

# NUEVO ANÁLISIS DEL SIFÓN INVERTIDO DE LOS ARQUILLOS, ACUEDUCTO ROMANO DE *GADES*

New analysis of the Inverted Syphon of Los Arquillos in the Roman Aqueduct of *Gades*

JENNY PÉREZ MARRERO \*

**RESUMEN:** El acueducto romano de *Gades* contó en su recorrido con varios sifones invertidos. Uno de ellos es conocido como el sifón de Los Arquillos, elemento que permitió cruzar el arroyo Salado de Paterna de Rivera. El sifón, estaba conformado por un conjunto de tubos realizados con sillares de piedra a los cuales se les practicaron perforaciones cilíndricas internas. A su paso por el arroyo, el dispositivo de presión, contó con un *venter* de 15 m de altura que, posiblemente le permitió salvaguardarlo de las avenidas y reducir la presión máxima alcanzada en el interior de la tubería. El sistema estaba provisto además, con una serie de elementos especiales como torres intermedias que permitieron su operación. La función de estas torres “intermedias” se encuentra en estudio y en el presente artículo se presentan varias hipótesis al respecto. También se ha realizado una revisión del trazado en planta del sifón y su perfil longitudinal, a partir de los nuevos restos arqueológicos localizados en campo.

**Palabras clave:** Acueducto, Gades, Romano, Sifón, Hidráulica, Ingeniería Civil.

**ABSTRACT:** The Roman aqueduct of *Gades* had several inverted syphons throughout its length. One of them is known as the syphon of Los Arquillos, enabling the stream of Salado de Paterna de Rivera to cross it. The syphon was composed of a set of pipes built with ashlar in which circular holes were drilled. In the area of the stream the syphon also had a 15-metre high *venter* that protected it against the flooding of the stream and reduced the maximum pressure reached inside the piping. The syphon was also equipped with a series of special elements, such as intermediate towers that contributed to its operation. The role of these towers is currently being studied and several hypotheses are presented in this paper. The syphon's ground plan and its longitudinal profile have also been revised on the basis of the new archaeological remains found in the field.

**Key words:** Aqueduct, Gades, Roman, Siphon, Hydraulics, Civil Engineering.

\* Becaria de doctorado la Fundación Juanelo Turriano, c./ Zurbano, 41, 1.ª planta, 28010 Madrid. [jennyperez@gmail.com](mailto:jennyperez@gmail.com).

Fecha de recepción: 23-01-2012. Fecha de aceptación: 22-06-2012.

## INTRODUCCIÓN

El sistema de abastecimiento de agua de la antigua *Gades* estuvo conformado inicialmente por pozos y fuentes<sup>1</sup>. Posteriormente, se construyó el acueducto<sup>2</sup> que transportó el agua desde el manantial de Tempul con un recorrido de 75 Km de aproximadamente<sup>3</sup>. El acueducto contó con tramos que operaban en régimen de lámina libre y otros en los que el agua era transportaba en tuberías a presión, empleando sifones invertidos que le permitirían salvar arroyos, zonas de marismas y extensos tramos a nivel del mar en la zona del litoral gaditano.

Uno de estos sifones es conocido con el nombre de Los Arquillos, topónimo con el que se le identifica desde la edad media y que, posiblemente, esté asociado con los restos arqueológicos de su *venter*; una secuencia de arcos que permitió salvar el arroyo de Salado de Paterna de Rivera. Los restos materiales del sifón de Los Arquillos se encuentran en el municipio de Jerez de la Frontera, en una finca con el mismo nombre y que se dedica actualmente a la producción agrícola, justo entre las poblaciones de Torreceira y Paterna de Rivera.

La antigua conducción a presión (sifón) de Los Arquillos ha sido objeto de constante mención en la documentación que aborda el estudio del sistema de abastecimiento de agua a la antigua *Gades*<sup>4</sup>. Las diferentes descripciones que se han realizado de este dispositivo han sido simples exposiciones sobre la forma y el estado de conservación de los restos materiales existentes aún, en el valle de los Arquillos. El informe que suministra mayor información de la tubería a presión, para su estudio desde el punto de vista hidráulico, fue el realizado por Ignacio Garcini<sup>5</sup> en 1782 y que, forma parte del

---

1. En la primera etapa de ocupación en la antigua Cádiz el agua se obtenía de las fuentes, pozos y cisternas (Jiménez, 1971:55; Fierro, 1987; Durán, 2005:16; Lomas, 2011:226). Las primeras noticias que nos llegan de los autores clásicos sobre el abastecimiento de agua a la ciudad de Cádiz las tenemos a través de Estrabón, quien nos informa de la existencia de pozos y cisternas dentro y fuera de la ciudad fenicia de *Gadir*, además de los descritos por Polibio en el Heracleo o “Templo de Hércules”, en donde debió existir una gran fuente de agua potable a la que se accedía a través de peldaños, con un régimen de carga inverso a las mareas (Estrabón: III, 5, 7 citado en Gómez 2007; Plinio: II, citado en García y Bellido, 1978:219).

2. La fecha de la construcción del acueducto romano es desconocida. No se ha encontrado ninguna evidencia documental o arqueológica que haya permitido su datación, hasta la redacción del presente documento. Actualmente sólo se manejan las diferentes hipótesis de datación que, diversos historiadores han realizado a lo largo del tiempo y que, en su mayoría coinciden en datarlo en la época del *flourit* de *Gades*, perteneciente a la labor edilicia de Balbo El Menor (IBN Saī'd: *al-Mugrib*, I, 309 citado en Toledo, 1988:138; Ocampo, 1578: I, cap. XVII; Horozco, 1845:35, 1929:195-196; Abreu, 1866:138; Concepción, 1690:131; Ponz, 1725-1792 citado en Mayo, 1877:214-216; Cambiaso, 1829:49; Castro, 1858:179-180; Quintero, 1928:49; Fierro, 1989a:19; Rodríguez, 1992:296; Lagóstena, 1998:266; Sáez *et al.*, 2004:114; Lagóstena y Zuleta, 2007; Guzmán, 2008:331; Bernal, 2008; Lagóstena y Zuleta, 2009:121; Lomas, 2011:226).

3. Ha sido considerado como el acueducto romano más largo de *Hispania* (Fernández, 1985:319).

4. El sifón de los Arquillos ha sido descrito en diversos documentos, con diferente nivel de detalle (Suárez, 1610; Hurtado y Rueda, 1784; Perosini y Dubornial, 1786; Moreno, 1998; Lagóstena y Zuleta, 2007; Pérez, 2008; Pérez y Bestué, 2008; Lagóstena y Zuleta, 2009; Pérez y Bestué, 2010).

5. Ignacio Garcini ó Jaime Garcini (Cano, 1994:210) fue un destacado ingeniero militar del siglo XVIII, quien desempeñó el cargo de arquitecto de la ciudad de Cádiz (Capel *et al.*, 1983:199). Su trabajo dentro del proyecto de rehabilitación del acueducto de *Gades* del siglo XVIII, consistió en la elaboración

proyecto de rehabilitación de acueducto romano, propuesto desde la ciudad de Cádiz en el siglo XVIII (Hurtado y Rueda 1784)<sup>6</sup>.

En trabajos más recientes se ha intentado determinar datos técnicos, como el valor del caudal de agua posiblemente transportado por el sifón en base al análisis de los restos materiales existentes *in situ* y de la aplicación de la formulación hidráulica correspondiente (Bestué y González 2006; Pérez 2008; Pérez y Bestué 2008; Pérez y Bestué 2010).

El presente artículo pretende realizar un nuevo análisis del sifón de Los Arquillos, desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, tomando como base de partida la revisión de la documentación existente y de los nuevos datos obtenidos de la reciente campaña de inspección visual de los restos arqueológicos existentes del sistema, tanto los pertenecientes a su tramo aguas arriba (finca de los Isletes Altos) y al de aguas abajo (finca de las Piletas)<sup>7</sup>. Se pretende aportar una nueva propuesta de su trazado en planta y de su alzado que, se debe ir ajustando a medida de que sean descubiertos nuevos restos materiales de la conducción forzada.

Se ha estudiado la tubería a presión como una obra especial, parte fundamental del sistema de abastecimiento de agua de *Gades*, extrayendo de su análisis una serie de hipótesis sobre su longitud, los posibles cambios de su dirección en su planta y alzado (curvas horizontales y verticales), la pérdida de carga, la probable justificación de la existencia de dispositivos intermedios auxiliares (torres hidráulicas) y la presión de agua interna máxima alcanzada en la tubería, entre otros (Kessener 2000; 2004; Hodge 2002).

## METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología aplicada en el presente trabajo partió de la revisión de toda la información documental existente sobre el sifón de Los Arquillos. Posteriormente, se procedió a clasificar dicha documentación en dos grupos: datos localizables geográficamente en campo e información complementaria.

---

de un informe previo del estado de conservación del sifón de los Arquillos, con miras a su recuperación. El manuscrito, producto del dicho reconocimiento, se hizo en colaboración del maestro fontanero Antonio Ruiz Florindo, firmado el 12 de julio de 1782 (Hurtado y Rueda, 1784).

6. En acueducto romano de *Gades* fue objeto de dos intentos de rehabilitación que no se llegaron a materializar por diferentes razones. El primero, fue en época de Felipe II, para solventar el problema de escasez de agua de Jerez de la Frontera (AMJF, AC, 1576:646-655; Concepción de la, 1690:132; Horozco de, 1845:35-36; Sancho de, 1964:32-33; Pérez *et al.*, 2011:1078). El segundo, fue en el siglo XVIII, empresa promocionada por el gobernador político militar Conde O'Reilly para solucionar el problema de abastecimiento de agua a Cádiz (Lagóstena *et al.*, 2007).

7. La inspección visual de los restos materiales del sifón invertido es parte de la tesis doctoral que está siendo desarrollada por la autora del presente documento, financiada por la Fundación Juanelo Turriano. Los trabajos de campo son del conocimiento de la Delegación Provincial de Cultura y Deporte de Cádiz, organismo con el que se ha acordado informar sobre dichas inspecciones, a través de presentación de un informe escrito, la situación actual de los restos arqueológicos en el valle de los Arquillos y la relación de nuevos hallazgos, posiblemente asociados al mismo sistema de abastecimiento de agua, una vez sea entregada la mencionada tesis doctoral.

En el primer grupo, los datos se almacenan y administran en un sistema de información geográfica<sup>8</sup>. Existen, dentro de este mismo conjunto, dos tipos de registro: el primero, está conformado por el grupo de restos arqueológicos del sifón de los que se conoce su ubicación geográfica de forma precisa<sup>9</sup> y el segundo, está constituido por restos materiales del mismo sistema de presión, que poseen una localización espacial aproximada.

Una vez registrada toda la información en el SIG se procedió a planificar una campaña de inspección visual en el valle de los Arquillos, desde el actual cortijo de los Isletes Altos hasta la finca las Piletas)<sup>10</sup>. Para el desarrollo de la inspección visual fue necesario el empleo de un equipo GPS de campo<sup>11</sup>, en el cual previamente se introducía la ruta a realizar que contenía la localización de los restos materiales del acueducto a reconocer y que, además, permitió acotar el ámbito de búsqueda de posibles indicios de paso del trazado del sifón.

Una vez concluida la inspección visual se procedió a registrar todos los nuevos datos en el SIG, dividiendo la información en cuatro grupos: restos materiales del acueducto ya conocidos, nuevos hallazgos asociables a la conducción, piezas de tubos dispersos en el terreno e indicios. Con la información plasmada en la cartografía actual<sup>12</sup> se procedió a plantear una nueva hipótesis de trazado en planta y a dibujar una sección longitudinal del sifón, para lo cual se hizo uso de curvas de nivel del terreno generadas cada metro, a partir de un modelo digital de elevaciones<sup>13</sup>. Este MDE fue desarrollado a partir de la información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional de España, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de 5 m de resolución<sup>14</sup>.

Obtenido el perfil longitudinal del sifón se procedió a dibujar la línea de energía del sistema que permitió determinar el gradiente hidráulico, además de otros aspectos como: la longitud, el punto de inicio y el de finalización del *venter*, la presión máxima interna alcanzada en la tubería, los cambios de dirección, etc.

## EL SIFÓN DE LOS ARQUILLOS EN LA DOCUMENTACIÓN

En la bibliografía andalusí de entre los siglos XII y XVII geógrafos orientales como al-Zuhrí, Yaqut, ó al-Maqqarí hacen diferentes descripciones generales de la

---

8. En el presente artículo, de ahora en adelante, se emplea el acrónimo SIG para designar a los Sistemas de Información Geográfica.

9. Coordenadas UTM, “la *Universal Transverse Mercator Projection* (UTM) es una modificación del siglo XX de la proyección TM que divide el mundo en 60 zonas verticales (...). La UTM es muy popular en los sistemas SIG y entre las tecnologías geoespaciales asociadas (...)” (Conolly y Lake, 2009:42).

10. Al respecto de la inspección visual en campo ver *supra*, nota número 7.

11. Se trabajó con un equipo GPS (sistema de navegación por satélite) marca Garmin, serie Dakota. “Cada vez es más corriente que los receptores [portátiles GPS] baratos cuenten con WAAS/EGNOS, y den posiciones con un margen de error de +/-3 m de su verdadera localización en EE.UU. y Europa. Este nivel de error es aceptable cuando se trata de yacimientos arqueológicos o monumentos (...)” (Conolly y Lake, 2009:98).

12. La cartografía empleada fue la del Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA), Provincia de Cádiz, en su versión digital del año 2007 (ICA, 2007a).

