



HAL
open science

Toledo Medieval: la máquina hidráulica de Al-Idrisi

Jean Passini, Adrien Paget, Eric Mermet

► **To cite this version:**

Jean Passini, Adrien Paget, Eric Mermet. Toledo Medieval: la máquina hidráulica de Al-Idrisi. EL AGUA EN TOLEDO Y SU ENTORNO: ÉPOCAS ROMANA Y MEDIEVAL, Coordinadores: Rebeca Rubio Rivera • Jean Passini • Ricardo Izquierdo Benito, 2018, Cuenca, España. <hal-05400294>

HAL Id: hal-05400294

<https://hal.science/hal-05400294v1>

Submitted on 5 Dec 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

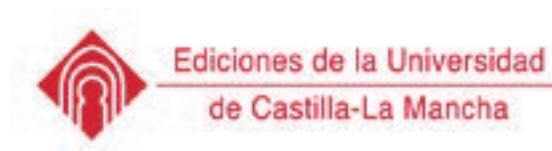


Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

EL AGUA EN TOLEDO Y SU ENTORNO:
ÉPOCAS ROMANA Y MEDIEVAL

Coordinadores:

Rebeca Rubio Rivera • Jean Passini • Ricardo Izquierdo Benito



2018

Toledo Medieval: la máquina hidráulica de al-idrisi

Jean Passini
Umr 8558 (Centre De Recherches Historiques, Ehess-Cnrs, Paris)

Adrien Paget
Agence D'urbanisme De L'agglomération Orléanaise

Eric Mermet
UMR 8557 (Centre d'analyse et de mathématique sociales Ehess, CNRS, Paris)

Toledo Medieval: la máquina hidráulica de Al-Idrisi

Jean Passini
Umr 8558 (Centre De Recherches
Historiques, Ehess-Cnrs, Paris)

Adrien Paget
Agence D'urbanisme
De L'agglomération Orléanaise

Eric Mermet
UMR 8557 (Centre d'analyse et
de mathématique sociales Ehess,
CNRS, Paris)

1. EL EMPLAZAMIENTO DE TOLEDO

La región de Toledo se extiende en un área sedimentaria sobre la que discurren de este a oeste el valle medio de un río de caudal más o menos regular, el Tajo, y una imponente masa de rocas metamórficas y cristalinas, los Montes de Toledo. En el corazón de esta comarca un espolón rocoso, cercado en tres de sus flancos por un profundo meandro del río y abierto hacia el norte al nivel de un área conocida como vado¹ ha sido ocupado por grupos humanos desde el segundo milenio antes de J.C. (Fig. 1.a).

Los romanos, llegados a la península ibérica en el año 218, guerrearon en la región de Toledo y se instalaron sobre el espolón y la Vega Baja. Concentraron la mayor parte de la ciudad alrededor del actual núcleo urbano y del Alcázar, más tarde llamado Al-Hizam por los conquistadores musulmanes. Este espacio, cercado por una muralla, se extendía entre Zocodover y la ribera derecha del Tajo².

Los visigodos, que ocuparon Toledo el año 467, establecieron en esta ciudad su capital en 554. En 674, el rey Wamba restauró y amplió las murallas romanas. Al contrario que los romanos, los visigodos favorecieron la ruralización y la dispersión de la población urbana. La parte más importante de la ciudad visigoda se desarrolló en el llano a los pies de la ciudad, conocida como Vega Baja. El palacio real estuvo probablemente sobre una colina de la ciudad alta.

En 711, Tariq ibn Ziad, a la cabeza de tropas bereberes, ocupó Toledo sin grandes dificultades mientras el rey visigodo don Rodrigo estaba lejos de la ciudad tratando de detener su avance³. Toledo pierde su condición de capital pero no el nombre de «Ciudad de los Reyes». Al año siguiente, Musa b. Nusair llega capitaneando tropas compuestas únicamente por árabes y continúa la conquista de la Península hacia el norte. Tariq y Musa vuelven a Damasco para dar cuenta de sus victorias al califa omeya, que los hará gobernadores de la nueva provincia de su imperio⁴.

1 RUIZ TABOADA, FERNÁNDEZ DEL CERRO, 2009.

2 PAVÓN MALDONADO, 1990. p. 130 y sig.

3 DELGADO VALERO, 1987.

4 LÉVI-PROVENÇAL, 2002.

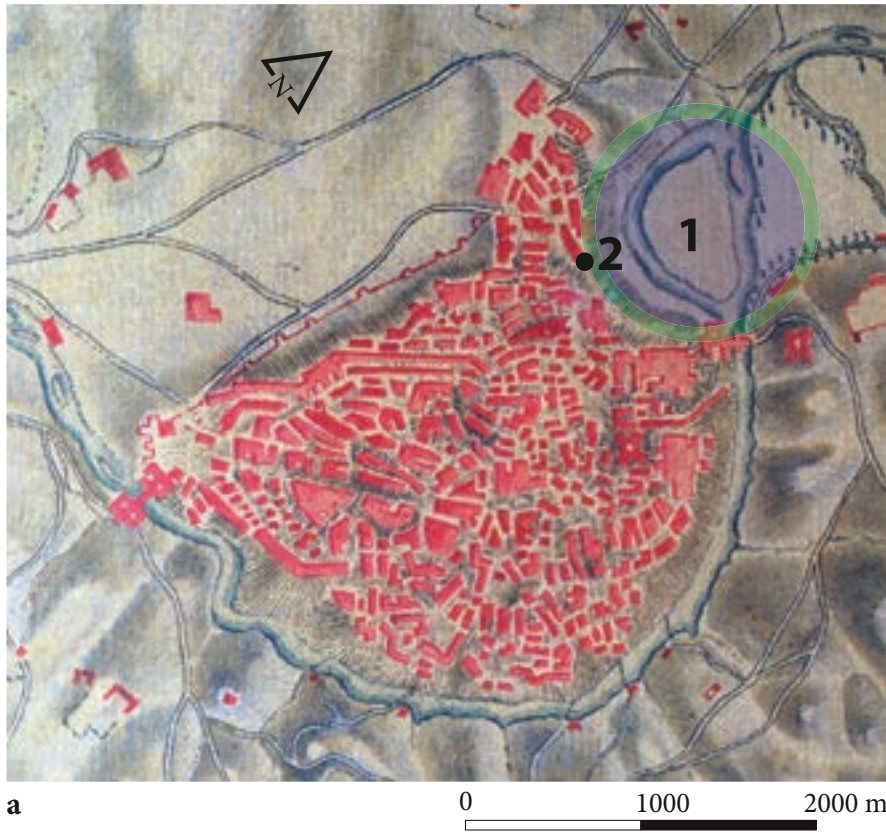
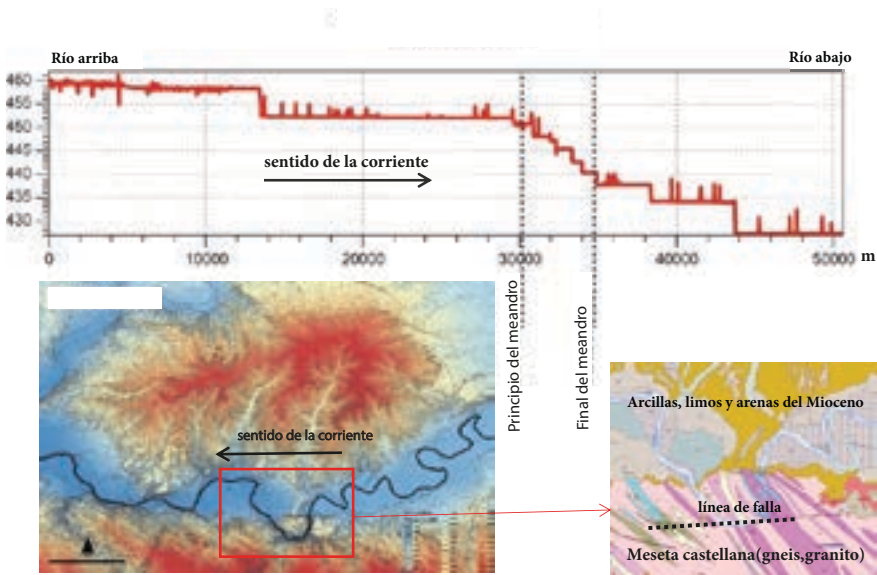


Fig. 1.
 a. Plano de Toledo y sus entornos 1809,
 1. Espacio del Vado,
 2. La puerta del Vado.



b. Perfil del Tajo y contexto geológico de Toledo.

