

## **INGENIERÍA HIDRÁULICA EN CARTHAGO NOVA: LAS TUBERÍAS DE PLOMO**

**Alejandro Egea Vivancos**

*(Universidad de Murcia)*

*Mastia 1, 2002, pp. 167-178*

### RESUMEN:

Este trabajo quiere plantear por primera vez en Cartagena un estudio serio en torno al uso de las tuberías de plomo (*fistulae plumbeis*) en el entramado urbanístico e hidráulico de la antigua ciudad romana. Analizamos los distintos elementos aparecidos en la ciudad hasta el día de hoy.

### ABSTRACT:

This work wants to show a serious study around the use of the lead pipes (*fistulae plumbeis*) in the urban and hydraulic network of the old Roman city for the first time in Cartagena. We analyse the different elements, which have appeared in the city until today.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La ingeniería hidráulica se presenta como un método indiscutible y plenamente constatado para profundizar en el conocimiento de la estructura urbanística de las ciudades romanas<sup>1</sup>. Cada elemento se convierte en fundamental, y de esa manera, el artefacto que a simple vista se nos presenta como menos espectacular, si se le somete a un análisis detenido, proporciona un caudal de información, hasta al día de hoy condenada a dormir en los fondos de buena parte de los museos españoles y europeos. En la historiografía arqueológica más reciente la hidráulica ha importado poco o más bien nada. Únicamente podemos salvar de la quema las grandes edificaciones, acueductos y termas, que por sus dimensiones marginaban aquellas que podríamos catalogar como de *ingeniería hidráulica menor*: cloacas, cisternas y tuberías<sup>2</sup>.

En nuestro acercamiento al mundo hidráulico de la ciudad de *Carthago Nova*<sup>3</sup>, nos vimos apasionados por este segundo grupo de elementos. Por este motivo hemos decidido hacer un recorrido en torno al uso y empleo de uno de ellos, las tuberías, y más concretamente las de plomo.

## II. LAS *FISTULAE PLUMBEIS*. GENERALIDADES

Simplificando al máximo, los tipos de canalizaciones usadas en la antigüedad para canalizar el agua de un lugar a otro, se suelen distinguir en general como *fistulae*. Este término englobaba a todos los tipos de conductos cerrados, canalizaciones de todas las naturalezas. La materia de dichas canalizaciones variaba. Era común el empleo de conductos de cerámica. Al respecto es clarificador el testimonio de Vitruvio<sup>4</sup>: "*El agua es más sana viniendo de tubuli 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.*" Eran sin duda las más económicas, de reparaciones más fáciles y más salubres, ya que como afirmaba dicho autor cualquiera podía arreglar un desperfecto, el agua era mucho más saludable y tenía un mejor sabor.

También se empleaban otros materiales<sup>5</sup> como la madera y la misma piedra. A escala terminológica, tanto la madera, como la piedra o la cerámica recibían el nombre latino de *TUBULI*, mientras que el término de *FISTULA* se reservaba para las conducciones realizadas en metal, casi siempre plomo y en contadas ocasiones el bronce. En resumidas cuentas, Vitruvio distinguía para la conducción de agua las tres maneras más comunes: las canalizaciones de obra, la que empleaba tubos de plomo, a los que daba el término de *fistulis plumbeis* y la de tubos de cerámica, los *tubulis fictilibus*.

Las de plomo tomaban su nombre de la longitud en dedos que tenían las placas antes de ser curvadas. Normalmente al curvarlas su forma no era perfectamente cilíndrica sino ligeramente ovoides y aunque Vitruvio desestimó su uso<sup>6</sup>, la verdad es que estuvieron enormemente generalizadas, y la prueba es la relativa facilidad con la que podemos encontrar pruebas de su uso en las distintas excavaciones llevadas a cabo tanto en Cartagena como en sus cercanías. Su uso y

empleo también se relaciona con los sifones, conductos fuera de la ciudad, instalaciones de distribución urbana y conexiones puntuales con edificios singulares, siendo la unidad de medida corriente la *quinaria* (unos 40'6 m<sup>3</sup>/día).

