desteñida) y los *infectoriae*, en los que se teñía telas nuevas.

Como ya hemos comentado, las cloacas eran objeto de un frecuente mantenimiento y limpieza a fin de evitar atascos en la circulación del agua (sobre todo en ocasión de severas lluvias) que podían dar al traste con el normal funcionamiento de la evacuación de las aguas residuales. A tal efecto, la administración romana había establecido una tasa, el *cloacarium*, que no sabemos si era efectiva en las ciudades provinciales. Los responsables de las cloacas eran magistrados de la ciudad, los ediles, y quienes realizaban las labores de mantenimiento y limpieza, esclavos públicos, mientras que en Roma eran, respectivamente, los *cloacarum curatores* y los reos convictos y confesos. Con la red de saneamiento se cerraba el ciclo del agua.

En el ámbito hispano una ciudad donde se ha podido llegar a establecer un plano de la red de saneamiento es Mérida (Anexo, fig. 58), de la cual se han recogido cuidadosamente los hallazgos de tuberías al realizar las obras urbanas. Esto ha dado una comprobación del trazado viario de la ciudad actual. Además, ha servido para estudiar la extensión de la ciudad en las distintas épocas de su vida.

Volviendo a la ciudad ibero-romana de Cástulo, respecto la mencionada red de saneamiento, José María Blázquez y María Paz García-Galabert realizaron estudios y excavaciones relacionadas con las cloacas de la ciudad. Ellos postulan que el urbanismo de Cástulo se centró en torno a dos arroyos, el de San Ambrosio, al oeste extramuros, y el del este, intramuros, que discurría por las proximidades de las edificaciones de la Villa del Olivar, que desembocan en rápida pendiente en el cercano río Guadalimar. En ellos se vertían las aguas residuales, mediante un sistema de alcantarillado y cloacas que probablemente seguía un esquema de líneas perpendiculares. En el paraje de la Villa del Olivar se centraron unas actuaciones arqueológicas durante cuatro campañas arqueológicas sistemáticas (1971, 1985, 1986 y 1991), en el transcurso de las cuales se aisló una compleja red de canalización muy depurada de agua, desaguando las residuales, bien canalizadas en el arroyo este.

La documentación de un canal tallado sobre grandes bloques de piedra unidos por argamasa, que recorre, con dirección norte-sur, toda la superficie, para después girar bruscamente 90° en dirección al arroyo este, permite apreciar la presencia de una red de evacuación de aguas sobrantes. En época flavia se hallaba descubierto y en un posterior reacondicionamiento de las estructuras se cubrió con grandes losas. La zona de la Villa del Olivar (Anexo, fig. 59) presenta en su infraestructura: alcantarillado, desagües, cloacas y sifones. Otras cloacas se han encontrado en la parte alta de Cástulo, cerca del cortijo de Santa Eufemia, donde se documentó un barrio densamente poblado durante varios siglos del dominio romano imperial, cuyas casas seguían un trazado ortogonal. En este conjunto fue aislada la cloaca, que se interpretó con relación a unas termas (Anexo, fig. 60). Se trata de una conducción importante, con una altura de 1,08 m y una anchura de unos 0,48 m, con paredes realizadas de hormigón y cubiertas de mampostería de ladrillos y sillarejo, con suelo algo cóncavo y de guijarros alargados en

el sentido del cauce y con una cubierta de grandes bloques de piedra caliza. La cloaca por el nivel de su suelo y por su intersección dentro del edificio, siguiendo la orientación de sus habitaciones, no parece probable que tuviese razón de ser sin la existencia de las termas, no obstante, es un ejemplo significativo de lo que pudieron ser las cloacas de la ciudad (García y Blázquez 1994).

Con respecto a los arroyos hay que pensar que podrían interferir en el trazado de las vías, que con su rápida caída pendiente abajo coincidieran y que, muy probablemente, los ingenieros romanos (o itálicos) concibiesen un sistema de canalización para su curso superficial y subterráneo en la intersección con las vías para salvar este escollo en una cómoda circulación; de hecho, en las cercanías del arroyo de San Ambrosio se encontraron en superficie unos pasadizos semienterrados, abovedados, y recubiertos de hormigón hidráulico, que pudieran haber tenido esta función. Según estas investigaciones parece razonable pensar que los vertidos que se producían en la zona no lo hacían a cauce abierto del arroyo, sino que existía una serie de estructuras subterráneas cuya función era mantener la limpieza y salubridad del espacio urbano. Con el transcurso del tiempo el arroyo pudo desviarse y quedar sin función las estructuras. La zona denominada el Barranco del Moro (Anexo, fig. 61) conforma una vaguada que discurre de norte a sur, es por tanto un lugar idóneo para situar la cloaca máxima, prueba de ello es lo comentado antes del sitio de la Villa del Olivar.

4. EL AGUA EN LA INDUSTRIA: LA MINERÍA.

El agua en las minas antiguas se convirtió en un problema que había que solventar cuando los trabajos de extracción sobrepasaban los niveles freáticos inundando las propias labores subterráneas, llegando, incluso, a provocar la paralización de la explotación y consecuentemente su posterior abandono. Sin embargo, contradictoriamente, el agua sería imprescindible para llevar a cabo actividades relacionadas con la transformación del mineral, el lavado, y para la explotación de los yacimientos auríferos secundarios, como los del noroeste peninsular.

La procedencia del agua en las minas es esencialmente de la lluvia, especialmente en la Europa atlántica; del nivel marino, en minas costeras como las del Egeo; o más corrientemente, como era el caso en Hispania, por el corte de las capas freáticas. Esto se debe a que las labores mineras pasan generalmente el nivel freático y, en consecuencia, obligan a la desecación constante de las zonas de trabajo para contrarrestar las filtraciones.

Para evacuar el agua de una mina hay dos posibilidades: elevarla o drenarla, mediante la excavación de una galería inferior o socavón de desagüe, siempre y cuando la topografía del terreno lo permita. En la actualidad este problema se solventa usando bombas de achique tanto eléctricas como de aire comprimido, por lo que el sistema de elevación es el más utilizado. A escasa profundidad el desagüe no plantea problemas, es suficiente con métodos simples, o bien se excava una pequeña galería de desagüe a una

profundidad inferior a la de trabajo. Trabajar bajo el nivel freático es una tarea muy diferente. Las profundidades de 200-300 m alcanzadas en Sierra Morena o en el sudeste muestran la eficacia de las técnicas romanas, en particular las de desagüe (Domergue 1990: 433-434; García 2002: 303).

Las formas de elevación se hacían con métodos simples, es decir desagüe manual con auxilio de recipientes como cazos, espuelas o soportes de esparto, cubos de madera o de metal y canales de madera. El siguiente método consiste en máquinas elevadoras; estas máquinas se conciben como ingeniosos mecanismos de elevación que fuesen menos agotadores y más efectivos que el transporte manual de cubos. Estos mecanismos los describe Vitrubio en su tratado (X, 4), posteriormente en (X, 6-11) describe la noria, el tornillo de Arquímedes y la bomba de Ctesibio.

Respecto a las máquinas elevadoras hablaremos de aquellas que tienen cierta vinculación con Palazuelos. De hecho en El Centenillo (Jaén) se documentó la presencia de varios tornillos de Arquímedes.

El tornillo de Arquímedes consistía en un cilindro de madera, sobre el que se establecía una aleta espiral de madera o cobre, y se encajaba, por los extremos, dentro de un cajón hecho de tablones o plomo. Vitrubio, en el capítulo VI del libro X, lo describe bajo el nombre de *cochlea*, debido a su semejanza a la concha helicoidal de los gasterópodos. *Clochea* era el nombre griego del molusco *Turritella* (Domergue 1990: 450; García 2002: 315). Los tornillos se situaban en galerías inclinadas, escalonadas, alternando en los escalones un tanque y un tornillo, constituyendo cadenas, con la parte inferior de cada tornillo dentro de un tanque de madera al que desaguaban, vertiendo el tanque superior (Anexo I, fig. 62). De esta forma se llegaba a la superficie donde el agua era evacuada bien por tuberías o por canales abiertos.

En El Centenillo cada una de estos tornillos teóricamente no podía elevar el agua más que 1,80 m. Prácticamente, contando la pérdida entre carga y descarga, es decir entre la aspiración y el retroceso, remontan el agua a 1,50 m., lo que equivale a decir que era preciso colocar en serie una veintena de estos tornillos para elevar el agua a 30 m, (Arboledas, 2007: 860). Vitrubio (X, 7) nos indica que, aunque no eleva mucho, esta máquina puede sacar gran cantidad de agua.

Otra de las máquinas elevadoras es la noria, curiosamente los únicos elementos que se conocen de la existencia de norias en las minas del distrito minero de Linares-La Carolina proceden de la mina de Palazuelos. Según Mesa y Álvarez en esta mina se encontraron trozos de madera, que debieron haber servido de ejes para pequeñas norias o aparatos de desagüe a brazo, un torno, y un cangilón pequeño de madera de una noria (Domergue, 1987: 277). Pero donde se han documentado ampliamente estas ruedas elevadoras de agua ha sido en las minas del sudoeste de la Península Ibérica.

Las ruedas se introducían en la mina en piezas sueltas que eran montadas *in situ*, se colocaban solas o, preferiblemente, por parejas, en batería, en galerías o pozos escalonados, con un par en cada escalón, elevando el agua hacia el siguiente,

comunicadas entre ellas por cortas galerías por donde el agua circulaba en canales (Domergue, 1990: 448)

La disposición de estas parejas de norias estaba estudiada de forma que, girando en sentido inverso, vertiesen el agua en el canal siempre con la misma dirección, gracias a lo cual era impulsada hacia la fosa del piso superior para ser recogida por el par siguiente (Anexo, fig. 63).

Las norias se accionaban mediante el impulso del pie del obrero, sentado a superior altura en la pared frente a la rueda (Anexo, fig. 64). Es de suponer que estas ruedas eran pesadas; a su propio peso habría que añadir también el del agua contenida en las artesas, el frotamiento del eje en los cojinetes y la resistencia del agua del estanque. Así que se pensó que sería necesario más de un hombre para moverlas, pero vista la talla y su estructura, así como las dimensiones de las cámaras en las que se disponen, no pudo haber lugar más que para un obrero por máquina (Domergue, 1990: 449).

En cuanto a la presencia de estas estructuras hidráulicas es posible que el agua extraída de la mina mediante el sistema de elevación, en un primer momento lo fuera con un sistema de tornillos de Arquímedes que llegaría hasta un depósito donde sería recogida por una noria que la elevaría, a su vez, hasta una cisterna. En Palazuelos, una estructura localizada al norte de la *rafa* presenta lo que se puede traducir como una piscina (Anexo, fig. 65) como la localizada en el Cerro del Cobre (Córdoba), hoy día desaparecida, en la que la disposición de la cisterna se sitúa en una colina aterrazada que sirvió de base de un taller minero-metalúrgico. Presenta unas dimensiones con una longitud total de 17,40 m, una anchura total de 9,50 m, la anchura de muro es de 0,60 m. y la profundidad de 1 m. Siete contrafuertes de sección semicircular, perpendiculares al lado este; diámetro, 1,80 m.; separación entre contrafuertes, 0,90 m. En el interior, en el ángulo suroeste se dispone una escalera de cuatro peldaños; dos muros paralelos, perpendiculares al lado sur, cuyas medidas son: longitud, 1,20 m.; anchura, 0,40 m.; altura, 0,20 m. y una superficie de 165,3 m² (Anexo, fig. 66). Desde esta cisterna el agua pasaría a otros espacios. Hay que tener en cuenta que la zona no se caracteriza por tener mucha agua y en la época de estío este problema se acrecienta. Por ello, es menester almacenar gran cantidad de agua y favorecer su reutilización. Esta cuestión es la clave para determinar que, además de la extracción del mineral, la zona contó con fundición, es decir, todo el proceso de producción se realizaba en la zona y de allí se transportaba a los destinos finales. El cómo se trasvasaba el agua desde allí hasta las cisternas todavía está por investigar. La hipótesis que yo planteo es que se hacía mediante algún canal o alguna tubería instalada a tal efecto.