EL AGUA EN TOLEDO Y EN SU ENTORNO: ÉPOCA MEDIEVAL

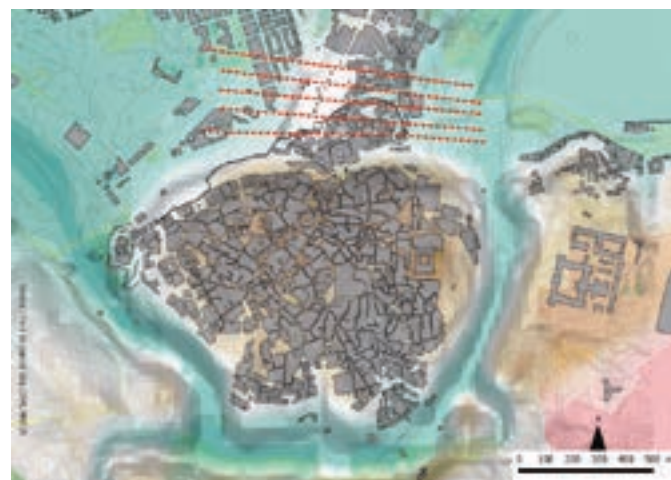
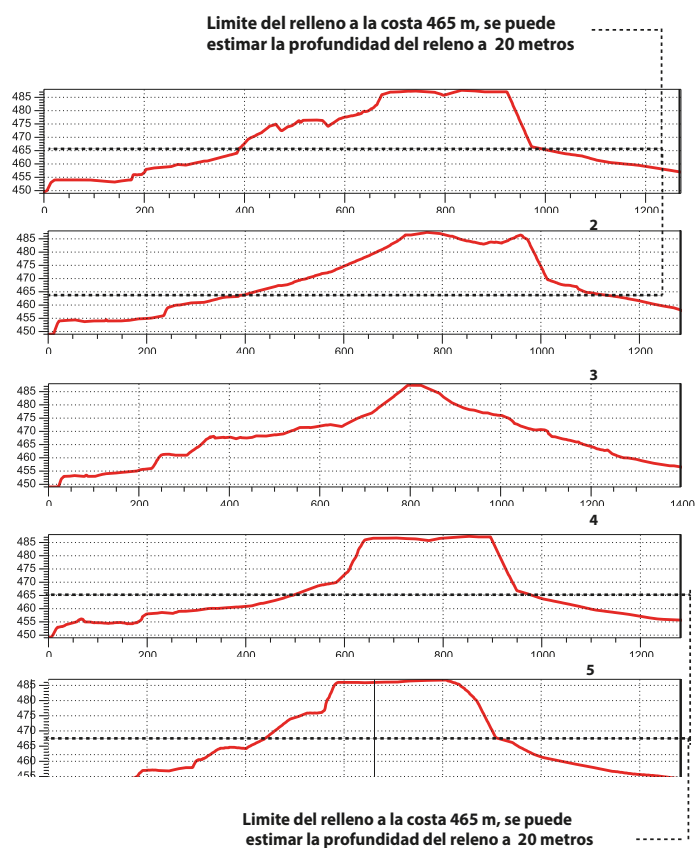
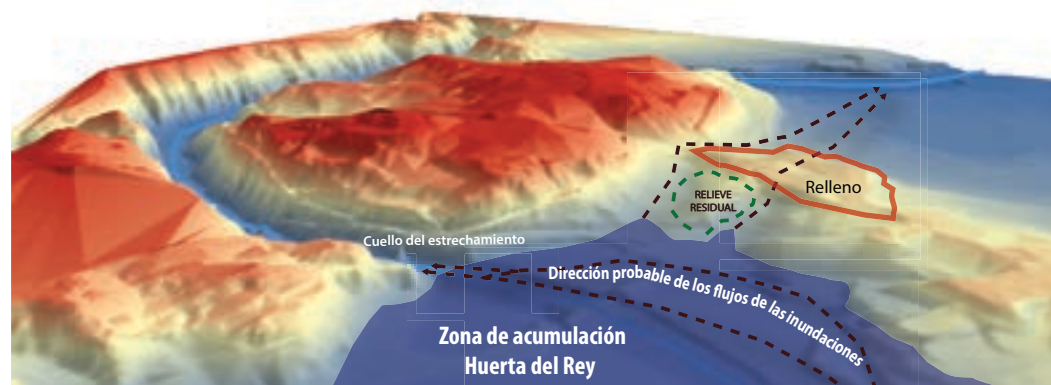


Fig. 2. Perfil del relleno:
 a. Perfiles de través del terraplenado artificial;
 b. Funcionamiento hipotético del Tajo en el momento de episodio de crecida superior, vista 3D;
 c. La Puerta del Vado.



10 m.

Las frecuentes luchas internas de los nuevos conquistadores en la Península llevaron a una nueva toma de Toledo en 740 por una de las facciones; en esta ocasión se intentó sin éxito destruir las murallas de la ciudad.

En 757, Abd al-Rahman I proclama la independencia del emirato de al-Ándalus frente al califato de Damasco. Toledo se mantendrá en rebeldía casi continua contra la autoridad de Córdoba.

En 807, el emir al-Hakam dispone la construcción de un alcázar en Toledo, que posteriormente sería destruido y en 837-839 vuelto a construir. En 858 el emir Muhammad para poner fin a la permanente rebeldía de la ciudad decide, entre otras medidas, destruir parcialmente el puente de Alcántara.

En 932, Toledo juraba obediencia al califa de Córdoba, Abd al-Rahman III, que entró en la ciudad y ordenó reparar los daños producidos durante las rebeliones.

Bajo el reinado de Almanzor finalizó, en 997⁵, la restauración o reconstrucción del puente de Alcántara. El califato de Córdoba se disuelve en 1031 y poco después Toledo pasó a convertirse en la capital de un amplio reino de taifas; capital que cayó en 1085 cuando la ciudad fue tomada por el rey cristiano Alfonso VI.

El reinado de al-Ma'mun, de 1043 a 1075, corresponde al apogeo de Toledo tanto a nivel cultural y artístico como a su máxima expansión territorial⁶.

Siguiendo a Caro Baroja, citado por Diego Peris⁷:

“La corriente fluvial del Tajo es en gran parte la razón de ser de Toledo”. Por eso nos pareció imprescindible tratar de conocer las etapas de su desarrollo más arriba del actual puente de Alcántara, desde la prehistoria hasta nuestros días.

2. EL CONTEXTO GEOGRÁFICO

El espolón de Toledo está casi totalmente rodeado por un meandro del Tajo. Si consideramos el desarrollo de su corriente cerca de la ciudad veremos que el perfil de esta corriente varía de manera notable a la altura de Toledo, donde sufre una ruptura de pendiente importante (Fig. 2.a). La altura del río entre la entrada y la salida del torno varía en unos 10 m aproximadamente, pasa de 450 m a 440 m. En este sector, fracturado por un sistema de líneas de fallas orientadas en sentido este-oeste, el Tajo ha erosionado la meseta castellana, compuesta de rocas metamórficas -granito de anatexia y gneis- dibujando el meandro llamado el Torno. Con 2 km de longitud, este meandro tiene una

⁵ Almanzor muere en 1002.

⁶ DELGADO VALERO, op. cit, p. 39 y sig.

⁷ Citado por PERIS SÁNCHEZ, 2010, p.144-183.

pendiente de unos 6/1000. Mientras la pendiente sobre 50 km del perfil es de 0,46/1000. Es más de 1160% que la media. La sucesión de rupturas de pendiente, visibles sobre el perfil del cauce a todo lo largo del meandro, ha permitido a la población en distintos momentos de la historia servirse de estos desniveles para instalar aprovechamientos hidráulicos: molinos, presas, norias, incluso centrales eléctricas en tiempos modernos.

En el transcurso del Terciario y del Cuaternario el Tajo ajustó su perfil longitudinal y alcanzó un cierto equilibrio en las variaciones de su nivel de base⁸. Este oscila a lo largo de los periodos glacial e interglacial. Además de las variaciones de este nivel, se debieron de producir ajustes locales sobre la parte que forma el meandro de Toledo. La notable ruptura de pendiente y el estrechamiento del valle a la entrada del Torno seguramente han influido en los ajustes del cauce del río. Las variaciones de caudal y la erosión del cauce han originado la formación de varios niveles de terrazas aluviales, visibles a la entrada y a la salida del meandro.