Desde ahora se van a señalar los ejemplos de tuberías de plomo hallados en la ciudad, basándonos para su análisis en los comentarios, datos y medidas aportadas tanto por Vitruvio (**fig.1**) como por Frontino en sus respectivas obras. Con cada uno de los ejemplares se ha redactado una pequeña ficha en la que se prevé responder a los siguientes campos: 1. Longitud del fragmento. 2. Sección (elipsoidal, circular, etc.). 3. Perímetro medio. 4. Altura de la boca. 5. Anchura de la boca. 6. Grosor del tubo. 7. Ancho colada. La contestación a esta serie de cuestiones proporciona información referente al tipo de tubo empleado, caudal mínimo o máximo e incluso posible cronología.

### III. CATÁLOGO

#### III.1. Santa Lucía, 1726

En estas fechas, el Jefe de la Escuadra de Galeras José de los Ríos pidió permiso al Cabildo municipal para abastecerse de piedras en el muelle de Santiago del barrio pesquero de Santa Lucía, siendo concedido tal permiso en la sesión del 1º de noviembre de 1726<sup>7</sup>. La aparición de ruinas movilizó a los vecinos, convertidos en repentinos “arqueólogos” que deshacían todo cuanto había, hasta que el Ayuntamiento prohíbe dichas “excavaciones”. Montanaro<sup>8</sup> cita entre los descubrimientos: “...cimientos de edificios y cosas extrañas, como pedazos de columnas de jaspe, basas y capiteles de mármol, cornisas y figuras de lo mismo, baños y conductos de plomo, hermosos pedazos de solado pavimentado con piedrecitas blancas cuadradas como dados...”

Dicho hallazgo lo confirmamos en la obra que escribió el presbítero Fulgencio Cerezuela hacia 1726, que aporta una versión directa del mismo suceso, añadiendo incluso una posible funcionalidad a los restos exhumados<sup>9</sup>: “Hallaronse también en este mismo sitio que corresponde a la situación que llaman Muelle de S.Tiago muchos baños y conductos de plomo, con cortaduras o

*canales que naturalmente parece servían para fijar algunas tablas para detener las aguas, y levantándolas, darles la salida a la mar, que está inmediata.”*

Para Beltrán<sup>10</sup>, era ésta la prueba que en lo que hoy es Santa Lucía se extendía una importante área suburbana de la antigua ciudad romana que pudo contar con su propia casa de baños, a la que pertenecerían los conductos de plomo y tuberías. No obstante, parece más posible que se tratase de algún tipo de instalación industrial a las afueras, localizada en los terrenos que anteriormente ocupaba una necrópolis, como bien prueba la cantidad de epígrafes funerarios provenientes de este barrio cartagenero.

Al seguirle la pista a los materiales de esta excavación popular, el mismo Beltrán advierte que el tubo de plomo, que entonces estaba en el Museo Local de la Sociedad Económica de Amigos del País (donde se almacenaban las numerosas colecciones desde 1893), debía pertenecer al lote de los hallazgos de Santa Lucía. Dicho tubo presentaba una sección elíptica, de 8'5 cm de desarrollo, con soldadura o colada de plomo lateral recta. Su medida se aproximaría a la *Vicenaria*<sup>11</sup> (de 20), con un diámetro de 8'32 cm y una capacidad de unas 13 *quinariae*, unos 526'1 m<sup>3</sup>. Recientemente, buscando entre los archivos del Museo Arqueológico Municipal apareció la antigua ficha de inventario de la tubería, que aún se conservaba en el antiguo emplazamiento, si bien parece que tras el traslado al nuevo local de la calle Ramón y Cajal la pieza desaparece y desde entonces nada más se sabe de ella.

### **III.2. Duque, 29<sup>12</sup>**

De esta excavación se conservan en los fondos del Museo Arqueológico Municipal de Cartagena, dos fragmentos de sendas tuberías de plomo. El primer fragmento de tubería es el que se conserva en mejor estado y presenta una sección ovoide, con forma almendrada por un extremo y casi circular por el otro. Presenta una longitud máxima de 11'6 cm y una anchura de 5 cm en su lado mayor y 4 cm en el menor, siendo el grosor de las paredes de 0'5 cm. En coincidencia con otras tuberías, presenta roturas circulares en su parte superior de 0'5 cm de diámetro. El segundo

fragmento se conserva en un estado bastante incompleto y ni siquiera llega a cerrarse su diámetro. Su longitud máxima es de 13'6 cm y el grosor de sus paredes no llega a los 0'2 cm.