Hemos comprobado que en la *rafa* no quedan vestigios que puedan avalar esta hipótesis, ya que se destruyeron cuando la compañía alemana explotó la zona. Afortunadamente, el buen criterio de Carlos Lickefett, director general de la compañía minera Stolberg y Westfalia, tuvo a bien confeccionar un croquis con las estructuras todavía visibles (Anexo, fig. 67), en las que se podía apreciar una fortificación provista de torres que encierra un espacio cuadrangular de forma irregular, rodeada por

numerosas edificaciones en sus flancos sur y oeste; la entrada por su parte oeste parece haber sido protegida por un muro (Gutiérrez, 2010: 94). “*Si hubiésemos explotado la mina los españoles primero hubiésemos destruido las instalaciones y luego nos hubiésemos acordado de hacer el croquis*”, una buena apreciación realizada por Antonio Quiles.

Es posible que el agua que se evacuaba de la mina se utilizase para otros menesteres como por ejemplo el lavado del mineral. Ya Plinio, al mencionar el procesamiento del mineral, hace referencia al lavado: “*quod effossum est, tenditur, lavatur, uritur, molitur in farinam*” (N. H. XXXIII, 21-4), viniendo a decir que mediante una corriente de agua se separan unos de otros, arrastrando el agua los más ligeros.

Para el lavado se utilizaba un canal con derivaciones a las distintas cubas. Un dispositivo de estas características se localizó en El Centenillo. Posiblemente, éstas pertenezcan a una instalación de lavado por gravimetría (Domergue 1987: 270; Domergue 1990: 502). No podemos precisar con seguridad que en Palazuelos se utilizase este sistema de lavado, pero de la conversación mantenida con Tomás Cerón se desprende que en los años 1960 todavía se apreciaba un canal que discurría por la denominada era, también se podía apreciar lo que pudiese interpretarse como piscinas o cubas; evidentemente, de estas estructuras no queda nada en la actualidad, por lo que aquí escribo está basado en mera hipótesis.

No obstante, como modelo he recogido lo que Luis Arboledas comenta respecto a un sistema bastante estudiado localizado en el distrito minero de Cartagena–Mazarrón. Se trata de la construcción puesta al descubierto en el Coto de la Fortuna (Anexo, fig. 68): consta de nueve depósitos de mampostería, alineados uno tras otro y separados por intervalos de 0,50 m. Las cubas son circulares (con un diámetro de 0,75 m.) por la parte superior y ovalada (con un diámetro en el eje menor de 0,30 m.) por la parte baja. A estos depósitos se adosan otros rectangulares (de 1,20 m., a 1,30 m. de longitud y una profundidad de 0,65 a 0,75 m.). El agua llega a todos estos depósitos a través de un canal de mampostería que va paralelo a la instalación, con una longitud total de 15 m y un desnivel de 2,33 cm por metro (Domergue 1990: 501-502). Según González Simancas (1905-1907), por el otro lado había un segundo canal de peor factura (posiblemente un canal para evacuar el sobrante de agua). Tanto los depósitos como los canales estaban recubiertos en *opus signinum*. Este sistema práctico de lavado es similar al método empleado en arqueología para la flotación de la tierra. El proceso de lavado sería más rápido y, por tanto, más productivo si la corriente de agua entraba constantemente en el depósito a la vez que se removía el mineral y con la trampilla quitada, para que los estériles se evacuaran constantemente hacia el otro depósito. Este procedimiento se detendría cuando se consiguiera que el concentrado estuviera en óptimas condiciones. Una vez que el segundo depósito se llenara de agua con estériles se debería vaciar o dejarlo rebosar por alguna salida. Por otro lado, con el fin de ahorrar agua, pensamos, aún sin tener ninguna prueba, que el agua depositada con los estériles en el segundo depósito se podría reutilizar de nuevo en el proceso en lugar de hacer que entrara más agua limpia en el primero. Para esto, sería necesaria la ayuda de cubos de

bronce, plomo o de esparto embreado para trasvasar el agua de una cuba a otra (Arboledas 2007: 901).

Otro elemento fundamental, tanto para el lavado como para el almacenaje, son las cisternas construidas en *opus caementicium*, enfoscadas con *opus signinum*, reforzadas en sus ángulos con medias cañas hidráulicas, bien aisladas o formando grupos, pero sin interconexión aparente. Estos depósitos son idénticos a las cisternas de Laurión y, al igual que en Córdoba, se han localizado en las plantas metalúrgicas de la provincia de Jaén (García 2004: 109).

En el mismo Palazuelos se conserva un complejo de cisternas de época romana, que son los vestigios mejor conservados de estas características en la provincia. La zona de lavaderos pareció ubicarse junto a la *rafa* de San Ricardo, dada la acumulación de estériles y a su posición en ladera, bajo el gran grupo de cisternas que aportaban el agua necesaria para poder desarrollar este proceso.

Según Claude Domergue (1987: 277) se trataba de un grupo de 4 cisternas, tres de ellas bien conservadas y una cuarta que estaría hundida (Anexo, fig. 69). Pero además, hay una quinta, que no es recogida por Domergue y que estaría destruida desde antiguo (Gutiérrez *et al.*, 2002: 88). En la salida realizada el 25 de junio de 2015 con el profesor Luis Gutiérrez pudimos constatar la presencia de otra cisterna, colmatada hasta la bóveda, con lo que pudimos apreciar el sistema de suportación. Esta cisterna cerrería el complejo por su parte sur, ya que está en línea con un muro (Anexo, fig. 70). Pero además, según nos indicó el guarda de la zona al oeste de las cisternas se construyó una nave, empleada para almacén y cuadra de ganado y debajo de ella, es posible, que se hallen más cisternas, por lo que hablamos de un complejo hidráulico de considerables dimensiones. Las paredes de las cisternas son de *opus caementicium* y están revestidas de *opus signinum*, aunque en algunos sitios se ha perdido. Por el exterior, las paredes de la zona sudoeste y sur están enterradas, mientras que la del nordeste, al estar al aire, se encuentra reforzada por cuatro contrafuertes (Domergue 1987: 277-278). Además pudimos constatar que el nivel del suelo de cada cisterna era variable, por lo que es posible que este escalonamiento fuese debido a la necesidad de construir más cisternas en base a la demanda de agua o que el sistema de llenado de una a otra se hiciese por rebosadero.

Si tenemos en cuenta que el agua allí almacenada provendría tanto del drenaje de la mina como la recogida por la lluvia se puede deducir que el agua almacenada serviría más para un proceso productivo que para el consumo humano, aspecto que hay que tener en cuenta ya que el agua de la mina no reuniría las adecuadas condiciones de salubridad de las que Vitruvio hablaba. De ser así, posiblemente, en este lugar se concentraría todo el proceso minero-metalúrgico, desde que se extrae el mineral hasta su transformación en metal. La presencia de unos pilares, a modo de hipocausto, podría deberse a la vivienda que se emplazaría en la zona del actual cortijo, es decir, la interpretación más plausible es que esta villa pertenecería al propietario o encargado de explotar la mina, según se desprende de las inscripciones localizadas, y que este estaría

en todo momento controlando tanto la producción como la manufacturación del mineral extraído. Para ello se hizo construir una villa dotada de todas las comodidades a su alcance, incluidos sistemas de calefacción o termas.

CONCLUSIONES

Desde su concepción los objetivos principales de este trabajo han sido dar a conocer los aspectos más significativos del ciclo integral del agua en un ámbito urbano, en concreto en la ciudad ibero-romana de Cástulo; un ámbito industrial, centrado en las minas de Los Palazuelos; un ámbito rural, que iría centrado en la zona de Giribaile, donde se ofrecen aspectos interesantes asociados a la presencia de minados, posibles puntos de abastecimiento de agua para una villa y por último un ámbito jurídico, ya que según las investigaciones relacionadas con esta materia, la gestión de los recursos hídricos era para los gobernantes romanos de absoluta prioridad, prueba de ello es el famoso tratado de Frontino, fuente esencial de este trabajo.

Respecto a la consecución de estos objetivos solo se han conseguido los relacionados con el ámbito urbano y el industrial. Los otros dos se han visto frenados por la limitación de páginas para la elaboración del TFG. La abundante información encontrada permite elaborar un texto más amplio, no descartable para un futuro trabajo.

Otro aspecto que he querido destacar, esta vez relacionado con mi profesión, ha sido la comparativa entre el ciclo integral del agua en el ámbito altoimperial romano y el correspondiente a la época actual, destacando principalmente las estructuras hidráulicas y los dispositivos que forman parte de las mismas.

El trasladar los elementos que conforman la gestión y el uso del agua centrados en la captación, el transporte, el almacenaje, la distribución y la evacuación de este elemento a la ciudad de Cástulo y a las minas de Los Palazuelos, me ha permitido profundizar en los estudios que actualmente se desarrollan en este campo, y en otros puntos de la geografía española en general y andaluza en particular. La localización de dispositivos como válvulas, cálices, aireadores y arquetas de distribución, ha dado pie a que comprenda mejor los sistemas que se utilizaban en aquella época. Aspecto que puedo poner en relación con mi profesión como fontanero.

Quizás haya incurrido en el error de querer ver elementos donde no los hay, prueba de ello es que a día de hoy no se sabe a ciencia cierta dónde estaba la captación del agua ni el trazado del acueducto que abastecía a la ciudad de Cástulo. Aunque si aparecen estructuras identificadas como elementos hidráulicos a intramuros de la ciudad, estudiados en algunas de las campañas realizadas en la zona. Otra cuestión que he querido destacar han sido los dispositivos que conformaba la distribución de agua dentro de la ciudad. Destacando el plomo como material principal para la elaboración de tuberías, además de válvulas de corte y arquetas de registro. De estos últimos no hay evidencias tangibles que puedan dar fiabilidad a algunas de las hipótesis planteadas,

aunque si se ven en otros lugares de referencia descritos en el trabajo, como ya he comentado. Por todo ello considero que sería favorable abrir una vía de investigación relacionada con la arqueología del agua que dé respuesta a aquellas cuestiones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos de esta zona. Una vía de investigación vinculada a la ya existente en Cástulo y que sería continuidad de los trabajos que se están llevando a cabo en el sitio. Una especie de sub-proyecto en el que estaría incluido la red hidráulica romana como enunciado principal; seguido de la captación y el acueducto; el castellum aquae; la red de distribución urbana y la cloaca máxima. Este sub-proyecto sería novedoso ya que plantearía una línea de investigación centrada en la arqueología del agua, habida cuenta que en esta zona no hay estudios que profundicen en este aspecto de la arqueología.

Siguiendo esta línea sería interesante profundizar en los estudios de los recursos hidráulicos que se relacionan con la actividad minera llevada a cabo durante el alto imperio. Habida cuenta que la provincia de Jaén dispone de importantes sitios donde la minería jugó un papel fundamental. Todo esto, claro está, poniéndolo en relación con la producción minera. En la que tendría cabida dispositivos y estructuras hidráulicas tales como norias, tornillos de Arquímedes, canales de distribución y cisternas.

Para finalizar me gustaría indicar que soy plenamente consciente de que algunas de las ideas que aquí planteo carecen de un cierto rigor científico al no estar avaladas por proyectos de investigación que puedan dar fe de ello. También soy consciente de los errores a los que haya podido incurrir a lo largo de este trabajo, de mis limitaciones, de mis fallos y de mis posibles aciertos, al fin y al cabo tan solo soy un simple fontanero, pero como reza el grabado de Goya “Aun aprendo”.