Se han formulado varias hipótesis sobre la formación del meandro de Toledo. La primera, que data de 1901, se debe a José Macpherson y Hermas. Pone de manifiesto la incoherencia e inadaptación del trazado del Tajo a la altura de Toledo: en buena lógica, el río habría tenido que entrar por el norte de la ciudad, donde el terreno está compuesto principalmente de materiales poco resistentes a la erosión –arenisca cuarzo-feldespática y arcilla del cenozoico- en lugar de hacerlo por el sur de la ciudad, donde discurre entre rocas duras de granitos y gneis. Para explicar este fenómeno, elabora una teoría basándose en la existencia de un antiguo valle excavado por otro río en una época en que las condiciones físicas no eran las mismas. Este valle habría sido posteriormente colmatado de sedimentaciones cenozoicas que el Tajo habría aportado para reencontrar el trazado de su cauce.

Varios autores opinan que el Torno de Toledo puede deberse a un fenómeno de epigenia⁹: el río se habría adaptado a la estructura geológica subyacente de la meseta castellana. Mediante este proceso, desarrollado entre el fin del terciario y a lo largo del cuaternario, la colina toledana habría adquirido sus peculiares características actuales. Otros autores explican la formación del meandro por un fenómeno de captura: el río habría captado sus dos afluentes de la ribera izquierda - el arroyo de la Degollada y el Baeza- bien mediante un fenómeno de erosión regresiva¹⁰ favorecido por un sistema de diaclasas¹¹ cuya forma y dirección habría permitido la formación del meandro¹²; o bien el meandro puede ser el resultado de un suceso tectónico, como un reasentamiento o un levantamiento de la meseta castellana.

8 El nivel de base es el caudal más bajo que puede alcanzar un río en un momento dado, y está en correspondencia con el nivel del mar tendiendo a alcanzar su misma altura. Pero localmente los cursos de agua determinan el nivel de base de sus afluentes.

9 Modo en que una corriente de agua excava un valle, independientemente de la naturaleza de la roca sustrato.

10 La erosión regresiva consiste en la erosión de un sustrato en sentido aguas abajo-aguas arriba, en sentido contrario a como discurre un río.

11 Fractura que se produce en una masa rocosa sin que las partes se separen ni se desplacen.

12 Hipótesis aportada por J. ROYO y GÓMEZ.

La aparente incoherencia del meandro del Tajo con su lecho geológico plantea interrogantes en cuanto al funcionamiento de este hidrosistema cuando se da un episodio de crecimiento notable del río.

3. HIPÓTESIS DE FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO Y DE MODIFICACIONES DEBIDAS AL HOMBRE

Todo lo que hemos expuesto hasta aquí se dirige a explorar la posibilidad de que el meandro de Toledo llegara a formar un anillo completo, es decir, se cerrara por el Norte, cuando se producían sucesos naturales excepcionales. Para determinar esa posibilidad vamos a estudiar la zona situada al pie de la colina toledana que une la parte antigua de la ciudad con su parte baja, más moderna: la zona de la actual calle Real del Arrabal. El esquema que proponemos (fig.1.b y 2.b) es una hipótesis del funcionamiento antiguo del hidrosistema, antes de la constitución del relleno, cuando se daban episodios de crecidas importantes.

La fuerte variación de la anchura y profundidad del cauce del río¹³ determina la altura del agua en la parte de más arriba del meandro. La figura 2.b ilustra este cambio de morfología.

La anchura del cauce pasa de alrededor de 100-150m a la altura del puente de Azarquiel a 50m a la entrada del meandro (fig. 3.— 1). Este estrechamiento crea un efecto de embudo que produce en el sector de la Huerta del Rey una zona de acumulación de flujos donde la altura del agua llega a ser importante (fig. 3 — 2). La consecuencia de ello es que esta acumulación de agua incluso provocaba desbordamientos localizados en la parte basal norte de la colina toledana (fig. 3 — 3). Además, a nivel del puente de Alcántara el estrechamiento del cauce y la importante ruptura de pendiente producían una aceleración de los flujos; cuando había crecidas esto ocasionaba daños importantes en obras como los molinos, presas y norias situados en las márgenes y una erosión del fondo del cauce y de sus riberas.

Podemos estimar numéricamente el débito (flujo) del Tajo con la ayuda de las ecuaciones de Manning. Necesitamos primeramente calcular la velocidad V del flujo de agua a partir de los parámetros de pendientes del río anotada I de la sección mojada o la sección hidráulica anotada R_n y de un coeficiente K dependiente de la aspereza del cauce del Tajo.

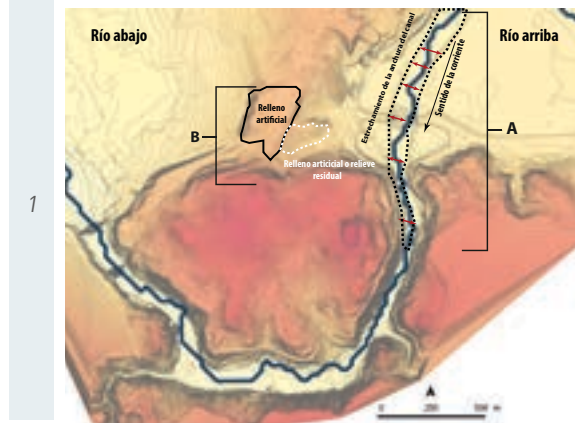
La ecuación de Manning da:

$$V=K.R_n^{2/3} \cdot I^{1/3}$$

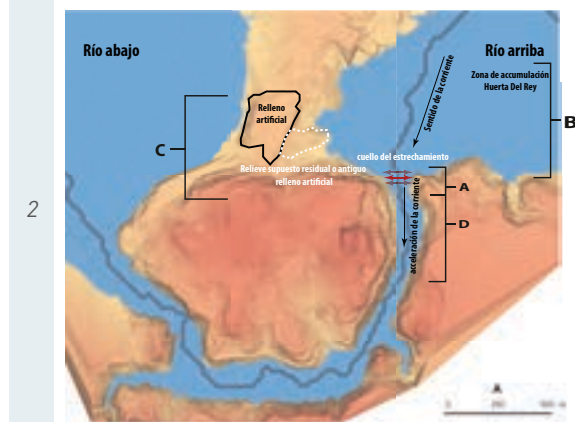
Con $R_n = \frac{S_m}{P_m}$ donde S_m y P_m respectivamente están la superficie y el perímetro de la sección hidráulica.

¹³ Profundidad del agua × ancho del río.

Mapa 1: funcionamiento actual del Tajo



Mapa 2: funcionamiento actual cuando hay una inundación



Mapa 3: funcionamiento hipotético actual cuando había una inundación mayor antes de colocar el relleno

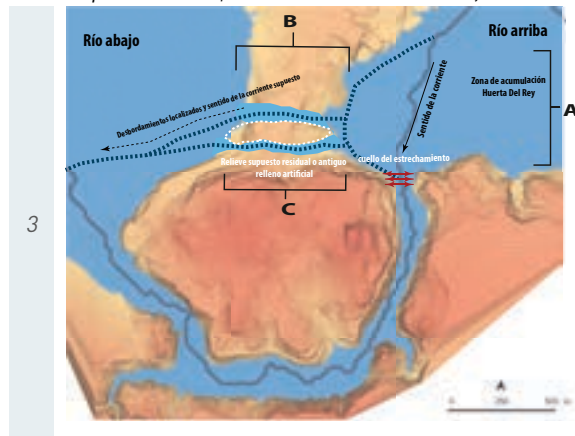


Fig. 3. Funcionamiento del cauce del Tajo:

1. El cauce del río pasa a unos 100-150 m, a la altura del puente llamado de Azarquiel en la carretera, a unos 50 m a la entrada del meandro. Este estrechamiento crea un efecto envasador (A). Los rellenos actuales permiten evitar los desbordamientos al norte del espolón de la ciudad (B);
2. Este estrechamiento (A) provoca en el sector de la Huerta del Rey una zona de acumulación de los flujos donde la altura del agua llegan a ser importante (B). Los rellenos existentes protegen la ciudad baja de las aguas del creciente del río. A la altura del puente de Alcántara, el estrechamiento del canal y la ruptura de la pendiente lleva a una aceleración de la cantidad de agua (D), que puede provocar daños más abajo sobre las obras hidráulicas así como a una erosión del fondo del cauce y de las riberas;
3. La consecuencia de este sector de acumulación de las aguas (A) sería las inundaciones localizadas que seguirían la parte basal norte de la colina toledana. (B) cuando los rellenos artificiales no habían sido todavía construidos. En función de las características morfológicas existentes antes de la realización de estos rellenos: orientación, inclinación de las pendientes, etc., la hipótesis de desbordamientos por el norte parece muy factible. Las direcciones definidas sobre el esquema son solamente propuestas; con el fin de probar esta hipótesis y de determinar los antiguos trazados sería necesario efectuar sondeos en profundidad.

