

TFG

**ESTUDIO HISTÓRICO Y PROPUESTA DE
INTERVENCIÓN DE UNA TUBERÍA DE
PLOMO ROMANA**

Presentado por: LAURA MOYA RUIZ

Tutora: Montserrat Lastras Pérez

Facultat de Belles Arts de Sant Carles

Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Curso 2016-2017



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES**

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un estudio y propuesta de intervención para una tubería de plomo romana procedente del Museo Municipal de Requena, así como medidas de conservación preventiva para la preservación de la pieza.

A partir de la contextualización histórica de la pieza, se ha hecho un breve estudio de la ingeniería hidráulica romana, centrándose en el sistema de tuberías que distribuían y suministraban el agua a los distintos edificios. Estos entramados son una de las fuentes que más datos aporta sobre la estructura y el funcionamiento de las urbes romanas.

Para ello, se ha partido de la lectura de diversas fuentes bibliográficas al respecto, tanto primarias, como secundarias y terciarias.

PALABRAS CLAVE

Fistulae plumbei, tubería, plomo, sistema hidráulico romano, conservación, restauración.

RESUM

En el present treball s'ha fet un estudi i proposta d'intervenció per a una canonada de plom romana del Museo Municipal de Requena, així com una proposta de mesures de conservació preventiva per a garantir la preservació de la peça.

En la contextualització històrica s'ha fet un breu estudi del sistema d'enginyeria romana, centrant-se en el sistema de canonades que distribuïen i subministraven l'aigua als diferents edificis. Aquests entramats són una de les fonts d'informació que més dades sobre les estructures i del funcionament de les ciutats romanes ens aporten.

Per a fer aquest estudi se han consultat diverses fonts bibliogràfiques tant primàries com secundàries i terciàries.

PARAULES CLAU

Fistulae plumbei, tuberia, plom, sistema hidràulic romà, conservació, restauració.

ABSTRACT

The writing here exposed develops a general study of a piece of a Roman lead pipe from the Requena Museum. On the one hand, technical issues related to the pipe have been analysed, in order to get a conservation report of the piece; and on the other hand, use that report to design and make a restoration and conservation plan.

To understand its context, on this work a study of the Roman hydraulic engineering system is made, focusing on the pipes and plumbing system that distributes and supplies water to different buildings. This system is one of the main sources of information about the structure and development of Roman cities. Therefore, many bibliographical sources have been analysed, primary, secondary and tertiary ones.

KEYWORDS

Fistulae plumei, pipe, lead, Roman hydraulic system, conservation, restoration.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	2
3. LA TUBERÍA	3
3.1. Documentación fotográfica.....	3
3.2. Estudios técnicos.....	4
4. CONTEXTO HISTÓRICO	5
4.1. El agua corriente en Roma	6
5. EL SISTEMA HIDRÁULICO ROMANO	7
5.1. Breve evolución del sistema hídrico.....	8
5.2. El sistema hidráulico en la ciudad romana.....	9
5.3. Abastecimiento y alcantarillado.....	10
6. FISTULAE PLUMBEII	14
6.1. <i>Fistulae</i> y <i>tubulii</i>	14
6.2. <i>Fistulae plumbeii</i>	16
7. EL PLOMO	19
7.1. El plomo y su utilización.....	19
7.2. Algunos compuestos y sus usos	21
7.3. Toxicidad del plomo	22
8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN	24
8.1. Estado de conservación.....	24
8.2. Mapas de daños.....	27
8.3. Propuesta de intervención	29
9. CONSERVACIÓN PREVENTIVA	33
9.1. Recomendaciones expositivas	34
10. CONCLUSIÓN	36
11. BIBLIOGRAFÍA	37
12. ÍNDICE DE IMÁGENES	41
13. ANEXOS	47
13.1. ANEXO 1	47
13.2. ANEXO 2.....	50

1. INTRODUCCIÓN

La ascensión y caída del Imperio Romano ha sido uno de los puntos determinantes de nuestra Historia; los avances en esta sociedad han llegado hasta nuestros días. Algunos de los restos arqueológicos más conocidos datan de distintos periodos de la época romana, ya que llegaron a ocupar buena parte de Europa.

De su ocupación de la Península podemos encontrar todavía hoy restos de construcciones, algunas titánicas, que han llegado hasta nuestros días, siendo importantes fuentes de información del funcionamiento de la sociedad de la época, y de su tecnología e ingeniería. Ejemplos de ello son el acueducto de Segovia, o las ciudades romanas de Mérida, Sagunto o Segóbriga, que conservan las estructuras de sus anfiteatros, termas, etc.

Una de las cosas que más se ha destacado en el estudio de la sociedad romana, eran los avances relativos a la distribución del agua en sus enclaves urbanos, y cómo desarrollaban distintos métodos para garantizar el suministro del preciado líquido a las ciudades. Con el estudio de la ingeniería hidráulica romana se tiene un método para profundizar y aportar datos relativos a la estructura urbana de las antiguas ciudades romanas y su funcionamiento.

En la ciudad romana el agua no sólo era necesaria para su uso cotidiano, sino que también era el recurso principal de las termas romanas, lugar de común asistencia por parte de ciertos sectores de la población. Teniendo en cuenta la importancia que tenía para Roma, no es de extrañar que algunos de los recursos que actualmente tenemos para su distribución y saneamiento puedan encontrarse ya en las antiguas ciudades romanas, como es el caso de sistemas de alcantarillado, tuberías de suministros, almacenes y presas.

Preservar los restos y ejemplos, no sólo de las tuberías, sino de todos aquellos vestigios hallados de este sistema de distribución de aguas es interesante, aportando información fundamental en lo relativo a materiales utilizados, periodos de uso y características morfológicas; entre otros.

La pieza ha sido utilizada de forma continuada durante su vida útil, y con el posterior desuso y el enterramiento, sin mantenimiento y a merced de los cambios de pH y la humedad de los suelos ha continuado sufriendo importantes alteraciones. Las características mecánicas del plomo lo convierten en un material fácilmente maleable y susceptible de sufrir deformaciones, debido a que un exceso de presión, o métodos de extracción poco cuidados pueden marcarlo.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1. OBJETIVOS

En este trabajo se hace un estudio del estado de conservación, así como un estudio histórico de un trozo de tubería romana de plomo, con el fin de determinar su contexto y el proceso de intervención adecuado para la preservación de la pieza.

Los **objetivos principales** que se han planteado son:

- Determinar el estado de conservación de la pieza y hacer una propuesta de intervención.
- Establecer un contexto histórico de la pieza y hacer una aproximación a su uso original.

Como **objetivos secundarios**, derivados de este trabajo:

- Recoger y analizar distinta documentación bibliográfica con el fin de estudiar el sistema hidráulico romano para buscar el contexto funcional de la pieza.
- Analizar la importancia del plomo como material, y su uso durante el período romano.
- Establecer unas medidas de conservación preventiva.

2.2. METODOLOGÍA

Para poder alcanzar los objetivos marcados en este estudio, se ha seguido la siguiente metodología:

- Búsqueda de documentación especializada.
- Estudio de fuentes bibliográficas primarias, secundarias y terciarias para extraer información relativa tanto del contexto histórico como de la propia pieza y del material que la compone.
- Análisis y contraste de otras piezas de similares características encontradas en otros yacimientos arqueológicos, y estudio de la información extraída de las mismas.
- Documentación fotográfica y microscópica de la pieza para la caracterización de los distintos productos de corrosión y deterioros del metal.
- Estudio y diagnóstico organoléptico del estado de conservación de la pieza.
- Elaboración de una ficha técnica de la pieza.
- Redacción de una propuesta de intervención de acuerdo a las necesidades observadas en la pieza, así como una temporalización de la misma.

3. LA TUBERÍA

El fragmento de tubería objeto de este estudio forma parte de una tubería de mayor tamaño, de la que también se ha encontrado otro fragmento de mayor longitud.

3.1. DOCUMENTACIÓN FOTOGRÁFICA



Figura 1. Vista frontal de la tubería objeto de este estudio.



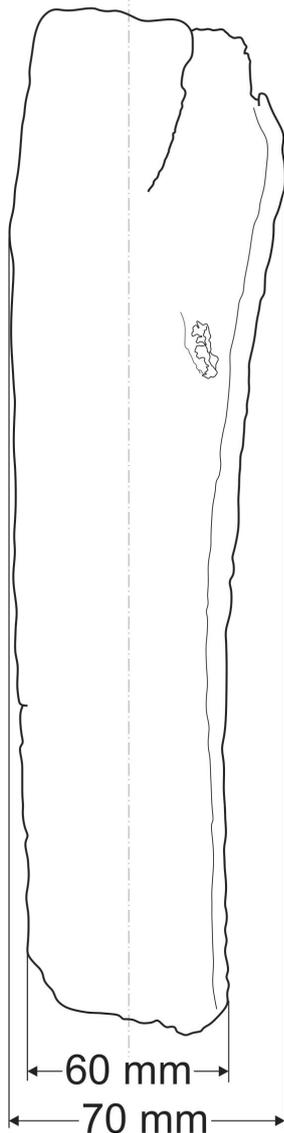
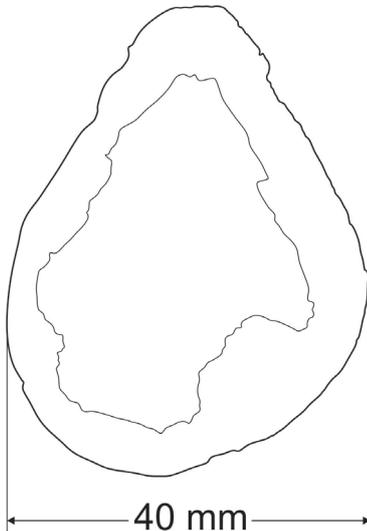
Figura 2. Vista del anverso de la tubería.



Figura 3. Vista superior de la pieza.



Figura 4. Vista inferior de la pieza.



3.2. ESTUDIOS TÉCNICOS

FICHA TÉCNICA

PROCEDENCIA DE LA PIEZA

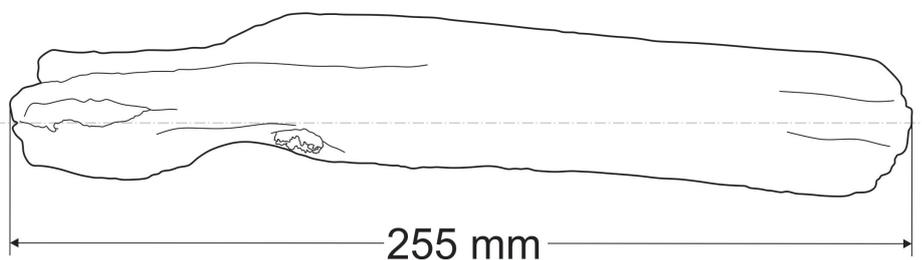
Objeto	Tubería metal arqueológico
Procedencia	Yacimiento desconocido/donación particular
Localización	Museo Municipal de Requena
Cronología	Época romana

CARACTERÍSTICAS DE LA PIEZA

Tipología	Tubería		
Dimensiones	Largo	255 mm.	
	Diámetro irregular	Alto irregular	70 mm.
		Ancho	40 mm.
Peso	1850 g.		
Tipo de material	Plomo		
Técnica	Fundición		
Color	Gris claro, blanco, marrón-rojizo		
Decoración	Ninguna		

ANTIGUAS INTERVENCIONES

Periodo	Fecha de inicio	26/03/2007
	Fecha de finalización	21/05/2007
Tratamiento	Limpieza	- Pruebas con empacos de distintos disolventes - Limpieza mecánica con bisturí y fibra de vidrio - Resina de intercambio iónico (Amberlite IR/20)
	Consolidación, inhibición, montaje	No se ha realizado
	Reintegración volumétrica	No se ha realizado
	Reintegración cromática	No se ha realizado
	Protección	No se ha realizado



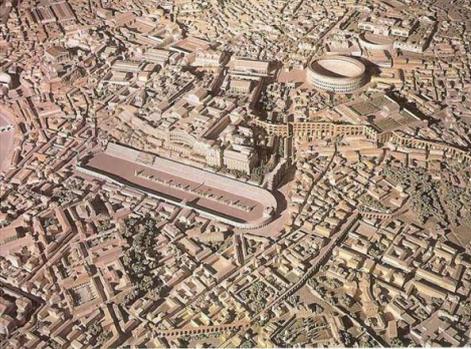


Figura 5. Imagen general de Roma en la época Imperial.

4. CONTEXTO HISTÓRICO

Una de las mayores herencias romanas que han llegado a nuestros días ha sido la ingeniería civil que desarrollaron con el fin de extraer los recursos naturales que les proporcionaba su entorno.

Los autores griegos y romanos antiguos cuyos textos hablan de la magnificencia de los acueductos no lo hacen como referencia al hecho en sí de que sean puentes-acueducto de un gran tamaño (fig. 6), sino que realmente hacen referencia al sistema de abastecimiento que desarrolló la sociedad romana para tener agua corriente en las casas y calles. Esta calidad en el sistema de aguas no se ha vuelto a repetir hasta bien entrado el siglo XIX, o mitad del XX en ciertos casos.



Figura 6. Imagen del acueducto de Segovia.

Lo realmente admirable era la ingeniería que hacía posible el abastecimiento, partiendo de la localización de una fuente de agua apta para su uso en la ciudad y acorde a sus necesidades (tanto en parámetros de cantidad como de calidad); su transporte desde dicho punto hasta la urbe o urbes, que en muchos casos implicaba salvar grandes distancias¹, manteniendo y garantizando siempre la calidad del agua y su constante suministro; finalmente, conseguir que un agua limpia fluyese por distintos surtidores y llegara a aquellos que lo tuvieran contratado, abriendo un grifo de su casa de forma totalmente regulada². Este sistema se extendió según avanzaba el Imperio Romano (fig. 7).

Es importante conocer el concepto de agua y su importancia en la sociedad romana para entender el desarrollo tan llamativo que tuvo en la antigua Roma.

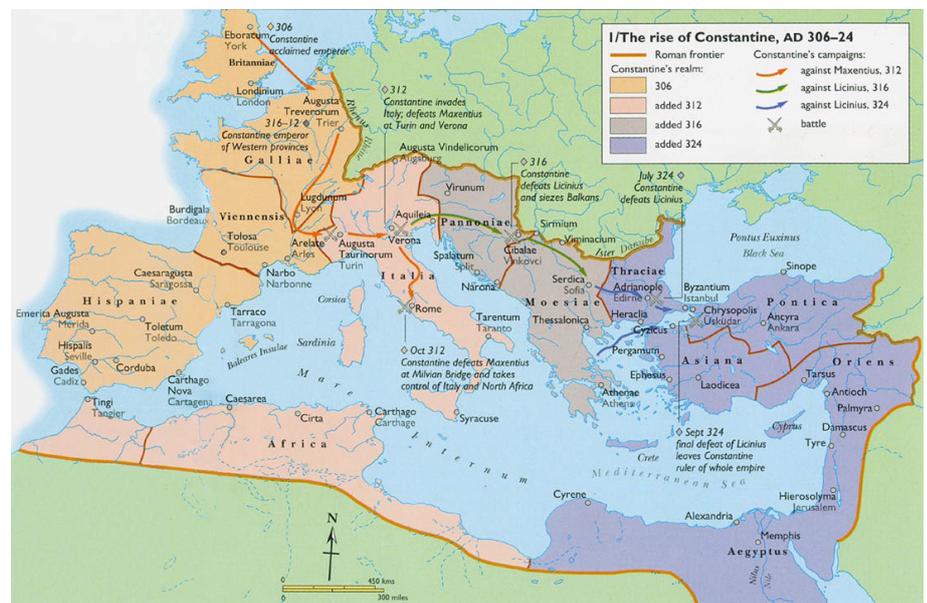


Figura 7. Mapa de la evolución y expansión del Imperio Romano.