Agradecimiento

No quisiera terminar el TFG sin emitir unas palabras de agradecimiento a todas aquellas personas que, de algún modo, han colaborado en la realización de este trabajo. Vaya pues mi eterna gratitud a mi tutor de TFG Don Luis María Gutiérrez Soler, a Don Marcelo Castro López, a Don Tomas Cerón, a Don Antonio Quiles, a Doña María Alejo Armijo, a Don Francisco Cortés, a Don Bautista Ceprián y a Doña Rosa Fernández Casado.

BIBLIOGRAFÍA

- ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L. (2007): Minería y metalurgia romana en el Alto Guadalquivir: Aproximación desde las fuentes y el registro arqueológico. Tesis doctoral.
- BARBA COLMENERO, V. (2007): El regadío romano. Instalaciones hidráulicas romanas en la zona arqueológica de Marroquíes Bajos. Universidad de Jaén.

- CEPRIÁN DEL CASTILLO, B., DE LA TORRE MENDUIÑA, J. (2010): "Actividad arqueológica en el Cerro del Cortijo de los Guardas (Cástulo). Estudios de materiales ss. IV-V d.n.e." *Arqueología y Territorio Medieval* 17: 9-29. Universidad de Jaén.
- COBOS RODRÍGUEZ, L.: "Sierra Aznar ¿castellum aquae o caput aquae?", *Actas del Congreso Internacional AQVAM PERDVCENDAM CVRAVIT. Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética y el Occidente romano*, Universidad de Cádiz, 9 al 11 de noviembre de 2009. Cádiz, 2010, págs. 261-270.
- CORCOS, G. (2005): Aire en tuberías de agua. Manual para Diseñadores de Sistemas de Distribución Rural de Agua Potable Abastecidos por un Manantial e Impulsados por la Gravedad. <<http://es.aplv.org/iles/docs/Aire%20En%20Tuberias.pdf>> [22 diciembre 2009].
- CHOCLÁN SABINA, C. NAVARRO PÉREZ, M. (2002). *Mus-A: Revista de los museos de Andalucía. Museo Arqueológico de Linares - Monográfico de Cástulo. La historia sumergida*. Nº. 0, pp. 62-65.
- DOMERGUE, C., (1990): *Les mines de la peninsule iberique dans l'antiquité romaine*, CEFR 127, Rome.
- DOMERGUE, C., (1987): *Catalogue des mines et des funderies antiques de la Péninsula Ibérica*. Casa de Velázquez, tomo I, Madrid, pp. 255-292.
- FERNÁNDEZ CASADO, C., *Ingeniería hidráulica romana*. Turner. Madrid, 1983.
- FERNÁNDEZ CASADO, R. (2011). Dirección. IAP en la Autovía A-316. Enlace oeste de Baeza a enlace norte de Puente del Obispo. Informe preliminar. Centro andaluz de Arqueología Ibérica. Jaén. (Sin publicar).
- FORNELL MUÑOZ, A. (2011). *Docta Minerva. Homenaje a la profesora Luz de Ulierte Vázquez: Arquitectura hidráulica del Jaén romano*, pp. 311-322. Universidad de Jaén.
- FRONTINO. (1985). *Los acueductos de Roma*. Edición crítica y traducida por TOMÁS GONZÁLEZ ROLÁN, Madrid: CSIC.
- GARCÍA, F. (1999): "El aire en las tuberías. Problemas que ocasiona y su eliminación", *Tecno ambiente. Revista profesional de tecnología y equipamiento de ingeniería ambiental*, 9, 90, 41-44.
- GARCÍA-GELABERT, M.^a P.(1991). *Arte, sociedad, economía y religión durante el Bajo Imperio y la antigüedad tardía: El yacimiento arqueológico de Cástulo. Monografías históricas sobre antigüedad tardía VIII*. Murcia, pp. 289-304.
- GARCÍA GELABERT, M.^a PAZ. BLÁZQUEZ MARTÍNEZ, JOSÉ M.^a : *Notas acerca del urbanismo romano de Castulo (Jaén, España)*», *Ktema*, 19 (Hommage à Edmond Frézouls-II), 1994, pp. 155-167 (también en J. M.^a Blázquez, *Los pueblos de España y el Mediterráneo en la antigüedad. Estudios de arqueología, historia y arte*, Madrid, 2000, pp. 198-218).
- GARCÍA ROMERO, J., (2001). *AAC 12: las cisternas metalúrgicas de la Córdoba romana*. Universidad de Córdoba., pp. 67-78.
- GARCIA ROMERO, J., (2002): *Minería y Metalurgia en la Córdoba romana*. Universidad de Córdoba.
- GARCÍA ROMERO, J., (2004): *Metalurgia romana del cobre en el sur de Hispania*, en J. A. Romero Macías y E. Romero Macías (eds.): *Metallum. La minería Suribérica*, Huelva, pp. 105-125.

- GONZÁLEZ, I., ed. (2002a): *Artifex. Ingeniería romana en España*, Catálogo de la exposición, Madrid.
- GONZÁLEZ SIMANCAS, M., (1905-1907): *Catálogo monumental de España. Provincia de Murcia*, manuscrito depositado en el Instituto Diego Velásquez de Madrid.
- GUERRERO MISA, LUIS JAVIER (2000). *Intervención arqueológica de urgencia en la ciudad romana de “Sierra Aznar”, Arcos de la Frontera (Cádiz)*. Cádiz.
- GUTIÉRREZ SOLER, L. M., BELLÓN RUIZ, J. P., ROJO ENCARNACIÓN, M^a, A., COLMENERO, V., ALCALÁ LIRIO, F., TORRES ESCOBAR, C., CIVANTO REDRUELLO, A. J., BIEDMA TORRECILLAS, A., (2002): *Documentación de los Antiguos Trabajos Mineros en la Provincia de Jaén*, en *Resúmenes de Proyectos de Investigación*, Instituto de Estudios Giennenses. Jaén, pp. 67–94.
- GUTIÉRRES SOLER, L.M. (2010). *Minería antigua en Sierra Morena: Los castilletes de Sierra Morena*, pp. 67-104. Universidad de Jaén.
- LUZÓN, J. M. (1982): “Consideraciones sobre la urbanística de la ciudad nueva de Italica”, en: *Itálica. Cuadernos de trabajos de la Escuela Española de Historia y Arqueología en Roma*, Madrid, 77-95.
- LUZÓN, J. M. y MAÑAS, I. (2007): “El agua en Italica”, en: *Mangas & Martínez* 2007, 237-256.
- MATA ALMONTE, E., ZULETA ALEJANDRO, F., LAGÓSTENA BARRIOS, L. y MENDILUCE, E. (1984): “Peligrosidad del aire en el interior de las tuberías”, *Revista de Obras Públicas*, 3233, 177-184.
- MAYS, LARRY W. (2002): *Manual de sistemas de distribución de agua*. McGraw-Hill. Madrid.
- MEZQUÍRIZ IRUJO, M. Á. (1988). *Trabajos de Arqueología Navarra/7: De hidráulica romana: el abastecimiento de agua a la ciudad romana de Andelos*, pp. 287-317.
- OLCINA DOMÉNECH, M. H., MOYA MOLINA, R. G. (2009). *Artifex: Ingeniería romana en España*. Catálogo de exposición. Madrid.
- PLINIO EL VIEJO. (1972), *Naturalis Historia*. XXXI. G. SERVAT (éd) Paris.
- ROMANÍ SALA, N. (2007) *L’eau: usages, risques et representations. Novedades en torno a la ingeniería hidráulica en la ciudad romana de Iesso (Guissona, Cataluña): un sistema de eliminación del aire en la red de distribución hídrica urbana*, pp. 525-539.
- RUIZ, A y MOLINOS, M. (2015). *Jaén, tierra ibera: 40 años de investigación y transferencia*. Universidad de Jaén, servicio de publicaciones. Jaén.
- VVAA. (2005); *Aqua romana: Técnica humana y fuerza divina*. Museu de les Aigües de la Fundació Agbar. Barcelona.
- VVAA. *Artifex: Ingeniería romana en España*. GONZÁLEZ TOSCÓN, IGNACIO. Cap I. *La ingeniería civil romana*. Ministerio de Cultura. Madrid, 2002. Pág. 54-108.
- VITRUBIO POLIÓN, M. L., *Los diez libros de Arquitectura*, libro VIII. (Traducción de José Luis Oliver Domingo, 2009) Madrid.
- VILLASANTE, B., (1912): *Criaderos de hierro de España, I, Criaderos de la Provincia de Murcia*, Memoria del Instituto Geológico de España, Madrid.

ANEXO

El ciclo del agua

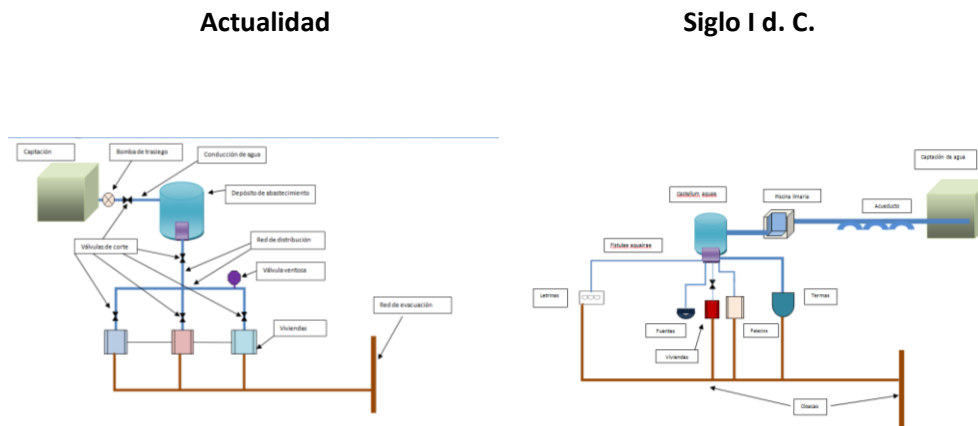


Figura 1. Comparativa del ciclo integral del agua desde el S. I d. C., a la actualidad (elaboración propia).

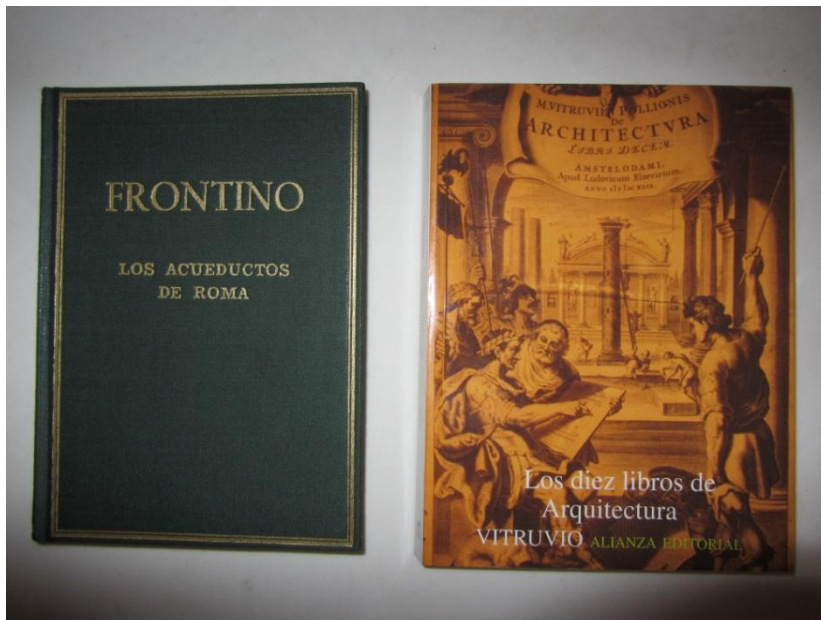


Figura 2. Tratados de Frontino y Vitruvio.