### **III.3. Jara, 6<sup>13</sup>**

En este solar se documentaron restos de habitaciones romanas, continuación probable de los restos de los solares de la calle Palas, 1-3, esquina Cuatro Santos, 19 y 17. Se localizó dentro de un ambiente claramente doméstico un gran *impluvium*, con basas en su perímetro y conducciones de plomo. Seguramente se trate de un atrio, con fuente central, de una rica *domus* señorial, que conectaría con los restos exhumados quince años más tarde en el solar número 12 de la misma calle. A partir de los elementos arquitectónicos recuperados se suele datar el conjunto en un momento altoimperial y su conexión con los restos aparecidos en 1992 precisan un desarrollo vital claro en época augustea.

En cuanto a las *fistulae* se trata de tres conducciones de plomo de muy buena conservación, de color gris, expuestas actualmente en el Museo Arqueológico Municipal con el número de inventario 2906. (**fig. 2**)

El fragmento menor presenta dos roturas circulares en su parte central, una de 2'5 cm de diámetro y la segunda de 2 cm, roturas que si en un principio no parecen intencionadas, su similitud y carácter central dejan sobre sospecha su posible funcionalidad.

Haciendo un breve inciso, queda descartado por su pequeño tamaño que se tratasen de agujeros destinados al mantenimiento y a la limpieza de los distintos tramos a los que les faltara algún tipo de tapadera hoy perdida. Tölle-Kastenbein sugiere la posibilidad de que se tratase de agujeros de aireación de los tubos. Vitruvio describe algo parecido a estas salidas de aire y según él podrían evitar la rotura de la canalización a costa de la elevada presión adquirida por tramos de excesiva pendiente<sup>14</sup>.

Sin embargo, los agujeros que menciona el autor latino sólo se localizan en los fondos o "vientres" de tramos de excesiva pendiente. Aquí nos inclinamos ante la opción de que gracias a

estos orificios de aireación los romanos controlaran la velocidad del flujo. Está comprobado que la intrusión de aire en las tuberías reduce el flujo, con lo que se podría controlar la velocidad del caudal mediante un uso científico de las posibles tapaderas de estos agujeros<sup>15</sup>. De todos modos, los agujeros de las tuberías analizadas en el caso de Cartagena podrían deberse simplemente a una rotura casual, si bien su precisión y regularidad dejan la puerta de la duda completamente abierta.

Uno de sus bocas presenta un tope o reborde interior a los tres centímetros del borde exterior, lo que denota una sección mayor ("cuello hembra") para poder encajar correctamente el "cuello macho" más estrecho que presenta el fragmento número 2. Dicho fragmento, tiene distintos diámetros ya sea en una boca o en otra, contando con 5'5 cm de diámetro en el lado que sirve de "macho" y algo más de 6 cm en el orificio contrario.

Los valores medios del perímetro y el diámetro de los tres fragmentos de la calle Jara, 6 se aproximan a los valores propuestos por Frontino para la denominada *Fistula denum quinum (de 15)*, cuya capacidad se aproxima a las 9 *quinariae*, unos 365'4 m<sup>3</sup>/día<sup>16</sup>. (**fig. 3**)

#### **III.4. Cuatro Santos, 17<sup>17</sup>**

En este solar del "centro" cartagenero se constató la existencia de una tubería de plomo en buen estado de conservación, que se encuentra actualmente entre los fondos del sótano del Museo Arqueológico Municipal. Su anchura de la boca y su perímetro parecen responder al tipo de las *fistulae* denominadas como *Fistula denum quinum (de 15)*<sup>18</sup>, por lo que su capacidad se aproximaría a las 9 *quinariae* que precisaba Frontino en su sistema de calibres fontaneros<sup>19</sup>, aproximadamente unos 365'4 m<sup>3</sup>/día, valor quizás un poco excesivo para tratarse de una simple vivienda particular.

La tubería llevaba un pequeño murete de protección de argamasa y presentaba concreciones calcáreas alrededor de todo el interior de 1 cm de espesor. Estas concreciones calcáreas se suelen depositar sobre la pared superior de los conductos inclinados a causa de la fuerte presión generada por un flujo muy potente, y como en este caso, son extremadamente duras y resultan muy difíciles de quitar<sup>20</sup>. Tal es el caso que la mayor parte de los estudios de hidráulica consultados, realizan sus

mediciones de caudales, tomando dos momentos de medición, uno con la tubería recién estrenada, sin concreciones, y un segundo momento o valor, con las concreciones calcáreas ya formadas, con lo que el caudal de la tubería disminuye considerablemente.