1 BENITO, O.(2015) La ingeniería hidráulica Romana: análisis de técnicas, p 93.

2 De la PEÑA, J.M. Sistema Romano de abastecimiento de agua. en Aquee, p. 249.



Figura 8. Acueducto romano

4.1. EL AGUA CORRIENTE EN ROMA

A pesar de que se pudiera considerar que el proceso de abastecimiento de aguas romano guardaba cierta similitud con el que tenemos actualmente, su sistema no estaba concebido de la misma manera.

Los romanos buscaban llevar el río a la ciudad, pretendían mantenerlo a través de nuevos cauces y canales que conducían por donde querían (fig. 8), para conseguir que el agua se preservara como estaba, sin alterar su calidad. Consideraban que estaban haciendo ramificaciones del mismo río que conducían a los lugares de destino, generando una corriente constante y fluida que iba por cada tubería y conducto del sistema hidráulico. Esto suponía que si esa agua no salía por un grifo, lo haría por otro que estuviera abierto, pero no se estancaría en ningún momento, sino que estaría en movimiento como el fluir de un río, hasta el momento del desagüe³.

Teniendo en cuenta esta concepción, se puede entender la forma en que medían el caudal del agua que corría, y que permitía establecer el coste e impuestos a pagar por el suministro de agua en cada edificio o vivienda. En lugar de utilizar una medida basada en el volumen que pasa por una sección de la construcción en una unidad de tiempo determinada, lo que hacían era una medición mediante la sección de la tubería que suministraba el agua a cada edificio o domicilio. Lo que se estableció, pues, era una unidad básica de medida de sección de las tuberías, la *quinaria*⁴.

Esta diferencia en la concepción del sistema hidráulico dificulta que se pueda establecer una equivalencia entre nuestro sistema de medidas de caudal y el romano.

3 De la PEÑA, J.M. *Op. Cit.*, p. 250.

4 *Ibid.*, p. 253.



Figura 9. Plano de la antigua Híspalis (actual ciudad de Sevilla).

5. EL SISTEMA HIDRÁULICO ROMANO

Como ha sucedido en la mayoría de las culturas, las ciudades romanas solían situarse cerca de grandes ríos o fuentes de agua, en sus riberas, como en el caso de Zaragoza (Caesar Augusta) y el Ebro, Sevilla (Híspalis) y el Guadalquivir (Betis) (fig. 9), etc. Además de situarse estratégicamente en zonas próximas al agua, tenían otra cosa en común: el agua de estos ríos no se utilizaba para el consumo humano. Estas ciudades romanas se valían de grandes acueductos y conducciones que traían agua de otros lugares (fig. 10).

El motivo por el cual hacían semejante inversión en la búsqueda de otras fuentes de agua se asemeja a la actual: buscaban aguas limpias y puras, lo más sanas y saludables posibles, de gusto agradable y transparentes, alejadas de zonas de agricultura y animales que pudieran alterarlas o contaminarlas. Como hacemos actualmente con el agua embotellada que se compra, los romanos buscaban los mejores manantiales, fuentes naturales, etc. Y desarrollaban la mejor forma de llevar dichas aguas a sus ciudades.⁵

El sistema hidráulico romano estaba pensado para mantener el agua clara, pura, limpia y apta para su consumo, a lo largo de la distancia que fuera necesaria, sin que en su transporte se alterara. Mantenían el agua en constante movimiento, evitando al máximo que se dieran estancamientos que dieran paso a factores que la contaminaran. Este refinado sistema fue evolucionando constantemente a lo largo de la historia de la Roma antigua.

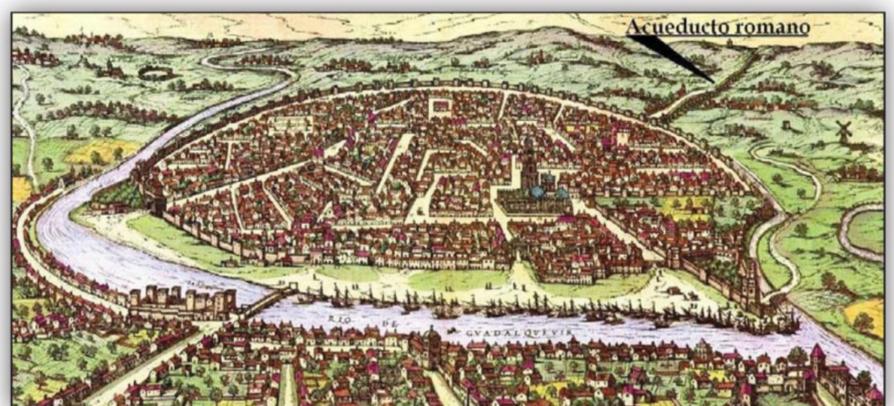


Figura 10. Detalle del plano de Sevilla, Híspalis, del "Civitates Orbis Terrarum" Volumen IV de 1588. Se aprecia el acueducto romano de abastecimiento de la ciudad.

⁵ *Ibid.*, p. 251.



Figura 11. Esquema de la terma romana de Caracalla

5.1. BREVE EVOLUCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO

En sus inicios, previo a la primera conducción, en la antigua Roma, el uso de agua doméstica era muy limitado, con la llegada de las canalizaciones se fueron introduciendo poco a poco distintos hábitos y usos lúdicos y de aseo personal (fig. 11) dentro de la vida de sus habitantes.

Antes de los acueductos, los romanos excavaron pozos para aprovechamiento del agua almacenada en las capas freáticas que ha seguido en uso en muchos pueblos y aldeas hasta bien entrado el siglo XX. La calidad de las aguas subterráneas dependía de la naturaleza del terreno; de la mayor o menor contaminación causada por los hombres, animales, etc. En la época romana esta forma de abastecimiento de agua potable no fue muy aceptada para las grandes ciudades.

Otra forma de asegurarse el abastecimiento de agua fue mediante la construcción de cisternas, donde se recogía y almacenaba 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 mecanismos como norias, accionados mediante fuerza humana. Eran muy utilizados en agricultura para irrigación, en minería para el achique de agua de pozos...

La primera red de abastecimiento de agua en Roma con conducciones estaba formada por un canal de entrada a la ciudad, subterráneo y sin derivaciones hasta que atravesaba los muros de la urbe. Dentro de la ciudad, se distribuía en un esquema en el que primaba el abastecimiento público, como las fuentes o surtidores públicos⁶ (fig.12).

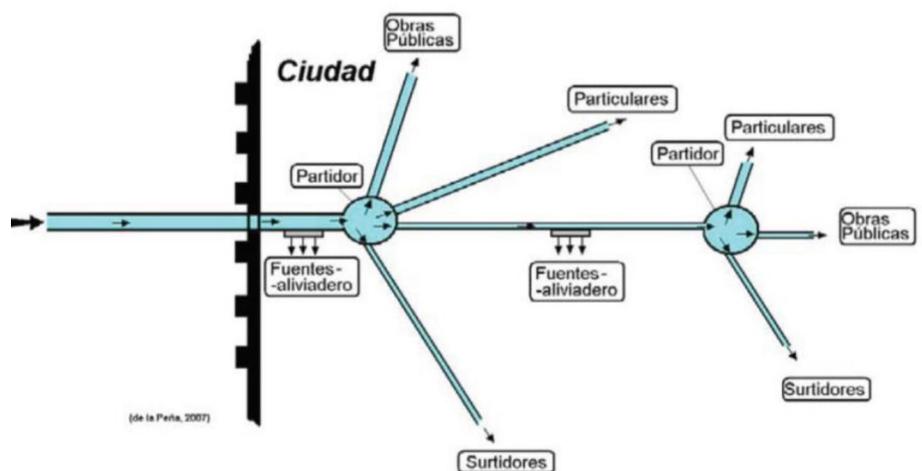


Figura 12. Esquema de abastecimiento de agua a Roma en su etapa inicial, con las primeras conducciones.

Con el aumento de la demanda de agua, se hizo necesario un aumento de la distribución a otros edificios de carácter público, como termas o cuarteles.

6 *Ibid.*, p. 251.

El agua restante no utilizada se destinaba a concesiones privadas, generalmente concedidas únicamente a personas de relevancia de Estado o nobles. Con el tiempo, el abanico de destinatarios de estas concesiones se fue agrandando (fig. 13), si bien es cierto que ya había gente que se conectaba de forma no autorizada a la red de abastecimiento de aguas, lo que hizo necesario elaborar estudios y hacer inspecciones para el control de fraudes.⁷

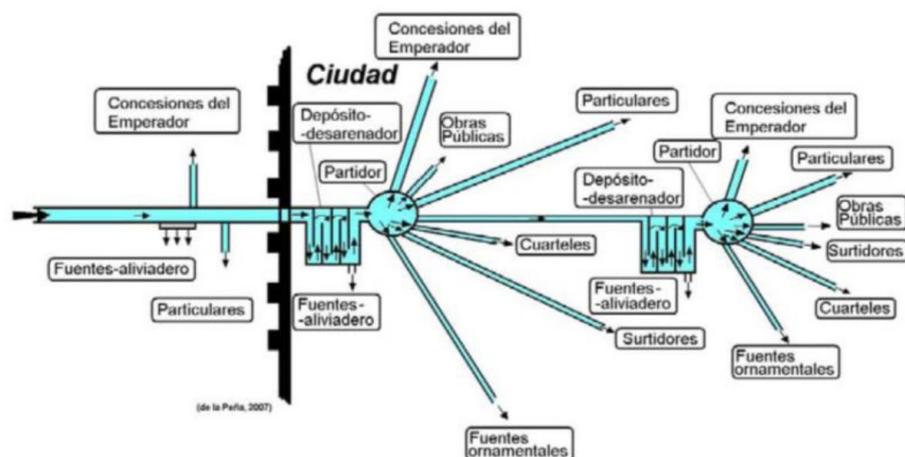


Figura 13. Esquema evolucionado de distribución de agua a Roma, en época de Frontino.

La principal fuente de información sobre el sistema hidráulico romano proviene de Frontino, quien realizara un informe técnico sobre la red de abastecimiento en Roma. En sus estudios recoge los tipos de tuberías y su medida, haciendo él mismo las mediciones pertinentes a lo largo de distintos trayectos, para comprobar diámetros, permisos, concesiones, etc. Con ello, buscaba dos cosas: una regulación del buen uso de agua, y una detección de incidencias.⁸

5.2. EL SISTEMA HIDRÁULICO EN LA CIUDAD ROMANA

La importancia del agua en el Imperio Romano se ve reflejada en los hallazgos relativos al sistema de abastecimiento de agua de las ciudades romanas. De todo este entramado hídrico, todavía se conservan vestigios que han permanecido en buen estado o incluso en funcionamiento hasta épocas muy recientes, como tuberías, aljibes, acueductos, etc.

De todos éstos, lo que ocupa este trabajo es el entramado de tuberías de las ciudades romanas que, además, son el elemento plúmbeo más habitual y conocido del sistema hidráulico romano en las ciudades. A pesar de ello, el

⁷ *Ibid.*, p. 276.

⁸ *Ibid.*, p. 277.

plomo es un metal relegado a un segundo plano en investigaciones arqueológicas, y en el mundo romano solía ser utilizado como metal auxiliar para otros materiales, lejos de otros elementos metálicos más vistosos y artísticos.

En la ciudad romana, el agua y su utilización normalizada comprendía un ciclo con tres etapas: el abastecimiento y conducción, la distribución dentro del entramado urbano y el drenaje/evacuación de la misma⁹ (fig. 14). A lo largo de todo el proceso de conducción del agua era común encontrarse con la presencia de elementos de plomo en las partes más importantes. A pesar de ello, sus propiedades y características han hecho que se haya expoliado desde la antigüedad y reutilizado, por lo que en los yacimientos arqueológicos este tipo de piezas suponen una mínima parte de los que debieron existir en su momento.

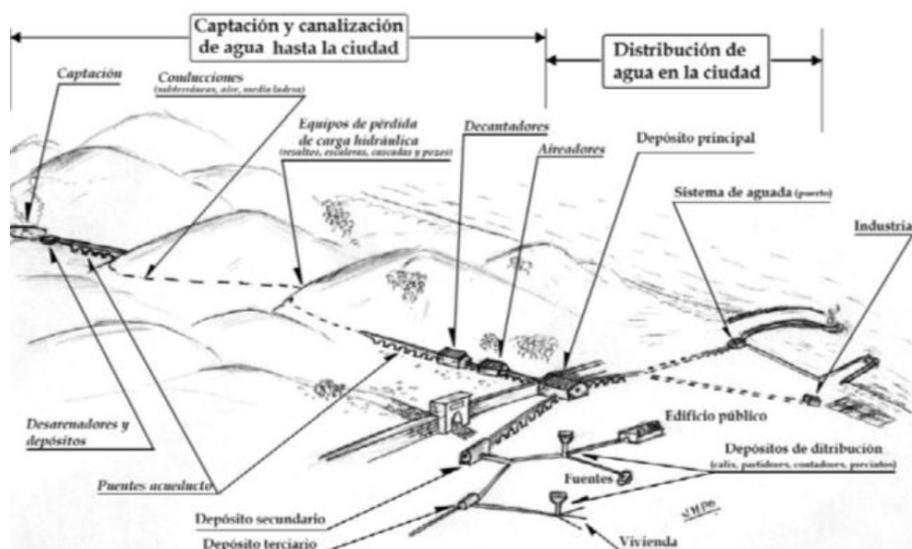


Figura 14. Dibujo esquemático de la estructura de una red de abastecimiento de agua romana.

5.3. ABASTECIMIENTO Y ALCANTARILLADO

El abastecimiento de agua potable romana se realizaba sin ningún tratamiento del agua (desinfección, bacteriológico...), sino que era suministrada de forma directa, llegando directamente del lugar de captación a la población receptora. Los romanos consideraban que el agua debía ir a salvo de la luz, ya que de esta forma se evitaba la proliferación de algas, bacterias y otros agentes contaminantes, por lo que cubrían la mayoría de tramos de los acueductos y conducciones utilizadas para el agua de consumo humano. De esta forma el agua tampoco se ensuciaba con polvo, materia orgánica, obstrucciones por derrumbes, etc.¹⁰.

9 EGEA, A. (2005). "Ingeniería hidráulica en el Ager de Carthago Nova: p. 148.

10 BENITO, O.(2015) La ingeniería hidráulica Romana: análisis de técnicas, p 93.

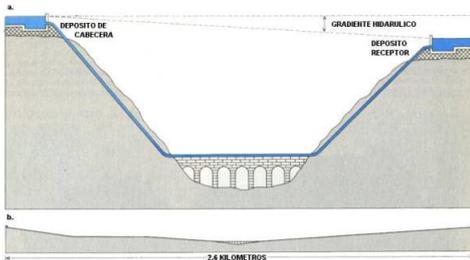


Figura 16. Esquema del uso de sifones para la conducción de agua.



Figura 17. Acueducto romano de Gades, expuesto en la plaza de Asdrúbal de Cádiz.

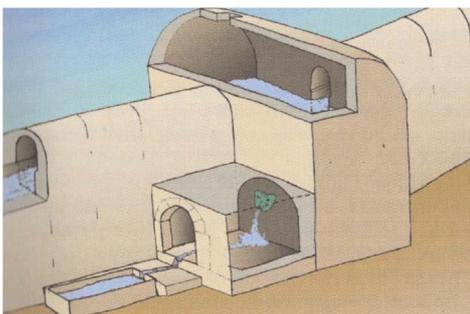


Figura 18. Esquema de una *piscina limaria*.

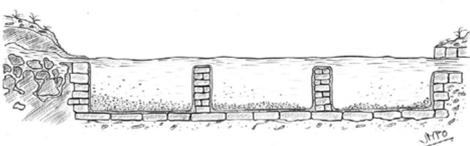


Figura 19. Imagen de un depósito de decantación.

La captación y conducción

Los romanos solían captar agua de distintas fuentes, siendo los manantiales el principal recurso, por ser más fácil de extraer. Otra de sus principales vías para conseguir agua era mediante la derivación de ríos y arroyos, que almacenaban en embalses con presas. Se han hallado restos de plomo en construcciones de estas características, como en la presa de Proserpina, de donde partía uno de los tres acueductos que surtían de agua a Emerita Augusta.