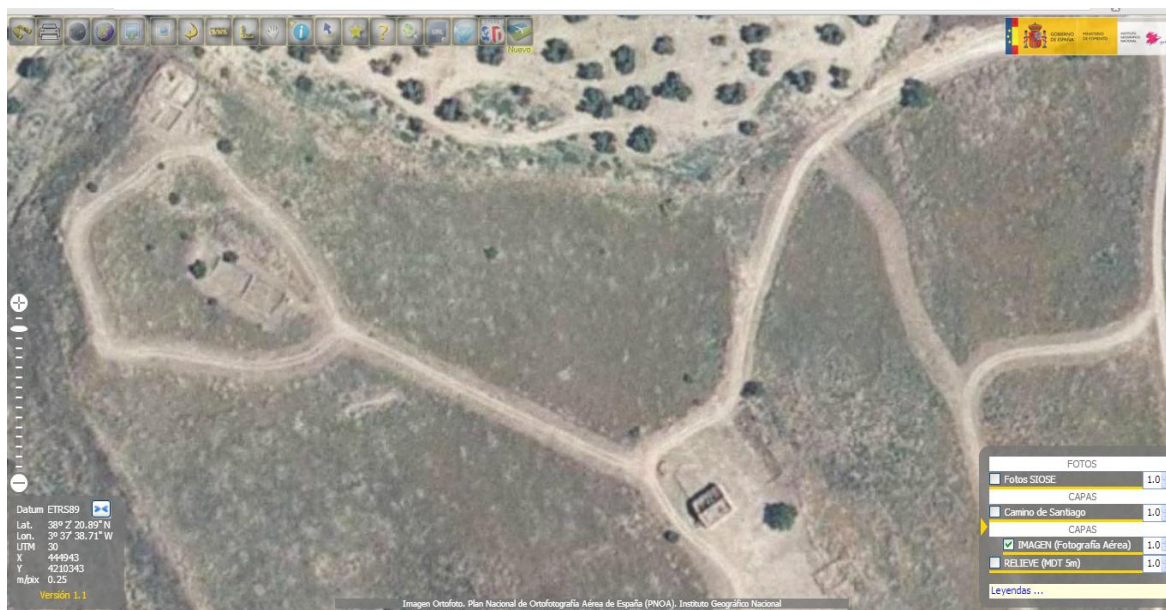


Figura 3. Vista aérea del complejo hidráulico de Cástulo.

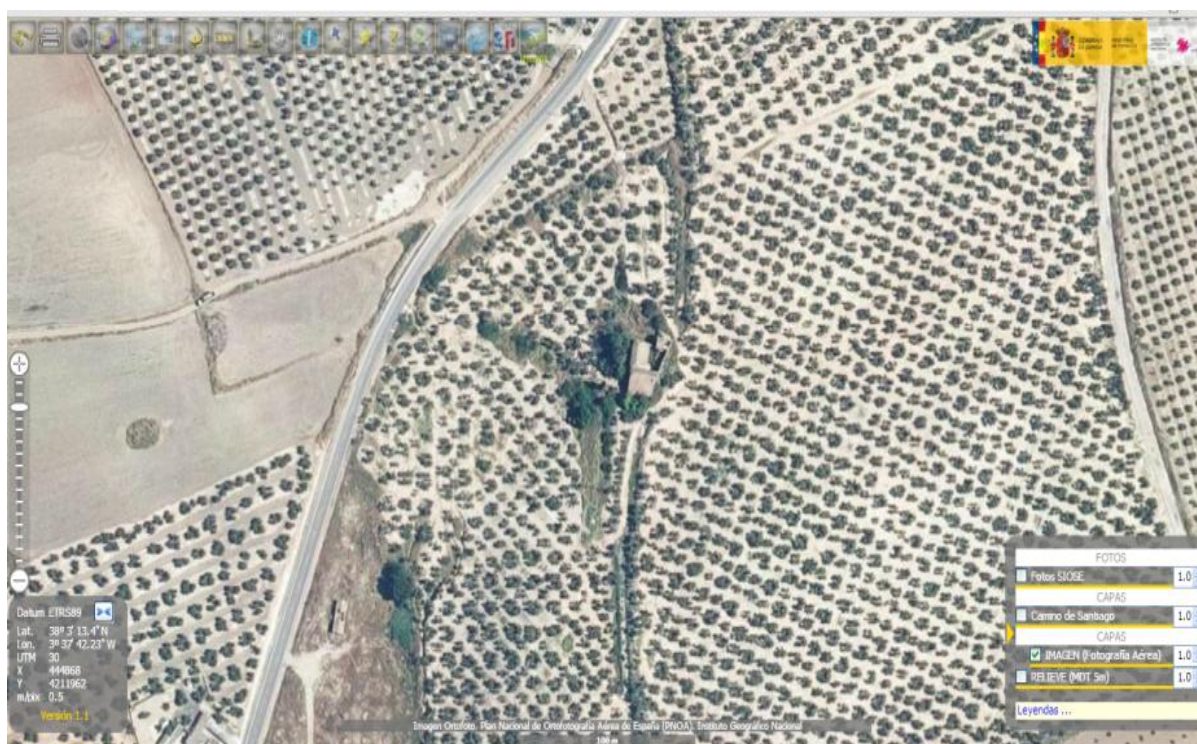


Figura 4. Vista aérea del Cortijo El Fontanar.



Figura 5. Vista aérea de Palazuelos.

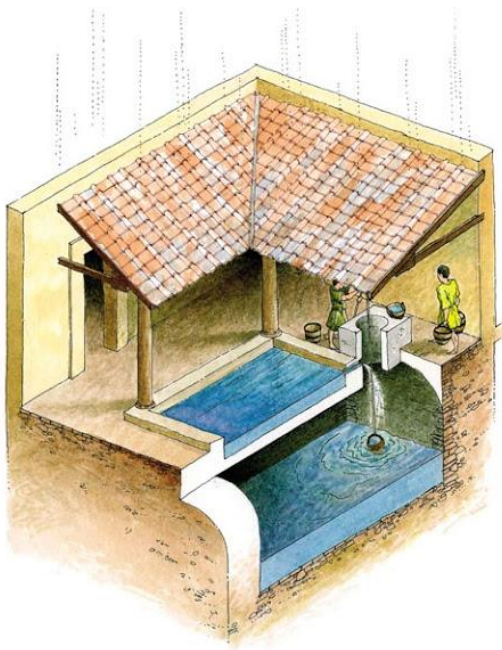


Figura 6. Recreación de un sistema de *impluvium* con cisterna para almacenamiento de agua.



Figura 7. Recreación de un *putei*, pozo de abastecimiento de agua.

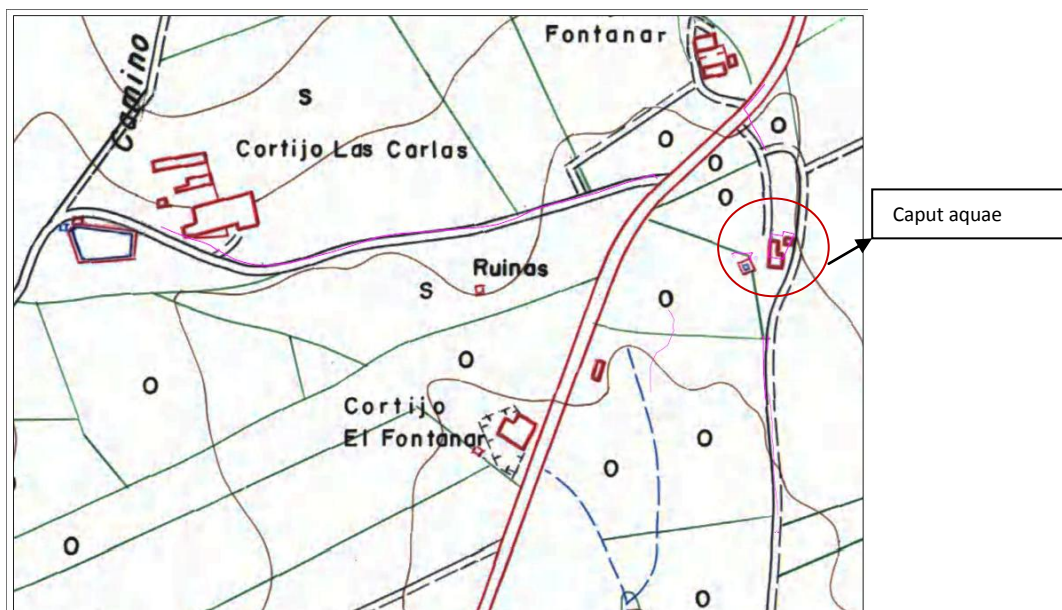
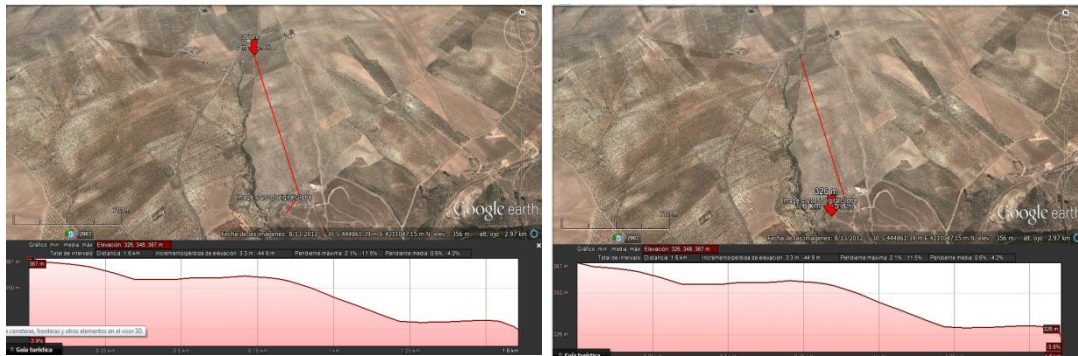


Figura 8. Mapa topográfico escala 1:10000. Con la inserción de puntos tomados con GPS.



Figuras 9 Perfil topográfico realizado con el Google Hearth: a) inicio del trazado, b) final del trazado.



Figura 10. Libella.

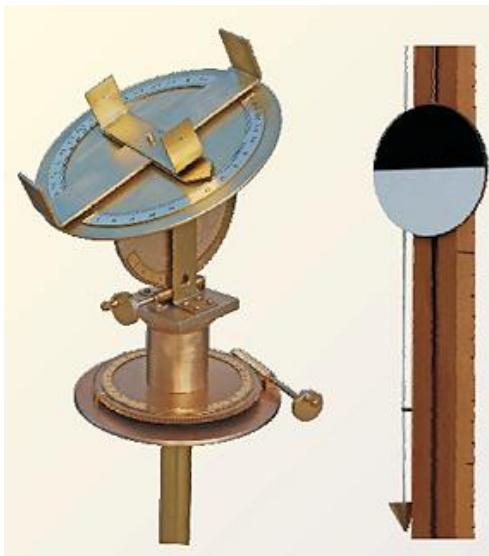


Figura 11. Dioptra.



Figura 12. *Groma*.