La longitud total del fragmento es de 2'7 metros y su sección es elipsoidal. El perímetro medio ronda los 23'3 cm, mientras que la boca presenta una altura de 8'3 cm y una anchura de 7 cm. El grosor del tubo es de 0'3 mm y el ancho de la colada 1'1 cm.

Cuenta con dos puntos de fricción, un empalme o junta de 10 cm de largo por 8 cm de anchura, una rotura en uno de sus extremos de 6 por 5'5 cm. Adquiere una pendiente de 19 cm (7'03%) adentrándose en los perfiles Oeste y Este del corte, con una dirección NO-SE, quedando apoyada en una cloaca que la cruza inferiormente. **(fig. 4)**

La dirección tomada por la tubería de plomo parece dejar claro la conexión entre ella y una cisterna cercana de forma indeterminada. La ligera pendiente existente entre las paredes de la cisterna y el punto más alejado de la tubería de plomo plantean la posibilidad de que recogiera agua potable de ese depósito para abastecer a alguna vivienda cercana, ya que lo contrario, de la tubería a la cisterna, nos parece un poco más improbable, sin contar con algún tipo de artilugio o bomba que posibilitara ir contra la pendiente. **(fig. 5)**

### **III.5. Sambazart (P.E.R.I. Molinete)<sup>21</sup>**

Dos edificios monumentales dejan entre ellos un espacio en forma de pasillo muy estrecho. El papel de este callejón se relaciona con la recogida de aguas de las vertientes de los dos grandes edificios colindantes así como pasillo de acceso a la terraza superior. De la pavimentación del pasillo sólo resta un suelo inclinado de *signinum*, cuyo centro aparece recortado por una conducción de agua potable en forma de canaleta cuadrangular, de unos 40 a 50 cm de ancho.

La canaleta, al menos en su último momento, albergaría una tubería de plomo de sección almendrada, de 15 por 9'5 cm, expoliada en el abandono del edificio, de la que se conservó un tramo de sólo 20 cm de longitud con la junta de enlace visible que parece indicar la conservación *in*

*situ* de la tubería dentro del perfil aún por excavar. El grosor de las paredes es considerable, unos 2 cm, tantos como el ancho del cordón superior y presenta concreciones calcáreas a lo largo de todo el anillo interno de la tubería que disminuye su capacidad drásticamente, quedándose con unos 7 cm de altura por 5'5 cm de anchura. Sus características físicas, especialmente su anchura, parecen corresponder a las *fistulae Vicenaria (de 20)* cuya capacidad oscilaba entre 16 *quinariae*, unos 649'6 m<sup>3</sup>/día<sup>22</sup>, calibre que según Frontino era empleado a finales del siglo I por los fontaneros, dato que encuadra perfectamente en la cronología augustea que precisan los arqueólogos para el complejo circundante. El volumen hídrico que podría transportar en buenas condiciones de limpieza, unos 649 m<sup>3</sup>/día se ve por las concreciones calcáreas reducido a unos 233'8. **(fig. 6)**

## CONCLUSIONES

La distribución del agua urbana se inicia en la salida del depósito terminal a donde había llegado a través del acueducto, es decir, el *castellum aquae* del Molinete. De aquí arrancarían una serie de tuberías principales, que llegarían a las distintas zonas de la ciudad, donde quizás se volvieran a subdividir para dar suministro a las distintas casas y propietarios. Esas tuberías abastecían también a los grandes edificios que debían asegurarse un suministro continuo y extenso ya fuera por medio de depósitos, pozos o traída de aguas mediante dichas tuberías.

A lo largo de este recorrido se constata el uso casi exclusivo de las tuberías de plomo, *fistulae*, dedicada exclusivamente para el transporte del agua potable. Todo ello no descartó la existencia de tuberías construidas en cerámica, si bien son escasos los ejemplos (quizás debido a su mayor fragilidad), que suelen relacionarse mayormente con el ámbito industrial.

Con los ejemplos de *fistulae* analizados se comprueba el uso de unos calibres fontaneros muy concretos y limitados, a saber: *denaria* o *duodenaria* (Duque 29), *denum quinum* (Jara 6, Cuatro Santos 17), *vicenaria* (Molinete, Santa Lucía). Los dos primeros tipos se relacionan por el contexto arqueológico y sus medidas con un uso puramente doméstico, para una capacidad de transmisión reducida. Por su parte, el último tipo, la *vicenaria* aparece relacionada con un edificio

público, que va a abastecer a algún tipo de obra monumental, y con una posible instalación industrial o factoría de salazones.