La red comenzaba en un punto de captación de agua estratégico que se adaptara a las características hídricas que buscaban los romanos, lejos de aguas estancadas y enturbiadas (fig. 15).

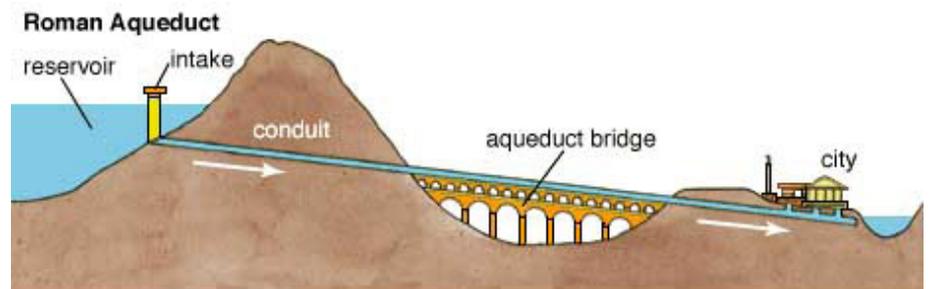


Figura 15. Esquema de la conducción de agua desde la captación a la ciudad.

A partir de los puntos de abastecimiento se establecen conducciones que permiten transportar agua a las ciudades mediante dos sistemas principales: la libre circulación por canales (hechos de mampostería impermeable), y el de circulación bajo presión, mediante sifones y tuberías. Las conducciones por canales eran las más comunes, si bien es cierto que en aquellos casos en que el trazado accidentado del terreno del acueducto lo necesitaba, se utilizaban sifones¹¹ (fig. 16). En muchos casos, estos sifones eran fabricados con muy diversos materiales, siendo los encañados cerámicos y de plomo los más comunes.

La mayoría de los acueductos romanos eran subterráneos (fig. 17). Una mínima parte se construía al aire libre, con muros de sostén y sólo en casos concretos se empleaban las arcadas.

Era frecuente hallar una *piscina limaria* (fig. 18) o depósito de decantación (fig. 19) en el tramo final de la canalización que permitía reducir y eliminar aquellas partículas que pudiera arrastrar el agua antes de que llegara a la ciudad¹². Este método permitía que el agua conservara su calidad antes de empezar el recorrido por el sistema de tuberías de la ciudad. En las proximidades de las ciudades, se hacía otra decantación y se aireaba el agua en un espacio llamado *contectis piscinis*, que también servía para los propios depósitos de distribución de las ciudades¹³.

11 Sólo se daba en casos de extrema necesidad, donde se basaban en la teoría de los vasos comunicantes para su transporte.

12 BENITO, O.(2015) La ingeniería hidráulica Romana: análisis de técnicas, p. 256.

13 BENITO, O. *Op. cit.*. pp. 45-46.



Figura 20. Restos arqueológicos del castellum divisorium de Nîmes



Figura 21. Maqueta de un castellum divisorium. Se aprecia un único acceso de agua y las múltiples salidas.

El abastecimiento

Existían, básicamente, dos formas de distribuir el agua en la ciudad: simple o compleja. Se llama distribución simple a la que se daba cuando la ciudad tenía un único acueducto de abastecimiento; en el caso de una urbe de mayor tamaño y demanda de agua, se daba el sistema complejo, en el cual se daban interconexiones entre varios acueductos, compensando los caudales de cada caso de entrada y uso.

El agua canalizada a la ciudad se recogía en un depósito (*castellum aquae/castellum divisorium*), a partir de donde se hacía la distribución del agua por el resto de la ciudad (fig. 20). Aunque hay pocos datos relativos a estos depósitos, generalmente presentaban una serie de características comunes. Por un lado, una entrada de agua única, entrada del acueducto o canalización; por otro, varios orificios de salida, cada uno de ellos con una tubería de plomo empotrada que distribuía el agua.¹⁴

De los *castellum* (fig. 21) arrancan una serie de tuberías principales que se subdividen para dar suministro a las propiedades privadas, como casas, mientras que otras tuberías de mayor volumen de torrente, proveía a edificios más grandes, termas, etc. La ley romana en época de Frontino identificaba y diferencia totalmente los dos sectores de distribución de agua¹⁵: las aguas públicas (*res publica*)¹⁶, y las aguas privadas.

En el *castellum divisorium* las tuberías discurrían por el subsuelo, a poca profundidad, subdividiéndose en los diversos sectores de la red de forma progresiva mediante la bifurcación de las *fistulae*. Existen los *castella* secundarios en algunas ciudades romanas, denominados *castella dividicula*. Éstos eran depósitos que permitían tener un mejor seguimiento de los desperfectos y deterioros del entramado hidráulico, así como un mayor control de los posibles fraudes que pudieran cometerse. Este tipo de distribución se hizo obligatoria a partir del siglo XI a.C., cuando se establece una ley que regula las concesiones de agua a los particulares, ya que antes de ésta, el abastecimiento a las construcciones particulares se hacía interceptando las grandes tuberías públicas que circulaban por la ciudad, según pasaban cerca de las viviendas¹⁷.

La distribución y uso de agua tenía un precio que los propietarios pagaban en base al agua contratada, cuya cantidad venía determinada por el diámetro de la tubería de acceso instalada. Frontino sospechaba la existen-

14 EGEA, A. (2002). "Características principales del sistema de captación, abastecimiento, distribución y evacuación de agua de Carthago Nova". p19.

15 PACE, P. (2010). "Acquedotti di Roma e il *De aquaeductu* di Frontino". pp. 188-189.

16 La *res pública* a la que hace referencia la ley romana no se concibe como *Estado*, como sucede hoy día, sino que se entiende en un sentido más literal, como *propiedad de los ciudadanos* (*civitas*). Hay que tener en cuenta que en los distintos periodos romanos la noción de *res publica* fue cambiando (Época Imperial, la República...)

17 CANO, A.I. y ACERO, J. (2004). "Los usos del plomo en la ingeniería hidráulica romana. El caso de Augusta Emerita". pp. 387-388.

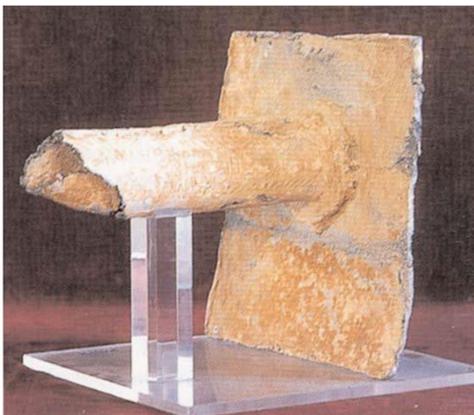


Figura 22. Imagen de un supuesto *calix* romano. Colección Ròmul Gavarró.

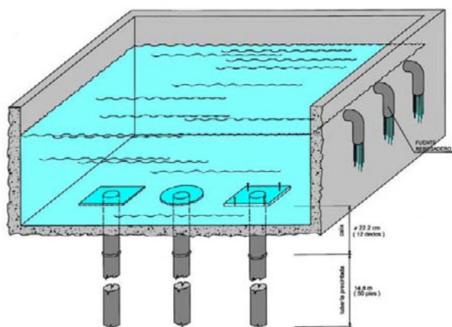


Figura 23. Esquema de un cuarto de contadores romano, en el que aparecen diversos tipos de contadores y formas de instalarlos. En la parte superior se aprecian aliviaderos del depósito que alimentan a una fuente pública.

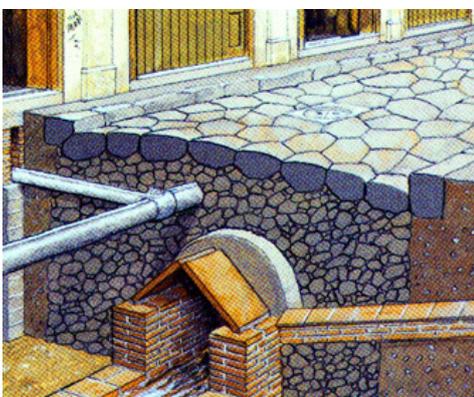


Figura 24. Reconstrucción del sistema de alcantarillado de Roma.

cia de un fraude generalizado del uso y distribución del agua, favorecido por la dejadez de la administración del sistema público de distribución. En su informe sobre los acueductos romanos¹⁸, Frontino habla de la existencia de unos tubos de bronce calibrados, que él denomina *calix* (fig. 22) y que harían la función equivalente a nuestros contadores de agua actuales. Se trataba de una tubería unida a una carátula que se empotraba en la pared y se unía al resto de la tubería. Este mismo elemento se empotraba en los *castella aquarum* que distribuían agua los distintos puntos de la ciudad (fig. 23).

Al utilizar estas piezas en la salida de las tuberías se evita el fraude más común de la época, consistente en el engrosamiento del diámetro de las tuberías de plomo¹⁹, obteniendo una mayor cantidad de agua. El *calix* debía ser de bronce por ser un metal más difícil de manipular y alterar por los usuarios, actuando como precinto del punto de enganche de la tubería de plomo al *castellum* secundario. El *calix* contaba, además, con una decoración en su superficie para evitar su falsificación o manipulación²⁰.

La evacuación

La evacuación de las aguas residuales de la ciudad romana se hacía mediante un sistema de alcantarillado (fig. 24), que corría bajo las calles de la ciudad y que recogía el agua sucia o sobrante de las casas, edificios públicos o las propias calles, que se conducían fuera de la misma y se vertían, generalmente, en ríos cercanos o al mar²¹. Según Alba Calzado, se pueden diferenciar los conductos de conducción de agua de los de evacuación porque los primeros solían ser cerámicos o plúmbeos, mientras que los segundos estaban fabricados heterogéneamente²².

18 *De Aquaeductu Urbis Romae*

19 CANO, A.I. y ACERO, J. (2004). "Los usos del plomo en la ingeniería hidráulica romana. El caso de Augusta Emerita". p. 390.

20 Frontino, S. J. *Los acueductos de Roma*. CSIC. Madrid, 1985.

21 ACERO, J. (2007). La gestión de los residuos líquidos en Augusta Emerita. pp. 266.

22 ALBA, M. (2001): "Apuntes sobre la red de aguas de Mérida en época romana", p. 68.



Figura 25. Ejemplos de tuberías cerámicas.



Figura 26. Tubería de plomo romana.

6. FISTULAE PLUMBEII

6.1. FISTULAE Y TUBULII

En conjunto se utilizaban principalmente cuatro tipos de tuberías, dependiendo del uso que se le iba a dar:

- Tuberías de barro. Podían trabajar a presión, en descarga (para bajantes de casa), y en lámina libre.
- Tuberías de plomo. Se utilizaban a presión, distinguiendo distintas tipologías en base al calibre, grosor y soldadura (planas, pico y montículo).
- Tuberías de piedra. Siempre iban a presión y dentro de la ciudad, sólo se usaban para comunicar entre depósitos.
- Tuberías de bronce. Se destinaban a pequeños tramos junto a grifos, contadores, calibradores...

Sin embargo, de todos los tipos de tuberías, los romanos utilizaban principalmente dos para la conducción de agua: las conducciones cerámicas (*tubuliis*) (fig. 25), y las de plomo (*fistulis plumbeis*) (fig. 26). Estas tuberías se instalaban normalmente en galerías visitables, de forma que se pudiera acceder a ellas para ser revisadas y llevar a cabo labores de mantenimiento²³.



Figura 27. Sistema de tuberías cerámicas de Éfeso.



Figura 28. Tuberías de cerámica halladas en Los Baños de la Reina, expuestas.

Una hipótesis sobre el uso de *tubuli* y *fistulae* es postulada por Alba Calzado, que sostiene que los conductos cerámicos, menos resistentes a la presión, se fueron sustituyendo progresivamente por tuberías de plomo a medida que se iban produciendo averías en la red hidráulica²⁴. La desaparición de la red de agua podría haberse dado en el siglo V d.C. en época visigoda, cuando el corte de suministro de agua motivaría el desmantelamiento de la red de tuberías, reutilizando el plomo para otros fines²⁵.

En comparación con el volumen original de tuberías y elementos de fontanería que debieron existir, los restos conservados son escasos y en muchas ocasiones están fuera de contexto (fig. 28). Desde época antigua el saqueo y reaprovechamiento de este metal ha hecho que se hayan perdido en gran medida. Encontrar estos elementos hidráulicos, así como los *castella* secundarios fabricados con plomo, es complicado debido a que sistemáticamente se han destruido para la reutilización del plomo.

Las *tubuliis* presentaban como principal ventaja su menor coste de fabricación, así como la mayor facilidad para la manipulación de las piezas en acciones de reparación o intercambio de los tubos. Por el tipo de materia prima, estas labores no sólo resultaban más sencillas, sino que podían ser realizadas por cualquier operario.

El principal inconveniente de las tuberías cerámicas era la estanqueidad, y su relativa escasa resistencia a la tracción que presenta el material cerámico. Esta escasa resistencia la obviaban usándolas en sifones donde no eran sometidas a una presión elevada. Por otro lado, para solventar los problemas de estanqueidad, se utilizaba una pasta especial (*malthae*)²⁶.²⁷

Las *fistulis plumbeis* (fig. 29) presentaban como principal ventaja la gran resistencia a las presiones que podían soportar. A pesar de ello, debían revisarse para evitar problemas que, generalmente, derivaban de su punto más débil, la soldadura.

Existen diversos testimonios que hablan sobre la mayor idoneidad de uno u otro material en la fabricación de estas tuberías, algunos de los cuáles ya trataban de la toxicidad del plomo y cómo podía afectar a la salud. Vitruvio, por ejemplo, defendía el uso de la cerámica por conservar el agua más pura, y tachaba al plomo de mineral muy perjudicial para el hombre: “El agua es más sana viniendo de tubulii que transmitida por fistulae; la razón es que el plomo la vicia por este motivo, parece que de él sale el albayalde que parece nocivo para la salud.”²⁸



Figura 29. Tubería de plomo romano de suministro de agua del Baño principal en los Baños Romanos.

24 ALBA CALZADO, M. (2001): “Apuntes sobre la red de aguas de Mérida en época romana” en *Mérida, Ciudad y Patrimonio*, nº5. Mérida, p.59-78.

25 BENITO, O. (2015) *La ingeniería hidráulica romana: análisis de técnicas*. TFG. UPV

26 Pasta adherente hecha de cera coloreada o betún seco, utilizado, entre otras cosas, como aislante, según Plinio el Viejo.

27 BENITO, O. *Op. cit.* p.44.

28 EGEE, A. (2002). “Ingeniería hidráulica en Carthago Nova: las tuberías de plomo” P. 168.

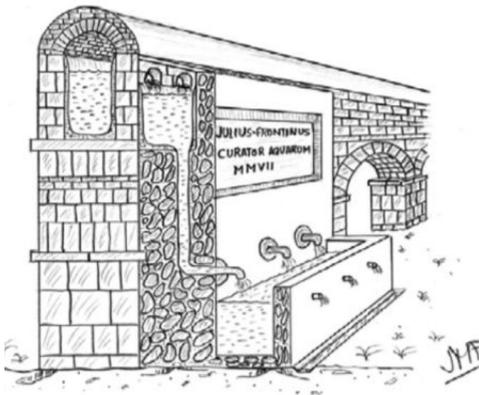


Figura 30. Fuente aliviadero típica romana.

En el Imperio Romano, el plomo no era uno de los materiales más caros, ya que en diversos territorios dominados por Roma este metal era uno de los más abundantes. A pesar de ello, se encarecía su uso debido a diversos motivos. Por un lado, la dificultad en su transporte por su elevado peso y densidad; por otro lado, el hecho de que para su manipulación y tratamiento requería de personal específico y cualificado; especializado en la fabricación, colocación y soldadura de sistemas de tuberías de este material.

Las fuentes públicas y privadas (*labrum*) (fig. 31), eran el elemento más visible de la red de distribución de aguas en las ciudades romanas, siendo imprescindibles para el abastecimiento de agua a la población, ya fuera para beber como para usos higiénicos. Estas fuentes eran, además, una forma de bajar la presión que el agua provocaba en las tuberías, no permitiendo que ésta rebosase.