El factor K o el factor de Manning-Strickler influyen fuertemente sobre la velocidad, podemos darlo. Varias referencias¹⁴ dan para la tipología del Tajo, a saber un río ancho a meandro en llanura con una vegetación poco densa, un valor comprendido entre 27 y 40.

Así para una pendiente consagrada a 6/1000 obtenemos $4,95 < V < 7,33$ m/s

Es suficiente conocer la superficie mojada para encontrar el débito Q:

$$Q = V \cdot S_m$$

Así tenemos: $2371 < Q < 3511$ m³/s

Según Pardé¹⁵, este régimen es bastante importante y podría corresponder río arriba sobre el río a un régimen de crecida. De tal manera que el río puede alcanzar en momentos de crecidas excepcionales un régimen de casi 15000 m³, mientras que durante una sequía llegue a poco menos de 1000 m³.»

El régimen calculado anteriormente hace pues el meandro de Toledo un lugar estratégico de aceleración del débito medio del río.

Al importar otro parámetro, en el período de inundaciones, calculamos que el estanque de acumulación antes del puente de Alcántara puede llegar a alcanzar un volumen de agua de 1,137 millones de m³.

A lo largo del tiempo, tras repetirse inundaciones catastróficas, la población tuvo que protegerse de este riesgo. Colmatar mediante un relleno artificial esa parte al pie de la colina (fig. 6) fue quizás el recurso de los habitantes para eliminar ese peligro. Analizando más cuidadosamente la morfología de esos rellenos artificiales podemos suponer que jugaban un papel importante en la protección de la población contra el peligro de las inundaciones.

Los diferentes perfiles de través (cf. fig. 2.a) atestiguan la presencia de un terraplenado artificial de una altura importante, confinando los 20 metros. La parte basal de la obra se presentaría a la cota 485 m, para alcanzar la de los 485 metros.

En el momento de la crecida del año 2000, algunas alturas medidas alcanzara la cota de los 465 m en la zona de acumulación. En el momento de episodios de crecidas de caso excepcional, las alturas de agua podrían sobrepasar los 465 m en la parte río abajo del meandro. En 1947, la crecida del Tajo habría alcanzado la mitad de la altura del arco del puente¹⁶. Desde el año mil, han sido censadas aproximadamente 36 inundaciones

14 GAUCKLER, vol. 64, 1867, p. 818-822. MANNING, vol. 20, 1891, p. 161-207

15 PARDÉ, 1964 Vol. 39 N° 3 pp. 129-182

16 AGUADO, ouv. Cit., plancha V, foto 1.

importantes. Estos episodios de crecidas tienen frecuencias relativamente acercado entre 1100 y 1300, entre 1500 y 1600 luego entre 1700 y 2000¹⁷.

Es por eso, con arreglo a las características morfológicas existentes antes de la colocación de este terraplenado artificial, particularmente la orientación y la inclinación de las pendientes, que podemos emitir la hipótesis de que el río pudo pasar al norte de la colina toledana. Con arreglo a la intensidad del acontecimiento un fenómeno de *défluviation* habría podido modificar la morfología del trazado del canal. Cambiando precipitadamente su trazado en el momento de episodios de crecidas en los debitos morfogenos¹⁸, el río habría podido tomar la dirección en el norte del espolón.

Las altas aguas sumergen y erosionan las orillas lateralmente y favorecen así el cambio de dirección de los derrames. Si este fenómeno se hubiera producido, hasta parcialmente, habría tenido consecuencias sobre la vida cotidiana de los habitantes de Toledo. En efecto, las obras hidráulicas situadas en el meandro -molinos y la Noria que alimentaría la ciudad agua no habrían podido funcionar correctamente si una parte o la integridad del canal sea desviada hacia el norte. Esto habrían tenido por consecuencia una bajada de los débitos del río en el meandro. El terraplenado habría sido una solución rápida y eficaz para que el cauce del río encontrase su trazado «normal».

Sobre los perfiles de través y sobre los esquemas (cf Fig. 2.a), distinguimos un elementos de relieve debajo del terraplenado artificial superior. La hipótesis de uno o varios otros terraplenados artificiales o bien de relieves residuales son eventualidades que hay que considerar. Existen seguramente varios terraplenados, bajo la cota 465m, cuya construcción se habría realizado durante diferentes periodos. ¿Existe una relación con la recurrencia de los episodios de crecida?

Encontramos por otra parte los rastros de estas obras a menos de 285 metros de las riberas del río. En la puerta del Vado, 10 metros bajo tierra observamos la presencia de una antigua puerta de la ciudad totalmente rellena (Fig. 2.c).

Sin embargo, la presencia de uno o varios rellenos realizados por el hombre al norte del espolón de Toledo habría tenido un gran impacto sobre el funcionamiento del hidrosistema del Tajo en el momento de los episodios de crecida superior. Impidiendo el río recortar su meandro por el norte uno o varios terraplenes habrían desempeñado un papel de protección para las poblaciones instaladas en la parte baja de la ciudad, reduciendo así su vulnerabilidad.

17 ESCORZA, 2008.

18 Este es el flujo de líquido para el cual el flujo de sólidos transportados es máximo. Estos flujos están a menudo en el origen de la formación y dinámica de las facies de flujo y de los cambios morfológicos en los ríos (Glosario del Agua).

Además estas obras tuvieron otras funciones importantes:

Habrían permitido a la ciudad de Toledo extenderse aparte de los límites geográficos apremiantes de la colina escarpada. Creando un paso entre el promontorio y la parte norte, donde las extensiones urbanas de la ciudad habrían podido desarrollarse de forma segura frente a inundaciones azarosas. Por fin estos terraplen aseguraban en la ciudad de Toledo el buen funcionamiento de las obras situadas en la hoz del meandro.

Sin embargo, a vista de las importantes modificaciones del terreno originales, solos y del relieve de los sondeos geotécnicos profundos permitirían confirmar esta emplazamiento, es factible de demostrar la presencia del Tajo en el norte de la colina toledana.

4. EL ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD A LO LARGO DE SU HISTORIA ANTES DEL SIGLO XV

El suministro de agua a la ciudad comprende tanto el agua para el consumo familiar o individual como el caudal destinado a los servicios públicos : termas, baños, templos, fuentes, jardines, etc.

Los romanos, que desarrollaron la primera ciudad importante sobre el espolón toledano, consideraban la disponibilidad de agua en abundancia como una de las primeras necesidades que cubrir en las ciudades grandes¹⁹. Para ello implementaron en el primer cuarto del siglo I a.C. un potente sistema hidráulico que llevaba a la ciudad el agua del Guajaraz. Embalsaron las aguas mediante una importante presa, conocida después como de Alcantarilla; conectando a ella, hasta el Tajo, un canal de unos 50 km y para franquear el río un sifón que iba sobre un acueducto, a una altura de 30 m²⁰.

El trayecto del agua desde el sifón hasta la ciudad y su distribución en los grandes depósitos no se conoce bien. Es probable que uno de los canales que venían del sifón terminase en un depósito cerca del Alcázar y otro lo hiciera en la Cisterna (Cuevas) de Hércules. Desde los diferentes depósitos el agua era distribuida por la ciudad a las casas mayores o palacios y a las termas y fuentes públicas.

El sistema hidráulico romano probablemente se mantuvo en funcionamiento hasta fines del siglo IV. Después, fue parcialmente destruido por los diferentes invasores que fueron ocupando la península ibérica desde el principio del siglo V.

19 CHOISY, 1929, p. 580-585.

20 ARANDA ALONSO, CARROBLES SANTOS, ISABEL SÁNCHEZ, 1997.

En época de los visigodos, que instalaron la capital del reino en Toledo, no parece que este sistema hidráulico fuera particular objeto de su atención, mientras que sí prescriben, en 654, que se vele por el mantenimiento de los molinos de los ríos²¹.

Una parte del acueducto romano se mantenía sobre del Tajo en el primer cuarto del siglo XVI, tal como cuenta el embajador de Venecia²², que describe los restos de una máquina antigua que subía el agua del río a la ciudad: «vestigios, también antiguos, de un Acueducto que venía por los montes desde el otro lado del río...».

No es probable que los árabes procedieran entre el siglo VIII y el primer tercio del siglo X a poner en marcha una conducción de agua desde el Tajo al interior de la ciudad, porque el flanco este del espolón toledano fue durante ese periodo escenario de frecuentes luchas.