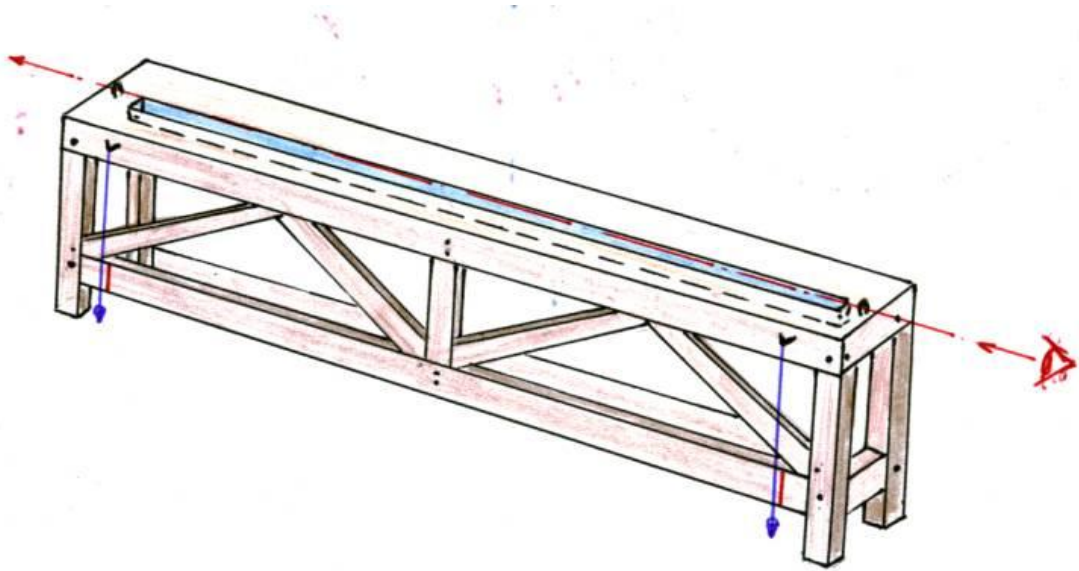


Figura 13. *Chorobates*.



OPUS SIGNINUM

- cal
- arena
- polvo de ladrillo

Figura 14. Specus

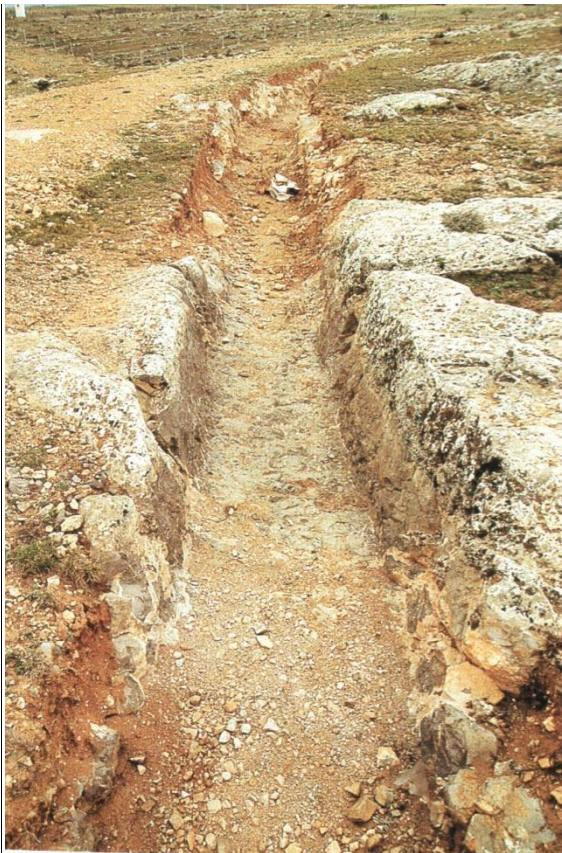


Figura 15. Corrugas.

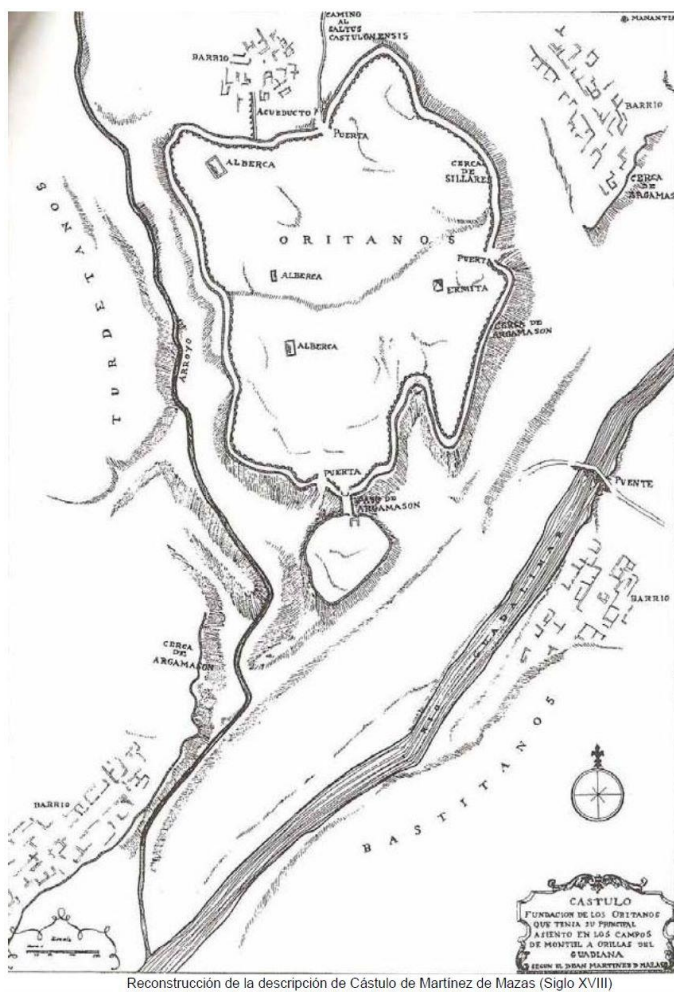


Figura 16. Reconstrucción de la descripción de Cástulo realizada por Martínez de Mazas, siglo XVIII.



Figura 17. Posible fragmento del acueducto de Cástulo.



Figura 18. Espacio cuadrangular de 2.90 X 2.60 m.



Figura 19. Posible pilar de 1.50 x 1.50m.

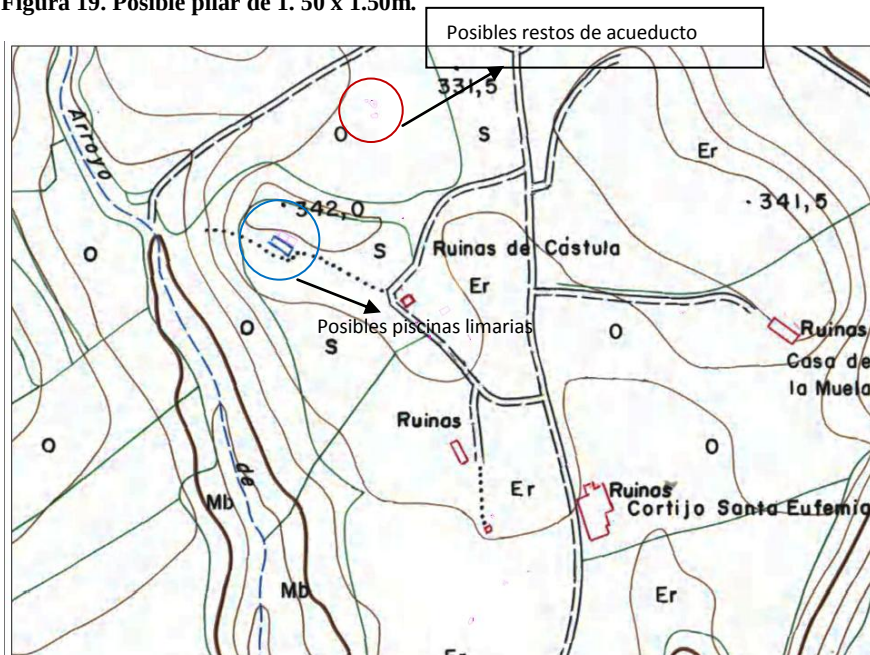


Figura 20. Toma de puntos con GPS de las estructuras cuadrangulares y de la zona de las piscinas limarias.

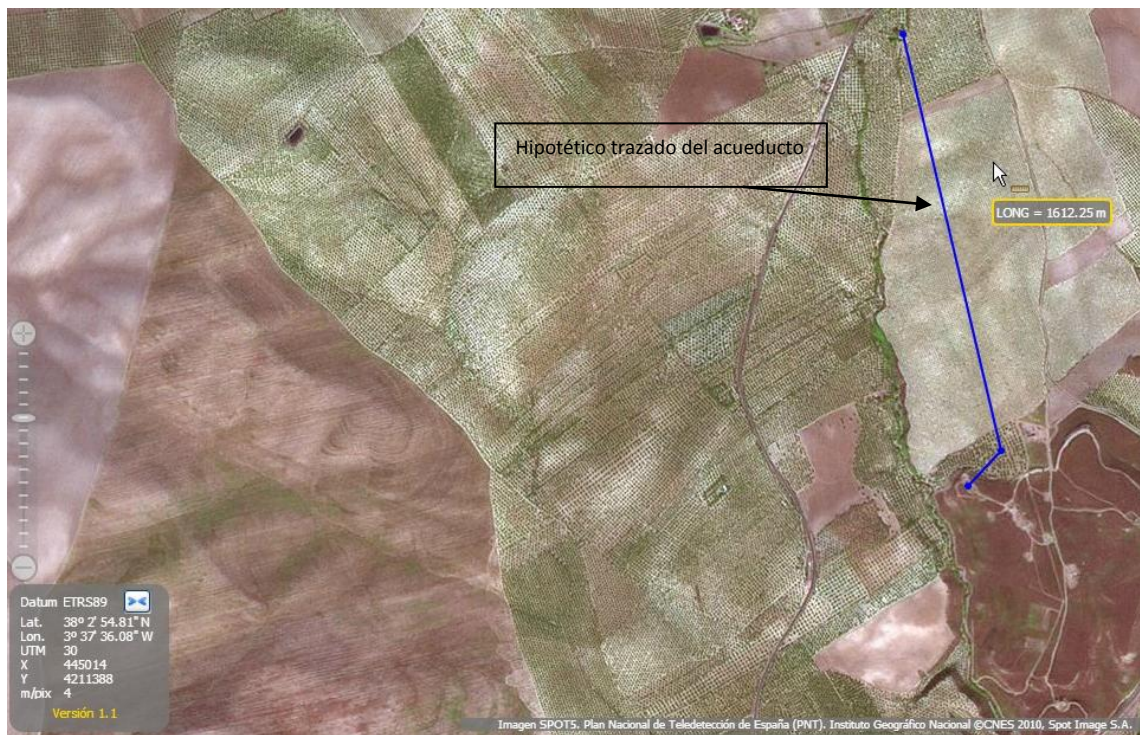


Figura 21. Hipotético trazado del acueducto de Cástulo.

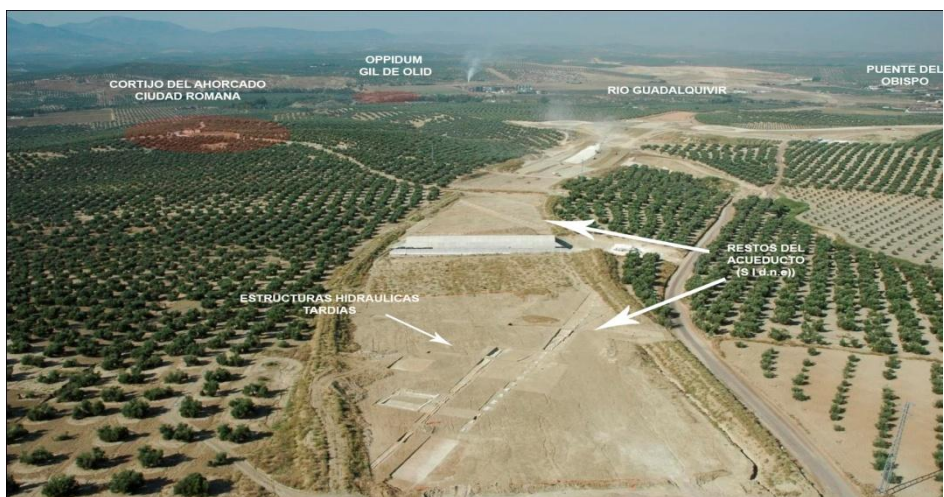


Figura 22. Trazado del acueducto de la Autovía del Olivar, entre Puente del Obispo y Baeza.



Figura 23. Acueducto del Carmen, Jaén. Actualmente desaparecido.