6.2. FISTULAE PLUMBEI

Las tuberías de plomo se fabricaban utilizando un cilindro de madera (fig. 31), que determinaba las medidas de las mismas. En el proceso, la lámina de plomo se enrollaba sobre este cilindro (fig. 32), soldándose la zona de junta y adaptando bien el plomo a la madera (fig. 33). Estas tuberías eran de unos 3 metros de largo, aproximadamente, y el ancho de la plancha de plomo variaba entre los tres y los cinco centímetros²⁹.

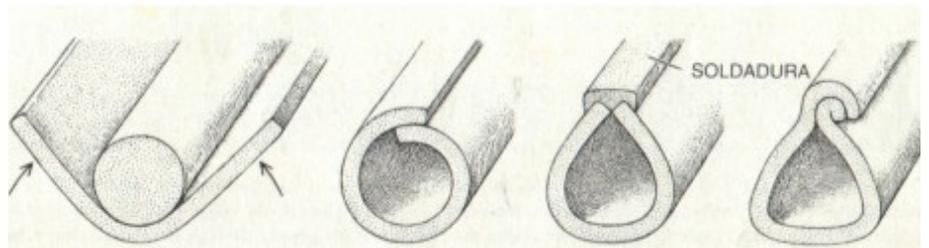


Figura 31. Esquema del proceso de fabricación de una tubería de plomo



Figura 32. Proceso de fabricación de tuberías de plomo en la antigua Roma.

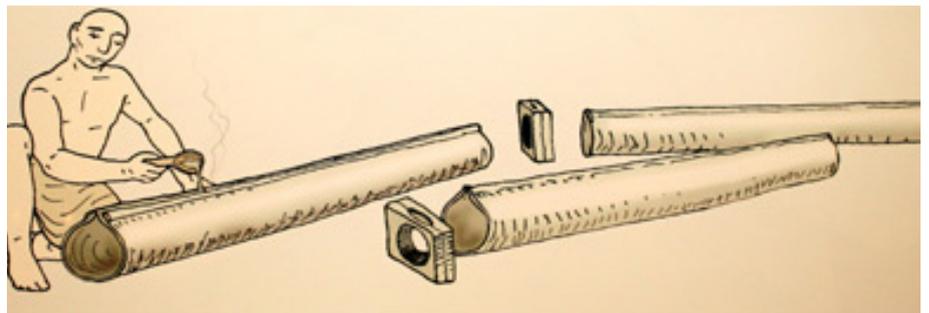


Figura 33. Proceso de sellado de la tubería de plomo en la antigua Roma.

El conocimiento de cómo medían los romanos el agua se basa en una unidad básica de referencia, la *quinaria*, cuyo valor viene marcado por la circunferencia de la tubería. Su valor real en volumen se ha querido trasladar a medidas actuales sin éxito y actualmente sólo se pueden utilizar valores comparativos aproximados dentro de una horquilla determinada por el tipo de sección y la carga hidráulica que podría conducir. Frontino es el autor que va describiendo las capacidades de cada tipo de conducción, siendo la fuente más fidedigna que tenemos actualmente. En sus estudios postula sobre el origen de las quinarias, apuntando a la época del emperador Agrippa, y siendo secundado por diversos autores posteriores. Además, es autor del esquema de red de abastecimiento más desarrollado que fueron estableciendo los romanos en la ciudad a lo largo de su historia.

Como ya se comentara anteriormente, el uso de las tuberías de plomo se fue generalizando, sustituyendo las conducciones cerámicas. El tipo, tamaño y forma de las tuberías se hacen a medida y se adaptan a las necesidades del sitio, siendo más sencillo solucionar problemas de sellado, juntas, etc. mediante soldaduras.



Figura 34. Tubería de plomo, con un sello del fabricante, hallado en el foro romano de Caesar Augusta.

El principal problema derivado del uso de las tuberías de plomo, por otro lado, era su elevado coste de mantenimiento, manufactura y manipulación, ya que, debía realizarse por parte de trabajadores preparados y especializados. Este personal preparado para trabajar con las *fistulae* eran los llamados *plumbarii* que estaban presentes en todo el proceso de fabricación: desde la confección de las planchas de plomo hasta su colocación, empalme, reparación y mantenimiento. Cada taller marcaba las tuberías con un sello característico propio para diferenciarlas (fig. 34).³⁰

A partir de la época augustea se empezó a fabricar la *fistulae* de forma estandarizada, determinándose un calibre concreto en función del caudal de agua necesaria.

Algunos calibres tenían un uso específico, como en estos casos:

- **Quinarias** (*Quinarius*) Es el nombre del calibre básico, el de menor dimensión.
- **Denaria y duodenaria** (*Denum quinum*). Estos tipos de canalizaciones se destinan a un uso doméstico, ya que su capacidad de transmisión es más reducida. La duodenaria se deja de emplear a finales del siglo I d.C.
- **Vicenaria**. Este tipo de tubería suele estar ligada a un edificio público o para el abastecimiento de alguna obra monumental, una instalación industrial o factoría.

30 CANO, A.I. y ACERO, J. (2004). "Los usos del plomo en la ingeniería hidráulica romana. El caso de Augusta Emerita". pp. 382-383.



Figura 35. Vista de la tubería objeto de este estudio. Se aprecia la irregularidad de la sección.

Los tubos de plomo no se hacían con una sección circular, sino que presentaban una forma ovalada (fig. 35), de esta manera se ajustaba al núcleo de madera de la misma. Según Vitrubio, el nombre de quinaria podría venir por estar hecha a partir de una plancha lisa de plomo de cinco dedos de anchura, curvada cilíndrica, formando un tubo de esta medida. El grosor de una tubería aporta información sobre la funcionalidad del edificio, o zona en la que se utiliza.

En esta tabla se recoge una lista más extensa:

VALORES DE LOS TUBOS DE PLOMO NORMALIZADOS							
Denominación de la tubería	Diámetro		Sección		Perímetro		Quinarias
	Dedo	cm.	Dedo2	cm.2	Dedo	cm.	
Quinaria, 5/4	1,25	2,31	1,23	4,19	3,93	7,27	1,00
Senaria, 6/4	1,50	2,78	1,77	6,07	4,71	8,71	1,44
Septenaria, 7/4	1,75	3,24	2,41	8,24	5,50	10,18	1,96
Octonaria, 8/4	2,00	3,70	3,14	10,75	6,28	11,62	2,56
Denaria, 10/4	2,50	4,63	4,91	16,84	7,85	11,52	4,00
Duodecenaria, 12/4	3,00	5,55	7,07	24,19	9,42	17,43	5,75
Denumquinum, 15/4	3,75	6,94	11,04	37,83	11,78	21,79	9,00
Vicenaria, 20/4	5,00	9,25	19,63	67,20	15,71	29,06	16,00
Vicenum quinum	5,64	10,43	25	85,44	17,73	32,80	20,36
Tricenaria	6,18	11,43	30	102,61	19,42	35,93	24,43
Tricenum quinum	6,68	12,36	35	119,98	20,97	38,79	28,51
Cuadragenaria	7,14	13,21	40	137,06	22,42	41,48	32,59
Cuadragesimum quinum	7,57	14,00	45	153,94	23,78	43,99	36,66
Quicuagenaria	7,98	14,76	50	171,10	25,07	46,38	40,74
Quicuagesimum quinum	8,37	15,48	55	188,21	26,29	48,64	44,80
Sexagenaria	8,74	15,17	60	205,36	27,46	50,80	48,88
Sexagesimum quinum	9,10	16,84	65	222,73	28,58	52,87	52,96
Septuagenaria	9,44	17,46	70	239,43	29,66	54,87	57,02
Septuagesimum quinum	9,77	18,07	75	256,45	30,70	56,80	61,10
Octogenaria	10,09	18,68	80	273,77	31,70	58,65	65,16
Octogesimum quinum	10,40	19,80	85	290,74	32,68	60,46	69,24
Nonagenaria	10,70	20,05	90	307,91	33,63	62,22	73,35
Nonagesimum quinum	11,00	20,35	95	325,25	34,55	63,92	77,42
Centenaria	11,28	20,78	100	342,09	35,45	65,58	81,50
Centenarium vicenum	12,36	22,87	120	410,79	38,82	71,82	97,80

Tabla 1. Relación de calibres de las tuberías. Fuente: De la Peña, 2010



Figura 36. Ejemplo de lámina de plomo decorada en relieve.

7. EL PLOMO

El uso más común del plomo en época romana se sabe que era para tuberías. También estaba extendido en otros ámbitos, aunque no se empleaba en tan altas cantidades, como: en el ámbito funerario³¹ (fig.39), mercantil³², pesos³³ (fig. 38), arquitectura³⁴, armas (fig. 37), esculturas y ornamentación (fig. 36), etc. A pesar de ello, estas piezas suelen encontrarse muy deformadas y fragmentadas, por lo que se dificulta su reconocimiento. Además, el expolio de este metal era una práctica muy extendida debido a su fácil reutilización.

La riqueza minera de Hispania era bien conocida en la Antigüedad, siendo la Península Ibérica uno de los principales productores de plomo.



Figura 37. Proyectil de plomo romano.



Figura 38. Pesa de plomo romana.



Figura 39. Urna funeraria Romana.



Figura 40. Ejemplo de lámina de plomo escrita.

7.1. EL PLOMO Y SU UTILIZACIÓN

El plomo es uno de los primeros metales utilizados por el hombre en la historia, y se han hallado textos que lo mencionan desde la Edad Antigua. Se ha utilizado en varias áreas, como por ejemplo las láminas de plomo que nos han llegado (fig. 40), que fueron utilizadas para la escritura de textos; también, y ya más recientemente, se utilizó para hacer pesos. Uno de sus usos más extendido ha sido; sin embargo, como elemento de las conducciones de agua por parte de los romanos.

En la naturaleza se suele encontrar formando diversos minerales, como la galena (fig. 41), de una característica forma cúbica, o como cerusita (carbonato de plomo).



Figura 41. Galena

31 Los romanos empleaban plomo para la fabricación de urnas y sarcófagos para restos humanos.

32 Los romanos se aprovechaban de la escasa dureza de este metal para utilizarlo como soporte donde grabar información relevante de sus transacciones comerciales (tipo de mercancía, destinatario, receptor...).

33 Este metal fue muy utilizado para elaborar pesos de varios tipos y funciones, pues su alto peso lo hacía idóneo para este fin.

34 Su uso se relacionaba con técnicas de ensamblaje y soldaduras, tanto de sillares, columnas u otras piezas decorativas. El plomo fundido era el adhesivo que se fijaba al hueco de la piedra, haciendo las veces de pegamento y de aislante.

Es un metal de color gris-blanco, mate y con un cierto tono azulado, cuya superficie se cubre rápidamente de una capa protectora de color gris mate de carbonato básico, que frena la corrosión. A nivel físico-mecánico es denso y, a la vez, su dureza³⁵ es escasa, siendo fácilmente rayable; es trabajable a temperaturas relativamente bajas, debido a su temperatura de fusión (327°C); es muy dúctil y maleable.

El plomo es considerado uno de los metales más estables, siendo un pobre conductor tanto de la electricidad como del calor. Es resistente a la humedad, además de no alterarse ante la acción de los cloruros (como es el caso de los presentes en los ambientes próximos al mar)³⁶. En este medio, considerado agresivo, el plomo se cubre de una capa de hidrocarbonatos [$\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] o de carbonatos (cerusita (PbCO_3)), estables o que prácticamente no se alteran, manteniendo un equilibrio entre ambos componentes. Claro ejemplo de ello son las tuberías de plomo usadas por los romanos para sus baños, que actualmente siguen en uso.

Paradójicamente, aunque el plomo resulte resistente al agua corriente gracias a la formación de capas de carbonatos, la aplicación de agua desionizada sí supone un factor de deterioro para el plomo ya que provoca un proceso de deterioro de baja agresividad, pero constante.³⁷

Los plomos arqueológicos suelen presentar un aspecto blanquecino tras su descubrimiento. Este color se corresponde con la capa de carbonatos que, por su estabilidad, se conservan durante mucho tiempo sin alteraciones.³⁸

El plomo se ha utilizado para el transporte de ácido sulfúrico concentrado, debido a la formación de una capa pasivante producida por los ácidos tanto sulfúrico como fluorhídrico diluidos. Sin embargo, sin pasivizar, en contacto con ácidos concentrados (sulfúrico, nítrico, clorhídrico...), así como las bases en caliente, el plomo se deteriora.

Resulta un metal muy sensible al ataque de iones de acetato, principalmente contenidos en bosques, donde la descomposición de la vegetación y el humus emanarían estos vapores.³⁹ También el ácido fórmico, tánico o propanóico pueden ser peligrosos para la estabilidad del plomo y sus aleaciones. Los maderos, planchas de aglomerado, las colas y algunos productos siliconados contienen estos ácidos, por lo que sus emanaciones pueden deteriorar el plomo.⁴⁰

35 La dureza de un material se define como la resistencia que presenta a ser rayado por otro objeto.

36 VOLFOVSKY, C. (2001). La conservation des métaux. p. 149.

37 UBILLUS, J. (2003). "Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003". Cap. 4.

38 VOLFOVSKY, C. (2001). La conservation des métaux. pp. 149-150.

39 SCHOTTE, B and ADRIAENS, A. (2006). "Treatments of Corroded Lead Artefacts" pp: 1-2.

40 MEYER-ROUDET, H. (1999). A la recherche du métal perdu. Nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques. p. 45.

Su alta densidad lo hace un material muy efectivo en la absorción tanto del sonido como de las vibraciones, insonorizando las máquinas y empleándose como blindaje para radiaciones tanto en reactores nucleares como en equipos de rayos X.

Otro de los usos del plomo ha sido como pigmento. El blanco de plomo, por ejemplo, es uno de los más utilizados por su durabilidad, intensidad, y capacidad cubriente, o el litargirio (amarillo), minio de plomo (rojo), muy tóxicos, y que cayeron en el desuso.

En general, es un metal cuyos compuestos son tóxicos, habiéndose producido muchos casos de envenenamiento por plomo a lo largo de la historia por su uso inadecuado o exposición prolongada a los mismos (saturnismo). Actualmente, en la industria, se utiliza aleado con otros metales, como en soldaduras (Pb-Sn)⁴¹, tipos de imprenta (Pb-Sn-Sb) y aleaciones antifricción (Pb-Sb). También es un importante componente en baterías, recubrimiento para cables, aparatos químicos, munición, etc. Aunque actualmente está en desuso, se utilizaba como elemento antidetonante en las gasolinas.

7.2. ALGUNOS COMPUESTOS Y SUS USOS⁴²

- *Óxido de Plomo (II) (PbO)*. Conocido como litargirio, es de color amarillo y se utiliza habitualmente en la industria química, así como en cerámica. También se usa en producción de vidrios de alto índice de refracción para la fabricación de lentes cromáticas.
- *Carbonato de Plomo o Cerusita (PbCO₃)*. Compuesto de plomo empleado como principal ingrediente del “blanco de plomo” (fig. 42) en pinturas. Hoy en día están retiradas del mercado por su toxicidad. Junto con el *óxido de plomo (II)* era común su uso en cosmética hasta que se prohibió.
- *Plomo Blanco o Albayalde [(Pb₃(OH)₂(CO₃)₂)]*. Compuesto utilizado como pigmentos en pintura, junto con otros derivados del plomo que hacen de diluyentes, sustrato en barnices, o estabilizantes térmicos en resinas vinílicas.
- *Nitrato de plomo (Pb(NO₃)₂)*. Utilizado en pirotécnica.
- *Tetróxido de plomo (Pb₃O₄)*. También conocido como minio o plomo rojo, se ha utilizado como pigmento naranja (fig. 43), mezclado con aceite de linaza se empleaba como antioxidante. El plomo, además, se usa como recubrimiento protector de superficies de hierro, así como para fabricación de baterías.
- *Sulfuro de Plomo (II) (PbS)*. Con propiedades semiconductoras, se utiliza en células fotoeléctricas.