13. En el presente artículo se emplea el acrónimo “MDE” para designar al Modelo Digital de Elevaciones.

14. Instituto Geográfico Nacional de España (IGN, 2009).

conducción de agua romana de Cádiz exaltando lo grandioso de la obra. Se menciona una tubería realizada con piedras horadadas que iba dispuesta sobre un puente de arcos; no obstante, no se suministran datos específicos de su localización que nos permitan asociar la estructura descrita con el sifón de los Arquillos (Martínez, 1974:48-52; Toledo, 1988:136-138).

En los siglos XIII y XIV se hacen varias referencias al paso del acueducto romano por las tierras de labor del valle de los Arquillos, en una serie de documentos de deslindes municipales: amojonamiento del término de Medina Sidonia de 1269, deslinde de los términos de Lebrija, Arcos y Jerez de 1274 y en el Privilegio de Tempul de 1313 (Moreno, 1998; Martín, 2003:77,120; García y García, 2011a). En estos documentos se suministran datos sobre los vestigios del acueducto romano (arcos y torreones) utilizados como hitos de referencia del territorio.

A mediados del siglo XVI se realizan otras series de descripciones generales del acueducto que, contienen detalles sobre cómo era la conducción en ciertos puntos de paso, pero al igual que en las obras de los geógrafos hispano musulmanes, no se suministran referencias específicas al sifón de los Arquillos (Ocampo, 1578: Libro I, cap. XVII; Horozco de, 1845:34-36, 1929:195-196).

En 1610 es cuando se aportan los primeros datos pertenecientes a la conducción forzada emplazada en el valle de los Arquillos: "...desde aquí la començaron a encañar; y a trecho de tres leguas, aviendo hallado una quebrada, y tierra baja, fundaron en ella unos arcos fuertes de cal, y ladrillo, sobre que prosiguieron la cañería; los cuales parecen oy arruinados, y caydos; se llama aquella tierra los Arquillos, termino de Xerez..." (Suárez de, 1610:126).

Años más tarde en 1690, se cita nuevamente el valle de los Arquillos como punto de paso del acueducto romano de Tempul: "...Desde aquí comienza la cañería, y a trecho de tres leguas, por ocasión de una quiebra grande, se levantaron unos arcos de ladrillo, que tomó aquella tierra el nombre de los Arquillos..." (Concepción de la, 1690:132).

En el siglo XVIII se propone una segunda rehabilitación del acueducto romano para llevar nuevamente agua a la ciudad desde el manantial de Tempul (Pérez *et al.*, 2011:1077-1087). La propuesta generó la contratación de una serie de técnicos, arquitectos e ingenieros militares para la redacción del proyecto. Las labores de reconocimiento de la antigua conducción se dividieron en tramos, correspondiéndole el estudio del sifón de los Arquillos a Ignacio Garcini (Hurtado y Rueda, 1784)<sup>15</sup>.

En el informe antes citado, se establece el lugar llamado los Arquillos como el punto por donde el acueducto salvaba el arroyo de Salado de Paterna, a través de una estructura de arquerías sobre el cual se disponían atanores o tubos cerrados de piedra de 14 pulgadas de espesor (Hurtado y Rueda, 1784).

A partir de los restos materiales inspeccionados, el ingeniero Ignacio Garcini elaboró un plano del perfil longitudinal del terreno en el punto de paso del acueducto por el valle de los Arquillos, en donde se representan las estructuras existentes para entonces indicando, en algunos casos, sus dimensiones (fig. 1).

15. Sobre el intento de rehabilitación del acueducto romano de Tempul del siglo XVIII ver *supra*, nota número 6 e información adicional en (AMC, AC, 1784b).

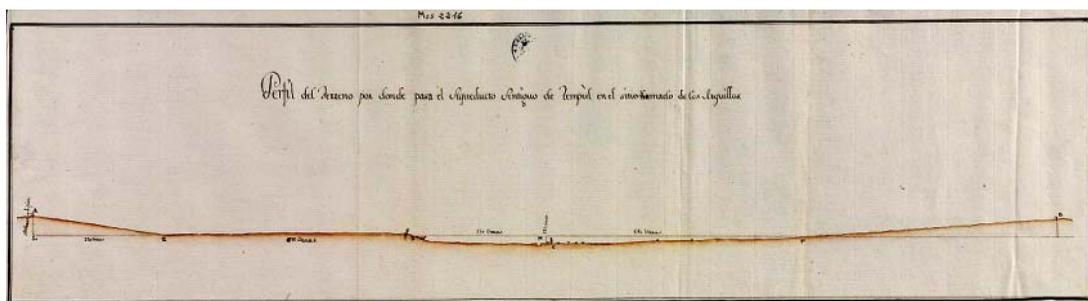


Fig. 1.—Plano del sifón de Los Arquillos de Ignacio Garcini, 1782. Manuscrito de la Biblioteca Nacional de España, MSS 2216.

De la información suministrada en el perfil de Ignacio Garcini y de su informe anexo (Hurtado y Rueda, 1784), podemos concluir que el sifón tenía aproximadamente una legua o más de longitud, que equivale a unos 5,57 Km. Según lo descrito, desde el torreón A la conducción tendría que bajar una altura de 49 varas y 2 pies en vertical (41,46 m)<sup>16</sup> hasta el punto denominado D donde se iniciaría el *venter*. En cuanto al *venter* se cita que debió tener una longitud de 1030 varas (861 m) aproximadamente, desde el punto D al F y que su altura se cita que debió tener unas 18 varas (15,05 m) (Hurtado y Rueda, 1784).

En un segundo informe producto también del encargo de rehabilitación del siglo XVIII, se suministra un nuevo dato sobre el sifón de Los Arquillos. El informe es del arquitecto italiano Scipion Perosini<sup>17</sup> y del ingeniero Henrique DuBournial (Perosini y Dubournial, 1786; Rueda de, 1785) quienes aportan los siguientes datos: la profundidad máxima del arroyo a salvar en el punto de paso era de 258 pies 7 pulgadas (71,89 m); la diferencia de cotas entre la solera de la mina entrante y la saliente del sifón, fue medida en 44 pies y 7 pulgadas (12,39 m); la longitud del sifón se estableció en 3527 varas (2948 m); el ancho del *venter* de 11 varas (9,19 m) y el valor del diámetro de los atanores de piedra fue de 13 pulgadas (30 cm) aproximadamente, resultado del promedio de medidas realizadas sobre tres piezas (Perosini y Dubornial, 1786).

A finales del siglo XIX se construye el nuevo acueducto que capta el agua del manantial de Tempul, obra proyectada por el ingeniero Ángel Mayo para solucionar el problema de abastecimiento que sufría la ciudad<sup>18</sup> y que, en su primer tramo, discurre paralela los restos de la conducción. Dentro de la memoria del proyecto del nuevo acueducto se incluye un apartado que hace referencia a la antigua canalización romana, estableciendo nuevamente el sitio de los Arquillos como un punto de paso de la misma, sin aportar nuevos datos para su conocimiento (Mayo, 1877:216).

16. Para la conversión del sistema métrico del siglo XVIII al actual, se ha aplicado lo establecido en la Real Orden del 09 de diciembre de 1852, en donde se establece la vara castellana en 0,8359 m.

17. Sobre la venida del arquitecto romano Scipion Perosini existe un expediente que es fondo del Archivo Municipal de Cádiz (AMC, AC, 1784a).

18. El servicio del nuevo acueducto de Tempul se mantiene hasta el presente, actualmente gestionado por la empresa Aguas De Jerez.

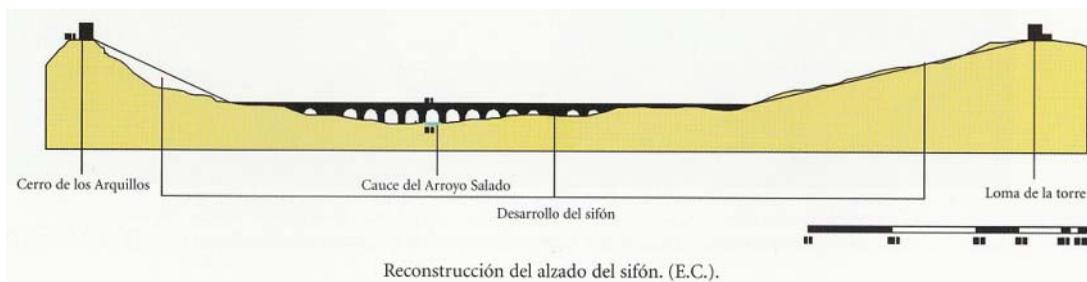


Fig. 2.—Reconstrucción del alzado del sifón de Los Arquillos (González y Velázquez, 2005:124).

Volvemos a tener noticias de los restos materiales del sifón invertido en 1989 (Fierro, 1989:22). En este caso se describen los mismos elementos inspeccionados en el siglo XVIII, introduciendo por primera vez la hipótesis de que los restos de los extremos del valle [torre A y B de Garcini (Hurtado y Rueda:1784)] pudieran haber correspondido a dos registros. Entre estos posibles depósitos se identificaron además: una serie de bóvedas derruidas, un pilar de un puente que cruzaba el arroyo Salado de Paterna y diferentes piezas de atanores dispersos (Fierro, 1989:22).

En 1993 se publica la tesis “Técnicas Arquitectónicas en la Bética Romana” en la que se desarrolla un apartado dedicado a la ciudad de *Gades*, en donde se estudia la técnica constructiva empleada en dos obras singulares: el teatro y el acueducto. Del acueducto se realizó un pequeño pero profundo estudio de los restos materiales existentes en diferentes puntos del trazado. Se incluyó una minuciosa descripción de los elementos existentes en el valle de los Arquillos, suministrando las características de las siguientes estructuras: el torreón de los Gilettes, el tramo de arquerías dentro del cortijo de los Arquillos, los restos del pilar en el paso del arroyo, un tramo de restos dispersos una vez salvado el arroyo en dirección al cortijo de las Piletas y por último, el resto de un torreón o lienzo que se describió acompañado de una serie de piezas tubulares dispersas (Roldán, 1993:895-908).

En 2004 se expone una comunicación en un congreso internacional en Turquía sobre el empleo de sifones invertidos en acueductos romanos de *Hispania*, en donde se hace una breve descripción del sifón de los “Arquillos” de la conducción de *Gades* estimándose, por primera vez, su posible capacidad de transporte en unos 8544 m<sup>3</sup>/día (Bestué y González, 2006:313-314). En este trabajo también se establece la longitud del sifón en 2948 m, se localiza el tanque de cabecera en la denominada Loma de la Torre a 132 m de altura y el depósito de salida en el Monte de la Silla a 97 m de altura. Además, se concluye que la presión máxima alcanzada en el interior de las tuberías debió ser de 75 m.c.a. Se incluye una reconstrucción hipotética del alzado del sifón invertido (Bestué y González, 2006:313-314) (fig. 2).

En el año 2005 en la obra “Ingeniería Romana en Hispania” se establece que, los restos materiales existentes en los extremos del valle de los Arquillos, debieron pertenecer a las arquetas de entrada y salida del sifón invertido (González y Velázquez, 2005:124).

Dos años más tarde se culmina un proyecto financiado por el Ministerio de Fomento, CEHOPU-CEDEX sobre “Las Obras de Ingeniería Hidráulica de Época Romana en la

Provincia de Cádiz” en el que se dedica un capítulo entero al tema de la conducción romana de *Gades*. En dicho trabajo se hace una revisión histórica, una puesta en orden del estado de la cuestión del acueducto gaditano, para luego desarrollar un apartado en donde se introducen aportaciones propias basadas en el análisis de toda la información documental (Lagóstena y Zuleta, 2007).

Del sifón del valle de los Arquillos se establece que la pérdida de carga debió ser de unos 12,43 m (valor máximo), información extraída de la documentación del siglo XVIII (Hurtado y Rueda, 1784; Perosini y Dubournial, 1786); se plantea la posibilidad de que existiera más de una tubería en dispuestas paralelo. Además, se suministra la localización geográfica del punto de paso del sifón en el arroyo de salado de Paterna, a través de coordenadas UTM 30S-239386 4050318 (Lagóstena y Zuleta, 2007).

En 2008 se realizó la localización espacial de dos puntos con restos arqueológicos del acueducto en el valle de los Arquillos, a través de la obtención de sus coordenadas UTM, parte de un trabajo tutelado de investigación de doctorado de la Universidad de Sevilla titulado “Situación del Conocimiento del Acueducto Romano de *Gades*” (Pérez, 2008). Los puntos georreferenciados fueron: la Torre de los Giletos ED50-UTM-30S-240330-4050816 y el tramo de arquerías del cortijo de los Arquillos ED50-UTM-30S-239622-4050455. Además, se registraron en las inmediaciones de los Giletos o torre de la Rendona la existencia de un par de atanores del sifón de 30 cm de perforación interior (Pérez, 2008:175-176).

Un nuevo estudio sobre la capacidad de transporte del sifón de los Arquillos es publicado este mismo año. En este trabajo se establece una relación entre el posible caudal transportado por el sifón invertido y el número de tuberías en paralelo con las que pudo contar el sistema (Pérez y Bestué, 2008:235-249). Este trabajo se desarrolla a partir de una serie de datos conocidos de la información documental como: la longitud del sifón, la pérdida de carga, el gradiente hidráulico y el diámetro interno de la tubería. Se estimó que para un valor de caudal de agua de 12500 m<sup>3</sup>/día, correspondiente a un promedio de caudal transportado en las galerías aguas arriba del sifón (Fuente Ymbro), el sistema a presión de los Arquillos debió operar con al menos 2 o 3 tuberías en paralelo (Pérez y Bestué, 2008:244-246).