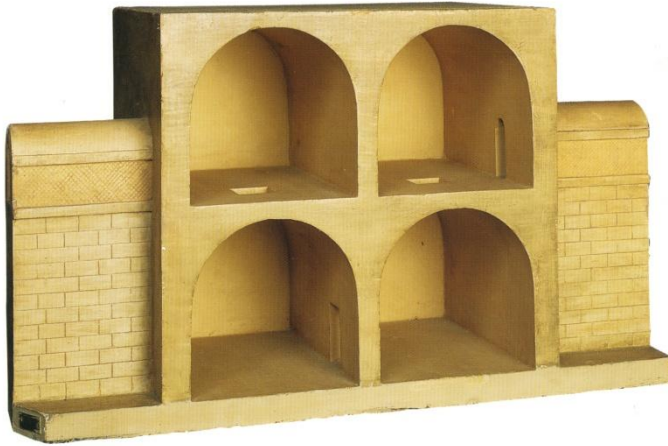


Figura 24. Maqueta de la piscina limaria del Aqua Virgo.



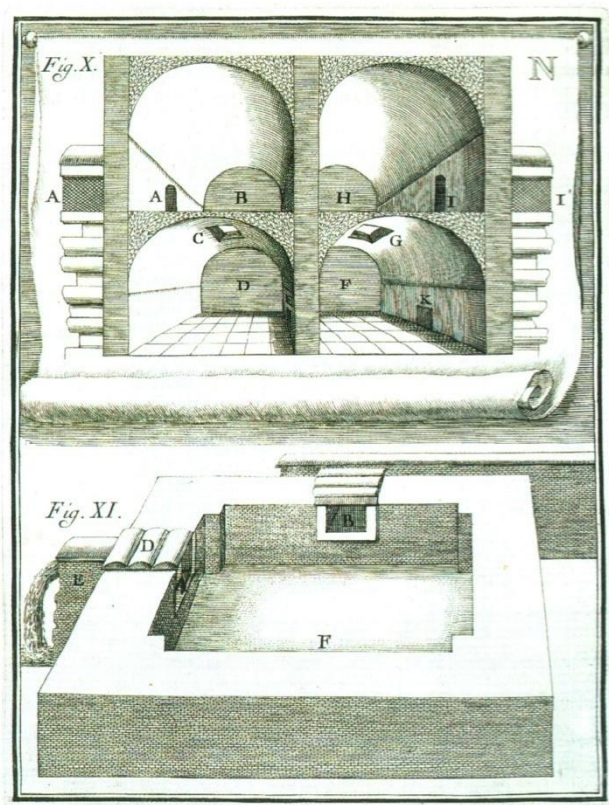
Figura 25. Piscina limaria, Paseo de Córdoba, Córdoba.



Figura 26. Vista aérea de las piscinas limarias del grupo estructural C. Sierra Aznar (Arcos de la Frontera, Cádiz).



Figura 27. Cisternas del complejo hidráulico de las piscinas limarias, Cástulo.



Castellum aquae en el mismo tratado de Frontino de la edición de Ioannis Poleni, 1722.

Figura 28. Ilustración del tratado de Frontino.



Figura 29. Maqueta del castellum Aquae de Nîmes.

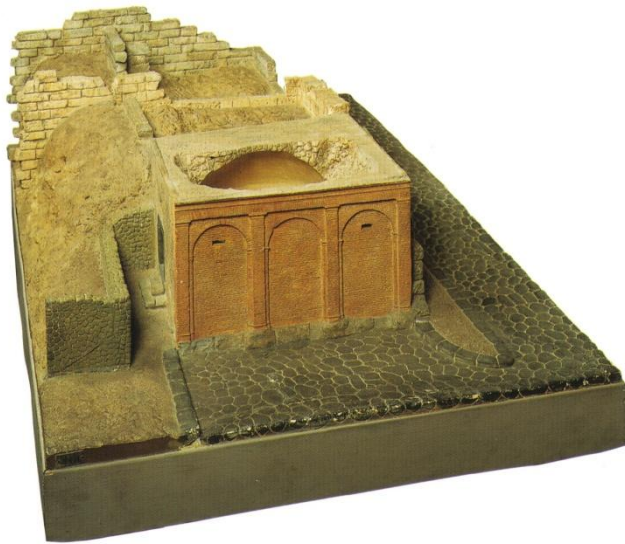


Figura 30. Maqueta del *castellum aquae* de Pompeya.



Figura 31. *Castellum aquae* de la ciudad romana de Andelos (Mendigorría, Navarra).

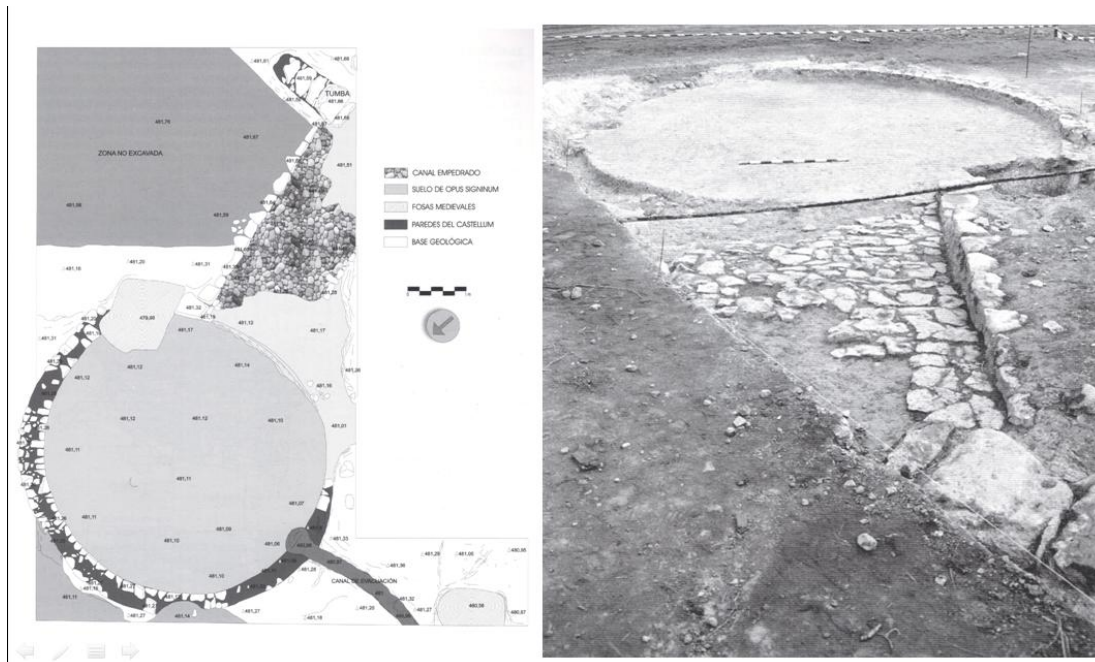


Figura 32. Castellum aquae de la Zona Arqueológica de Marroquíes Bajos (Jaén). Planta y foto.



Figura 33. Pasible castellum aquae. Complejo hidráulico del Cortijo del Guarda (Cástulo, Linares).

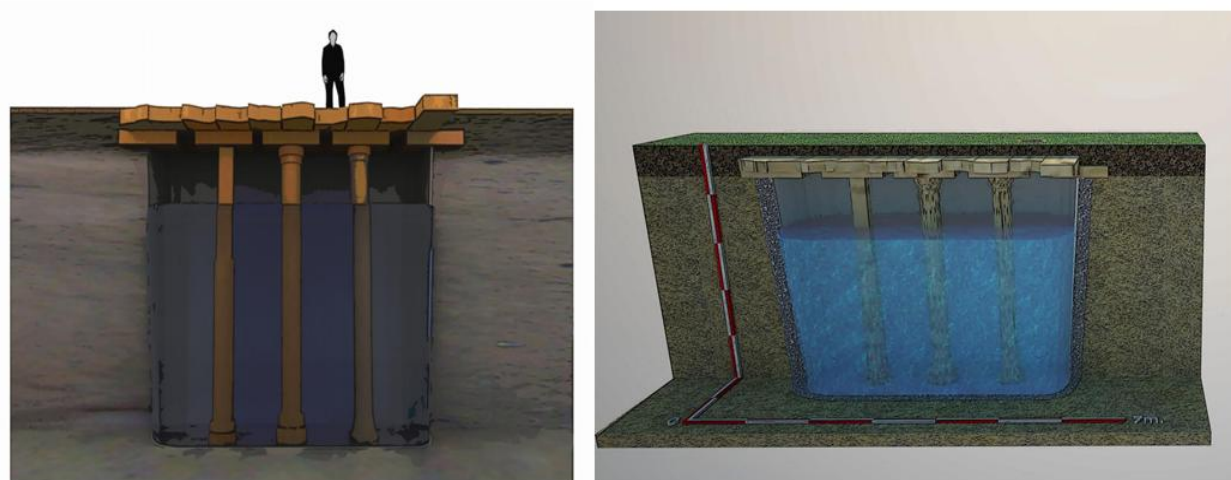


Figura 34 (a-b). Recreaciones de la gran cisterna. Complejo hidráulico del Cortijo del Guarda (Cástulo, Linares). Cedidas por el equipo de investigación de Cástulo.



Figura 35 (a-b). Pozo del complejo hidráulico del Cortijo del Guarda (Cástulo, Linares). Figura a; cedida por el equipo de investigación de Cástulo.



Calíz que deriva el agua del castellum divisorium a la red de abastecimiento

Figura 36 (a-b). Cálices de derivación de agua.



Figura 37. Válvulas de agua (*epitonium*): a, b y c romanas; d: actual).

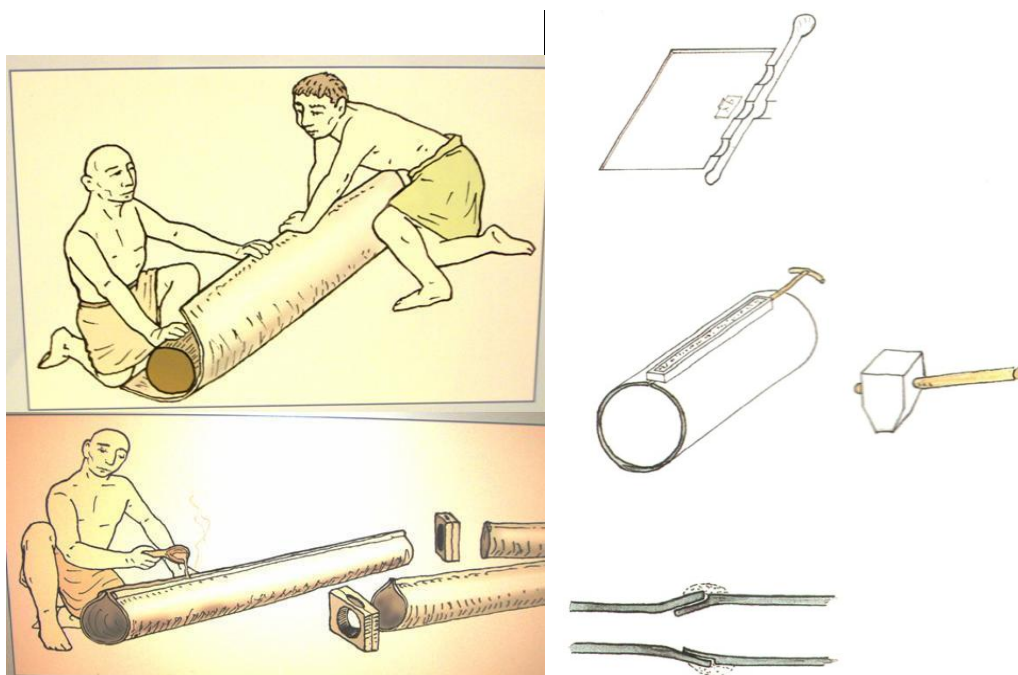


Figura 38. Recreación de la fabricación de tuberías de plomo.