En cuanto al marco cronológico que puede aportar el hallazgo de una tubería de plomo nuestra mejor fuente es el catálogo propuesto por Frontino (**fig. 7**). Se comenta en su obra la existencia de unos calibres oficiales que aunque son conocidos por el autor, realmente están en desuso para la época en la que se está escribiendo, finales del siglo I d.C., en torno al 98. Con los ejemplos cartageneros en la mano, se advierte que la *vicenaria* y la *denum quinum* siguen en uso para estas fechas. Sin embargo, la *duodenaria* ya no se empleaba a fines del siglo I d.C., lo cual podría ser un límite cronológico superior válido, si no fuera por el mal estado del ejemplar analizado y lo dudoso de su tamaño.

Parece algo básico y consabido pero el simple grosor de una tubería aporta algo de luz sobre la funcionalidad del edificio o zona en la que se enmarca. Además, y si bien no resulta un argumento demoledor, se puede precisar algo en cuanto a su cronología basándonos en Frontino. Es escaso el número de ejemplares analizados pero en general se pueden adscribir a un contexto histórico en torno al cambio de era. Dicha fecha coincidiría perfectamente con el principal periodo de planificación urbanística vivido en Carthago Nova, planificación que comenzó sin duda alguna por un estudio y previsión concienzuda de lo que iba a ser el futuro sistema hidráulico de la *urbs*.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ADAM, J.-P. 1996, *La Construcción Romana. Materiales y técnicas*, León.

BELTRÁN, A. 1945, "Sobre una excavación del siglo XVIII en Santa Lucía (Cartagena)": *BASE*, 1, Abril-Junio, 82-85.

EGEA, A. *en prensa*, "Características principales del sistema de captación, abastecimiento, distribución y evacuación de agua de Carthago Nova": *Empúries*, 53 ("La gestión del agua en las ciudades romanas de Hispania").

- FRONTINO, *De aquaeductu Urbis Romae* (Edición crítica y traducción por Tomás González, CSIC, Madrid, 1985)
- MARÍN, C. 1996, "Informe de la excavación del solar de la calle Cuatro Santos N.º 17. Cartagena": *Memorias de Arqueología*, 5 (1991), 263-276.
- MARÍN, C. 1998, "Segunda intervención arqueológica en la calle Cuatro Santos n.º 17 de Cartagena": *Memorias de Arqueología*, 7 (1993), 223-229.
- MARÍN, C., DE MIQUEL, L. E. 1999, "Estudio preliminar de una *domus* antoniniana en Carthago Nova (Calles Jara, Palas y Cuatro Santos)": *XXV CNA*, 280-285.
- ROLDÁN, B., DE MIQUEL, L. E. 1999, "Excavaciones en el templo Capitolino de Carthago-Nova": *XXIV CNA (Cartagena, 1997)*, IV, 57-65.
- RUBIO, J. M. 1977, *Nicolás Montanaro. Observaciones sobre antigüedades de Cartagena*, Cartagena.
- RUBIO, J. M. 1978, *Fulgencio Cerezuela. Antigüedades de Cartagena*, Madrid.
- RUIZ, E. 1998, "Excavaciones en Cartagena: El solar de la calle Jara n.º 12": *Memorias de Arqueología*, 7, 231-242.
- SAN MARTÍN, P. A. 1973, "Prospecciones arqueológicas en solares urbanos de Cartagena": *Mastia*, 4-5, 47-50.
- SAN MARTÍN, P. A. 1975, "Trabajos arqueológicos en el sótano del edificio de la calle del Duque de Cartagena, propiedad de la C.A.S.E.": *Idealidad*, 201.
- SAN MARTÍN, P. A. 1983, "Cartagena: conservación de yacimientos arqueológicos en el casco urbano": *Symposium Arqueología de las ciudades modernas superpuestas a las antiguas*, Madrid, 335-355.
- SAN MARTÍN, P. A. 1985, "Nuevas aportaciones al plano arqueológico de Cartagena": *Museo de Zaragoza*, 4, 134-136.
- TÖLLE-KASTENBEIN, R. 1993. *Archeologia dell'Acqua. La cultura idraulica nel mondo classico*, Milán.