Al año siguiente se publica el libro “La captación, los usos y la administración del agua en Baetica” (Lagóstena y Zuleta, 2009) en donde, se suministran nuevos datos para el conocimiento del sifón de los Arquillos, como lo son la localización geográfica de dos restos materiales existentes en el valle, proporcionando sus coordenadas UTM: el torreón existente en la actual finca la Rendona ED50-UTM-30S-240334-4050820 y que se asocia con el torreón A descrito por Garcini en el siglo XVIII (Hurtado y Rueda, 1784) y el torreón existente al otro extremo de valle coordenadas ED50-UTM-30S-238758-4049964 y que se relaciona con torreón B descrito en el mismo documento (Hurtado y Rueda, 1784). Se informa por primera vez de la prescencia de una *substructio* que bordea el denominado Monte de la Silla, así como atanores en una cárcava adjunta desplazados una centena de metros al oeste del torreón B (Lagóstena y Zuleta, 2009:163). Se plantea además la hipótesis de que el torreón B “fue una elevación puntual de la fila de atanores para reducir la presión y permitir en este punto el cambio de dirección sin ocasionar la rotura del mismo” (Lagóstena y Zuleta, 2009:163).

Más recientemente se publica un nuevo análisis que trata sobre el caudal de agua posiblemente transportado por el sifón de los Arquillos en el que, se establece como posible capacidad de trasvase de agua entre 4000 a 8000 m<sup>3</sup>/día por tubería, valor éste que depende de las condiciones de servicio<sup>19</sup> (Pérez y Bestué, 2010:192).

## CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN DOCUMENTAL EXISTENTE

Como se ha visto en el apartado anterior, la información documental existente sobre el sifón de Los Arquillos va desde simples descripciones que elogian lo grandioso de la obra hasta informes técnicos en donde se suministran datos sobre su longitud, el gradiente hidráulico, la técnica constructiva empleada, entre otros. Debido a la variabilidad de la información recopilada y analizada, se ha optado por clasificarla atendiendo a las necesidades del presente estudio. Se ha organizado la documentación en dos grupos: el primero, contiene la serie de datos localizables geográficamente y el segundo, recoge la información complementaria no ubicable espacialmente pero de gran interés para los objetivos del presente trabajo.

### Datos localizables geográficamente

Este grupo está constituido por el conjunto de restos arqueológicos documentados en trabajos previos y de los cuales se conoce su ubicación espacial. La serie de datos plasmada en la cartografía actualizada serán la base para el planteamiento de la nueva hipótesis de trazado de la tubería o tuberías a presión.

Los restos arqueológicos del sifón de los Arquillos documentados y estudiados con anterioridad al presente trabajo están constituidos por: un par de torres, un tramo de arquerías *arcuatio* aún en pie, un pilar en el paso del arroyo del Salado de Paterna y un rosario de cimentaciones alineadas, rodeadas por fragmentos de arcos dispersos en el terreno. Entre estos elementos diseminados por la superficie del terreno fue posible observar algunos sillares de piedra con una perforación circular interior que, probablemente se emplearon como tubos o atanores del sistema.

### *Las Torres*

A partir de la evidencia arqueológica reportada por las investigaciones precedentes se puede establecer que el sifón de los Arquillos pudo contar con al menos dos torres: la primera, ubicada en la propiedad denominada la Rendona en el denominado cerro de la Torre y la segunda, al otro lado del valle en el cerro de los Arquillos, en la actual finca del mismo nombre (lám. I).

---

19. Se realizó la estimación de la capacidad de transporte del sifón considerando un flujo en régimen permanente de líquidos en tuberías a presión, análisis similar al realizado en 2009 para el sifón del acueducto romano de Almuñécar (Sánchez *et al.*, 2009:1303-1304).

La torre de la Rendona o torre A es una estructura conformada por dos lienzos de muralla yuxtapuestos de un poco más de tres metros de altura, que se encuentra en el conocido cerro de la Torre a 83 m.s.n.m. Ambos lienzos presentan una técnica constructiva semejante: “*opus incertum* configurando las caras vistas con relleno de *opus caementicium*” (Roldán, 1993:896). El primer muro tiene una dirección noreste, denominado lienzo B, con acimut de 60° aproximadamente; el segundo muro, o lienzo A, se encuentra yuxtapuesto al primero adosado a su cara norte. Tal y como lo señaló Roldán en su inspección de 1993, se comprueba que el lienzo A presenta caras vistas por tres de sus cuatro lados, por lo que se concluye que este elemento no pudo ser una estructura de soporte del acueducto, sino un elemento independiente del tipo contrafuerte o torre (Roldán 1993:897). Otra apreciación hecha por la misma historiadora es que, el contrafuerte o lienzo A debió ser una construcción posterior al lienzo B posiblemente necesaria para evitar que se abriera el muro B en un punto de inflexión (Roldán, 1993:897).

Los restos arqueológicos de la torre de la Rendona han sido asociados por diferentes autores con un posible registro o depósito de cabecera del sifón de los Arquillos (Fierro, 1989:22; Moreno, 1998; Bestué y González, 2006:314; González y Velázquez, 2005:124) pero la evidencia arqueológica no ha sido suficiente para comprobar esta hipótesis. En el presente trabajo se revisa este planteamiento a la luz de los nuevos hallazgos de restos materiales y de un análisis hidráulico del sistema.

La segunda estructura o torre B, ubicada al otro lado del valle, en el cerro de los Arquillos o Monte de la Silla se encuentra a 81 m.s.n.m. Se trata de un muro de similares características al anterior, de tres metros de altura aproximada con dos caras vistas y una dirección noreste, un acimut de 45°. La técnica constructiva empleada fue “núcleo de *opus caementicium* y forrado en sus caras externas en piedra regular en forma de *opus vittatum*” (Roldán, 1993:904) (lám. II).

Sobre la función que probablemente desempeñó esta segunda torre o murallón en el sistema del sifón invertido de los arquillos, existen varias opiniones o hipótesis: la primera, que se trata de los restos arqueológicos de algún registro (Fierro, 1989:22); la segunda, que sean los restos materiales del tanque final o de salida del sifón invertido (Moreno, 1998; Bestué y González, 2006:314; González y Velázquez, 2005:124); y la tercera, propone que sea una elevación puntual para reducir presión y permitir el cambio de dirección de la tubería, evitando de esta manera su rotura (Lagóstena y Zuleta, 2009:162-163). En el presente artículo se hace una revisión de estos tres planteamientos, en base al análisis de la planta y el perfil longitudinal del sifón invertido propuesto en este estudio.

### *Venter*

El sifón de Los Arquillos contó con un *venter* en la parte baja del valle, que debió comenzar a unas 1025 varas (857 m) aguas abajo de la torre A o torre de la Rendona, según lo establece Garcini en su perfil de 1782 (Hurtado y Rueda, 1784). Entre la torre A y el paso del arroyo del Salado de Paterna, por detrás de las instalaciones del cortijo de los Arquillos, se conservan algunos restos de unos *arcuationes* (González y Velázquez, 2005:325), arcos que posiblemente dieron el nombre a este valle. Se localizan

exactamente a unos 830 m en línea recta medidos desde la torre de la Rendona, por lo que se comprueba nuevamente la veracidad de la información suministrada en el perfil de 1782, en donde se había establecido a 857 m (Hurtado y Rueda, 1784) (lám. III).

Actualmente es casi imposible inspeccionar estos restos debido al estado de conservación, pues han sido completamente tapados por la vegetación. Frente a tal situación se ha optado por utilizar, para su completa descripción, el trabajo de Roldán de 1993. (Roldán, 1993). En este trabajo se cita que los *arcuationes* estaban conformados por cuatro arcos y cinco puntos de apoyo; que tres de sus alzados estaban caídos y que la obra fue realizada en *opus caementicium*, con piedra caliza local; que se empleó en las caras vistas la técnica constructiva del *pseudovittatum* (Roldán, 1993:898-899).

La longitud de este tramo de *arcuationes* fue medida en unos 30 m aproximadamente con una altura máxima de unos 2 m. La longitud total del *venter* en origen es desconocida, no obstante Garcini la establece en unas 1030 varas (861 m) (Hurtado y Rueda, 1784). En cuanto a su altura máxima contamos con dos datos, el primero de Garcini, quien documenta que inspeccionó restos materiales de hasta 10 m de altura en su parte central y planteó la posibilidad de que su altura estuviera en torno a unos 15 m (Hurtado y Rueda, 1784). Una segunda opinión, de época moderna, plantea que la altura del *venter* fuese unos 25 m aproximadamente (Bestué y González, 2006:314). Al igual que en caso de las torres, las características del *venter* serán analizadas en el presente trabajo a partir de la nueva planta y perfil longitudinal propuestos, y de esta formar poder suministrar datos más precisos en cuanto a sus características.

Del *venter*, se conserva además del tramo de arquerías antes descrito una serie de elementos adicionales. El primero es un pilar de planta cuadrada de unos 8 m de altura en el paso del arroyo, desde donde se inicia un rosario de restos de cimentaciones y tramos de *arcuationes* rotos que continúan en línea recta, ascendiendo por la falda del cerro de los Arquillos o Monte de la Silla, en dirección suroeste en busca del torreón B. Desde el pilar en el arroyo hasta el punto donde son visibles los restos de *arcuationes* dispersos existe una distancia de 480 m aproximadamente (lám. IV).

El pilar presenta una técnica constructiva similar a las otras estructuras “fábrica de *opus caementicium* con paramentos en *opus incertum*... Las esquinas estaban reforzadas con sillares, dispuestos a soga y tizón y, probablemente almohadillados... los restos de cimentación adjunta al pilar permiten establecer que se utilizó de una cimentación corrida” (Roldán, 1993:900).

En cuanto al tramo final de arquerías que asciende hacia el cerro de los Arquillos o Monte de la Silla se cita realizado en *opus caementicium* de características similares a las inspeccionadas aguas arriba. Al igual que en los otros restos arqueológicos del sifón inspeccionados el avanzado grado de deterioro y la vegetación que los arropa hace casi imposible su estudio, por lo cual se ha optado por basar el análisis en el reconocimiento realizado por Roldán hace casi 20 años atrás (Roldán, 1993), además de que es muy probable que las estructuras reconocidas en ese momento estuvieran en mejor estado de conservación, como se comprueba en algunos sitios, donde ciertos elementos ya han desaparecido.

Las arquerías del tramo final del *venter*, una vez pasado el arroyo de Salado de Paterna en dirección a Cádiz, se piensa fueron construidas con dos zonas diferenciadas: “la parte baja, realizada en *opus caementicium* con paramento cuidado y la superior

(el arco propiamente dicho), mediante *opus caementicium* con huellas del encofrado, apreciables en los restos de colada contenidos por la cimbra, e intercalando ladrillos” (Roldán, 1993:902). En 1993 se reconocieron diecinueve arranques de pilares y veintiuno fragmentos de arcos desplazados, actualmente se contabilizan muchos menos (lám. V).

### *Atanores dispersos*

La conducción del sifón de Los Arquillos fue resuelta con tubos realizados con sillares de piedra a los cuales se les practicaba una perforación circular en su interior, de 30 cm aproximadamente. La existencia de estas piezas en el valle de los Arquillos ha sido documentada desde la edad media y los primeros datos de sus dimensiones se tienen a partir de los informes de rehabilitación del siglo XVIII (Hurtado y Rueda, 1784; Perosini y Dubournial, 1786; Rueda de, 1785).

En época moderna se ha documentado la existencia de atanores emplazados en cuatro puntos, específicamente en las inmediaciones de: la torre de la Rendona, el tramo de arquerías final del *venter*, la torre o murallón B y recientemente, en el fondo de una cárcava en el denominado Monte de la Silla.

Los atanores que se encontraban adjuntos a la torre de la Rendona o torre A eran dos y actualmente han desaparecido. Se trataban de sillares de piedra de 20 cm de espesor, de sección rectangular de 90 cm por 80 cm, con perforación cilíndrica central de 35 cm en donde se podía observar una especie de revoco o revestimiento interno muy fino de entre 2 a 4,5 cm y que, posiblemente se aplicó en diferentes capas dando lugar a un diámetro efectivo de 30 cm. Presentan en una de sus caras un resalto y un rehundido en el lado opuesto, que era la base del sistema de ensamble con el tubo siguiente, una tipología de conexión macho-hembra (Roldán, 1993:897-898; Pérez, 2008:175) (lám. VI).

El segundo grupo de atanores dispersos se encuentra adjunto al tramo de arquería final del *venter*, luego de pasar el arroyo del Salado de Paterna. Actualmente sólo existe una pieza de dimensiones: 88 cm por 98 cm y de 20 cm de espesor con perforación circular de 32 cm la que presenta un avanzado grado de deterioro. En 1993 existían dos piezas de tubería realizadas en piedra caliza junto a los restos de pilares del *venter* (Roldán, 1993:903) (lám. VII).

El tercer grupo de atanores desprendidos fue identificado en 1993 en las inmediaciones de la torre ó murallón B en el cerro de los Arquillos. Estas piezas actualmente han desaparecido, existiendo únicamente en el presente un testimonio de su reconocimiento “la existencia de cuatro piedras perforadas de la conducción del acueducto claramente desplazadas, fuera de contexto. También se documenta un tramo *in situ*, semienterrado a nivel de suelo, con un total de cinco piezas y otras dos recientemente desplazadas por el tractor. Este tramo de tubería corre junto al muro alzado por su cara norte” (Roldán, 1993:904) (fig. 3).