Figura 39. Tubería de plomo con epigrafía procedente de Itálica. R.E. 3363.



Figura 40 Tubería de plomo con epigrafía procedente de Itálica. R.E. 3862.



Figura 41: Tubería de plomo romana. Museo de Galera, Granada.



Figura 42 (a: longitud, b. diámetro). Tubería de plomo romana procedente de Segóbriga. Museo Arqueológico de Cuenca.



Figura 43 (a, b). Tuberías de cerámica.

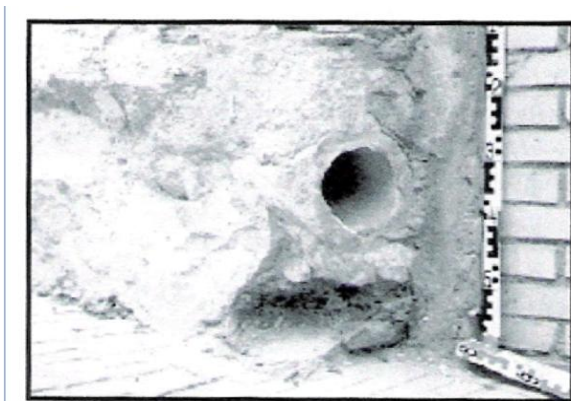


Figura 44. Tubería de cerámica inserta en opus caementicium. Sexi, Almuñécar (Granada).



Figura 45. Tuberías de madera. Vindolanda, Northumberland (Inglaterra).



Figura 46. Vista en planta de la calzada con una válvula ventosa en la ciudad romana de Iesso, Guissona (Lleida).



Figura 47. Vista en detalle de la 1ª válvula ventosa de la ciudad romana de Iesso, Guissona (Lleida).



Figura 48. Vista de la 2ª válvula ventosa localizada en el complejo de baños de la ciudad romana de Iesso, Guissona (Lleida).



Figura 49. Vista en detalle de 2ª Válvula ventosa de la ciudad romana de Iesso, Guissona (Lleida).



Figura 50. Recreación del funcionamiento de una válvula ventosa romana.

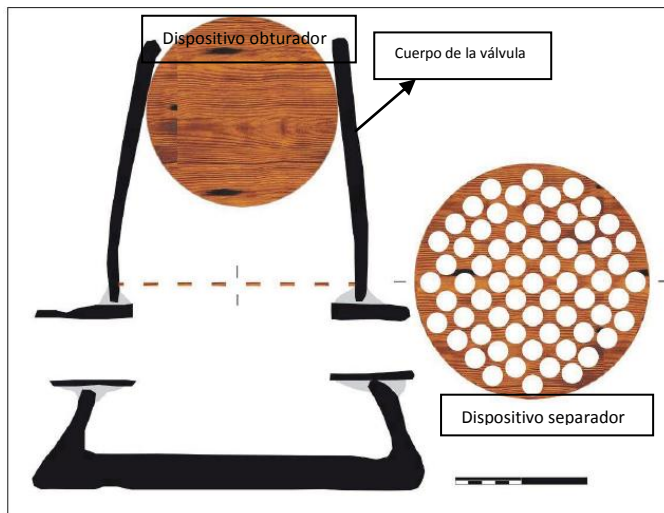


Figura 51. Recreación del despiece de una válvula ventosa romana.

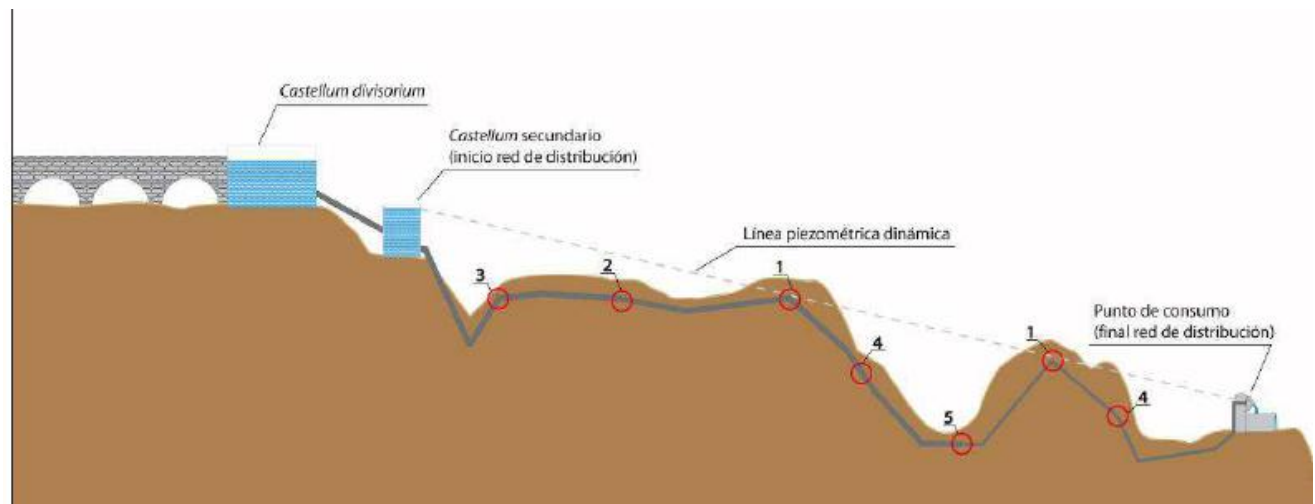


Figura 52. Recreación de un sistema de distribución por gravedad, con un trazado sanioso y puntos donde se tiende a la acumulación de bolsas de aire, sitio propicio para la disposición de las válvulas ventosa.

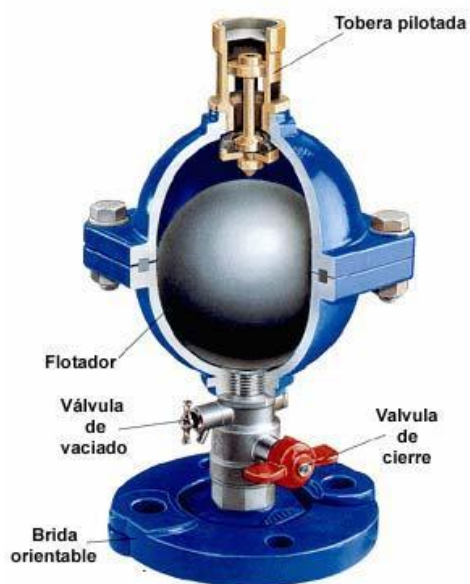


Figura 53. Válvula ventosa actual.

Cuatro de los seis paralelos propuestos para las ventosas/purgadores de lesso. 1. Ejemplar de la colección Gavarró; 2. Ejemplar de Pompeya (Ciarallo & De Carolis 1999, 318) ; 3. Ejemplar de Itálica (Luzón 1982, lám. II, 2; Luzón & Mañas 2007, 255, fig. 8) ; 4. Ejemplar de Córdoba (Ventura 1996, 91).

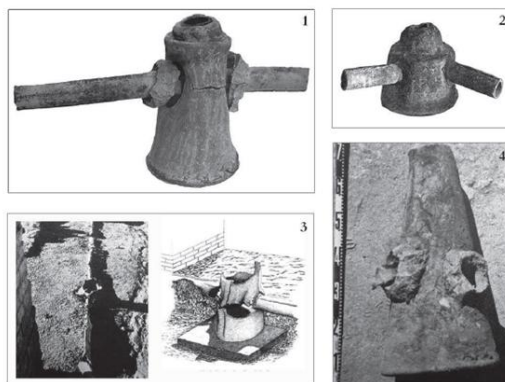


Figura 54



Figura 55. Arquetas de registro, a: arqueta de plomo romana (procedente de la población de Valderrepisa (Fuencaliente, Ciudad Real)), b: arqueta de obra actual (procedencia desconocida).

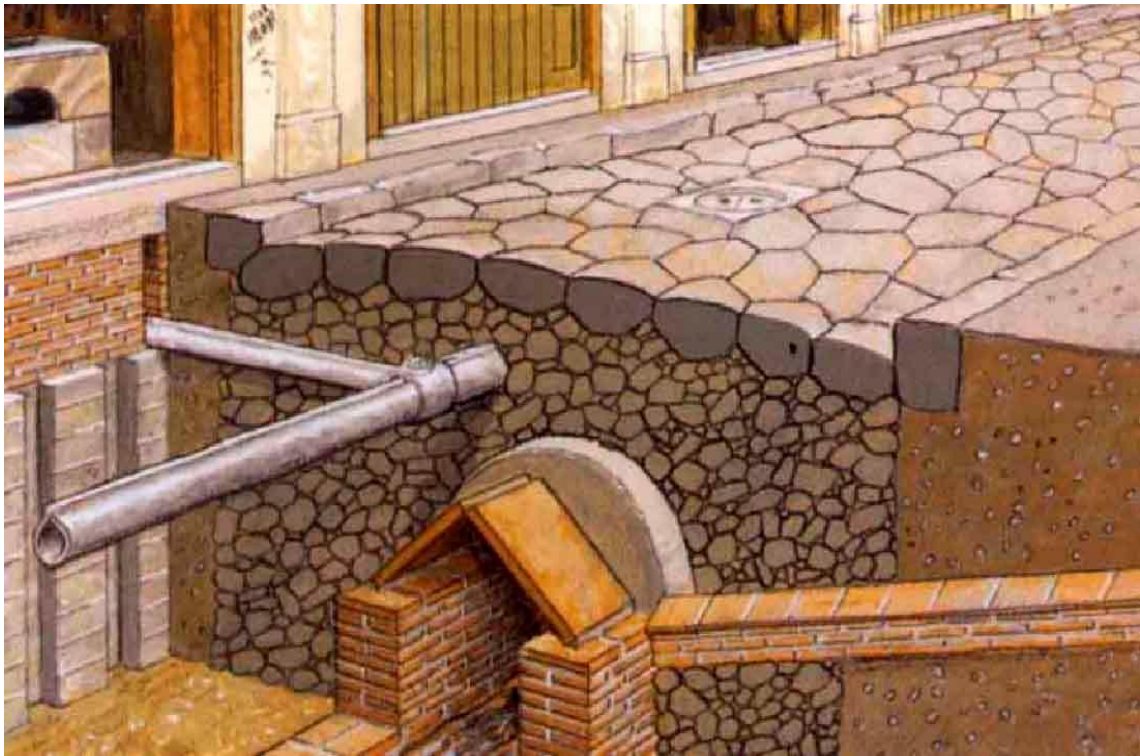


Figura 56. Recreación idealizada del sistema de abastecimiento de agua y de cloacas, Pompeya.



Figura 57 (a, b). Cloacas del conjunto Arqueológico de Baelo Claudia (Cádiz).

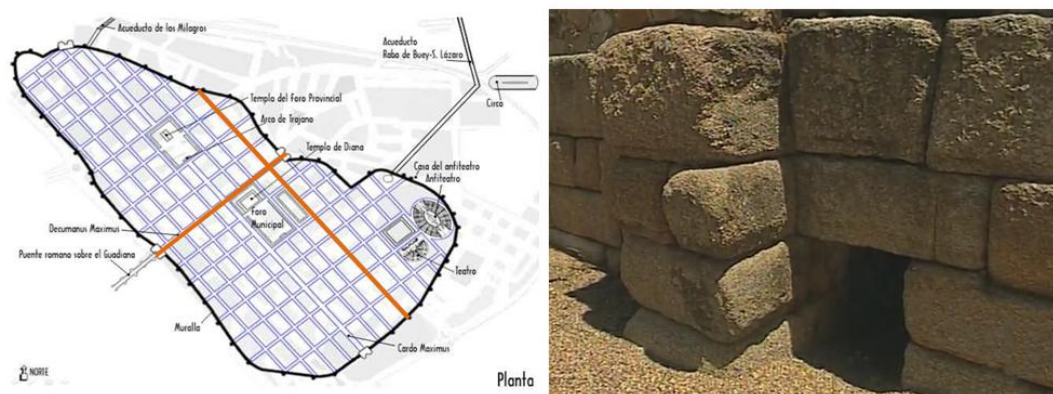


Figura 58. Saneamiento de Emerita Augusta (Merida): a) plano del saneamiento principal, b) desemboque de cloaca en el río Anas (Mérida).