Para el abastecimiento de agua a los habitantes de la medina y probablemente al propio Alcázar se siguieron utilizando los depósitos de agua de origen romano, donde se almacenaba el agua de lluvia, o agua de manantial captada de la capa freática mediante pozos. Los pozos suministraban el agua para el consumo mientras que los numerosos baños se alimentaban con agua de cisternas o aljibes²³.

En el siglo XI la ciudad de Toledo vuelve a ser independiente de Córdoba. En un sector de la parte noreste de la ciudad, conocido como Alficén o al-Hizam, rodeado de murallas por Abd al Rahman III, al –Mamun hace edificar al norte del Alcázar un palacio suntuoso y sus dependencias, conjunto llamado más tarde por los cristianos palacio de Galiana²⁴. En este palacio, muy conocido por sus jardines y sus fuentes, el agua estaba generosamente presente²⁵. Formulamos la hipótesis de que era llevada hasta allí mediante la máquina hidráulica descrita por el geógrafo al-Idrisi.

5. LA MÁQUINA HIDRÁULICA DESCRITA POR AL-IDRISI

El geógrafo al-Idrisi²⁶ menciona en su descripción de la ciudad de Toledo, “hecha a partir de fuentes anteriores a su tiempo”²⁷, o más precisamente “copia de un geógrafo del siglo X, enriquecida por observaciones hechas por personas que conocían la ciudad”²⁸:

“La villa de Toledo, al oriente de Talavera, es capital no menos importante por su extensión que por el número de sus habitantes. Fuertemente asentada, está rodeada

21 *Liber Iudiciorum* o Fuero Juzgo, 654.

22 NAVAGERO, 1951.

23 *Ibidem*.

24 DELGADO VALERO, op. cit., p. 205 y sig.

25 Centro virtual Cervantes, Los palacios del rey al-Ma'mun, El Jardín andalusí.

26 DOZY Y DE GOEJE, 1968.

27 MOLÉNAT, 1999, p. 117-131.

28 CARO BAROJA, 1983, cit. por GONZÁLEZ TASCÓN, 1992.

de buenas murallas y defendida por una ciudadela bien fortificada. Ha sido fundada en época muy remota por los Amalecitas. Está situada sobre un cerro y hay pocas villas que se puedan comparar con ella por la solidez y altura de los edificios, la belleza de los alrededores y la fertilidad de sus campos, regados por el gran río llamado Tajo. Se ve allí un acueducto muy curioso²⁹ compuesto de un solo arco por debajo del cual las aguas corren con gran violencia y hacen mover, en la extremidad del acueducto, una máquina hidráulica que hace subir las aguas a 90 estados de altura: llegadas a lo alto del acueducto, siguen la misma dirección y penetran después en la ciudad³⁰.

En la época de los antiguos cristianos....

Los jardines que rodean a Toledo regados por canales, sobre los cuales hay establecidas ruedas de rosario destinadas al riego de las huertas, que producen en cantidad prodigiosas frutos de unas bellezas y una bondad extraña”.

Esta breve descripción de la máquina hidráulica que subía las aguas del Tajo hasta la entrada de la ciudad, sobre la ladera que daba al Este, hace pensar que la máquina pertenecía al sistema clásico de «norias de corriente», es decir de las ruedas elevadoras movidas por la sola fuerza de una corriente de agua, tal cual como existían aun en la segunda mitad del siglo XX, en Siria, en el valle del Orontes³¹.

Semejante a las norias de corriente del Orontes, la máquina hidráulica descrita por al-Idrisi, debía de estar compuesta por dos partes principales: una móvil, la rueda; otra fija, el acueducto. La rueda, que se alzaba en un plano vertical paralelo al plano de este, vertía el agua en un canalón encastrado encima del acueducto y todo a lo largo de él y que estaba un poco menos alto que el punto culminante de la rueda.

6. LA RUEDA DE LA MÁQUINA HIDRÁULICA DE TOLEDO

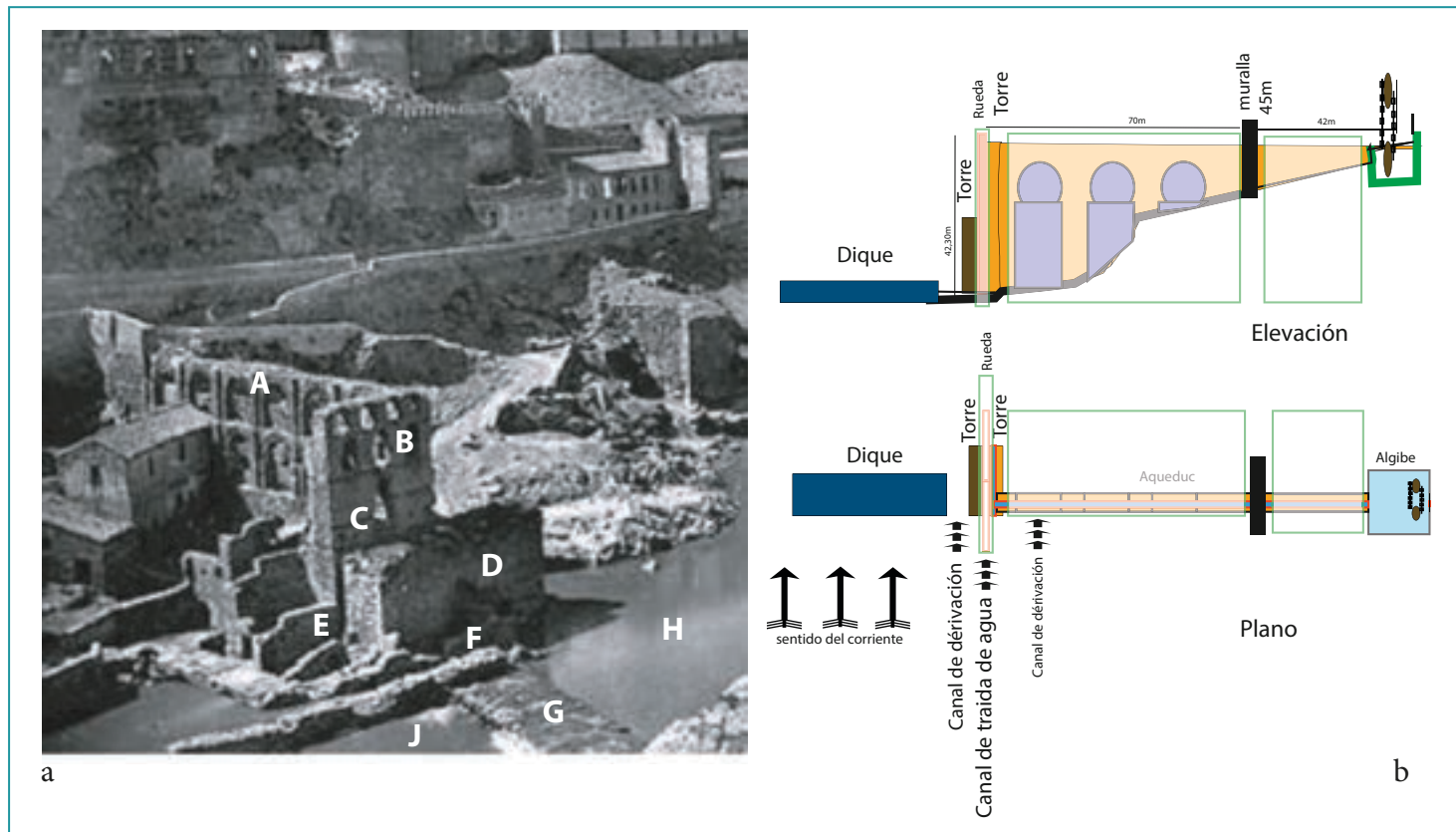
La máquina hidráulica mencionada por al-Idrisi hacía «subir las aguas a 90 codos de altura», lo que implica que el diámetro de la rueda medía 90 codos, o sea 42,30m³² (fig. 4.c).

29 L. TORRES BALBÁS, nota 2, p. 198. «Hay en el Tajo un curioso puente, formado por un solo arco, bajo el cual las aguas corren con gran rapidez y hacen mover, en su extremo, una noria (na ura) mediante la cual sube a 90 codos de altura, y, pasando sobre el arco, entra en la ciudad.»

30 DOZY Y DE GOEJE, 1968, pp. 187-228.

31 DELPECH, GIRARD, ROBINE, ROUMI, 1997, p. 240: «Sur ce tronçon de la vallée de l'Oronte, les caractéristiques de régime et de débit du fleuve permettait l'élégante solution de puisage et d'élévation d'eau fournie par le système des roues à godets entraînées par la force du courant». Ce type d'appareil consiste en une roue installée verticalement sur la rive d'un cours d'eau; la roue, dont la partie inférieure est immergée, est mise en rotation par le courant; elle puise l'eau dans le fleuve, la remonte à la verticale des berges et la déverse en haut d'un aqueduc édifié le long de la roue. L'eau est ainsi emportée, par gravité, jusqu'à des citernes «algibes». Une fois installé, ce genre de machine élévatrice marche, pour ainsi dire, tout seul; il ne fait appel à aucun effort humain ou animal permanent. Le seul soin à y apporter est celui de l'entretien épisodique.»