Dentro de las características de este grupo de atanores destaca el detalle que se pudo realizar del sistema de conexión de los tubos, un rehundido de 11 cm que “presenta una preparación de guijarros alargados colocados en espiga en torno a la boca, trabados con argamasa. Supone un grosor medio de 0.03-0,04 m. completados con otros 0,07 m. más que sobresalen en el bloque contiguo para dar un cierre hermético. Los

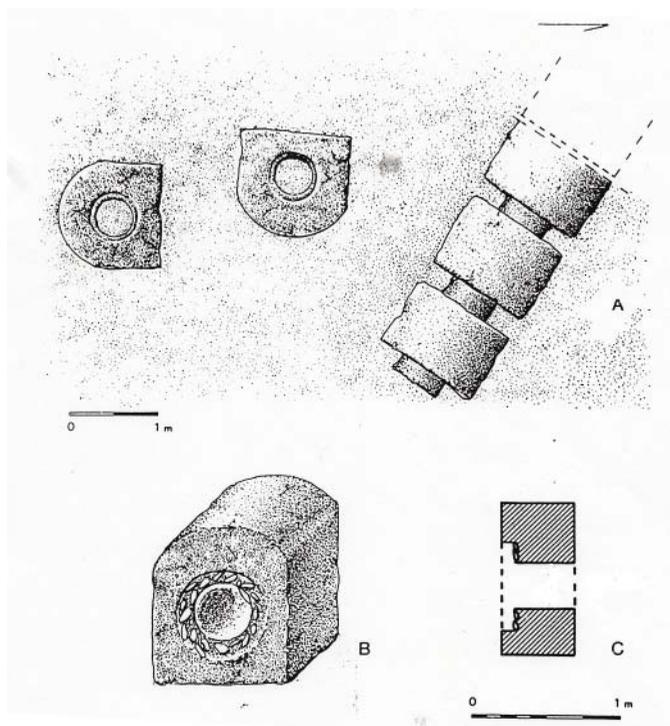


Fig. 3.—Croquis de los atadores dispersos reconocidos en 1993 en las inmediaciones de la Torre B y actualmente desaparecidos (Roldán, 1993: fig. 216).

puntos de contacto entre los sillares se sellaban igualmente con argamasa. Al interior, la tubería iba recubierta con argamasa de 0,02 m de grosor” (Roldán, 2003:904).

También es posible que el sistema de sellado estuviera provisto de algo de plomo, tal cual se infiere de una de las notas de Garcini en su informe de 1782, cuando menciona el hecho de que en las excavaciones realizadas se encontraron un cañón de plomo pegado contra un atador (Hurtado y Rueda, 1784). En conversaciones con personas del lugar, antiguos dueños de la finca los Arquillos, relatan que era frecuente, encontrar trozos de plomo en el terreno en las inmediaciones de los restos materiales del sifón y que llegaban a pesar hasta cuatro kilogramos citan “hace muchos años atrás”.

Los últimos atadores identificados y asociados al sifón de los Arquillos fueron detectados en el fondo de una cárcava al oeste de la torre o murallón B, muy cerca de una *substructio* que bordea el Monte de la Silla (Lagóstena y Zuleta, 2009:162). Es muy posible que estas piezas sean las identificadas por Roldán en 1993 en las inmediaciones del murallón B, actualmente desaparecidas y que, probablemente, hayan sido desplazadas por los propietarios de la finca para dejar limpio el terreno para el desarrollo de las labores agrícolas.

En resumen, se puede establecer que la o las tuberías del sifón de los arquillos estaban conformadas con tubos de piedra, realizados con sillares de piedra caliza de dimensiones: 90 cm por 100 cm por 20 cm más de espesor. La perforación circular

central pudo ser de unos 35 cm, a la cual se le aplicó una serie de capas de revoco que reducían su sección a unos 30 cm aproximadamente. El sistema de unión estaba realizado con una conexión macho-hembra, por lo que la piedra fue tallada con un rehundido por una cara y un reborde en el lado opuesto. Las uniones de los atanores se sellaban con una argamasa y guijarros dispuestos en espiga en la boca del tubo y no se descarta la posibilidad del empleo de plomo en las juntas..

Se desconoce si el sistema operó con una sola tubería o con varias en paralelo, existen unas primeras estimaciones que establecen que, para poder transportar un caudal de 12500 m<sup>3</sup>/día, el sistema debió operar con dos ó tres tuberías, para una longitud de sifón de 3,6 Km con una pérdida de carga de 12 m y un diámetro interno de tubería de 33 cm (Pérez, 2008; Pérez y Bestué, 2008). Este punto también será revisado en el presente artículo con los nuevos datos de longitud y pérdida de carga del sifón estimados en este trabajo.

A continuación anexamos una tabla (tabla 1) en donde se resumen todas las estructuras antes descritas, citando para cada caso, el o los topónimos con el que han

TABLA 1  
LISTADO DE RESTOS ARQUEOLÓGICOS EXISTENTES EN EL VALLE DE LOS ARQUILLOS  
PERTENECIENTES AL SIFÓN IDENTIFICADOS EN TRABAJOS PREVIOS

<i>N.º</i>	<i>Topónimo / Tipo de resto</i>	<i>Referencias</i>	<i>Localización geográfica</i>
1	Torreón A Cerro de la Torre Cerro de Los Giletes o Isletes Posible tanque cabecera	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:896-898) (Bestué y González, 2006:314) (González y Velázquez, 2005:124) (Pérez, 2008:175) (Lagóstena y Zuleta, 2009:160)	ED50-UTM-30S-240330-4050816 ED50-UTM-30S-240334-4050820
2	Torreón B Monte de la Silla Cerro de los Arquillos Posible tanque de salida	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:903-905) (Bestué y González, 2006:314) (González y Velázquez, 2005:124) (Lagóstena y Zuleta, 2009:162)	ED50-UTM-30S-238758-4049964
3	Punto D Posible arranque del <i>venter</i>	(Hurtado y Rueda, 1784) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:898-899) (González y Velázquez, 2005:124) (Pérez, 2008:176)	ED50-UTM-30S-239622-4050455
4	Punto C Pilar del <i>venter</i>	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:899-901) (Lagóstena y Zuleta, 2007)	ED50-UTM-30S-239386-4050318
5	Tramo de restos dispersos, 19 arranques de pilares del <i>venter</i>	(Hurtado y Rueda, 1784) (Roldán, 1993:901-903)	

sido identificados, el tipo de resto arqueológico al que corresponden, la referencia documental de donde fueron consultados, y su localización a través de coordenadas UTM si la tuvieran.

Este conjunto de puntos localizables geográficamente con restos arqueológicos de la conducción ha sido plasmado, en el presente artículo, en la cartografía a través de los SIG, tal y como puede verse en la figura anexa (fig. 4).

### Información complementaria

La información documental complementaria está constituida por la serie de datos no localizables espacialmente de interés para los objetivos del presente trabajo. Entre éstos se encuentran: la longitud del sifón, el gradiente hidráulico, el diámetro de las tuberías, la capacidad de transporte de agua (caudal), las referencias a estructuras especiales como el *venter* y las torres de entrada y de salida. Dicha información servirá de apoyo a la hora de establecer conclusiones de las características y del funcionamiento del sistema.



Fig. 4.—Fotografía aérea donde se muestran los puntos con restos arqueológicos existentes del sifón de los Arquillos. Montaje realizado sobre una ortofotografía del Instituto de Cartografía de Andalucía (ICA).

### *Longitud del sifón*

Existen diferentes opiniones sobre la longitud total del sifón invertido de los Arquillos. En el informe de 1782 (Hurtado y Rueda, 1784) se establece que, debió ser de una legua o más entre los torreones A y B (5,57 km) y que desde estos torreones extremos continuaba el sifón “a una y otra parte” (Hurtado y Rueda, 1784). En el mismo siglo XVIII, en otro documento derivado del mismo intento de rehabilitación del acueducto romano se informa que, el sifón de Los Arquillos debió tener una longitud en 3527 varas (2,948 km) (Perosini y Dubournial, 1786; Rueda de, 1785), valor este muy diferente al reportado por Garcini años antes. Lo primero que se debe decir al respecto es que, en ninguno de los dos informes se establece como fue realizada la medición, es decir, se desconoce si se refieren a una distancia medida en planta (proyección horizontal) o si se trata de la longitud del recorrido total del sifón mensurada sobre la topografía del terreno que, contemplaría las correspondientes bajadas y subidas de la tubería. No obstante, el método de medición empleado no justificaría, en ningún caso, una diferencia de longitud total tan grande de 5,57 a 2,94 km.

Los dos datos anteriores sobre la longitud del sifón han sido los comúnmente aceptados, especialmente el valor de 2,948 km que ha sido constantemente utilizado para realizar estimaciones de caudal y las pérdidas de carga del sistema en investigaciones recientes (Bestué y González, 2006:314; Pérez, 2008:103-104; Pérez y Bestué, 2008:246; Pérez y Bestué, 2010:192-193). En el presente trabajo se hace una revisión de la longitud del sifón, intentando aclarar las diferencias entre los dos tratados del siglo XVIII a partir de la elaboración de una nueva hipótesis de trazado en planta.

### *El arroyo del Salado de Paterna, profundidad a salvar*

En cuanto a la profundidad máxima que tuvo que salvar el sifón invertido a su paso por el Valle de los Arquillos también existen diferentes opiniones. Garcini establece que desde la torre A la tubería debía bajar 49 varas y 2 pies en vertical (41,46 m) hasta el punto denominado D, desde donde se iniciaría el *venter* y que, este dispositivo debió contar con una altura en origen de 18 varas (15,05 m) (Hurtado y Rueda, 1784). Es decir, que en este primer informe se establece que la profundidad del arroyo (en vertical) en el punto de paso del sifón era de 56,51 m medidos desde la base de la torre A. En un segundo informe se suministra otro valor de profundidad del arroyo de 258 pies 7 pulgadas (71,89 m) (Perosini y Dubournial, 1786; Rueda de, 1785) pero no se determina cual fue el punto de referencia de dicha medición. Al igual que para la longitud del sifón, existe una gran disparidad entre los datos reportados de la profundidad del arroyo, lo que obliga a una necesaria revisión a partir del nuevo perfil longitudinal desarrollado en el presente documento.

### *El venter*

Son tres las características que conocemos del *venter*: su longitud de 1030 varas (860,98 m), su altura de 18 varas (15,05 m) (Hurtado y Rueda, 1784) y el ancho del

11 varas (9,19 m) (Perosini y Dubournial, 1786; de Rueda, 1785). Conocemos además la técnica constructiva empleada en el *arcuatio*, la distancia aproximada entre pilas a través de la restitución realizada por Roldán en 1993 a partir de sus restos materiales (Roldán, 1993:fig. 214). No obstante, debemos decir que es imposible conocer todas las características exactas de esta estructura hasta no realizar una campaña sistemática de excavaciones en campo.

#### *Datos de interés para el estudio hidráulico*

Destaca el dato sobre la pérdida de carga en el sifón, obtenido de medir la diferencia de cotas entre la solera de la mina entrante y la saliente del sifón, establecida en 44 pies y 7 pulgadas equivalente a 12,39 m (Perosini y Dubournial, 1786; Rueda de, 1785).

Otro apunte de tipo hidráulico suministrado en estudios anteriores al presente, establece que, la presión máxima interna de la tubería debió ser de 75 m.c.a. (Bestué y González, 2006:314).

Se cuenta además con varios datos acerca de la capacidad de transporte del sifón, valores de entre 4000 a 8000 m<sup>3</sup>/día por tubería dependiendo de las condiciones de operación del sistema (Bestué y González, 2006:314; Pérez, 2008:103-104; Pérez y Bestué, 2008:246; Pérez y Bestué, 2010:192). En todos estos trabajos se mantiene la hipótesis de que el sifón pudo contar con más de una tubería en paralelo, en cuyo caso se aumentaría su capacidad de transporte de manera considerable.

Por último, se debe resaltar la última propuesta del año 2009 en la que se establece el torreón B “fue una elevación puntual de la fila de atanores para reducir la presión y permitir en este punto el cambio de dirección sin ocasionar la rotura del mismo” (Lagóstena y Zuleta, 2009:163). Esta teoría daría un vuelco de lo hasta ahora establecido, planteando la posibilidad de que el torreón B fuese un dispositivo intermedio y no el depósito de salida como había sido comúnmente aceptado.

### **RECONOCIMIENTO *IN SITU* DE LOS RESTOS ARQUEOLÓGICOS EXISTENTES, NUEVOS HALLAZGOS**

El reconocimiento de los restos arqueológicos en el valle de los Arquillos fue organizado desde tres frentes de trabajo: inspección visual de los restos conocidos descritos en los apartados anteriores, la revisión aguas arriba del cerro de la torre y el reconocimiento aguas abajo del cerro de los Arquillos o Monte de la Silla.

Para la localización de los restos materiales conocidos *in situ* se empleó un equipo GPS de campo al cual le fueron introducidas las coordenadas geográficas previamente comprobadas en el SIG. En el caso de la inspección aguas arriba y aguas abajo del valle de los Arquillos se siguió un procedimiento diferente, que se apoyó en el trabajo de reconocimiento superficial de todo el trazado del acueducto llevado a cabo recientemente<sup>20</sup>.

---

20. Ver *supra* nota 7.

De la inspección de los restos conocidos se puede concluir que existe, de forma general, un evidente estado de deterioro de todos los elementos debido a la inexistencia de medidas de protección. Diferentes estructuras han desaparecido, como es el caso de los atanores de la torre de la Rendona o de los documentados adjuntos al murallón B. Lo mismo ocurre con los restos de arquerías del *venter* que, con el paso del tiempo, se han visto afectados por las labores agrícolas que se desarrollan en la zona.