VITRUVIO, M. L. *Los Diez Libros de Arquitectura* (Traducción de Agustín Blánquez, Ed. Iberia, Barcelona, 1997).

<sup>1</sup> Los casos de Córdoba (Ventura, 1996) o Toledo (Aranda, 1997) han servido como avanzadilla en el panorama arqueológico hispano. La espectacularidad de los resultados ha animado una sucesión de estudios hidráulicos de carácter global culminados por la preparación de un número monográfico de la revista *Empuries* en torno a "*La gestión del agua en las ciudades romanas de Hispania*" (e.p.).

<sup>2</sup> La bibliografía sobre tuberías de plomo es realmente mínima, casi anecdótica, así que creo conveniente citarlas todas: De las tuberías de plomo han interesado sobre todo los sellos. Este tema se ve recogido ampliamente en *Epigrafia della produzione e della distribuzione*, Roma, 1994 (Actes de la VIIe Rencontre franco-italienne sur l'épigraphie du monde romain (Rome, 1992). Básico resulta MICHON, E. 1969, s.v., "Fistula": *D.A.G.R.*, 7, 1146-1149. Para España sólo destaca BELTRÁN, A. 1977, "El tubo de plomo del frigidarium de las termas de los Bañales (Uncastillo, Zaragoza)": *XVI CNA* (vol. II), 1049-1054. Otros trabajos al respecto: BRUUN, C. 1992, "Fistula-Stempel": *SpNov*, 8, 3-16. COCHET, A. *et alii*, 1996, *Conduites et objets de plomb gallo-romains de Vienne (Isère)*, (Gallia Suppléments, 46), París. COLONNA, G. 1960, "Santa Severa (Roma). Fistula iscritta da Pyrgi": *NSc*, 14, 363-365. ECK, W. 1982, "Die Fistulae aquarice": *Epigrafia e ordine senatorio*, Roma, 197-209. PAPARAZZO, 1994, "Analysis of a Roman lead pipe fistula": *SD*, 74, 61-72. PETRUCCI, A. 1996, "Fistulae aquariae di Roma e dell'ager Viennensis": *Labeo*, 42, 169-207. PRIULLI, S. 1986, "Le iscrizioni sulle fistulae": *Il trionfo dell'acqua*, 187-195.

<sup>3</sup> Egea, *Empuries*, 53, e.p.

<sup>4</sup> Vitruvio VIII, 7. Efectivamente, parece ser que del desgaste de las tuberías de plomo salía el albayalde, un carbonato básico del plomo. Es sólido, de color blanco y ya se usaba corrientemente en la antigüedad para la pintura.

<sup>5</sup> Menos corriente y mucho más costoso era el empleo de conducciones de bronce e incluso de *opus caementicium*, que si bien no están generalizadas, sí ha sido constatado su uso.

<sup>6</sup> Sólo algunas aguas muy corrosivas eran capaces de provocar una disolución parcial del plomo, convirtiéndolas en nocivas cuando la presencia de dicho metal era superior a 0'1 mg/litro. (Cf. Adam 1996, p. 315)

<sup>7</sup> Archivo Municipal de Cartagena: *Libro de Cabildos 1723-1726*.

<sup>8</sup> Rubio 1977, p. 212.

<sup>9</sup> Rubio 1978, p. 67.

<sup>10</sup> Beltrán 1945 p. 82-85.

<sup>11</sup> Frontino XLVI.

<sup>12</sup> San Martín 1973, p. 47-50. – 1983, p. 335-355.

<sup>13</sup> San Martín 1985, p. 136. Ruiz 1998, p. 231-242.

<sup>14</sup> Vitruvio VIII. 6. 9. "*Además en este espacio llamado vientre, se han de hacer respiraderos por los que pueda darse salida al aire comprimido en la tubería.*"

<sup>15</sup> Tölle 1993, p. 109-111.

<sup>16</sup> Frontino XLV.

<sup>17</sup> Marín 1996, p. 263-276. - 1998, p. 223-229. Marín-De Miquel 1999, p. 280-285.

<sup>18</sup> Frontino XLV.

<sup>19</sup> Frontino XXIV-LXIII.

<sup>20</sup> Tölle 1993, p. 109.

<sup>21</sup> Roldán-De Miquel 1999, p. 57-65.

<sup>22</sup> Frontino XLIV.