32 PAVÓN MALDONADO, *Artículo inédito* 23, 2011, p. 33



Fotografía de Charles Soulier: Acueducto. <https://www.flickr.com/photos/65595512@N00/4476961974/>

Fig. 4. La rueda de la máquina de al-Idrisi:

a. Restos del Artificio de Juanelo hacia 1860 b. fachada,

C. ventana donde se apoya el árbol de la noria

D. torre Canales:

E. de traida de agua,

F. de derivación Dique:

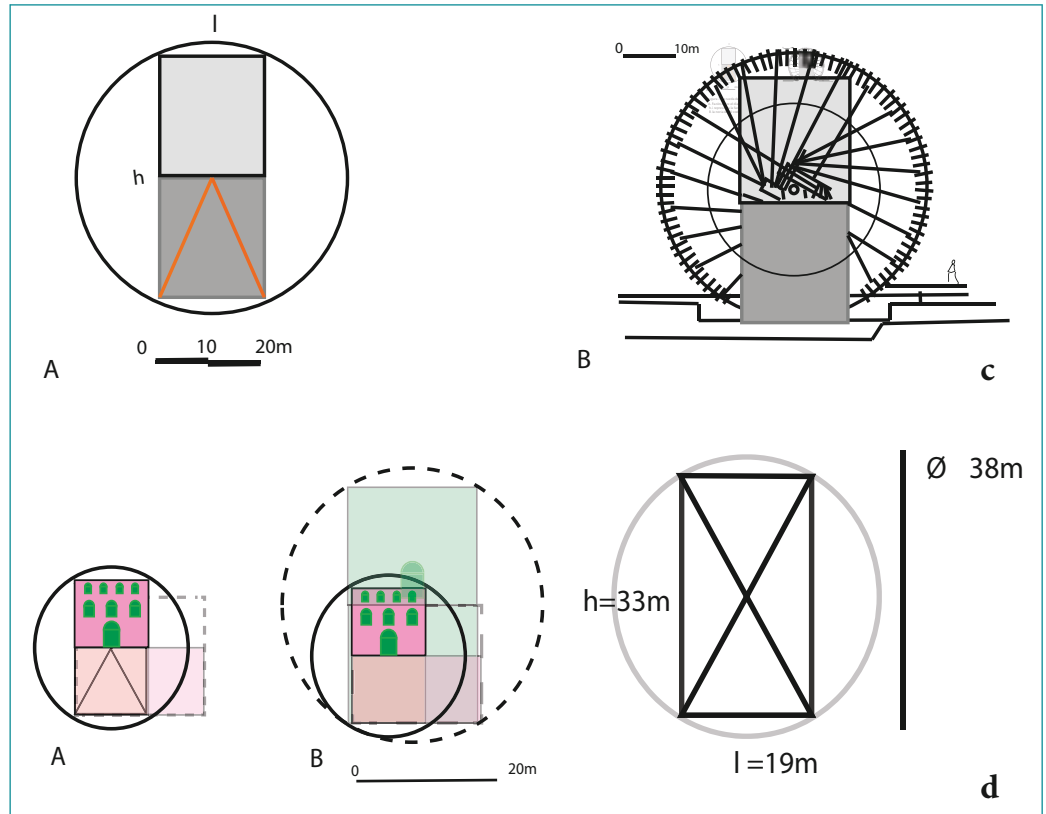
G. Río:

H. por arriba,

J. río por abajo, <https://www.flickr.com/photos/65595512@N00/4476961974/>

b. Canal de traida de agua, y derivacion de la maquina.

c.
A. Razón entre el diámetro de la rueda y la altura del acueducto (h), el cuadrilátero, $h.l.$ representa la fachada del acueducto B. la noria de 90 codos de diámetro: vista del lado del río;



d. Acueducto sucesivo;
A. A final del siglo XIX, persiste las bases de la maquina medieval mas altas que actualmente;
B. encima de la base del acuaeducto medieval se elevaba un acuaeducto con tres niveles, menos largo que la maquina citada por al-Idrisi

Leopoldo Torres Balbás³³ subraya que esta noria no era la única noria de río en Toledo; recuerda que varios autores mencionan una almunia de al-Mamun (1043-1075), situada a la orilla del Tajo, y rodeada de jardines, cuya exacta localización se desconoce, en la que había una estancia llamada Maylis al-nan ura, es decir, «Salón de la rueda hidráulica». Torres Balbás³⁴ continúa diciendo que³⁵ «estas norias constituyen un precedente poco conocido del famoso artificio de Juanelo Turriano, construido entre 1564 y 1566, más abajo y cerca del puente de Alcántara, para subir las aguas del Tajo hasta el Alcázar.»

El diámetro de la rueda ha sido objeto de reflexión para varios autores. González Tascón, por ejemplo, concede a este valor de 90 codos solamente el sentido de “grandes di-

³³ TORRES BALBÁS, 1940, p. 198-208.

³⁴ «Estas norias de Toledo son un precedente poco conocido del famoso artificio del cremoense Juanelo Turriano, construido de 1564 a 1566, aguas abajo y cerca del Puente de Alcántara, para elevar las aguas del Tajo al Alcázar.

³⁵ «Estas norias de Toledo son un precedente poco conocido del famoso artificio del cremoense Juanelo Turriano, construido de 1564 a 1566, aguas abajo y cerca del Puente de Alcántara, para elevar las aguas del Tajo al Alcázar.

mensiones”; por otra parte considera que “el puente que en Toledo los árabes transformaron en acueducto es sin duda el de Alcántara donde es posible determinar el tamaño de la rueda a partir de levantamientos topográficos que se han realizado recientemente.» Como la altura del puente con relación al lecho del río es de 25 m, la rueda, que no llegaba al fondo, tendría a su vez un diámetro de 25 m.

Pavón Maldonado cree que «la gran noria que elevaría el agua quizá más allá de los 24 metros de altura de la tabla del Puente de Alcántara...» se situaba en el mismo sitio que el acueducto romano. Señala además que «el problema está en saber a qué altura de la ciudad llegaba el agua arrastrada por la noria».

Los autores del estudio de las norias de corriente del valle del Orontes³⁶ constatan que la razón entre el diámetro de la rueda y la altura del acueducto es variable y superior a 22 m³⁷. Han establecido la relación que existe entre el diámetro de la rueda y la altura del acueducto.

Refiriéndose a las norias de corriente del Tajo, subrayan que “algunos autores han señalado que la medida citada por Idrisi puede que sea exagerada: con un codo local que parece haber sido de 58 cm, la rueda habría tenido un poco más de 52 m de diámetro. Así que cambiando el codo por un pie de unos treinta 30 cm, la rueda tendría aun 27 m de diámetro...”

Volveremos a ocuparnos de la discusión sobre el diámetro de la rueda más adelante, cuando investiguemos las características del acueducto.