Hemos analizado *in situ* los restos materiales de la torre de la Rendona, llegando a la conclusión de que esta estructura no responde a las características necesarias para ser el tanque de cabecera del sifón. Los aspectos que han determinado esta conclusión son: primero, se conoce que el acueducto discurría en galería por las inmediaciones del cortijo de los Isletes Altos a una cota de 101 m.s.n.m. (nivel de superficie), a unos 99 m.s.n.m. cota del *specus* aproximadamente, desde esta zona siguiendo la curva de nivel correspondiente resulta imposible llegar hasta el cerro de la Torre (donde se emplaza la torre de la Rendona) a través de una canalización; segundo: se plantea un trazado en línea recta desde la “Era Antigua” del cortijo de los Isletes Altos hacia la torre de la Rendona (mínimo recorrido), se daría el caso de que existe una depresión que baja a unos 70 m.s.n.m. para luego remontar hasta los 83 m.s.n.m. donde se encuentra la torre A; tercero: el lienzo B de la torre A presenta los restos de lo que parece fue una rampa de entrada, cuya dirección señala aguas arriba las instalaciones del cortijo de los Isletes Altos, específicamente los alrededores de la “Era Antigua”, por su parte baja o falda oeste. Por lo antes expuesto, se ha llegado a establecer que la torre A o de la Rendona fue una estructura intermedia que, permitió un cambio de dirección del sifón invertido, y que el depósito cabecera del mismo debió de estar ubicado aguas arriba, en las inmediaciones del cortijo de los Isletes Altos.

En esta nueva inspección se lograron verificar y registrar todas las estructuras existentes, dándoles su ubicación geográfica y almacenando la información en el SIG. En la tabla 2 puede verse el listado de las estructuras reconocidas en el valle, que van desde el número 6 hasta el 13, además se indica el tipo de resto, su topónimo asociado, su ubicación geográfica con coordenadas UTM y una breve reseña de su estado de conservación actual.

### **Inspección aguas arriba del cerro de la Torre**

La inspección se realizó en la finca denominada Isletes Altos en el sitio donde habíamos identificado previamente un par de puntos con restos de galerías subterráneas pertenecientes al acueducto. La localización geográfica de estos dos puntos ha permitido determinar la cota sobre la cual discurría la canalización en este tramo, a 101 m.s.n.m. a nivel de superficie del terreno<sup>21</sup>. En este tramo la galería se encuentra

---

21. Para la determinación de la cota a nivel de superficie de los restos arqueológicos identificados y localizados en campo a través de coordenadas UTM fue necesario su registro en el SIG. Una vez localizados en planta nos apoyamos en las curvas de nivel cada metro generadas a partir del modelo digital de elevaciones desarrollado a partir de la información cartográfica del Instituto Geográfico Nacional, Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de 5 m.

muy superficial por lo que es posible ver el extradós de la bóveda en algunos sitios. En el SIG estos puntos se registraron con los números 1 y 2, coordenadas ED50-UTM-30S-241654-4051400 y ED50-UTM-30S-241719-4051128 respectivamente (ver tabla 2).

Con el dato de la localización espacial de los puntos descritos en el párrafo anterior se procedió a establecer un plan de ruta para la detección de nuevos restos materiales en campo. La ruta tenía en cuenta la cota a nivel de superficie de los restos emplazados en los números 1 y 2, la pendiente del canal promedio (1 m/km aguas arriba) y el conocimiento de la existencia de una mina próxima que atravesaba la colina de la “Era Antigua” (mina de la era), en el antiguo cortijo de San Luis (Perosini y Dournial, 1786).

Una vez establecida la ruta previa en el SIG se procedió a introducirla en el GPS de campo. El trabajo continuó con la visita a la propiedad y la obtención de datos adicionales por parte de los trabajadores de la finca. Se obtuvo información muy valiosa, como la ubicación de la “Era Antigua” hoy día inexistente, así como un punto en campo al que comúnmente se le ha asociado con el acueducto. Este lugar se encuentra por debajo de la “Era Antigua”, hacia el oeste de las instalaciones principales de la finca, en donde se confirmó la anterior existencia de un punto de salida inusual de agua, probablemente asociado a la canalización.

Se rastreó perimetralmente la colina de la “Era Antigua”, barriéndose el ámbito comprendido entre las cotas 101 y 98 m.s.n.m., intentando encontrar indicios de la entrada o salida de la mina, además de algún registro (*spiramina*) en la parte alta de la colina sin obtener resultado.

Emplazados en las instalaciones del cortijo de los Isletes Altos la inspección visual se detuvo en el punto señalado por el encargado de la finca como posible punto de paso de la conducción, se registró su localización geográfica en el GPS con el número 4 coordenadas ED50-UTM-30S-241126-4051063. Una vez en este sitio se vislumbró que la dirección del lienzo B del torreón A, ubicada en la colina opuesta, definía claramente la línea de trazado que debió tener el sifón antes de entrar a dicha estructura. Se estableció entonces una nueva ruta de inspección, entre el punto número 4 y la Torre A, se descendió la ladera oeste del cortijo de los Isletes Altos en busca de la torre A y se detectó una estructura que pareciera ser un muro de sustentación (*substructio*) del sifón, en el punto más bajo entre las dos colinas, en un drenaje agrícola. Este punto se registró con el número 5 coordenadas ED50-UTM-30S-240461-4050861 a 140 m al noreste de la torre A (lám. VIII).

### **Inspección aguas abajo de la torre B, cerro de los Arquillos y Monte de la Silla**

Al igual que la inspección aguas arriba, este reconocimiento utilizó como punto de partida la localización de dos nuevos puntos con restos materiales del acueducto romano (inéditos), identificados la finca de las Piletas como parte del trabajo de tesis doctoral antes citado. También se ha trabajado con la información geográfica suministrada por Don Francisco Zuleta, miembro del Seminario Agustín de Horozco de la Universidad de Cádiz, quien ha facilitado los datos para la localización de la *substructio* que bordea el Monte de la Silla (Lagóstena y Zuleta, 2009:162-163).

Los dos restos materiales inéditos localizados en la finca de las Piletas se tratan de: un tramo de galería subterránea que ha quedado al descubierto en un drenaje en el terreno y un trozo de atañor localizado en una montaña de acopio de piedras sueltas.

La galería subterránea fue ubicada a unos 450 m al este de las antiguas instalaciones del cortijo de las Piletas, se ha identificado en el presente trabajo con el número 15 coordenadas ED50-UTM-30S-237663-4049574. Se trata de una galería con las mismas características que las observadas en otros tramos y completamente sellada de tierra. Su cota a nivel de superficie se registró en 89 m.s.n.m.

En cuanto al resto de atañor fue hallado en un punto con una importante acumulación de piedras sueltas, en un cerro que se encuentra entre el antiguo cortijo de las Piletas y el cerro de los Arquillos, punto 14 del presente trabajo de coordenadas ED50-UTM-30S-237909-4049713 y a una cota 90 m.s.n.m. Se trata de un fragmento de atañor desplazado y roto, cuyas dimensiones han sido obtenidas después de realizar un procedimiento de restitución gráfica de su sección, siendo el diámetro interno de unos 32 a 34 cm, y el externo de 90 cm aproximadamente (lám. IX).

La existencia de este trozo de atañor roto en una zona en donde existe una importante acumulación de piedras sueltas de similares características a las empleadas en la construcción del acueducto, permite plantear la posibilidad de que el sifón de los Arquillos terminara en este sitio, y que los restos materiales que hoy día se aprecian rotos y dispersos, en origen pudieron conformar del depósito de descarga del sistema a presión.

Con los datos antes expuestos, se elaboró un plan de ruta de mínimo recorrido en el que, se inspeccionaba la zona entre el punto 14 (donde se ubicó el resto de atañor suelto) y la torre B (en el cerro de los Arquillos). Con la ruta establecida en el GPS se trasladó el equipo al campo y solo se logró identificar un indicio de paso de la conducción, un conjunto de piedras sueltas en una cárcava a 280 m al suroeste de la torre B coordenadas ED50-UTM-30S-238484-4049880. El terreno a salvar entre el punto 14 y la torre B en línea recta presenta una gran inestabilidad en su tramo inicial (300 m al suroeste del cerro de los Arquillos), un área que presenta diversas socavaciones, movimientos de tierra y pendientes muy pronunciadas, justo en el sitio donde se detectó el indicio antes señalado. Por tal motivo y por la evidencia arqueológica de la existencia de un *substructio* (Lagóstena y Zuleta, 2009:163) que bordea el Monte de la Silla a unos 400 m al suroeste de la torre B, se obliga a reflexionar sobre ¿cual fue el trazado que tubo la conducción en este tramo final?

La primera conclusión a la que se ha llegado es que la torre B no fue el depósito de descarga del sifón, pues se encuentra en lo alto de una colina exenta a 81 m.s.n.m. que, no permite la salida de una galería que conecte con la identificada aguas abajo, en el cortijo de las Piletas, a una cota de 89 m.s.n.m. La torre o murallón B pasaría entonces a ser un dispositivo intermedio del sifón que, al igual que la torre A, pudo cumplir con dos funciones: permitir un cambio de dirección en planta (curva horizontal) para evitar la rotura de la tubería (Lagóstena y Zuleta, 2009:163) y/o hacer posible la evacuación de aire contenido en un punto alto de la tubería (curva vertical convexa) para lo cual debió de estar provisto de un tanque en su parte superior.

Desde la torre B hacia el posible depósito terminal existen entonces diferentes posibilidades para el trazado del sifón. En el presente estudio se han analizado tan sólo dos, las de mínimo recorrido: la primera, propone un recorrido en línea recta desde la

citada torre hasta el punto 14 (posible depósito terminal) y la segunda, plantea un recorrido sobre la *substructio* que bordea en Monte de la Silla a una cota de 87 m.s.n.m. desechándose de esta forma la zona de terreno irregular de la primera opción. Ambas opciones son analizadas en el próximo capítulo, una vez definido el trazado en planta y perfil de ambas alternativas.

## NUEVA HIPÓTESIS DE SU TRAZADO: PLANTA Y ALZADO

Para la elaboración de la nueva hipótesis del trazado del sifón de los Arquillos se ha trabajado con un SIG, desde donde se ha gestionado toda la información obtenida en campo. Se han registrado todos los puntos con restos materiales de la conducción: los puntos inéditos y los conocidos a partir de sus coordenadas UTM. En los casos de tramos de restos arqueológicos se da, un punto de registro para la entrada y otro para la salida. También se ha reflejado en la cartográfica los nuevos hallazgos localizados en los reconocimientos aguas arriba y aguas abajo del sifón, es decir, las galerías que suministran la información de la cota de entrada y la de salida del sistema. En total se cuenta hasta la fecha de redacción del presente artículo con quince puntos catalogados, a los que se les debe sumar los siete identificados por Don Francisco Zuleta en el tramo correspondiente a la *substructio* del Monte de la Silla. Una vez reflejada toda la información de los posibles restos arqueológicos del sifón en la planimetría es cuando se ha procedido a plantear la hipótesis de trazado que presentamos a continuación (figs. 5 y 6, tabla 2).

Según esta nueva hipótesis el sifón debió de iniciarse en las inmediaciones del cortijo de los Isletes Altos, en el punto 4 o próximo a éste, por la falda oeste de la ladera de la “Era Antigua”, a una cota aproximada de 99 m.s.n.m. Desde allí probablemente se dirigió en línea recta en busca de la torre A, las tuberías debieron de ir enterradas, tal como se comprueba con el nuevo hallazgo del resto de *substructio* en el punto 5 a 1,5 m de la superficie. En la depresión, entre el cortijo de Isletes Altos y la torre A, se debió alcanzar una presión máxima en la tubería de unos 25 m.c.a. Una vez salvado este valle, la tubería debió subir por una rampa hacia la torre A. Desde este punto es muy posible que el acueducto cambiara de rumbo, un poco más al sur, haciendo un quiebro de unos 11° aproximadamente.

Sigue la conducción en dirección al valle de los Arquillos, descendiendo del cerro de la Torre unos 38 m en vertical para encontrarse con el inicio del *venter* que, debió estar ubicado unos 50 m antes de llegar a los restos de arquerías que se conservan actualmente en el valle, próximos al cortijo de los Arquillos (identificados con los puntos 7 y 8 de la tabla 2). Desde allí, los atadores ya no debían de ir enterrados, sino dispuestos de forma horizontal sobre el *venter*, estructura que debió tener, según los cálculos, unos 840 m de longitud y 15,5 m de altura. La presión máxima alcanzada en el interior de las tuberías en este tramo, debió rondar los 49 m.c.a., tal como se deduce del perfil longitudinal elaborado en el presente trabajo, medidos en vertical, desde la tubería a la línea de energía (gradiente hidráulico).