Figura 42. Blanco de plomo.



Figura 43. Tetróxido de plomo.

41 Las aleaciones de estaño y plomo resisten mejor a los vapores de ácidos que corroen el plomo siempre que el contenido en estaño supere el 25%, por lo que facilitaba su uso..

42 Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades



Figura 44. Símbolo de advertencia: Producto tóxico

7.3. TOXICIDAD DEL PLOMO⁴³

La toxicidad del plomo en las personas

El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino y toxicidad sobre la salud humana. Una ingestión crónica de pequeñas cantidades de plomo, ya sea en vapor, humo o polvo, es una de las principales causas de intoxicación. Además de la inhalación de vapores o polvo, ciertos compuestos plúmbicos pueden ser absorbidos cutáneamente.

Cuando este metal es ingerido por medio acuoso se denomina saturnismo hídrico. Esta intoxicación es difícil de detectar inicialmente debido a que resulta insípido y no altera el sabor del agua o de la comida, como en el caso de la fruta, verduras, carnes, etc. En el agua potable, la contaminación se da a través de la corrosión de las tuberías, que se acentúa con ciertos pH de la misma.

Entre los diferentes efectos nocivos del plomo destaca una enfermedad conocida como saturnismo o plumbosis, aunque también anemia, problemas de riñón, abortos, daño cerebral, etc. Se acumula en el cuerpo y puede pasar de unos organismos a otros por la cadena alimenticia. En el caso de embarazo, el plomo es transmitido al feto por la placenta, generando importantes daños en el sistema nervioso del no-nato.

Algunas fuentes de intoxicación han sido:

- Pintura de plomo utilizada en paredes, casas, puertas y ventanas.
- Emanación de vapores tóxicos y acumulación de plomo en fábricas y talleres.
- Pintura con base de plomo en juguetes.
- Residuos de combustibles con plomo en distintos vehículos (en desuso).
- Insecticidas.
- Tuberías y soldaduras de plomo de agua potable.
- Plomo en el agua potable.
- Latas de conservas que llevaran plomo.
- Cafeteras antiguas con circuitos de agua con plomo.
- Maquillaje en ciertas regiones del mundo.
- Proyectiles de caza, que se dispersa en la naturaleza, contaminando fuentes de agua.
- Plomadas.



Figura 45. Símbolo de advertencia: dañino para el medio ambiente.

La toxicidad del plomo en el medio ambiente

El plomo se da en la naturaleza en forma de distintos minerales, pero los problemas derivados de este metal derivan de las mayores concentraciones del mismo, que suelen ir asociadas o ser resultado de distintas actividades humanas.

El plomo resultante de la combustión de carburantes llega al medioambiente en forma de partículas grandes que precipitan en el suelo o agua, mientras que otras menores son arrastradas a través del agua o del aire, acabando en distintos lugares o quedando suspendidas en la atmósfera. Éstas caerán con la lluvia, incorporándolas en el ciclo del agua.

Otro medio de contaminación es a través del agua canalizada por tuberías de plomo. Los procesos de corrosión de éstas generan compuestos tóxicos que son arrastrados y transportados, igual que sucede con los procesos de corrosión de las pinturas con base de plomo.

Estos compuestos y desechos del plomo son vertidos tanto en la tierra como en las corrientes de agua, pasando a formar parte del ciclo de ciertos seres vivos, alterando su metabolismo, intoxicando ciertas especies y, por ende, alterando el funcionamiento y equilibrio de diversos ecosistemas.



Figura 46. Restos de tierra en el interior de la tubería.



Figura 47. Fragmento de la tubería donde se aprecia la deformación.



Figura 48. Detalle de la pérdida de la soldadura en la tubería.



Figura 49. Detalle del picado de la lámina hecho de dentro a fuera.



Figura 50. Detalle de la marca de presión.

8. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Para poder establecer una correcta propuesta de intervención es necesario conocer el estado de conservación y grado de deterioro de la pieza. Para ello, se parte de un análisis organoléptico.

La pieza ya había sido tratada anteriormente⁴⁴ a nivel de limpieza superficial, por lo que los datos relativos a esos tratamientos se tendrán en cuenta para la propuesta de intervención actual.

8.1. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Debido a su procedencia, los deterioros presentados por la pieza son los esperados en un objeto de naturaleza arqueológica terrestre, aunque se aprecia que ya ha sido limpiada.

Deterioros mecánicos

La pieza objeto de este estudio es un fragmento de una tubería de mayor longitud fabricada en plomo, que data de la época romana. Su estado de conservación es aceptable, habiéndose mantenido su forma parcialmente cilíndrica, de sección ovalada, que permite distinguir claramente el punto de soldadura a lo largo de todo el fragmento. Uno de los extremos de la tubería se encuentra en peor estado que el otro, presentando deformaciones importantes, orificios, grietas y otros deterioros.

La tubería ha sido intervenida anteriormente, sin llegar a hacer una limpieza completa. Se puede hacer una lectura total de la pieza, de forma que se pueden extraer datos y medidas concretas que facilitan su estudio y contextualización funcional.

Debido a que ya ha sido limpiada anteriormente, se han retirado los restos de tierra que cubrían la superficie, si bien es cierto que en el interior todavía queda algún residuo (fig. 46). También el tiempo transcurrido desde que se interviniera ha llevado a la acumulación de polvo y suciedad.

En uno de los extremos se puede ver que la tubería tiene un corte posiblemente debido a un pinzamiento (fig. 47) que resta estabilidad a la estructura, permitiendo deformarla, lo cual explicaría la pérdida de forma cilíndrica de la misma. A causa de esto se ha producido la pérdida de la unión en la soldadura (fig. 48) con lo que la pieza se vuelve más sensible a la deformación.

En este deteriorado extremo hay un orificio (fig. 49) y, paralelo a él, una marca de presión (fig. 50). Dado que el orificio parece hecho de dentro a fuera, es improbable que se trate de un daño hecho tras la deformación de la tubería, o estando enterrado. Tras el estudio histórico, se ha visto que una de las formas en que se colocaban estas tuberías de plomo era mediante un



Figura 51. Sistema de grapas para sujeción de una tubería hallada en Pompeya.

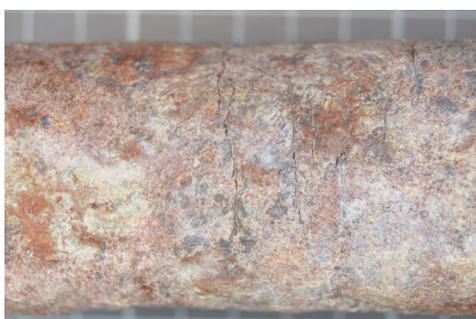


Figura 52. Detalle de las grietas transversales a lo largo de la tubería.

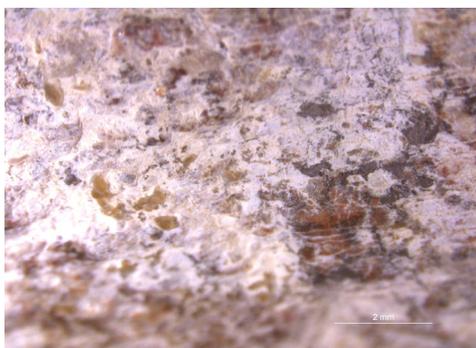


Figura 53. Imagen al microscopio de la capa de óxido y carbonatos de la pieza.



Figura 54. Detalle al microscopio del aumento de volumen de los carbonatos respecto al óxido. Se aprecian marcas en el plomo.

sistema de grapas metálicas que la sujetan al suelo (fig. 51). Tanto el punto de presión como la apertura en la tubería podría deberse a la colocación y anclaje de la tubería. Esta deformación del orificio es uno de los pocos puntos en los que se puede apreciar la superficie metálica gris.

La tubería presenta varias grietas transversales a lo largo de ella (fig. 52) de diferente profundidad, que podrían deberse a la aplicación de presión, presando el cilindro desde sus extremos y provocándolas.

Deterioros físico-químicos

Tras un primer estudio organoléptico, con ayuda de la lupa binocular y el microscopio, se pudieron observar los distintos productos de corrosión presentes en la pieza plúmbea.

Cuando está recién fundido y endurecido, el plomo presenta un color blanquizco que oxida rápidamente, formándose una capa pasivante de color gris mate que, en ambientes controlados y sin contaminantes, es fina y regular. Esta capa de óxido lo convierte, como ya se mencionó anteriormente, en uno de los metales más estables frente a diversos agentes de deterioro externo.

En este caso se puede observar que en vez de una capa gris mate, la tubería está cubierta por placas de color marrón o rojizas en buena parte de la pieza. Se trata de dióxido de plomo (PbO_2), también llamado *plattnerita*. En presencia de agentes contaminantes en el ambiente, así como ácidos orgánicos, emanaciones de pinturas, etc.; la capa de óxido se altera, y se presenta con un aspecto discontinuo e irregular, siendo común la aparición de manchas marrones, rojo oscuro o salmón como las de la tubería, que se corresponden a los óxidos. Aunque no suponen un problema para la conservación de la pieza, dejan de cumplir una función preventiva contra la corrosión y alteran la imagen del metal.

Junto con esta capa marrón-rojiza, la pieza también presenta otra de color blanco y de aspecto compacto con la que se entrelaza. Esta capa se corresponde con carbonato de plomo ($PbCO_3$), también llamada *cerusita* (fig. 53), que es el producto de alteración más común en los objetos de plomo. Esta capa suele actuar también como protección del objeto.⁴⁵

El carbonato de plomo se produce debido a que la capa de óxido, en presencia de CO_2 y humedad, se transforma en esa capa gris-blanquecina. Esta transformación se debe a que el plomo es ligeramente soluble en el CO_2 del aire. El principal problema de la formación de carbonatos es que este nuevo producto aumenta su volumen respecto a su tamaño original (fig. 54) por lo que puede ocultar detalles ornamentales en la superficie de la tubería.⁴⁶

45 MEYER-ROUDET, H. (1999). A la recherche du métal perdu. Nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques. p. 45.

46 *Ibid.*, p. 45-46.

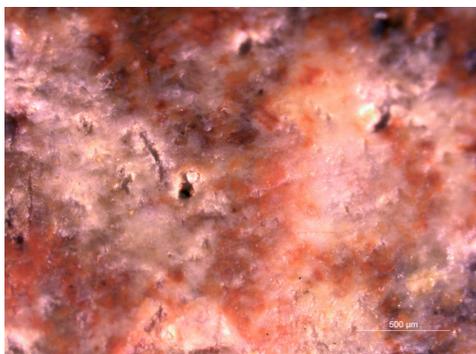


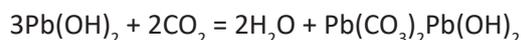
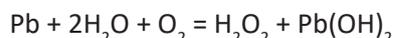
Figura 55. Imagen al microscopio de la capa de carbonatos entrelazada con óxidos.

El plomo es, por tanto, estable en soluciones neutras o alcalinas libres de agentes oxidantes, especialmente si hay carbonatos presentes en el agua⁴⁷ ya que, como ya se ha visto, las aguas duras forman un recubrimiento de carbonato básico insoluble que evita el deterioro (fig. 55).

Junto con la cerusita se podrían dar restos de carbonatos básicos de plomo ($\text{Pb}(\text{CO}_3)_2\text{Pb}(\text{OH})_2$, también llamado *hidrocerusita*), debido a que ha estado enterrado y las condiciones podrían haber propiciado su formación. Los suelos ácidos y húmedos son de los medios que más afectan al plomo, provocando estos procesos de carbonatación. Si se pasa a un entorno seco, en una atmósfera libre de humedad, la hidrocerusita se transforma en cerusita de nuevo.

El CO_2 puede atacar tanto de forma aérea como en el suelo combinado con agua. En este caso se forma ácido carbónico (H_2CO_3), un compuesto que reacciona con el plomo formando carbonatos de plomo, en un proceso constante. Esta reacción se propicia en suelos ácidos y húmedos. El proceso de carbonatación es uno de los agravantes de los deterioros mecánicos de las piezas de plomo, propiciando que continúen y puedan ocasionar la destrucción de la misma.

El anhídrido carbónico y oxígeno disueltos en el agua reaccionan con el plomo formando carbonatos según esta reacción⁴⁸:



La capa de carbonatos es porosa, por lo que permite una difusión de aniones a través de ella hasta llegar al núcleo metálico de plomo de la pieza. Esto provoca la carbonatación cada vez más profunda de la pieza, generando un constante deterioro. Otro de los efectos de esta capa es que rompen la protección de óxido de plomo, con lo que se pierde la protección del núcleo y no se frenan los procesos de deterioro.

A pesar de la problemática asociada a los productos de corrosión del plomo, éstos son generalmente estables. Al igual que el plomo, sin embargo, estos compuestos se pueden deteriorar enormemente en contacto con madera o derivados de la misma, como el papel o el cartón, así como otros ácidos orgánicos⁴⁹. Esto es un dato a tener en cuenta, ya que el embalaje o método de almacenamiento que haya tenido puede haber condicionado el estado del plomo. En este caso la pieza ha permanecido envuelta en un papel de burbujas de naturaleza indeterminada, en una estantería, por lo que podría haber estado expuesta a este tipo de ácidos.



Figura 56. Detalle de una cristalización sobre la superficie de la pieza.

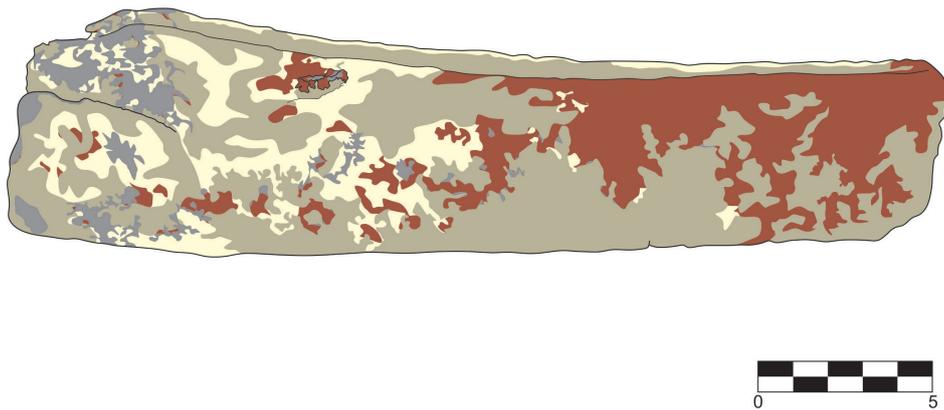
En la superficie de la tubería se han encontrado, además, restos cristalizados blancos, posiblemente correspondientes a la carbonatación de otros materiales (fig. 56).

47 BROWN, R. et al. (2015). "Controlling lead in drinking water". p. 6

48 Schotte, B., Adriens, A. "Treatment of corroded lead artefacts" p. 2

49 *Ibid.*, p. 1-2.