7. EL ACUEDUCTO, SEGUNDA OBRA DE LA MÁQUINA HIDRÁULICA

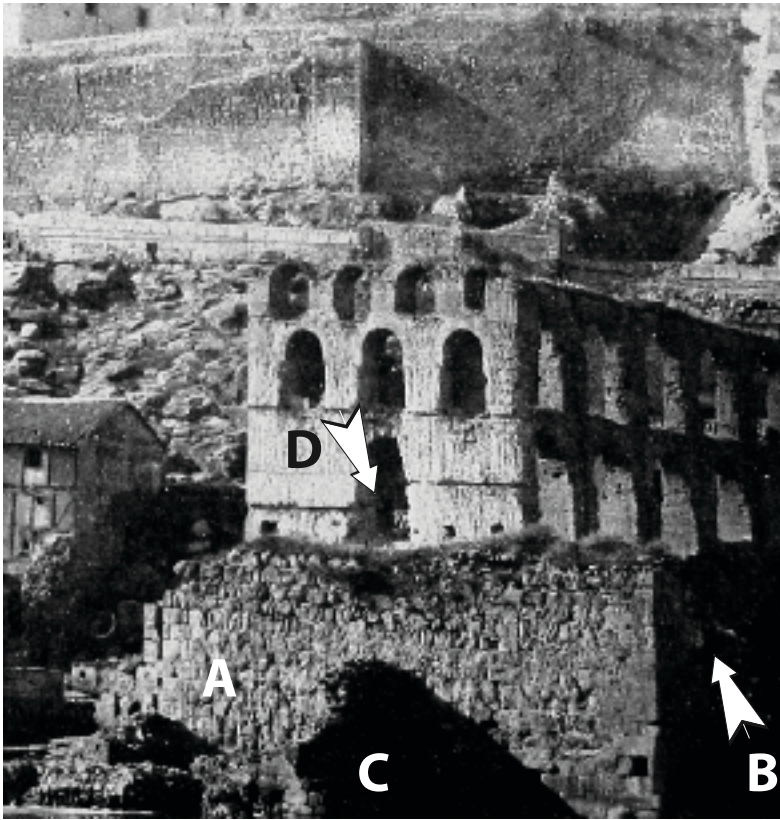
El acueducto, de 90 codos de alto, tenía forma de L. Una de sus ramas, la fachada del acueducto, llamada “torre”, paralela al plano de la rueda, se elevaba a plomo sobre uno de los muros del canal de traída de aguas; en sentido río arriba se une a la otra rama formando escuadra. Sobre la parte superior de estas dos ramas, excavado en ellas, se desarrollaba un canalón en el cual se derramaba el agua subida por la rueda. La segunda rama del acueducto, que tenía una ligera pendiente, llevaba el canal sobre una serie de arcos, entraba en la ciudad, a nivel de la muralla y desembocaba en un depósito excavado en la vertiente este del Alficén³⁸.

La segunda torre, menos alta que la precedente, se alzaba en la otra orilla del canal de traída del agua y aguantaba una de las extremidades del eje de la rueda. La otra

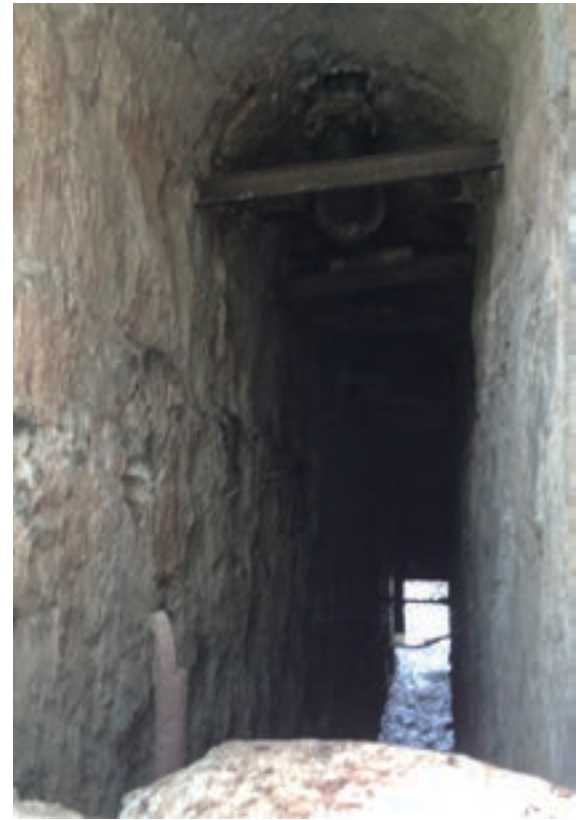
³⁶ DELPECH et al., op. cit. p. 213-215.

³⁷ DELPECH et al., op.cit.

³⁸ PAVÓN MALDONADO, Corachas..., op. cit., p. 29. «Se trata del gran espacio comprendido entre la muralla de Zocodover y la muralla meridional exterior que corre en paralelo al río Tajo entre la puerta de Alcántara y el postigo o Puerta de Doce Cantos, Alficén que consta ya en documentos de los años 1067 y 1095, antes y después de la toma de la ciudad por Alfonso VI.»



a



b

Fig. 5. El acueducto de al-Idrisi, trazado y restos:

a. Los restos del acueducto del siglo XVI y los de la "torre" d'al-Idrisi;
 A. torre del acueducto de al-Idrisi,
 B. le canal de traída de agua;
 C. El contrafuerte de la torre,
 D. ventana en el cual viene una extremidad de la rueda;

b. Canal de traída de agua (foto J.P. 2016);

c. Fachada del acueduto: restos actual de la base de la torre y contra fuerte: vista frontal, (foto E.M.2016);

c



extremidad descansaba sobre la base de un nicho en arco practicado en la fachada del acueducto.

Los elementos imprescindibles para el buen funcionamiento de la rueda de la máquina hidráulica.

Al revés de lo que ocurre en el Orontes³⁹, la pendiente del Tajo es un poco más fuerte a la altura del puente de Alcántara. Teniendo en cuenta que la rueda era muy voluminosa y por lo tanto pesada, para girar necesitaría una gran fuerza motriz, lo que haría necesario un dique al lado de la máquina hidráulica y una presa a nivel del puente de Alcántara.

Además, para mover los álabes de la rueda era necesario acelerar localmente la corriente de agua que pasa bajo ella, lo que se consiguió creando un canal de traída del agua, de una profundidad superior a 2 metros; este canal tenía probablemente un rehundimiento longitudinal que provocaba una caída de agua extra en el lugar donde se sumergían las aspas. La noria estaba instalada en el extremo del dique, allí donde la masa de agua que se precipitaba en el canal de traída era suficiente para poner en marcha la rueda. Además había un canal de derivación, excavado paralelo al canal de traída, que se usaba cuando era necesario revisar o reparar la rueda.

8. LOS RESTOS DE LOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA HIDRÁULICA A PRINCIPIO DEL SIGLO XXI

Algunos elementos indispensables para el funcionamiento de la máquina, construidos en piedra o excavados en la roca han llegado hasta nuestros días: el dique, las torres, los canales de traída y de derivación, el acueducto, el depósito de agua a la entrada de la ciudad (Fig. 4.c). Intentaremos analizarlos y los iremos situando sobre la ribera derecha del Tajo.

a. El dique

A unos 130 m aguas abajo del puente de Alcántara se conserva, rehecho hace pocos años, un dique de mampostería abierto en su lado oeste (fig. 4.a) que crea un desnivel en el curso del Tajo. Se rehizo varias veces en tiempos pasados a fin de mantener la actividad de los molinos situados en ambas riberas del Tajo, aguas abajo de este lugar⁴⁰.

b. Las torres

En la orilla derecha, algunos metros más arriba del dique, hay dos conjuntos importantes construidos con sillares bien tallados. Cada uno de estos conjuntos mide

39 DELPECH et al., op. cit. : «La pente de l'Oronte étant faible, pour que celui-ci puisse entraîner une roue verticale à godets, il était indispensable, d'augmenter la vitesse du courant au niveau de la machine hydraulique en mettant en place une digue transversale barrant le cours du fleuve. Elle provoquait localement une surélévation du niveau, en amont. La largeur de la digue permettait le franchissement du fleuve par les riverains.»

40 MOLÉNAT, 1999, op. cit., p. 122.

de 19 m de largo y 4,10 m de ancho (fig. 4.d) Se elevan 4 m sobre la superficie del agua y se hunden en ella por lo menos 3 m. Los separa un canal de 1,50 m de ancho. Una de estas construcciones corresponde a la base de la fachada del acueducto y la otra a la base de la torre.

c. Los canales de traída y de derivación

A lo largo de los conjuntos descritos más arriba existen tres canales, dos de ellos cubiertos en una longitud de 19 m, el tercero al aire libre. El agua del Tajo circula en este con gran violencia.

El canal situado entre las dos construcciones de piedra descritas más arriba sería el canal de traída del agua (fig. 4.a, 4.b, 5.b).

d. El acueducto y el depósito de agua en la ciudad

De la fachada del acueducto paralela al curso del río subsiste su base, reducida a un conjunto en piedra de 19m de largo, ya mencionado más arriba. La longitud de la base conservada corresponde a la longitud (l) de la fachada⁴¹. Siendo la altura de esta fachada sensiblemente inferior al diámetro de la rueda, podría ser de unos 38 metros. Esta rama de la L, de una altura inicial de 38 m, se dirigía hacia la muralla este del Alficén, que atravesaba por un lugar donde aún son visibles los restos de una construcción bastante grande en aparejo de piedra bien tallada (fig 4.d) Continuaba en línea recta unos 40 m hasta un depósito de agua⁴², sobre el cual se alzaba hasta fines del siglo XVIII el convento del Carmen Descalzo⁴³.

Los restos de la máquina hidráulica encontrados en la ribera del Tajo, lado ciudad, nos permiten formular la hipótesis de que la máquina hidráulica estaba en la orilla derecha del Tajo, junto al dique restaurado que hemos citado antes.