Al salir del *venter* la conducción es probable que ascendiera, nuevamente enterrada, unos 36 m en vertical hacia la torre B, manteniendo la misma dirección que traía

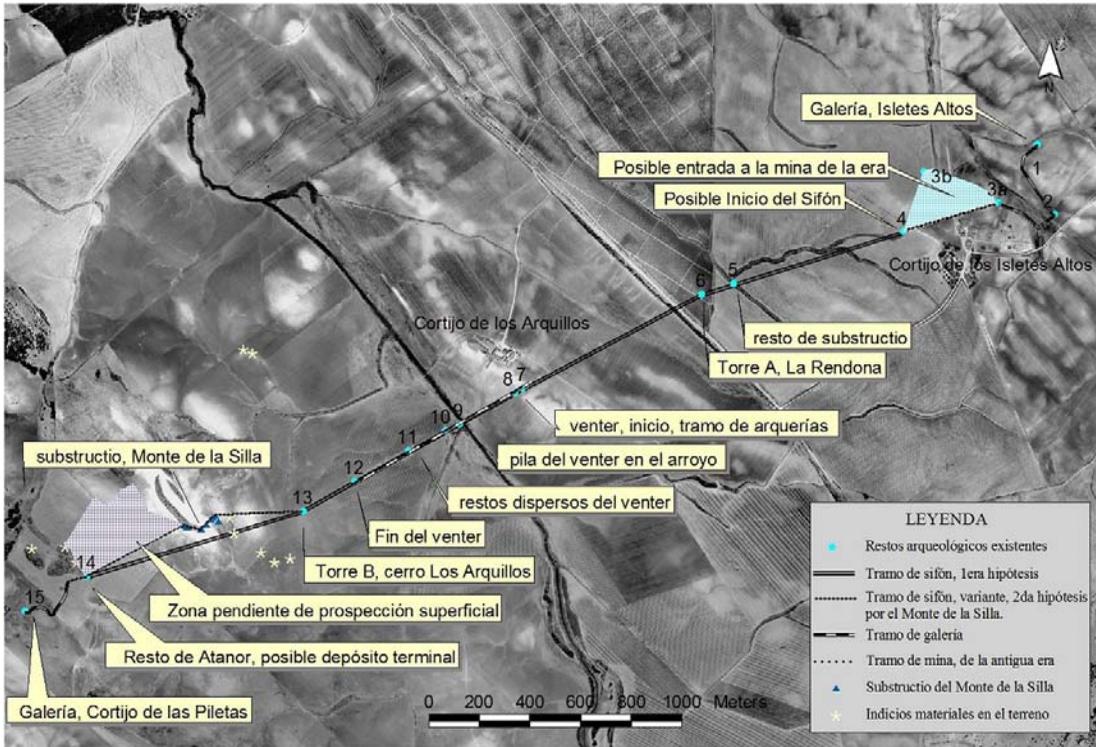


Fig. 5.—Hipótesis de la planta del sifón de los Arquillos propuesta en el presente trabajo, sobre una imagen de una ortofotografía del Instituto Cartográfico de Andalucía (ICA).

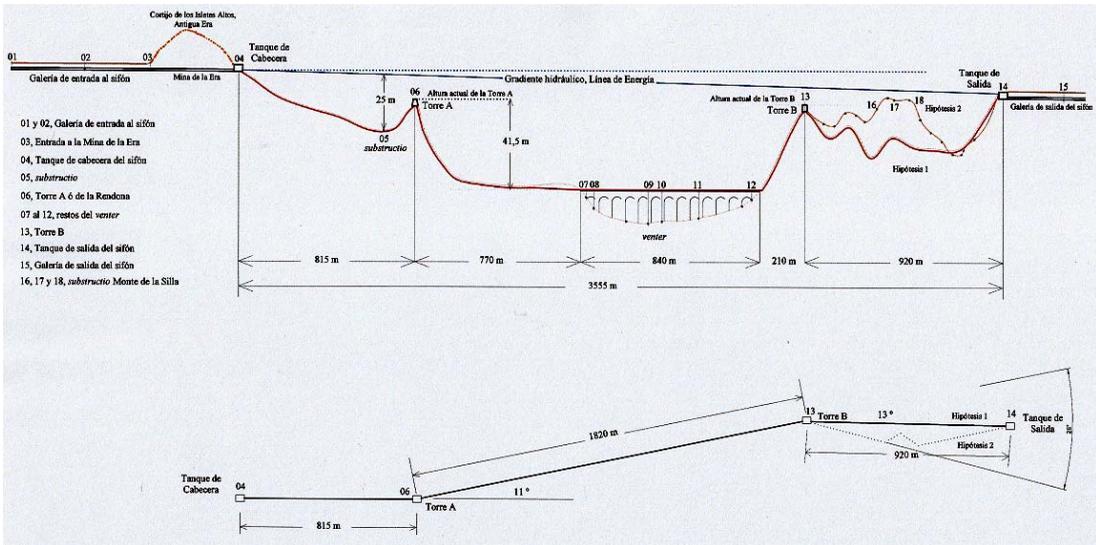


Fig. 6.—Hipótesis del alzado y planta del sifón de los Arquillos propuestos en el presente trabajo, 2012.

TABLA 2  
LISTADO DE RESTOS ARQUEOLÓGICOS E INDICIOS MATERIALES QUE SE PUEDEN VER EN LA PLANTA Y EL ALZADO DEL SIFÓN DE LOS ARQUILLOS PROPUESTO EN EL PRESENTE TRABAJO

<i>N.º</i>	<i>Topónimo / Tipo de resto</i>	<i>Referencias</i>	<i>Localización geográfica</i>
1	Isletes Altos 1 / Galería	Inédito. Tesis doctoral en fase de redacción.	ED50-UTM-30S-241656-4051407
2	Isletes Altos 2 / Galería	Inédito. Tesis doctoral en fase de redacción.	ED50-UTM-30S-241720-4051124
3a	Posible entrada a la Mina de la Era, hipótesis.	Tesis doctoral en fase de redacción.	ED50-UTM-30S-241497-4051177
3b	Posible entrada a la Mina de la Era, hipótesis. Los puntos 3a, 3b y 4 definen el área de prospección para ubicar restos de la Mina de la Era.	Tesis doctoral en fase de redacción.	ED50-UTM-30S-241210-4051308
4	Posible salida de la Mina e Inicio del sifón, Testimonio.	Inédito.	ED50-UTM-30S-241128-4051064
5	Posible <i>substructio</i> del sifón, drenaje agrícola.1 era curva vertical del sifón, punto bajo.	Inédito.	ED50-UTM-30S-240463-4050855
6	Torre A ó de la Rendona. Cerro de la Torre.	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:896-898) (Bestué y González, 2006:314) (González y Velázquez, 2005:124) (Pérez, 2008:175) (Lagóstena y Zuleta, 2009:160)	ED50-UTM-30S-240330-4050816 ED50-UTM-30S-240334-4050820
7	Punto D, inicio del <i>venter</i> , Entrada al tramo de arquerías.	(Hurtado y Rueda, 1784) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:898-899) (González y Velázquez, 2005:124) (Pérez, 2008:176)	ED50-UTM-30S-239622-4050445
8	Punto final del tramo de arquerías, cortijo de los Arquillos.	<i>Idem.</i>	ED50-UTM-30S-239593-4050429
9	Punto C, Pilar en el arroyo, Inicio de tramo de restos de cimentaciones del <i>venter</i> .	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:899-901) (Lagóstena y Zuleta, 2007)	ED50-UTM-30S-239374-4050307
10	Fin del tramo de restos de cimentaciones dispersas del <i>venter</i> .	(Roldán, 1993:899-901)	ED50-UTM-30S-239320-4050280
11	Inicio del <i>venter</i> , 19 arranques de pilares.	(Hurtado y Rueda, 1784) (Roldán, 1993:901-903)	ED50-UTM-30S-239176-4050202
12	Final del <i>venter</i> , 19 arranques de pilares.	<i>Idem.</i>	ED50-UTM-30S-238962-4050083
13	Torre B, en el cerro de los Arquillos.	(Hurtado y Rueda, 1784) (Fierro, 1989:22) (Moreno, 1998) (Roldán, 1993:903-905) (Bestué y González, 2006:314) (González y Velázquez, 2005:124) (Lagóstena y Zuleta, 2009:162)	ED50-UTM-30S-238758-4049964
14	Posible tanque de salida del sifón. Fragmento de atanor.	Inédito.	ED50-UTM-30S-237905-4049709
15	Cortijo de la Piletas 1/ Galería.	Inédito.	ED50-UTM-30S-237664-4049573

desde la torre A. Una vez en la torre B, surgen una serie de dudas sobre cuál fue el recorrido del sifón en este tramo. Conocemos la ubicación espacial de varios restos arqueológicos en esta zona que nos han hecho plantear dos primeras hipótesis como casos de estudio, pero es necesaria una revisión sistemática en campo de un área mayor y que se señala en la planta del trazado del presente documento. Se debe intentar localizar un mayor número de indicios de restos arqueológicos *in situ* que permitan precisar el discurrir del sifón en este ámbito.

Pasamos a exponer las dos hipótesis estudiadas: la primera, propone que el sifón continuara desde la torre B hacia el punto 14 (posible depósito terminal) en la finca de las Piletas, haciendo un cambio de rumbo al oeste, con un quiebro de 13° con respecto a la alineación precedente. Esta propuesta presenta dos inconvenientes: el primero, es que se obliga a pasar al sifón por un tramo de terreno muy inestable que presenta desprendimientos o cárcavas y el segundo es que, cuando observamos el perfil longitudinal vemos que se introducen una serie de curvas verticales y dos puntos altos en la conducción indeseables para el tema de roturas por bolsas de aire dentro de la tubería.

En el segundo caso, se propone que el sifón gire desde la torre B también hacia el oeste, en este caso unos 27° en busca del *substructio* del Monte de la Silla y que, desde allí descendiera hacia el punto 14 (posible depósito de descarga). Al igual que el caso anterior resulta que, al observar el perfil longitudinal de esta hipótesis se tiene puntos altos problemáticos a la hora de expulsar el aire de la tubería, además de que el propio *substructio* presenta cambios de dirección en planta muy acentuados, que debieron estar reforzados para evitar el desplazamiento de los atanores. La presión que se alcanzaría en los atanores dispuestos sobre el *substructio* sería de 8,5 m.c.a. aproximadamente.

Ninguna de las dos opciones es concluyente además de que, se basan en la hipótesis de la posible ubicación del depósito terminal en el punto 14, que tampoco es un hecho confirmado. Todas estas cuestiones sólo pueden ser resueltas por una campaña sistemática de excavaciones en campo o en su defecto, de prospecciones arqueológicas superficiales dirigidas hacia las zonas con restos arqueológicos o con indicios en el terreno.

Para las hipótesis de trazado planteadas en el presente trabajo se establece que la longitud del sifón debió ser de 3,5 km aproximadamente, medidos desde el punto 4 (posible tanque cabecera) hasta el punto 14 (posible depósito de salida). El gradiente hidráulico estaría en torno a unos 2,85 m/km, para una pérdida de carga de 10 m, valor aceptable dentro de los rangos conocidos en los sifones romanos. La longitud del sifón puede variar en función de la determinación exacta del trazado, sobre todo en su parte final, en cuyo caso tendría que ser recalculada.

### **Elementos especiales, las torres**

En el presente trabajo se plantea la hipótesis de que las torres A y B no son los tanques de inicio y salida del sifón sino que, fueran dispositivos especiales intermedios que permitieron la operación del sistema. La torre A pudo contar con una o dos funciones: la primera, generar un gran peso que permitiera el cambio de dirección de la tubería de 11° (curva horizontal) sin rotura, se trataría de una especie de gran *geniculus* que impidiera el desplazamiento de la tubería en la dirección dominante del agua. Es

muy probable que el contrafuerte yuxtapuesto al lienzo B de la torre A cumpliera con la función de contrarrestar la fuerza del agua en este sentido y que, su construcción posterior se deba a que el sifón en origen (sin el contrafuerte) probablemente presentó indicios de inestabilidad, lo que motivó su refuerzo posterior.

La torre A también pudo contar con otra función, la de punto de liberación de bolsas de aire. Para cumplir esta tarea la estructura debió estar provista de un tanque en su parte superior y la torre debió tener desde su base unos 14 m de altura aproximadamente.

Con la torre B debió de ocurrir lo mismo, se sabe que existió un cambio de dirección en este punto del trazado, por que debió ser necesario de un enorme peso que mantuviera la conducción sin movimientos. Si esta torre hubiese contado con un tanque elevado en su parte superior al cual se conectarán las tuberías, estaríamos hablando de una segunda función, la de liberación de bolsas de aire, alcanzando una altura de 11 m aproximadamente.

## ANÁLISIS HIDRÁULICO, UNA REVISIÓN DEL CAUDAL TRANSPORTADO

A partir de los datos obtenidos en el presente estudio se ha realizado una revisión de la capacidad de transporte del sifón de los Arquillos. El primer valor ajustado en este apartado ha sido el caudal transportado por las galerías aguas arriba del sifón, pues en trabajos anteriores (Pérez, 2008:103-104; Pérez y Bestué, 2008:246; Pérez y Bestué, 2010:192) se había realizado la estimación del caudal en base a las dimensiones registradas de la galería de Fuente Ymbro, tramo que se encuentra en la cabecera del acueducto, muy alejado del sifón y por lo tanto no el más adecuado para su relación y comparación con el sistema que se está analizando.

Para el cálculo del nuevo caudal transportado en la galería agua arribas hemos utilizado los datos de un tramo de canalización más cercano al sifón, ubicado en la zona de los Isletes Bajos. Este tramo, inédito, ha sido reconocido como parte del trabajo de tesis doctoral varias veces citado. Se tienen registrados tramos de conducción en canal aún más cercanos al sifón de los Arquillos, pero se ha escogido el de los Isletes Bajos por ser el que nos ha permitido el registro de todas las dimensiones del *specus*, incluso la medición de la altura de la lámina de agua, a partir de los restos de concreciones calcáreas depositados en sus paramentos.

En este caso trabajamos con una sección hidráulica trapezoidal, cuya forma ha sido determinada por la deposición de las concreciones calcáreas con el paso del tiempo. La sección a la cual se le ha aplicado la formulación correspondiente se muestra en la foto adjunta, con indicación de sus dimensiones. La estimación del caudal transportado en este tramo de galería se ha realizado aplicando la fórmula de Manning  $v = (Rh^{2/3} \cdot Is^{1/2})/n$ , donde:  $v$  es la velocidad media del flujo,  $Rh$  es el radio hidráulico,  $Is$  es la pendiente longitudinal de la conducción y  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning, además de las fórmulas de flujo de tipo uniforme, que se rigen por las ecuaciones más reducidas de continuidad y dinámica:  $Q = v \cdot A$ , donde:  $Q$  es el caudal,  $v$  es la velocidad media y  $A$  es la sección hidráulica transversal del flujo.