8.2. MAPAS DE DAÑOS

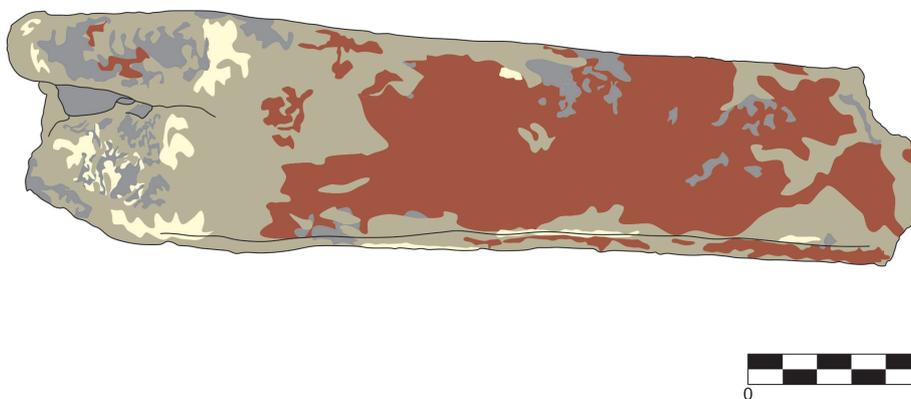


Leyenda

- Superficie metálica
- Óxido de plomo
- Sulfato de plomo
- Carbonato de plomo



Autor: **Anónimo**
 Objeto: **Tubería**
 Época: **Edad Antigua**
 Dimensiones: **255 x 70 x 40 mm**
 Material: **Plomo**
Museo Etnológico de Requena



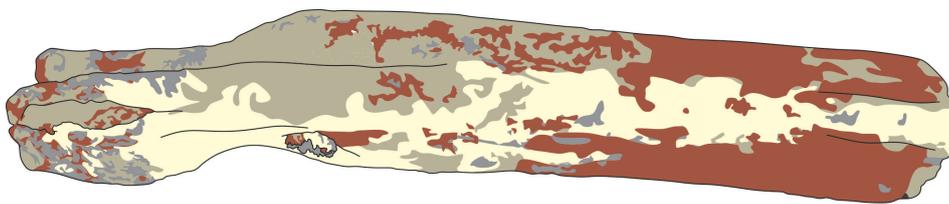
Leyenda

- Superficie metálica
- Óxido de plomo
- Sulfato de plomo
- Carbonato de plomo



Autor: **Anónimo**
 Objeto: **Tubería**
 Época: **Edad Antigua**
 Dimensiones: **255 x 70 x 40 mm**
 Material: **Plomo**
Museo Etnológico de Requena

Leyenda



Superficie metálica

Óxido de plomo

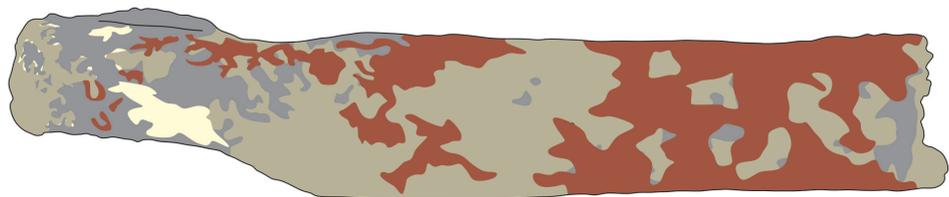
Sulfato de plomo

Carbonato de plomo



Autor: Anónimo
Objeto: Tubería
Época: Edad Antigua
Dimensiones: 255 x 70 x 40 mm
Material: Plomo
Museo Etnológico de Requena

Leyenda



Superficie metálica

Óxido de plomo

Sulfato de plomo

Carbonato de plomo



Autor: Anónimo
Objeto: Tubería
Época: Edad Antigua
Dimensiones: 255 x 70 x 40 mm
Material: Plomo
Museo Etnológico de Requena



Figura 57. Proceso de limpieza de la tubería durante la antigua intervención.



Figura 58. Limpieza mecánica con fibra de vidrio durante la antigua intervención.

8.3. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Limpieza físico-mecánica

El primer paso para intervenir la pieza sería una limpieza superficial de la tierra y el polvo acumulados, que se concentra principalmente en el interior. Con esto también se eliminan los depósitos que hayan podido caer durante el tiempo de almacenaje.

Se debería comenzar retirando cualquier resto de polvo o depósitos no adheridos a la tubería, de forma mecánica. Para ello se utilizará una brocha suave de pequeño tamaño para barrer la superficie y un aspirador para absorber los depósitos retirados y evitar que puedan volver a caer sobre la pieza o ensuciar el lugar de trabajo. A lo largo de todo el proceso es fundamental el uso de las EPI⁵⁰ adaptadas a cada acción y producto utilizados⁵¹.

La tubería, que ya había sido intervenida parcialmente⁵² (fig. 57 y 58) presenta un estado de limpieza irregular, por lo que sería recomendable igualarlo en la medida de lo posible. Esto implica acabar de retirar los restos terrosos que permanecen principalmente adheridos al interior de la tubería, que no habían sido eliminados totalmente en la anterior intervención.

Tras esta primera limpieza superficial se continuarán utilizando distintos disolventes que ayuden en la retirada de restos terrosos endurecidos, así como productos de corrosión más superficiales. Es recomendable que, en caso de utilizarse agua desionizada, no se haga en exceso y se seque rápidamente, ya que podría iniciar un proceso de corrosión.

Los restos de tierra en el interior de la tubería son de difícil acceso y, por ello, su limpieza se hará con un cepillo, ya que este permite llegar a más sitios. Para reblandecer la tierra y productos de corrosión que hay, sería recomendable hacer el cepillado durante una inmersión en alcohol de la pieza. Este proceso es práctico en la retirada de los restos de tierra, pero no incide lo suficiente como para retirar la capa de concreciones calcáreas que cubren la tubería.

El cepillo utilizado debe ser suave, cuya acción de abrasión no raye la superficie del plomo pero sea suficiente para conseguir la máxima limpieza. El plomo es un metal muy blando⁵³, lo que implica que los procesos de limpieza mecánicos pueden incidir en su superficie, arañándola y dejando marcas, por lo que es necesario controlar su dureza.

50 Equipos de protección individual.

51 La manipulación constante con guantes, llevar una bata o delantal, así como el uso de mascarilla para evitar la inhalación de polvo o vapores de los disolventes.

52 Se hicieron limpiezas mecánicas utilizando bisturí y fibra de vidrio, así como distintos disolventes (acetona, metanol, etanol).

53 Aquellos materiales con mayor índice de dureza que el del plomo pueden rayar su superficie.



Figura 59. Resina de intercambio iónico.

Una vez concluida la retirada de restos de tierra y habiendo dejado la superficie igualada, se puede continuar la intervención con alcohol⁵⁴ aplicado con empacos o geles con un tiempo de actuación de entre 15 y 30 minutos. Los productos de corrosión reblandecidos se retirarán utilizando medios mecánicos, como un cepillo, o un bisturí (usado con mucho cuidado, evitando arañar la superficie).

El disolvente aplicado debe retirarse completamente, y neutralizarse para evitar que continúe actuando de forma no controlada.



Figura 60. Documentación fotográfica del proceso de aplicación de resina de intercambio iónico en la primera intervención de la tubería.

Limpieza físico-química

La capa de carbonatos es más difícil de retirar, por lo que se harán pruebas con distintos agentes químicos de limpieza que reblandezcan la capa y faciliten su remoción. Este proceso es irregular y puede resultar difícil por la dureza de la capa, así como por el carácter blando del metal que se quiere limpiar. En la pieza, las zonas con una mayor concentración de carbonatos de plomo están en el interior, de difícil acceso y menor maniobrabilidad.

Dado que no se puede saber con exactitud qué productos funcionarían mejor que otros, se deberían hacer pruebas y determinar cuál es el más efectivo.

Durante la primera intervención de la pieza se utilizó resina de intercambio iónico⁵⁵ (fig. 59) con distintos tiempos de exposición⁵⁶ (fig. 60), a pesar de lo cuál parece ser que se concluyó que su efectividad no había sido tan buena como la del alcohol metílico.



Figura 61. Preparación de EDTA y gelificación.

En la eliminación de carbonatos el uso de agentes quelantes puede ser muy efectivo. Una solución de EDTA⁵⁷ tetrasódica al 4%, gelificada en Agar Agar⁵⁸ (fig. 61) puede aplicarse sobre los carbonatos, teniendo en cuenta que para su aplicación, la superficie a tratar debe estar perfectamente seca y desengrasada (mediante baños de alcohol-acetona). En caso de ser necesario, se puede aplicar un EDTA de mayor concentración (10%), en caliente. Tras un tiempo de aplicación, la remoción de los productos de corrosión y posterior neutralización del quelante debe hacerse utilizando agua desionizada⁵⁹.

Los tiempos de exposición deben estar muy controlados en cada una de estas aplicaciones, ya que el efecto del quelante es constante. Para la remoción

54 Se estableció en el informe de la anterior intervención que el alcohol metílico era el disolvente más efectivo.

55 Amberlite IR/20 en agua. Generalmente se aplica sobre papel japonés.

56 Se probaron dos tiempos de exposición, de 15 y de 30 minutos.

57 Ácido etilendiaminotetraacético. Sustancia quelante más utilizada en química analítica. Se adhiere a los iones de ciertos metales formando complejos con elevada solubilidad en agua, facilitando su remoción y eliminación.

58 Sustancia gelatinosa no animal de origen marino utilizada como agente gelificante o espesante.

59 Dada la sensibilidad del plomo al agua desionizada, debe controlarse el proceso y secarse rápidamente con baños de alcohol-acetona.

de los carbonatos, se siguen utilizando cepillos blandos, hisopos y algodón, así como el bisturí o escalpelo, evitando siempre el deterioro de la superficie. El proceso de secado tras la neutralización con agua es fundamental.

La limpieza se puede complementar con el uso de una solución de sal de Rochelle, una solución alcalina con múltiples usos que se prepara mezclando 150 gramos de sal de Seignette (Sal de Rochelle) y 50 gramos de hidróxido de sodio en un litro de agua destilada. Esta solución disuelve los carbonatos, aunque hay que controlar la formación de otros productos de corrosión⁶⁰.

Para el secado se pueden utilizar dos métodos. Por un lado se baña la pieza en alcohol y acetona, ya que ambos disolventes presentan una velocidad de evaporación elevada que permite un secado mucho más rápido; además cumple la función de desengrasado de la pieza. Es recomendable no utilizar solamente acetona, ya que una evaporación excesivamente rápida puede generar manchas blancas en la superficie del metal. Por otro lado se puede secar la pieza directamente en estufa a 60º. En el caso de que se trate del secado final tras la limpieza es recomendable llevar a cabo ambos procesos de secado y desengrasado por inmersión y con estufa.

Protección

Por su estabilidad, el plomo no requiere de ningún producto inhibidor para evitar la corrosión, pues ya cuenta con una capa pasivante que hay que evitar dañar durante el proceso de limpieza. A pesar de ello, sí que es necesario aplicar una protección que evite futuros deterioros. Esta protección se aplica mediante dos capas diferenciadas, una de resina acrílica, como la capa de protección de barniz, y posteriormente otra con cera.

Estas dos capas son:

- *Primera protección.* Con la pieza limpia, una vez eliminados los restos de tierra, carbonatos y otros elementos susceptibles de deteriorarla o impedir su correcta lectura, se procederá a aplicar una primera capa de protección. Es imprescindible que la pieza esté perfectamente seca, para evitar que restos acuosos o de otros productos queden atrapados debajo de la capa de protección, y se produzcan efectos adversos en la tubería. El fin de esta capa es envolver la superficie de la pieza, protegiéndola de agentes externos.

Para esta primera protección se aplicará una capa de una resina acrílica en base no-acuosa, muy diluida, que seque rápido y altere lo menos posible el acabado de la pieza. En este caso, se utilizaría una disolución de Paraloid® B-44 en acetona.

60 ESPAÑA, T. et al. (1985). "Limpieza y restauración electroquímica de objetos arqueológicos metálicos" en *Lucentum*, IV, pp. 185-190



Figura 62. Bolsas de Paraloid B-44 en perlas antes de su preparación y disolución en acetona.

El Paraloid® B-44 (fig. 62) es una resina sintética acrílica, no soluble en agua, que se puede preparar en otros disolventes, en este caso acetona. Este disolvente es altamente volátil, permitiendo un secado mayor y más rápido en la aplicación de esta capa protectora.

Para la preparación de la resina se hace una disolución en acetona de perlas de Paraloid®, en una proporción del 7%. También puede ser recomendable hacer una preparación a un porcentaje mayor, teniendo una solución madre que se puede ir diluyendo más, según el uso.

La aplicación de esta capa se debe hacer por impregnación a pincel, con cuidado y procurando que esta capa no sea demasiado gruesa, ni que se queden restos encharcados de resina en los huecos y recovecos de la pieza. Es importante extenderla de forma uniforme y evitar un exceso, ya que ésta puede generar importantes brillos en la superficie de la pieza.

Una vez aplicada esta protección, la pieza debe dejar secar al menos 24 horas para garantizar que el secado es completo y evitar que se produzcan problemas posteriores en la aplicación de otras capas protectoras.

- *Segunda protección.* Tras el secado de la capa de resina acrílica, se aplicará una segunda protección de cera microcristalina. Las perlas de cera microcristalina se disuelven en White Spirit, que se aplica utilizando una muñequilla impregnada con esta cera, que se irá extendiendo por toda la superficie. Con esta capa se crea una segunda barrera que, además, cambia el acabado brillante dejado por la resina acrílica, haciendo que sea mucho más mate.

Es importante que para que el acabado sea correcto, se evite que se formen acumulaciones de cera, y que esté bien extendida antes de que se evapore completamente el disolvente. De no ser así, se formarán pequeños grumos y bolas blancas de cera, más difíciles de quitar. Una vez aplicada la capa de cera, tras 20 minutos aproximadamente de secado, se pasará un cepillo suave que dará lustre a la pieza. Es fundamental hacerlo con cuidado, evitando retirar la capa de cera, o restregarla.

9. CONSERVACIÓN PREVENTIVA

La conservación preventiva contempla todas aquellas actuaciones tanto directas (sobre el objeto) como indirectas (sobre el medio) que intervienen en la conservación de la pieza y sus materiales asociados. Para aplicar estas medidas correctamente se debe conocer la procedencia y su significación cultural, así como todos los elementos tanto materiales como inmateriales, técnica de ejecución, etc. que rodean la pieza, para determinar la mejor forma de actuación, evitando o reduciendo al máximo el proceso de degradación.

Para preservar la pieza frente a posibles daños posteriores, es recomendable seguir una serie de pautas relativas tanto a su manipulación, a su almacenaje, posible exposición, etc. que favorezcan y prolonguen la perdurabilidad de la obra y su estado óptimo de conservación.

El primer detalle a tener en cuenta a la hora de establecer unos criterios de conservación preventiva, es tratar de conocer en qué condiciones se va a mantener la obra tras la intervención.

De procedencia indeterminada y sin tener una previsión de ser expuesta, esta pieza probablemente pase tiempo guardada en los almacenes y vitrinas internas del Museo Municipal de Requena. Por esta razón es importante poner especial cuidado en su sistema de embalado y almacenaje⁶¹.

El plomo es un metal algo difícil de almacenar de forma estable y segura, porque se corroe fácilmente con cantidades ínfimas de ácidos orgánicos volátiles, como ácido acético y ácido fórmico. Estos ácidos pueden actuar rápidamente, destruyendo los detalles de la superficie y debilitando el objeto. Algunos de los ácidos son vapores emanados por algunos adhesivos usados en los DM y otros derivados celulósicos⁶².

Hay que tener en cuenta las características de los productos aplicados en las capas de protección, ya que cada uno de ellos cuenta con una problemática asociada que si no son tenidas en cuenta pueden afectar a la conservación de la pieza:

- Paraloid®. Esta resina supone una primera capa plástica aislante que, a pesar de ser poco porosa, permite un mínimo de transpiración. Es flexible, con lo que se puede adaptar a los posibles cambios de tamaño que pueda experimentar la pieza, aunque no tolera bien los cambios de temperatura y amarillea ligeramente con el tiempo, debido al proceso de crosslinking.

61 MEYER-ROUDET, H. (1999). A la recherche du métal perdu. Nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques. p. 46.

62 *Ibid.* p. 46.



Figura 63. Rollo de polietileno expandido.



Figura 64. Planchas de polietileno preparadas para adaptarse a la forma de la pieza.

- Cera microcristalina. Esta capa presenta una doble función estética y de protección. Es sensible al calor, y puede atraer y atrapar polvo, deteriorando su aspecto superficial y pudiendo ser un foco de humedad para la pieza.

En lo relativo a la pieza hay que tener en cuenta que:

- Se trata de un metal con una temperatura de fusión relativamente baja, cuyo volumen se puede alterar con las variaciones de temperatura.
- La reactividad del plomo frente al aporte de agua de carácter ácido o con cierta temperatura.
- La formación de una pila (dipolos y electrolito).