Figura 59. Desagüe de las termas, Villa del Olivar (Cástulo. Linares).



Figura 60. A) Piscina de las termas en la zona del Cortijo de Santa Eufemia, b) desagüe de la piscina.



Figura 61. Barranco del Moro, Cástulo.

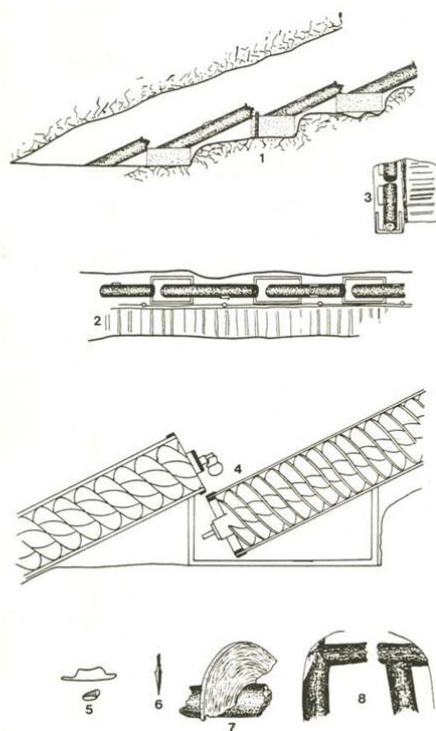


Figura 62. Descripción del sistema de montaje del tornillo de Arquímedes (Domergue, 1987:XXI).

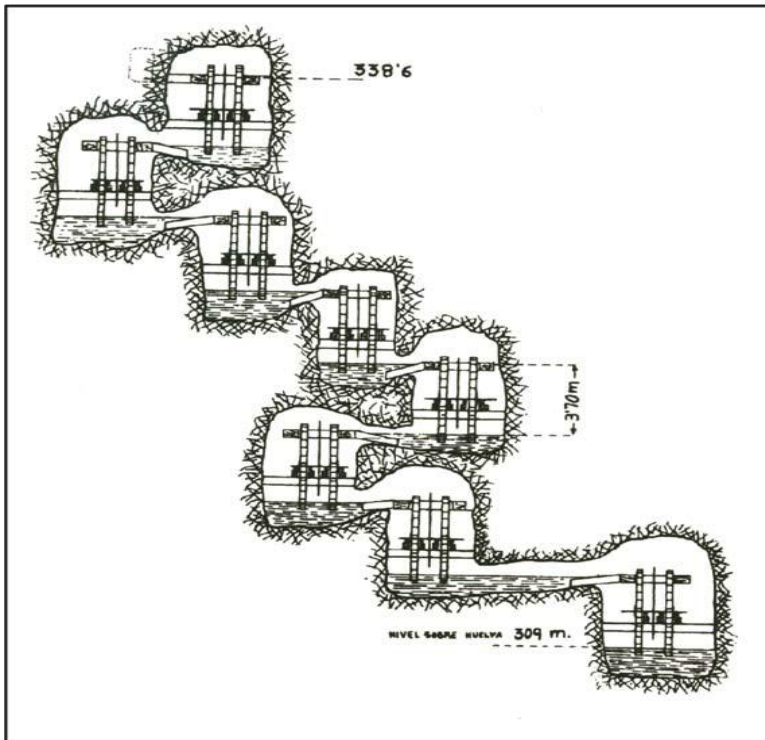


Figura 63. Sistema de evacuación de agua mediante pares de norias. Descubiertas en Riotinto (Huelva) (Palmer, 1927)



Foto reproducción del funcionamiento de una noria y la posición que adoptaría el minero (Museo de Riotinto, Huelva)

Figura 64.



Figura 65. Dos vistas de la estructura localizada en la zona de la rafa, Palazuelos.

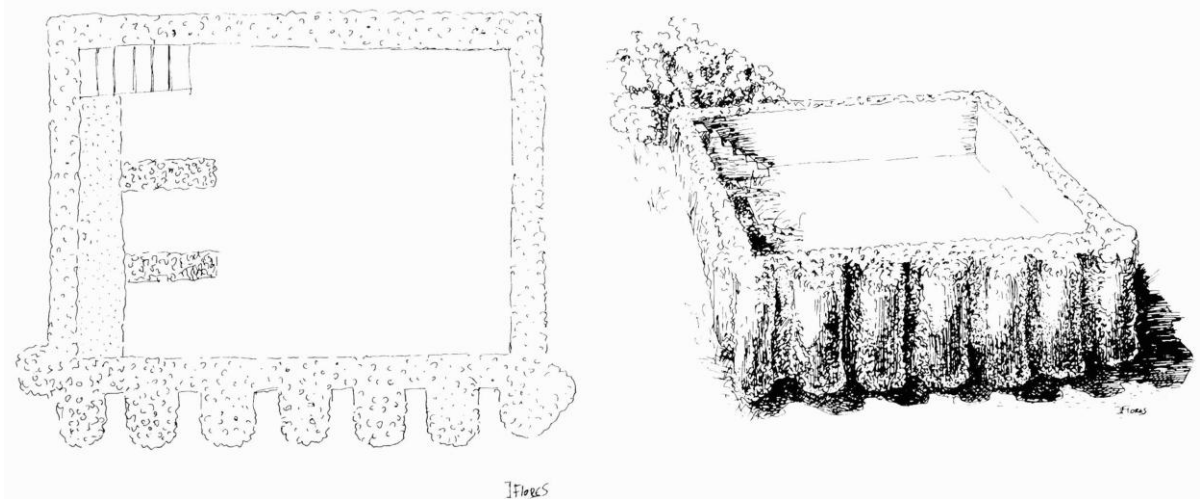


Figura 66. Recreación de una cisterna para labores de minería, Cerro del Cobre (Córdoba).

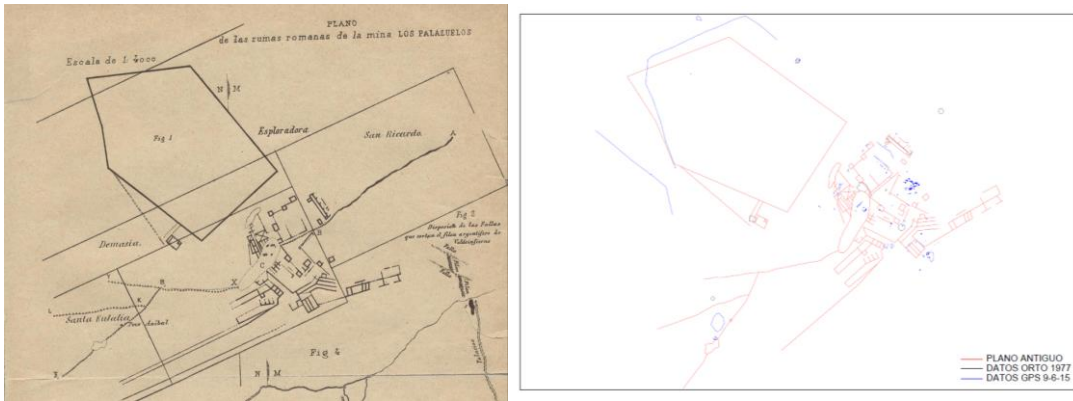


Figura 67. A) Plano de Los Palazuelos (a partir de Mesa y Álvarez 1887 y Domergue, 1987), b) Superposición del plano antiguo con los datos de 1997 y datos de GPS, junio de 2015.

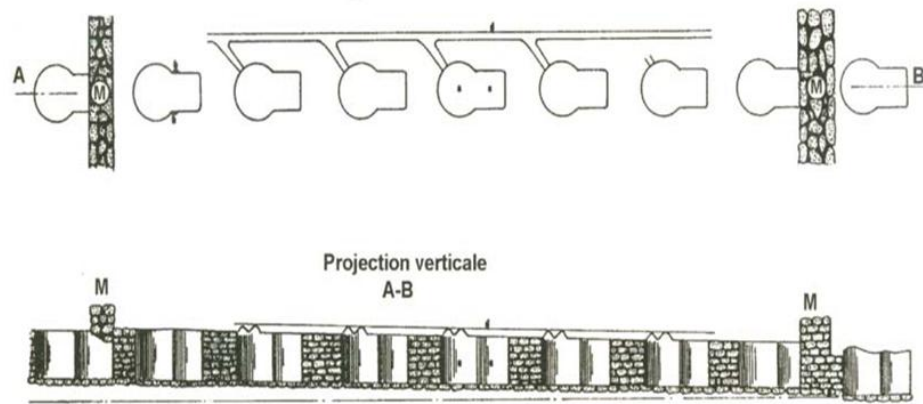


Figura 68. Vistas en planta y alzado del Coto de la Fortuna (Antolinos y Orejas, 2001)

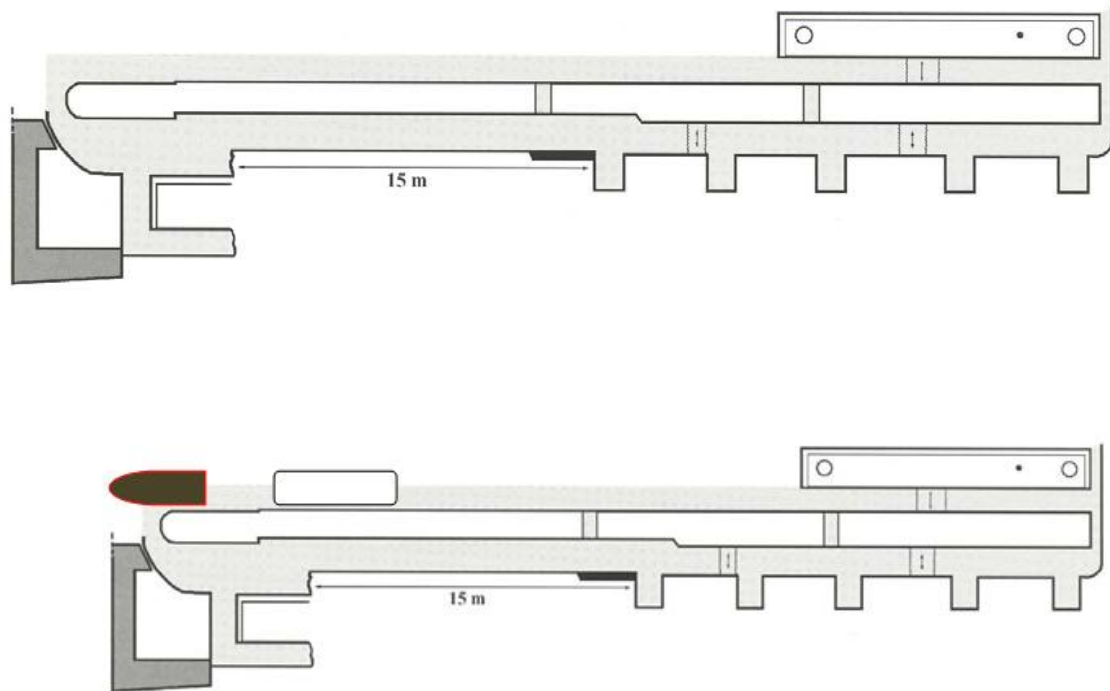


Figura 69. Croquis de las cisternas de Palazuelos. A) Croquis realizado por D. Luis Gutiérrez Soler, B) añadido de las últimas cisternas localizadas (elaboración propia).



Figura 70. Cisterna localizada en la zona del muro sur.