Para un valor de rugosidad de Manning de 0,20 se ha obtenido un caudal de agua transportado de 7885 m<sup>3</sup>/día, para una pendiente media de canalización de 1 m/

km, que es la que se ha documentado en este tramo. Como era de esperar, el valor del caudal de agua calculado para este tramo es inferior al reportado en la galería de Fuente Ymbro de 12500 m<sup>3</sup>/día. Esta disminución del caudal se puede deber a posibles derivaciones de agua a villas privadas, a las consecuentes pérdidas en la canalización a lo largo de recorrido y al uso del agua con propósitos diferentes al abastecimiento urbano a lo largo de su trazado.

Por otro lado, se ha analizado nuevamente la capacidad de transvase de agua del sifón de Los Arquillos, aplicando las ecuaciones de continuidad y movimiento siguientes:  $Q = v.A = constante$ , donde:  $Q$  es el caudal,  $v$  es la velocidad media y  $A$  es la sección hidráulica transversal del conducto, y la ecuación de Bernuolli  $H = (p/\gamma + z + v^2/2g)$ , donde  $H$  representa la energía ó altura total de los elementos del líquido por unidad de peso del fluido referida a una sección de la tubería,  $p/\gamma$  representa la altura o energía de presión,  $z$  la cota o energía potencial y  $v^2/2g$  la altura o energía cinemática (Méndez, 1995:2.11).

Se ha realizado nuevamente el balance energético entre dos diferentes secciones del sistema de la conducción: la de entrada (depósito de cabecera) y la de salida (depósito de descarga) con los nuevos datos conocidos. Las pérdidas de energía por fricción en la tubería se han calculado aplicando la fórmula de Manning:  $i = (v^2.n^2) / Rh^{4/3}$ , donde  $i$  es la pérdida de carga,  $v$  es la velocidad en m/sg,  $n$  es el coeficiente de rugosidad de Manning y  $Rh$  es el radio hidráulico y las pérdidas localizadas se han estimado como un coeficiente  $K$  experimental asociado al término  $v^2/2g$ .

Introduciendo a la formulación anterior los nuevos datos obtenidos en campo, ha dado como resultado una nueva gráfica de operación del sifón para diferentes rugosidades de Manning, en donde se demuestra que para poder transportar un caudal de 7885 m<sup>3</sup>/día, el sistema debió contar con dos o tres tuberías, dependiendo de las condiciones de operación que, a su vez, están asociados a los diferentes coeficientes de rugosidad de Manning (fig. 7).

## CONCLUSIONES

El sifón de Los Arquillos fue uno de los elementos singulares del acueducto romano de *Gades*, que contó con al menos 3,5 km de recorrido y permitió salvar el arroyo de Salado de Paterna en el valle de los Arquillos. Fue realizado con sillares de piedra de 90 cm por 100 cm aproximadamente y de 20 a 30 cm de espesor promedio, a los cuales se les practicó una perforación circular que fue revestida por varias capas de mortero alcanzando un diámetro efectivo para el transporte de agua de 30 cm. El sistema de ensamble de los tubos fue diseñado con conexiones tipo macho-hembra, para que las piezas tubulares tenían un reborde a una cara y un rehundido en la opuesta. Las uniones se sellaban con argamasa de cal y es probable el empleo de plomo, no obstante, este último dato no ha podido ser confirmado.

Una medida de lo monumental de este sistema es la cantidad de atanores empleados en su construcción. Para una sola tubería de 3,5 km y tubos de 30 cm de espesor, se debieron emplear alrededor de 11.500 piezas elaboradas y talladas en piedra caliza.

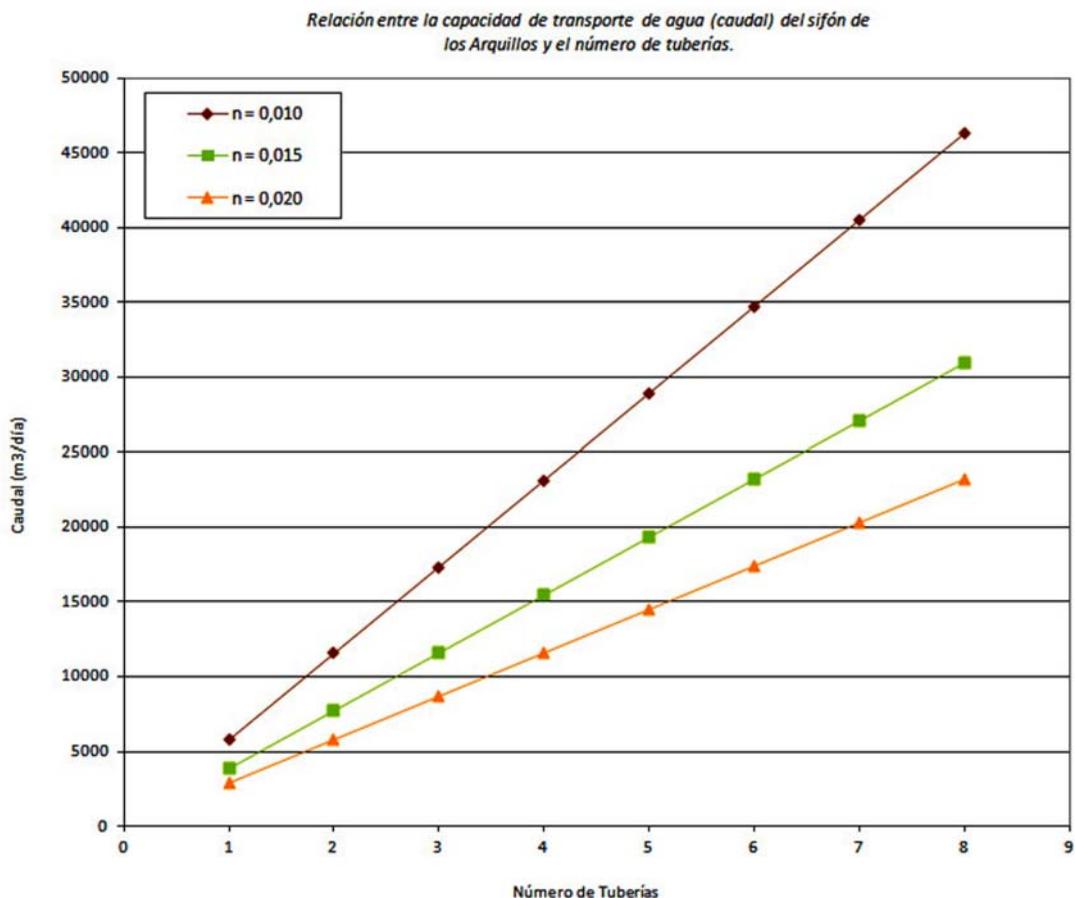


Fig. 7.—Nueva estimación de la capacidad de transporte de agua del sifón de Los Arquillos obtenidos a partir de los nuevos datos de campo, para diferentes tuberías y diversas condiciones de servicio, 2012.

El sifón invertido de los Arquillos debió de iniciar su recorrido en las inmediaciones del cortijo de los Isletos Altos, cerca de la “Era Antigua”, donde muy probablemente estuvo su depósito de cabecera a unos 99 m.s.n.m. Desde allí, debió descender en dirección suroeste hasta una cota 70 m.s.n.m. para luego subir hacia el cerro de la Torre, donde se encuentra la torre de la Rendona. En este punto presenta una inflexión o curva vertical en donde también se realizó un cambio de dirección horizontal, una curva de 11° hacia el sur, que le debió permitir bajar hacia el valle de los Arquillos.

El cruce del valle se hacía en línea recta desde la torre A hasta la torre B, en la ladera opuesta, en el cerro de los Arquillos. En su pase por el arroyo debió contar con un *venter*, un dispositivo tipo *arcuatio* que debió tener unos 840 m de largo y 15 m de altura. Actualmente se conservan restos materiales de esta estructura *in situ*, como lo es un pilar de planta cuadrada de 6 m de altura existente en el cauce.

Una vez en el torreón B el sifón probablemente haría un segundo cambio de dirección, una segunda curva horizontal hacia el suroeste. Desde aquí se tienen dudas

del trazado de la tubería forzada; en el presente trabajo se han planteado dos hipótesis sin llegar a ser concluyentes. El sifón debió concluir en el depósito de descarga posiblemente ubicado en un cerro de la finca las Piletas, en donde se ha localizado un trozo de atanor roto a una cota de 89 m.s.n.m.

La tubería a presión de época romana del valle de Los Arquillos debió contar en su recorrido con al menos un par de torres, denominadas A y B respectivamente y que pudieron tener dos funciones: generar un gran peso vertical que les permitiera mantener la tubería estable frente a la fuerza del agua en los cambios de trazado horizontal, una especie de *geniculus* y/o permitir la evacuación de bolsas de aire en puntos altos, curvas verticales de la conducción. En este último caso, las torres debieron estar provistas de tanques en su parte superior; la torre A debió contar con 14 m de altura desde su base y la B con 11 m.

En cuanto a las características hidráulicas del sistema se puede decir que tuvo un gradiente hidráulico de 2,85 m/km y una pérdida de carga de 10 m, muy acorde con otros sifones romanos de similares características. Con estos valores se ha realizado una nueva estimación de la capacidad de transporte de agua del sifón de Los Arquillos y ha resultado que es probable que el sistema operase con dos o tres tuberías en paralelo, para poder transportar los 7885 m<sup>3</sup>/día de agua, valor de caudal calculado en los tramos de galería de los Isletes Bajos.

El sifón de Los Arquillos es una obra de ingeniería hidráulica romana de alto interés cuyo estudio está abierto y que debe ser revisado constantemente a medida que avancen las investigaciones en campo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la financiación, invitación y colaboración de:

La Fundación Juanelo Turriano, la Revista Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, doña Margarita Orfila y doña Elena Sánchez. Don Rafael Lucas y a doña Isabel Bestué (mis directores de tesis doctoral). Todo el equipo de Aguas de Jerez, en especial a Juan Manuel González, Joaquín Granados y a Julio Ruiz, al personal de la finca Isletes Altos, en especial su encargado don Paco, los dueños y el personal de la finca los Arquillos, a los trabajadores de la finca las Piletas, en especial, su encargado don Andrés. Don Francisco Zuleta y don Lázaro Lagóstena, don Emilio Molero (profesor de la Universidad de Granada). Don Teodoro Cantizano, don José María Jiménez (Ayuntamiento de San José del Valle), doña Violeta Arranz (traductora y amiga). A mis amigos de Jerez de la Frontera. A toda mi familia, en especial a mi hija, Paula del Valle.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARCHIVO MUNICIPAL DE JEREZ DE LA FRONTERA, ACTAS CAPITULARES (1576), Folio 646 y 655, 20 de agosto.
- ARCHIVO MUNICIPAL DE CÁDIZ, ACTAS CAPITULARES (1784a), *Sobre la venida de un arquitecto romano*, del 28 de febrero.
- ARCHIVO MUNICIPAL DE CÁDIZ, ACTAS CAPITULARES (1784b), *Tempul*, del 19 de enero.
- ABREU DE, P. (1866): *Historia del Saqueo de Cádiz por los ingleses en 1596*, Revista Médica, Cádiz, republicado en 1996 (Bustos, M., ed.), Universidad de Cádiz, Colección fuentes para la historia de Cádiz y su provincia, Cádiz.
- BERNAL, D. (2008): “Gades y su bahía en la antigüedad. Reflexiones geoarqueológica y asignaturas pendientes”, *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social* 10, pp. 267-308.
- BESTUÉ, I. y GONZÁLEZ, I. (2006): “Roman Siphons in Spain”, *Cura aquarum in Ephesus : Twelfth International Congress on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region II* (Wiplinger, G., ed.) (Turquía, 2004), Peters, pp. 311-317.
- CAMBIASO DE, N. (1829): *Memorias para la biografía y para la bibliografía de la isla de Cádiz*, Imprenta de Leon Amarita, Madrid, edición ampliada en 1986 (Corzo, R. y Toscano, M., eds.), Caja de Ahorros de Madrid, Madrid.
- CANO, M. (1994): *Cádiz y el Real Cuerpo de Ingenieros Militares (1697-1847) Utilidad y Firmeza*, Universidad de Cádiz, Cádiz.
- CASTRO DE, A. (1858): *Historia de Cádiz y su provincia: desde los tiempos remotos hasta 1814*, Imprenta de la Revista Médica, Cádiz.
- CAPEL, H., GARCÍA, L., MONCADA, J., OLIVE, F., QUESADA, S., RODRÍGUEZ, A., SANCHEZ, J. y TELLO, R. (1983): *Los ingenieros militares en España siglo XVIII. Repertorio biográfico e inventario de su labor científica y espacial*, Universidad de Barcelona, Barcelona.
- CONCEPCIÓN DE LA, J. (1690): *EMPORIO DE EL ORBE*, Imprenta Joan Bus, Amsterdam, republicado en 2003-2004 (Morgado, A., ed.), Universidad de Cádiz, Cádiz.
- CONOLLY, J. y LAKE, M. (2009): *Sistemas de información geográfica aplicados a la arqueología*, Bellaterra Arqueología, Murcia.
- HOROZCO DE, A. (1845): *Historia de la ciudad de Cádiz de 1598*, Ayuntamiento de Cádiz, Imprenta de Manuel Bosch, Cádiz, republicado en 2000 (Morgado, A., ed.), Universidad de Cádiz, Cádiz.
- HOROZCO DE, A. (1929): *Documentos inéditos para la historia de Cádiz*, Ayuntamiento de Cádiz, Cádiz, republicado en 2000 (Morgado, A., ed.), Universidad de Cádiz, Cádiz.
- RUEDA DE, V. (1785): *Manuscrito de notas puestas al papel discursivo del arquitecto romano Scipion Perosini, sobre la conducción a Cádiz de las aguas de Tempul*. Manuscrito del Instituto de Geografía e Historia Militar de Madrid, N.º 3753, Sign. 3-5-9-2.
- DURÁN, J. (2005): “El agua en la provincial de Cádiz a través de los tiempos”, *Atlas hidrogeológico de la provincia de Cádiz*. Instituto Geológico y Minero de España y Diputación de Cádiz, Madrid, pp. 16-18.
- GARCÍA Y BELLIDO, A. (1978): *La España del siglo primero de nuestra era (según P. Mela y C. Plinio)*, Colección Austral, 3.ª ed., Madrid.
- GARCÍA, J. y GARCÍA, A. (2010): Por el acueducto romano de Tempul: en el Cerro de la Torre, *Entorno a Jerez*, <http://www.entornoajerez.com/2010/03/por-el-acueducto-romano-del-tempul-en.html>.
- GARCÍA, J. y GARCÍA, A. (2011a): Tras las huellas del acueducto de Gades por el valle de los Arquillos (I), *Entorno a Jerez*, <http://www.entornoajerez.com/2011/03/tras-las-huellas-del-acueducto-de-gades.html>.
- GARCÍA, J. y GARCÍA, A. (2011b): Tras las huellas del acueducto de Gades por el valle de los Arquillos (II), *Entorno a Jerez*, [http://www.entornoajerez.com/2011/03/tras-las-huellas-del-acueducto-de-gades\\_30.html](http://www.entornoajerez.com/2011/03/tras-las-huellas-del-acueducto-de-gades_30.html).
- HURTADO, A. y RUEDA DE, V. (1784): *Libro donde se notan las operaciones, trabajos y demás pertenecientes al reconocimiento, descubrimiento, y proyecto de reedificar el acueducto de los romanos que se dirigía desde Tempul a Cádiz, cuyo reconocimiento se hace por orden y disposición del Exmo. Sr. Conde O'Reilly Capitán General de Andalucía y gobernador de dicha plaza*, Manuscrito de la Biblioteca Nacional de España, MSS 2216.
- GÓMEZ, J. (2007): *Estrabón Geografía de Iberia*, Alianza Editorial, Madrid.