La pieza debe conservarse en un entorno protegido, donde se mantengan unas condiciones de temperatura estables, sin variaciones bruscas que pudieran ocasionar problemas a los productos aplicados al metal. La tubería debe almacenarse protegida, libre de polvo, radiación UVA, y exceso de humedad relativa (entre 35 y 55% HR según el Instituto Canadiense de Conservación). Hay que tener en cuenta que el plomo, además, es susceptible de sufrir corrosión si se encuentra en lugares poco ventilados, por lo que es recomendable hacer inspecciones regulares de la pieza. La temperatura óptima recomendada para su conservación se encuentra entre los 18 y los 21°C, evitando que se produzcan importantes oscilaciones térmicas, ya que éstas ocasionan procesos de dilatación y contracción en el metal que pueden dañar y alterar la pieza.

Para su almacenamiento y transporte se recomienda fabricar un recipiente como envoltorio de plástico o de cartón especial de conservación (libre de ácidos), excluyéndose cualquier caja metálica o con componentes de este material, ya que por la humedad oxidan y se pueden generar daños en la pieza contenida. También quedan excluidos, como ya se ha apuntado anteriormente, materiales celulósicos o que incluyan adhesivos susceptibles de emanar ácidos⁶³. Debido a la alta densidad de la pieza, su peso es elevado, con lo que es necesario incluir un refuerzo en la base para evitar roturas.

Lo primero que se debería hacer es envolver la pieza utilizando un material neutro y libre de ácidos, para lo cual se puede utilizar tanto polietileno en espuma de polietileno expandido (fig. 63), como en planchas (fig. 64), así como poliestireno adaptado a recipientes de comida. En espuma se puede cortar en planchas adaptadas a la forma de la pieza.

9.1. RECOMENDACIONES EXPOSITIVAS

En caso de que la pieza vaya a ser expuesta es fundamental velar no sólo por la integridad física del fragmento de tubería, sino que sería muy recomendable acompañar la pieza de un sistema expositivo explicativo que muestre la realidad funcional que tenía la tubería, así como el funcionamiento del sistema de canalización y distribución de aguas de la ciudad romana.

La tubería, por un lado, debe acompañarse de una reproducción lo más fiel posible, adecuada y apta para que tanto invidentes como aquellos visitantes, especialmente niños, que quieran, puedan sentir y tocar la pieza copiada.

Además, puede ser muy interesante hacer una reconstrucción del sistema hídrico para que se pueda apreciar cómo era antiguamente y hacer llegar al espectador/visitante la realidad de cómo funcionaba el abastecimiento de agua en aquella época. Esta reconstrucción puede hacerse de forma digital, mediante un vídeo explicativo (de contarse con los recursos necesarios, también se puede plantear una grabación específica para gafas VR, que permitan al espectador disfrutar de una experiencia envolvente utilizando métodos de realidad virtual. Con este sistema se puede preparar también un recorrido virtual por excavaciones relacionadas con restos arqueológicos del sistema hidráulico romano.

Otro formato puede ser mediante maquetas de distintas partes del sistema de abastecimiento, mostrando su funcionamiento y las partes que componen el recorrido.

La exposición de una pieza de estas características debe hacerse en un contexto que permita al espectador entender la importancia de la pieza que está viendo, y aprender sobre su uso.

10. CONCLUSIÓN

En este trabajo se expone un plan para la conservación y restauración de este fragmento de tubería de plomo romano, así como una propuesta para su almacenaje y posible exposición. Para conocer la pieza se han trazado unos objetivos que se han conseguido mediante un estudio técnico, incluyendo estado de conservación, propuesta de intervención, medidas para su conservación preventiva y un estudio histórico.

Al desconocerse el yacimiento de procedencia de la pieza se dificulta el establecer una ubicación concreta durante su época de uso, o si había sido desplazado de un núcleo urbano, así como una fecha aproximada dentro del periodo romano. A pesar de ello, se hizo un estudio general a nivel histórico de las tuberías de plomo en el periodo romano.

El resultado del estudio ha concluido que se trata de una tubería cuyas características son bastante comunes, con un uso ligado al suministro de agua a viviendas particulares. Además, durante este periodo, el uso de plomo era común en Hispania por ser uno de los principales territorios de extracción del metal para la antigua Roma. A nivel técnico, el diámetro de la tubería también ha sido indicativo de esta realidad, pues se trata de una de las medidas más comunes y extendidas para particulares. La pieza no es un elemento artístico ni cuenta, aparentemente, con detalles ni decoración, o posibles marcas de los sellos que se usaban en los talleres de fabricación. Con todo, se puede concluir que se ha conseguido este objetivo, pues se ha hecho una aproximación histórica que muestra el contexto funcional de la pieza, con una introducción al funcionamiento de todo el sistema hídrico.

También se ha conseguido el primer objetivo relativo a la pieza propiamente dicha. Al tratarse de una propuesta y no poder llevarse a cabo la intervención, es difícil saber cómo reaccionarían los productos de corrosión y si funcionarían de forma eficaz. En este caso se ha contado con la ventaja de poder partir de los datos de una primera intervención realizada sobre la tubería en 2006. Con estos datos se han podido seleccionar algunos disolventes más adecuados, y se ha podido establecer un proceso para acabar con la restauración de la forma más eficaz posible.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ACERO, J. (2007). “La gestión de los residuos líquidos en Augusta Emerita: fuentes documentales y bibliográficas para su estudio” en Instituto de Arqueología. Mérida excavación arqueológica, vol. 10, Mérida. Pp. 457-477.
- ALBA CALZADO, M. (2001): Apuntes sobre la red de aguas de Mérida en época romana, Mérida. Ciudad y Patrimonio , 5, Mérida, p. 59-78.
- ANÓNIMO. Tema 2. Oxidación y corrosión. Disponible en: <https://tecnologia-alarcos.wikispaces.com/file/view/Tema2+Oxidaci%C3%B3n.pdf> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. *ToxFAQs™ -Plomo (Lead)*. Recurso en línea, disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts13.html [Consulta: 31 de mayo de 2017]
- AURRECOECHEA, J. (1990). “Espejos hispanorromanos de plomo. Un nuevo tipo de producción plúmbea detectado en la Península Ibérica” en Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y arqueología, nº 3. Pp. 255-272. Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:ETFSerie1-FD62FFCA-623B-9ACE-64F6-973FE4C4A4C5/Documento.pdf> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- BARRIO, J. et al. (2005). “Investigación sobre el proceso de estabilización y limpieza por reducción potencioestática de un plomo epigráfico romano” en II Congreso del Grupo Español del IIC (2005, Museu Nacional d'Art de Catalunya). Barcelona. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=400184> [Consulta: 03 de mayo de 2017]
- BENITO, O. (2015) La ingeniería hidráulica romana: análisis de técnicas. Trabajo de Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- BOUZAS, A. (2009). “Materiales arqueológicos subacuáticos inorgánicos: conservación y restauración” en Arqueologia nàutica mediterrània. Pp: 615-626.
- BROWN, R. (2015). “Controlling Lead in Drinking Water”. Water Research Foundation, USA. Disponible en: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4409.pdf> [Consulta: 30 de mayo de 2017]
- CANO, A.I. y ACERO, J. (2004). “Los usos del plomo en la ingeniería hidráulica romana. El caso de Augusta Emerita” en Memoria nº 7, pp. 381-396.
- CANO, A.I. y ACERO, J. (2007). “El plomo y sus aplicaciones en una ciudad ro-

- mana: Augusta Emerita” en Sautuola XIII, pp. 543-556. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/13778> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- DE LA PEÑA, J.M. “Sistema Romano de abastecimiento de agua” en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. Pp. 249-281
- DELILE, H. et al. (2014): «Lead in ancient Rome’s city waters». *PNAS*, nº 111(18), pp. 6594-9.
- DÍAZ, S y GARCÍA, E. Técnicas metodológicas aplicadas a la conservación-restauración del patrimonio metálico. Ministerio de cultura. Disponible en: <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/iv-congreso-latinoamericano-de-conservacion-y-restauracion-de-metal/conser-vacion-restauracion/14301C> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- DOMÉNECH-CARBÓ, A. (2015). “Detection of archeological forgeries of Iberian lead plates using nanoelectrochemical techniques. The lot of fake plates from Bugarra (Spain)” en *Forensic Science International*, vol. 247, pp. 79-88. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03790738/247/supp/C> [Consulta: 3 de junio de 2017].
- DOMÉNECH, M.T. Principios físico-químicos de los materiales integrantes de los bienes culturales. Ed. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2013.
- EGEA, A. (2002). “Ingeniería hidráulica en Carthago Nova: las tuberías de plomo” en *Mastia*, nº1. Pp: 167-178.
- EGEA, A. (2002). “Características principales del sistema de captación, abastecimiento, distribución y evacuación de agua de Carthago Nova” en *Empuries*, nº 52. Pp. 13-28.
- EGEA, A. (2003). “El control y uso del agua en época romana en el Ager Carthaginensis” en *Revista ArqueoMurcia*, nº1. Consejería de Educación y Cultura. Disponible en: http://www.academia.edu/1638542/El_control_y_uso_del_agua_en_%C3%A9poca_romana_en_el_Ager_Carthaginensis_Regi%C3%B3n_De_Murcia_ [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- EGEA, A. (2004). “Ingeniería hidráulica en Carthago Nova: las cloacas y la red de saneamiento” en *Mastia*, nº 3. Pp: 71-94.
- EGEA, A. (2005). “Fuentes literarias aplicadas al estudio de la ingeniería hidráulica romana” en *Mastia*, nº 4. Pp: 83-103.
- EGEA, A. (2005). “Ingeniería hidráulica en el Ager de Carthago Nova: El control y uso del agua en las minas, la salazón y la agricultura.” en *AnMurcia*, nº 21. Pp: 147-163.

- EMSLEY, J. (1986-7): «When the Empire struck lead». *New Scientist*, 1540-1, pp. 64-7.
- ESPAÑA, T. et al. (1985). “Limpieza y restauración electroquímica de objetos arqueológicos metálicos” en *Lucentum*, IV, pp. 185-190. Universidad de Alicante.
- Frontino, S. J. *Los acueductos de Roma*. CSIC. Madrid, 1985.
- GARCÍA, A. (2011). “Las obras hidráulicas romanas en Tiermes. Organización espacial del territorio y asimilación de la intervención humana en el paisaje” en *Estudios Geográficos*, vol LXXII, nº 271, pp. 437-459.
- GILFILLAN, S.C. (1965): «Lead Poisoning and the Fall of Rome». *Journal of Occupational Medicine*, 7, pp. 53-60.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I. y VELÁZQUEZ, I., 2002. “Medios auxiliares de construcción en la ingeniería hidráulica romana”, en *Aqua Romana. Técnica romana y fuerza divina*, Cornellá de Llobregat, p. 106-123.
- HODGE, A. T., 1992. *Roman Aqueducts and Water Supply*, London.
- MATEOS, P. et al. (2002). “La gestión del agua en Augusta Emerita” en *Empúries* nº 53, pp. 67-88.
- MEYER-ROUDET, H. (1999). *A la recherche du métal perdu. Nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques*. Ed. Errance, Paris. Pp. 45-47.
- MORILLO, A. y SALIDO, J. (2011). “Labra de época romana en Hispania” en *Archivo Español de Arqueología*, nº 84, pp. 153-178.
- MUSEO DE LA ALHAMBRA. Patronato de la Alhambra y Generalife. Cómo reconocer y conservar metales arqueológicos. Disponible en: <http://www.alhambra-patronato.es/elblogdelmuseo/index.php/metales-arqueologicos/> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- NRIAGU, J.O. (1983): «Saturnine Gout Among Roman Aristocrats: Did Lead Poisoning Contribute to the Fall of the Empire?». *New England Journal of Medicine*, 308, pp. 660-3.
- OTERO, E. *Corrosión y degradación de materiales* (2ª edición, 2012). Ed. Síntesis. Madrid, 1997.
- PACE, P. (2010). *Acquedotti di Roma e il De aquaeductu di Frontino* (3ª edición, 2010). Ed. Betmultimedia. Roma, 1983.
- PEIRÓ, M.A., DOMENECH, C. y DOMENECH, T. (2011). “Estudio de tres láminas de plomo escritas del yacimiento ibérico del Tossal de Sant Miquel de Lliria” en *IV Congreso Latinoamericano de Conservación y Restauración de Metal*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid. Pp. 28-40.

- PÉREZ, J. (2011). "Nuevo análisis del sifón invertido de los arquillos, acueducto romano de Gades" en CPAG nº 21, pp. 91-126.
- ROMANÍ, N. "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" en *L'eau: usages, risques et représentations*. Pp. 225-239.
- RUIZ, L. (2015). Gestión del agua en época romana: Sistema de abastecimiento, canalización y evacuación. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Jaén.
- SCHOTTE, B and ADRIAENS, A. (2006). "Treatments of Corroded Lead Artefacts" en *Studies in conservation*, nº 51. Pp: 1-8.
- UBILLUS, J. (2003). "Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003". Tesis digitales UNMSM, cap. IV. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Ingenie/ubillus_lj/contenido.htm> [Consulta: 03 de mayo de 2017].
- ULLOA, L. (2015). Gestión del agua en época romana: sistema de abastecimiento, canalización y evacuación. Trabajo de Fin de Grado. Facultad de humanidades y ciencias de la educación. Universidad de Jaén.
- VENTURA, A. (2002). "Los acueductos romanos de Córdoba y su rehabilitación Omeya" en *Empúries* nº 53, pp. 113-128.
- VOLFOVSKY, C. (2001). "Chapitre 10: La conservation des plombs anciens" en *La conservation des métaux*. Ed. CNRS, Paris. pp. 149-151

11. ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1. *Vista frontal de la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 2. *Vista del anverso de la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 3. *Vista superior de la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 4. *Vista inferior de la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 5. *Mapas de Roma a lo largo de la historia.* Recuperado de <<https://www.enroma.com/mapa-roma/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 6. *Acueducto de Segovia.* Tomado de <<http://viajar.especiales.elperiodico.com/95-lugares-basicos-de-espana/acueducto-de-segovia/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 7. *El Imperio Romano en época de Constantino.* Tomado de <<http://www.taringa.net/posts/info/18127849/40-mapas-que-te-explifican-el-Imperio-Romano.html>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 8. *Ingeniería Romana- Acueductos.* Tomado del vídeo de RTVE <<http://www.rtve.es/alacarta/videos/ingenieria-romana/ingenieria-romana-acueductos-1/3333455/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 9. *Plano de la antigua ciudad de Híspalis.* Rescatada de <<https://revistadehistoria.es/hispalis-el-aceite-que-gobierno-un-imperio/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 10. *Detalle del plano de Sevilla.* Tomada de DE LA PEÑA, J.M. "Sistema Romano de abastecimiento de agua" en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. Pp. 251. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 11. *Esquema de las termas de Caracalla.* Fuente: Museo Arqueológico de los Baños de la Alhama de Murcia, en: <<https://malboticum.wordpress.com/2015/11/26/banos-romanos/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 12. *Esquema de abastecimiento de agua a Roma en su etapa inicial, con las primeras conducciones.* Tomada de DE LA PEÑA, J.M. "Sistema Romano de abastecimiento de agua" en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. Pp. 252. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 13. *Esquema de abastecimiento de agua a Roma en su etapa inicial, con las primeras conducciones.* Tomada de DE LA PEÑA, J.M. "Sistema Romano de abastecimiento de agua" en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. Pp. 253. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 14. *Dibujo esquemático de la estructura de una red de abastecimiento de agua romana.* Disponible en: <http://www.traianvs.net/pdfs/2010_10_delapena.pdf>. [Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 15. *Esquema de la conducción de agua desde la captación a la ciudad.* Tomada de <<http://moreno6tohistoria.weebly.com/imperio-romano.html>> [Consulta: 10 de junio de 2017].

Figura 16. *Esquema del uso de sifones para la conducción de agua.* Tomada de <https://www.google.es/search?q=como+llevaban+el+agua+los+romanos&client=firefox-b-ab&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiVwP21wrXUAhWFExoKHSPDCIQ_AUI-CigB&biw=2560&bih=1340#tbm=isch&q=sifon+romano&imgrc=NkTSRiqZHfTSbM:>> [Consulta: 10 de junio de 2017].

Figura 17. *Acueducto romano de Gades, expuesto en la plaza de Asdrúbal de Cádiz.* Disponible en: <<http://curiosidadesdecadiz.blogspot.com.es/2016/02/el-acueducto-romano-de-gades.html>>. [Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 18. *Reconstrucción ideal de la piscina limaria y la fuente.* (Feijoo Martínez, 2002: 19).

Figura 19. *Imagen de un depósito de decantación.* Tomada de DE LA PEÑA, J.M. “Sistema Romano de abastecimiento de agua” en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. Pp. 256. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 20. *Restos arqueológicos del castellum divisorium de Nîmes.* Tomada de <<http://romanheritage.com/es/contenido/?idsec=3015>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 21. *Maqueta de un castellum divisorium.* <https://ancientwatertechnologies.com/2013/01/13/hydraulic-devices/>. [Consulta: 10 de junio de 2017].

Figura 22. *Supuesto calix romano perteneciente a la colección Ròmul Gavarró.* Imagen tomada de: CANO, A.I. y ACERO, J. (2007). p. 390. Disponible en: <<http://digital.csic.es/handle/10261/13778>>. [Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 23. *Esquema de un cuarto de contadores romano.* Disponible en “Sistema Romano de abastecimiento de agua” en *Aquae*. V Congreso de Obras Públicas Romanas. p. 273.

Figura 24. *Reconstrucción del sistema de alcantarillado de Roma.* Disponible en: <<http://aragonromano.ftp.catedu.es/cloacas.htm>>. [Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 25. *Ejemplos de tuberías cerámicas.* Disponible en: <<http://historicodigital.com/aqua-el-abastecimiento-de-agua-en-las-ciudades-romanas.html>>. [Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 26. *Fístula de Mérida con inscripción.* Disponible en: <http://www.academia.edu/1787728/Cano_Ortiz_A.I._y_Acero_P%C3%A9rez_J._>

Los_usos_del_plomo_en_la_ingenier%C3%ADa_hidr%C3%A1u-
lica_romana._El_caso_de_Augusta_Emerita_M%C3%A9rida_ex-
cav._arqueol._2001._Memoria_7_M%C3%A9rida_2004_381-396>
[Consulta: 03 de mayo de 2017].

Figura 27. *Sistema de tuberías cerámicas de Éfeso*. Disponible en: <<https://theindependenttourist.net/2013/07/14/ephesus-and-kusadas-avoiding-the-crowds/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 28. *Tuberías de cerámica halladas en Los Baños de la Reina*. Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tubuli,_cer%C3%A0mica,_banys_de_la_Reina,_Museu_d%27Hist%C3%B2ria_de_Calp.JPG>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 29. *Tuberías de gran calibre de plomo, museo del Foro Romano de Zaragoza*. Disponible en: <<https://tendencias.com/eco/contaminacion-plomo-antigua-roma/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 30. *Fuente aliviadero típica romana*. Disponible en: <http://www.traianvs.net/pdfs/2010_10_delapena.pdf>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 31. *Proceso de fabricación de tuberías de plomo en la antigua Roma*. Disponible en: <<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/historia/roma/roma.html>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 32. *Esquema del proceso de fabricación de tuberías de plomo en la antigua Roma*. Disponible en: <<http://aragonromano.ftp.catedu.es/canaliza.htm>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 33. *Proceso de sellado de la tubería de plomo en la antigua Roma*. Disponible en: <<http://aragonromano.ftp.catedu.es/canaliza.htm>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 34. *Tubería de plomo con un sello de fabricante hallado en el foro romano de Caesar Augusta*. <https://es.wikipedia.org/wiki/Tuber%C3%ADa_romana> [Consulta: 13 de junio de 2017].

Figura 35. *Vista frontal de la tubería de plomo*. Imagen propia.

Figura 36. *Ejemplo de lámina de plomo decorada en relieves*. Disponible en: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Plomo>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 37. *Proyector de plomo romano*. <<http://alfonso-traianus.blogspot.com.es/2010/12/la-honda-en-el-ejecito-romano.html>> [Consulta: 13 de junio de 2017]

Figura 38. *Pesa de plomo romana*. <<http://www.todocoleccion.net/antiguedades-tecnicas/pesa-plomo-epoca-romana~x42674865>> [Consulta: 13 de junio de 2017]

Figura 39. *Urna funeraria romana*. <http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/01042012/10/es-an_2012040113_9105500/ODE-33ffa57a-dd6a-3cd4-a4b1-eb101a14bb6c/23__los_monumentos_funerarios.html> [Consulta: 13 de junio de 2017].

Figura 40. *Ejemplo de lámina de plomo escrita con capa marrón rojiza característica*. Disponible en: <<https://sede.educacion.gob.es/publiven-ta/detalle.action?cod=14301C>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 41. *Galena*. Disponible en: <<http://ambitocientificotecnologicoiescm.blogspot.com.es/2012/04/plomo-sonia-y-juan-manuel.html>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 42. *Carbonato de plomo*. Disponible en: <<https://investigart.wordpress.com/2014/10/27/el-blanco-de-plomo/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 43. *Tetróxido de plomo*. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tetr%C3%B3xido_de_plomo>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 44. *Símbolo de advertencia: producto tóxico*. Disponible en: <<http://www.texca.com/simbolos.htm>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 45. *Símbolo de advertencia: dañino para el medio ambiente*. Disponible en: <<http://blog.seipasa.com/tag/ue/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 46. *Restos de tierra en el interior de la tubería*. Imagen propia.

Figura 47. *Fragmento de la tubería donde se aprecia la deformación*. Imagen propia.

Figura 48. *Detalle de la pérdida de la soldadura*. Imagen propia.

Figura 49. *Detalle del picado de la lámina hecho de dentro a fuera*. Imagen propia.

Figura 50. *Detalle de la marca de presión sobre la tubería*. Imagen propia.

Figura 51. *Tubería de plomo semienterrada en Pompeya*. Disponible en: <<https://www.flickr.com/photos/bushmonkey10443/6280884525/>> [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 52. *Marcas en la superficie de la tubería*. Imagen propia.

Figura 53. *Imagen al microscopio de la capa de óxido y carbonatos de la pieza*. Imagen propia.

Figura 54. *Detalle al microscopio del aumento de volumen de los carbonatos respecto a los óxidos*. Imagen propia.

Figura 55. *Imagen al microscopio de la capa de carbonatos entrelazada con óxidos*. Imagen propia.

Figura 56. *Detalle de una cristalización sobre la superficie de la pieza.* Imagen propia.

Figura 57. *Proceso de limpieza de la tubería durante la antigua intervención.* Imagen propia.

Figura 58. *Limpieza mecánica con fibra de vidrio durante la antigua intervención.* Imagen propia.

Figura 59. *Preparación de resina de intercambio iónico.* Imagen propia.

Figura 60. *Documentación fotográfica del proceso de aplicación de resina de intercambio iónico en la primera intervención de la tubería.* Imagen propia.

Figura 61. *Preparación de EDTA y gelificación.* Imagen propia.

Figura 62. *Bolsas de Paraloid B-44 en perlas antes de su preparación y disolución de acetona.* Imagen propia.

Figura 63. *Rollo de polietileno expandido.* Disponible en: <<http://www.encajaembalajes.com/espuma-polietileno-foam-embalaje-envase-protege/>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

Figura 64. *Planchas de polietileno preparadas para adaptarse a la forma de la pieza.* Disponible en: <<http://granpack.com/galeria.php>>. [Consulta: 17 de mayo de 2017].

11.1. ÍNDICE DE IMÁGENES. ANEXO I

Figura 65. *Fotografía previa a la intervención.* Imagen cedida por Montserrat Lastras.

Figura 66. *Fotografía previa a la intervención.* Imagen cedida por Montserrat Lastras.

Figura 67. *Fotografía de la tubería tras la intervención.* Imagen cedida por Montserrat Lastras.

Figura 68. *Fotografía de la tubería tras la intervención.* Imagen cedida por Montserrat Lastras.

11.2. ÍNDICE DE IMÁGENES. ANEXO III

Figura 69. *Fotografía general del otro fragmento de tubería de gran tamaño.* Fotografía cedida por Montserrat Lastras.

Figura 70. *Fotografía del anverso del otro fragmento de tubería de gran tamaño.* Fotografía cedida por Montserrat Lastras.

Figura 71. *Detalle de la vista superior de la torsión provocada en la tubería.* Imagen propia.

Figura 72. *Detalle del agujero en la tubería, posiblemente provocado en el momento en que se torsionó la tubería.* Imagen propia.

Figura 73. *Detalle de un golpe que ha hundido el plomo.* Imagen propia.

Figura 74. *Detalle de las marcas de arrastre a lo largo de la tubería.* Imagen propia.

Figura 75. *Restos de tierra sobre la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 76. *Detalle de la deformación del plomo, y las marcas generadas en la superficie.* Imagen propia.

Figura 77. *Detalle de un agujero en uno de los extremos de la superficie de la tubería de plomo.* Imagen propia.

Figura 78. *Detalle de los picados en la superficie plúmbea, con restos de carbonatos de plomo o sulfatos.* Imagen propia.

ANEXO 1

INFORME DE LA PRIMERA INTERVENCIÓN

Taller de Conservación y Restauración de Materiales Arqueológicos

Proedencia	Requena
Localización	Museo Municipal de Requena
Cronología	Época romana
Tipología	Metal
Dimensiones	Largo: 26 cm. Diámetro irregular: 8,2 cm. - 5 cm.
Peso	1,9 Kg.
Tipo de material	Plomo
Técnica	Fundición
Color	Gris claro
Decoración	Ninguna



FOTOGRAFÍA ANTERIOR A LA RESTAURACIÓN



FOTOGRAFÍA POSTERIOR

Datos cronológicos	Inicio	26 - marzo - 2007	Final	21 - mayo - 2007
--------------------	--------	-------------------	-------	------------------

ESTADO DE CONSERVACIÓN

Diagnóstico:
Indicar el número de fragmentos, características y patologías...

El objeto presentaba una corrosión estable de óxido de plomo por toda la superficie. Su coloración era un gris mate. En algunas zonas se apreciaba la presencia de carbonato básico (cerusita), debido al CO₂ y la humedad. A su vez, en el interior de la tubería había cantidad de tierra que no se ha podido extraer en su totalidad. También en su exterior había concreciones terrosas y suciedad superficial. El plomo es un metal muy pesado pero muy delicado, de ahí que la deformación que presenta se haya producido por un golpe que la ha aplanado a modo de pinzamiento.

Propuesta de intervención

Limpieza físico-química.
Eliminación de concreciones terrosas y calcáreas.
Protección

Tratamientos de limpieza

En primer lugar se han realizado pruebas con empacos de alcohol etílico, metanol, acetona, resina Amberlite IR/20 de intercambio iónico (en agua destilada), todos ellos envueltos en film transparente. Se ha observado su efecto a los 15 y 30 minutos tras su aplicación, observándose que el alcohol metílico ofrecía el mejor resultado. Las concreciones se reblandecían más y con más facilidad, permitiendo una mejor eliminación con bisturí y fibra de vidrio. Su limpieza ha sido lenta, pero el efecto que se ha conseguido es llegar a su pátina estable sin dañar la superficie metálica evitando un nuevo proceso de corrosión.

Consolidación, inhibición y montaje

Reintegración volumétrica

Reintegración cromática

Protección

SEGUIMIENTO POSTERIOR DE LA OBRA

Lugar donde se ubicará la obra

Desconocido.

Condiciones ambientales necesarias tras la restauración

Para su perfecta conservación la pieza debe estar a una temperatura ambiente de 18-21°C y una humedad relativa del 40%.

Embalaje

La pieza está sin terminar de restaurar y como es un objeto muy pesado y de grandes dimensiones, se precisaría un embalaje propio específico. Una caja contenedora propia sería lo más adecuado, si se encuentra una de dichas dimensiones o compartiendo espacio con otros objetos de plomo. El objeto debe estar mullido y bien sujeto. Se puede realizar a la medida de la caja una superficie de apoyo para el objeto con unas placas de espuma de poliestireno expandido, colocar el objeto encajado a los lados entre ambas placas de este material y en los huecos restantes meter bolitas del mismo material, muy utilizadas en embalajes y envíos de paquetes con objetos delicados.

Observación

Seguimiento posterior

FECHA

OBSERVACIONES

Responsable/s de la intervención

Ariadna Robles
Montserrat Lastras

ANEXO 2

DOCUMENTACIÓN DEL SEGUNDO FRAGMENTO DE TUBERÍA

Junto con la tubería objeto de este estudio, también se encontró otro fragmento de mucho mayor tamaño, que presentaba importantes deformaciones también.



Figura 69. Fotografía general del otro fragmento de tubería de gran tamaño



Figura 70. Fotografía del anverso del otro fragmento de tubería de gran tamaño.



Figura 73. Detalle de las marcas de arrastre a lo largo de la tubería.

ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LA OTRA TUBERÍA

La parte más deteriorada de la pieza presenta una importante deformación (fig.71). La torsión a la que ha sido sometida se podría haber debido al uso de una herramienta de gran tamaño y dureza que se debió enganchar en el plomo, arañándolo, agujereándolo, y doblándolo en un ángulo de 90° (fig. 72).

Debido a un proceso de arrastre, el plomo ha quedado marcado con bastantes arañazos paralelos a la dirección del tubo (fig. 73), y ocasionales marcas perpendiculares más profundas (fig. 74). En las zonas donde ha sufrido una mayor presión y torsión, el plomo ha formado pequeñas arrugas.



Figura 74. Detalle de un golpe que ha hundido el plomo.



Figura 71. Detalle de la vista superior de la torsión provocada en la tubería.



Figura 72. Detalle del agujero en la tubería, posiblemente provocado en el momento en que se torsionó la tubería.



Figura 75. Restos de tierra sobre la tubería de plomo.

Además de estas marcas, también se aprecian restos de tierra bastante poco apelmazada y muy suelta (fig. 75), y cuenta con una escasa formación de carbonatos, en comparación con el fragmento estudiado, y la capa de óxido gris es más uniforme.

Es curioso cómo su aspecto se asemeja al de una pieza de barro o plastilina, por lo blando que parece.

En resumen, los principales deterioros de la tubería de plomo son:

- Importantes deformaciones en la sección cilíndrica de la pieza, que llegan a deteriorar la lámina de plomo (fig. 76).



Figura 77. Detalle de un agujero en uno de los extremos de la superficie de la tubería de plomo.



Figura 76. Detalle de la deformación del plomo, y las marcas generadas en la superficie.



Figura 78. Detalle de los picados en la superficie plúmbea, con restos de carbonatos de plomo o sulfatos.

- Rotura y agujereamiento de la plancha de plomo en varios sitios (fig. 77).
- Superficie marcada en diversos trozos de forma irregular, como si hubiera sido rayada.
- Superficie irregular, con presencia de picaduras en el plomo de diversa profundidad (fig. 78).
- Importante presencia de tierra en toda la tubería.
- Formación de carbonatos que han podido deteriorar la superficie plúmbea.
- Pequeñas arrugas en algunos puntos de la tubería.

El conjunto de deterioros que se aprecia en la tubería se podría deber a que en su periodo de entierro fuera golpeado, enganchado y arrastrado en alguna labor de arado o construcción sobre el terreno donde estaba. Al engancharse, con la densidad y lo blando que es el material, no es de extrañar que no se consiguiera sacar totalmente, y que fuera más fácil que se retorciera y deformara. Los arañazos indican un arrastre, y señales de haber sido golpeada con objetos de mayor dureza en varias ocasiones.

LAURA MOYA RUIZ

ESTUDIO HISTÓRICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DE UNA
TUBERÍA DE PLOMO ROMANA

Tutora: Montserrat Lastras Pérez

Departamento de Conservación y Restauración de Patrimonio
(Facultad de Bellas Artes)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Julio de 2017