- GONZÁLEZ, I. y VELÁZQUEZ, I. (2005): *Ingeniería romana en Hispania. Historia y técnicas constructivas*, Fundación Juanelo Turriano, Madrid.
- GUZMÁN, F. (2008): “Obras de ingeniería en la conducción de manantiales: El Tempul y el acueducto de Gades (Cádiz)”, *Manantiales de Andalucía* (Castillo, A., coord.), Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente, Agencia Andaluza del Agua, Sevilla, pp. 329-333.
- FIERRO, J. (1987): “La Casa del Pozo, una antigua solución para abastecer agua a la ciudad”, *Diario de Cádiz* 05 de octubre.
- FIERRO, J. (1989a): “El Acueducto Romano de Cádiz”, *Revista de Arqueología*: año X, N° 95, pp. 19-24.
- FERNÁNDEZ, C. (1985): *Ingeniería Hidráulica Romana*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Turner, 2.ª ed., Madrid.
- HODGE, A. (2002): *Roman aqueducts and water supply*, Duckworth, 2.ª ed., Londres.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (2005a): *Ortofotografía digital en color de Andalucía*, 1:10000, [DVD] 2.ª ed. Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transporte.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (2005b): *Modelo digital del terreno de Andalucía. Relieve y orografía*, [DVD] Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transporte.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (2007a): *Mapa topográfico de Andalucía, provincia de Cádiz*, 1:10000. [CD] Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transporte.
- INSTITUTO DE CARTOGRAFÍA DE ANDALUCÍA (2007b): *Cartografía de un siglo, Andalucía en la primera edición del Mapa Topográfico Nacional*, [DVD] Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transporte y Ministerio de Fomento, Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2009): *Modelo digital del terreno MDT05*, [online] disponible en <<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/buscadorCatalogo.do?codFamilia=MDT05>> [10 mayo 2011].
- JIMÉNEZ, M. (1971): *Historia de Cádiz en la antigüedad*, Instituto de Estudios Gaditanos, Diputación Provincial, Jerez de la Frontera.
- KESSENER, P. (2000): “The aqueduct at Aspendos and its inverted siphon”, *Journal of roman archaeology*, vol. 13, pp. 104-132.
- KESSENER, P. (2004): “Roman hydraulic technology and modern pressurized pipeline systems”, *Rioleringswetenschap en -techniek*, N.º 15, pp. 10-44.
- LAGÓSTENA, L. (1998): “La bahía gaditana en la Antigüedad tardía”, *Homenaje al profesor Carlos Posac Mon I*, Instituto de Estudios Ceutíes, Ceuta, pp. 265-278.
- LAGÓSTENA, L. y ZULETA, F. (2007): *Las obras romanas de ingeniería hidráulica de época romana en la provincia de Cádiz*, Proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Fomento (inédito), CEHOPU, Madrid.
- LAGÓSTENA, L., ZULETA, F. y FATÁS, R. (2007): *Edición crítica y anotada de los informes técnicos de época moderna y contemporánea de rehabilitación del acueducto romano de Gades y reconstrucción virtual de sus principales elementos arquitectónicos*, Proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Fomento (inédito), CEHOPU, Madrid.
- LAGÓSTENA, L. y ZULETA, F. (2009): “Gades y su acueducto: una revisión”, *La captación, los usos y la administración del agua en Baetica: estudios sobre el abastecimiento hídrico en comunidades cívicas del Conventus Gaditanus* (Lagóstena L. y Zuleta F., coords.), Universidad de Cádiz, Cádiz, pp. 115-169.
- LOMAS, F. (2011): *Nueva historia de Cádiz*, Silex, Madrid.
- MARTÍN GUTIÉRREZ, E. (2003): *La identidad rural de Jerez de la Frontera. Territorio y poblamiento durante la Baja Edad Media*, Universidad de Cádiz, Cádiz.
- MARTÍNEZ MONTAVEZ, P. (1974): *Perfil de Cádiz Hispano Árabe*, Ediciones de la Caja de Ahorros de Cádiz, Madrid.
- MAYO, A. (1877): “Memoria relativa a las obras del acueducto de Tempul para el abastecimiento de aguas a Jerez de la Frontera”, *Anales de obras públicas memorias y documentos referentes á la ciencia del ingeniero y al arte de las construcciones III*, Imprenta de Aribau, Madrid.
- MÉNDEZ, M. (1995): *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*, Caracas.
- MORENO, J. (1998): “El acueducto romano de Tempul vestigios de un sifón hidráulico en el Cortijo de los Arquillos”, *El Alcaucil* 27, Paterna de Rivera, Cádiz.
- OCAMPO, F. (1578): *Los cinco libros primeros de la crónica general de España*, [s.n.], Alcalá.
- PÉREZ, J. (2008): *Situación del conocimiento del acueducto romano de Cádiz*. Directores: Rafael Lucas Ruiz e Isabel Bestué Cardiel. Trabajo de Investigación Tutelado (inédito), Universidad de

- Sevilla, Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Programa de Doctorado: Teoría y práctica de la rehabilitación arquitectónica y urbana.
- PÉREZ, J. y BESTUÉ, I. (2008): “Avance del estudio hidráulico del acueducto romano de Gades”, *IV Congreso de Obras Públicas en la Ciudad Romana* (Lugo-Guitiriz, 2008), Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, pp. 235-249.
- PÉREZ, J. y BESTUÉ, I. (2010): “Nuevas aportaciones al estudio hidráulico del acueducto romano de Tempul”, *Aquam Perducendam Cvravit Captación, uso y administración del agua en las ciudades de la Bética y el occidente romano* (Lagóstena L., Cañizar J. y Pons, L., eds.) (Cádiz, 2010), Universidad de Cádiz, Cádiz, pp. 183-196.
- PÉREZ, J., MOLERO, E. y BESTUÉ, I. (2011): “Nueva metodología para el estudio del trazado del primer tramo del acueducto romano de Tempul. Desde la captación hasta la Garganta del Valle”, *Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (Huerta, S., Gil, I., García, S. y Taín, M., eds.) (Santiago de Compostela, 2011), Instituto Juan de Herrera, Madrid, pp. 1077-1087.
- PEROSINI, S. y DUBOURNIAL, H. (1786): *Relación del estado del antiguo acueducto de Tempul*.
- QUINTERO, P. (1928): *Historia de Cádiz*, Tipolitografía Rodríguez de Silva, Cádiz.
- RODRÍGUEZ, J. (1992): *Confidencias de César. Los Balbos de Cádiz*, 2.<sup>a</sup> ed. rev. Silex, España.
- ROLDÁN, L. (1993): *Técnicas arquitectónicas en la Bética romana*, Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid, Madrid.
- RUEDA DE, V. (1785): *Descripción del acueducto romano y sitio de Tempul, en la Plaza de Cádiz, y situación de los nacimientos de sus aguas*. Manuscrito perteneciente al fondo del Instituto de Geografía e Historia Militar de Madrid, Núm 3752, Sign. 3-5-5-8, 88 folios.
- SÁEZ, A., MONTERO, M., MONTERO, A., SÁEZ, A. y DÍAZ, J. (2004): “Anotaciones al recorrido de las vías Augusta y Heraclea a su paso por San Fernando (Cádiz). Novedades arqueológicas y paleogeográficas”, *Antiquitas* 16, Museo Histórico Municipal de Priego de Córdoba, Córdoba, pp. 105-119.
- SÁNCHEZ, E., PÉREZ, J., ORFILA, M. y BESTUÉ, I. (2010): “Nuevas consideraciones sobre el acueducto romano de Almuñecar”, *Sexto Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (Huerta, S., Marín, R., Soler, R. y Zarogazá, A., eds.) (Valencia, 2009), Instituto Juan de Herrera, Madrid, pp. 1297-1306.
- SANCHO DE, H. (1964): “Arquitectura jerezana del siglo XVI”, *Archivo Hispalense*, XL 123, pp. 9-73.
- SUÁREZ DE, J. (1610): *Grandezas y antigüedades de la isla y ciudad de Cádiz* (edición facsímil de 1985), Caja de Ahorros de Cádiz, Cádiz.
- TOLEDO JORDAN, J. (1988): *El Cádiz Andalusi (711-1.485)*, Servicio de Publicaciones de la Diputación de Cádiz, Cádiz.



Lám. I.—Torre A o de la Rendona en el cerro de la Torre, 2011.



Lám. II.—Torre B en el cerro de los Arquillos, 2011.



Lám. III.—Restos del posible *arcuatio* del *venter*, del sifón de los Arquillos, 2008.



Lám. IV.—Pilar del *venter* del sifón de los Arquillos en el arroyo de Salado de Paterna, 2011.



Lám. V.—Restos dispersos del *venter* del sifón de los Arquillos, en la imagen al fondo a la izquierda se pueden apreciar las instalaciones principales del cortijo de los Arquillos, 2011.



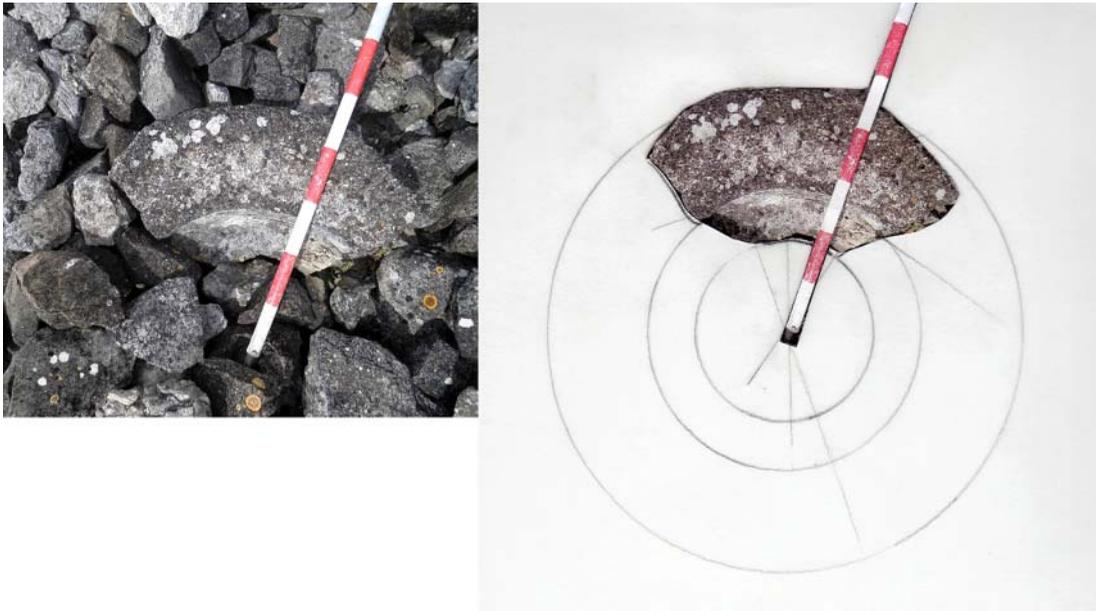
Lám. VI.—Atanores dispersos en las inmediaciones de la torre A, actualmente desaparecidos. Fotografía facilitada por el equipo de “entornoajerez” (García, J. y García, A., 2010).



Lám. VII.—Atanor disperso en las inmediaciones de los restos arqueológicos del *venter* del sifón de los Arquillos, 2011.



Lám. VIII.—Imagen de los restos de un posible *substructio* del sifón de los Arquillos localizado entre la colina del cortijo de los Isletes Altos y la Torre A o de la Rondona, 2011.



Lám. IX.—Atanor roto en la finca de las Piletas. A la izquierda de la imagen se puede apreciar el trozo de tubería localizado y a la derecha se muestra la restitución gráfica realizada para la determinación de sus características geométricas, 2011.