En el primer cuarto del siglo XVI el embajador de Venecia en España, Andrés Navagero⁴⁴, señala que « a poca distancia del lugar donde el río penetra entre los montes {de la ciudad de Toledo} se ven los restos de una obra antigua hecha para sacar el agua del río

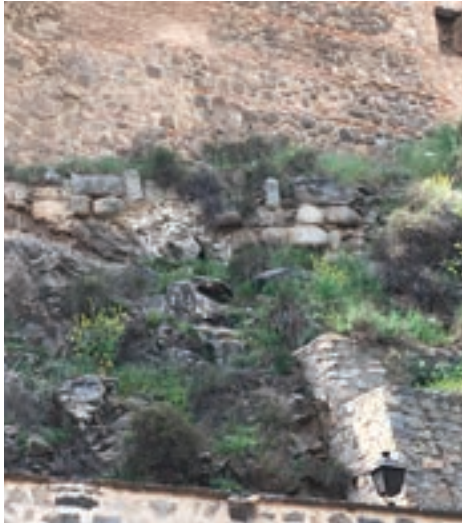
41 En las norias del Orontes: «La fachada del acueducto, de altura h y longitud l, es un cuadrilátero inscrito en todos los casos en un círculo que tiene el mismo diámetro que el círculo exterior de la rueda. La base de este cuadrilátero se sitúa sobre la base de apoyo de la noria, es decir, a la altura de la superficie del agua...».

42 REY PASTOR, 1926, Si se da crédito a las explicaciones que se ofrecen al público en los paneles informativos, las excavaciones arqueológicas realizadas en el sector del convento de carmelitas descalzos no parecen haber tocado ni a la conducción ni al depósito de agua.

43 MARTÍN MONTES, MAROTO GARRIDO; Según Marías, la última reforma del monasterio se llevó a cabo a finales del siglo XVI, sustituyendo la anterior iglesia mudéjar, hecho que motivó el derribo total de este viejo templo, donde se ubicaba la antigua capilla de Santa María de Alficén. Sin embargo, apunta también cómo los frailes recordaban la existencia del antiguo templo de Santa María, al conservarse una capilla en el nuevo con idéntica advocación, debajo del coro de los monjes, denominada de Nuestra Señora del Soterráneo, en la que sería enterrado Juanelo Turriano 21 y, donde Nicolás Magán todavía llegó a advertir un cenotafio del famoso ingeniero cremonés «en un subterráneo lleno de escombros» 22 y que no era otro que esta capilla.

44 NAVAGERO, 1951. Andrés Navagero era embajador de Venecia ante Carlos V.

EL AGUA EN TOLEDO Y EN SU ENTORNO: ÉPOCA MEDIEVAL



d



e

d. El acueducto sigue la misma dirección: entra en la ciudad, entrada en la muralla;

e. Plano de Rey Pastor 1926

f. pasa un primer depósito de agua (documentado en planos del siglo XX)
y continúa su trayectoria en los restos de un edificio en la calle del Carmen;

g. el pretil de la terraza del Hospital de Santa Cruz.

f



g



y elevarla hasta la ciudad a fin de que cómodamente obtuviesen el agua.» Esta máquina hidráulica medieval pudo servir en parte de modelo a un acueducto, probablemente el que se construyó en 1528 por un arquitecto alemán⁴⁵, acueducto todavía visible en la segunda mitad del siglo XIX (Fig. 5.a).

Torres Balbás se preguntaba si los restos de la máquina descrita por al-Idrisi no habrían inspirado a Juanelo Turriano en la realización de su «famoso artificio», en el mismo sitio que su antecesor⁴⁶.

Del depósito donde vertía el acueducto de la máquina de al-Idrisi el agua subía a los jardines del palacio de al-Mamún por dos norias sucesivas movidas por animales. No disponemos ni de textos ni de imágenes que nos proporcionen alguna noticia de ellas.

9. DISCUSIÓN: EL TEXTO DE AL-IDRISI

Retomamos los elementos de la descripción de al-Idrisi que han sido objeto de discusión por distintos historiadores.

«La ciudad de Toledo Se veía un acueducto muy curioso, compuesto de un solo arco debajo del cual las aguas pasaban con una gran violencia y hacían mover, a la extremidad del acueducto, una máquina hidráulica que hace mover las aguas a 90 codos de altura ; una vez arriba del acueducto, siguen la misma dirección y penetran en la ciudad».

Que los restos de la máquina hidráulica estén a unos 130 m aguas abajo del puente de Alcántara, sobre la ribera derecha del Tajo, en la orilla de la ciudad, aparentemente se contradice con lo que se afirma en la primera parte de la descripción: en efecto, la situación de los mismos muestra que la máquina no podría haber estado pegada al puente. Esta dificultad se supera si admitimos, siguiendo la sugerencia de J-P. Molénat, una mala interpretación del texto de al-Idrisi : la palabra árabe *qantara* significa acueducto y puente y el geógrafo se refiere en realidad al que hasta hoy día se sigue llamando puente de Alcántara⁴⁷.

Bajo este puente, "muy curioso" pasaban las aguas con una gran violencia. Para Gómez Tascón, esto es "efectivamente así"⁴⁸. El puente de Alcántara, que tenía un solo arco en

45 NAVAGERO, 1951. p. 45-46 : El rey de España desea que se haga en Toledo una máquina hidráulica semejante a aquella de la Edad Media que estaba hecha cuando el viaje a España de Navagero. No se trataba de la de Juanelo Turriano, ver nota 6, p. 46 : «Según Fabía no se alude aquí al artificio que dirigió Juanelo Turriano, sino a la obra que emprendió en 1528, con escaso éxito, un arquitecto que fué criado del Conde de Nasau.»

46 TORRES BALBÁS, 1940, pp. 195-209, et 1942, pp. 461-9.

47 MOLÉNAT, (1999), op. cit, p. 121, texto y notas 14, 15, 16 et 17 ; con más precisión en nota 17 : «On sait que l'arabe d'Occident emploie volontiers *qantara*, avec un sens très étendu, comprenant ceux d'aqueduc et de pont...».

48 GONZÁLEZ TASCÓN, 1992, «Lo que sí es importante es la observación de que el Tajo bajo el puente lleva la violencia de un torrente, porque es efectivamente así. Datos medidos in situ nos dan para un calado bajo el puente de 1 m, una velocidad del agua de 3,13m/seg., que se duplica cuando el calado aumenta a cuatro metros.»

la época en que funcionaba la máquina hidráulica tratada en este artículo, hacía que aguas arriba se mantuviera rebalsada una importante cantidad de agua. Además, probablemente la anchura de su ojo se había determinado para regular el flujo mediante ella y conseguir así un funcionamiento adecuado de la noria tanto en tiempos de crecida como de estiaje.

9.1. Una máquina hidráulica que hace mover las aguas a 90 codos de altura; una vez arriba del acueducto [...]

Frente a la opinión de varios historiadores que dudan de la existencia real de una noria de 90 codos de diámetro, nosotros hemos desarrollado nuestro estudio dando fe a ese valor, admitiendo para el codo ma'muní un valor de 0,47 m⁴⁹. El diámetro de la rueda citada por al-Idrisi habría medido 42,30 m. El diámetro inhabitual de esta noria es coherente con:

- La longitud de la base de la torre y de la fachada del acueducto, que hemos visto era superior a la del artificio de Juanelo (fig. 4d y 5c)
- La altura a la que el acueducto penetraba en la muralla este de la ciudad, que era de 38 m⁵⁰ (fig. 4.d).

Si hoy ninguna noria llega a un tamaño similar en el valle del Oronte en Siria, parece que varias ruedas grandes han existidos, cuyo los poetas han cantado “los ruidos continuos y monótonos” han existidos en Córdoba en el siglo X-XII⁵¹.

9.2.

La parte superior del acueducto formaba un canalón que entraba por el flanco este de la ciudad atravesando la muralla y seguía en línea recta hasta un depósito subterráneo situado parece ser donde estuvo posteriormente la iglesia de Santa María de Alficén. De esta reserva una noria movida por animales subía el agua hasta otro canalón que prolongaba el precedente e iba hasta una cisterna situada al pie del actual museo de Santa Cruz (fig. 5.a y 6.a).

Siguiendo la misma dirección del acueducto, el agua llegaba desde esta segunda reserva a un conjunto idéntico al precedente que a su vez la llevaba a un tercer aljibe desde el que se distribuía al palacio y jardines de al-Ma'mun.

49 BAZZANA, 1992, p. 99-103

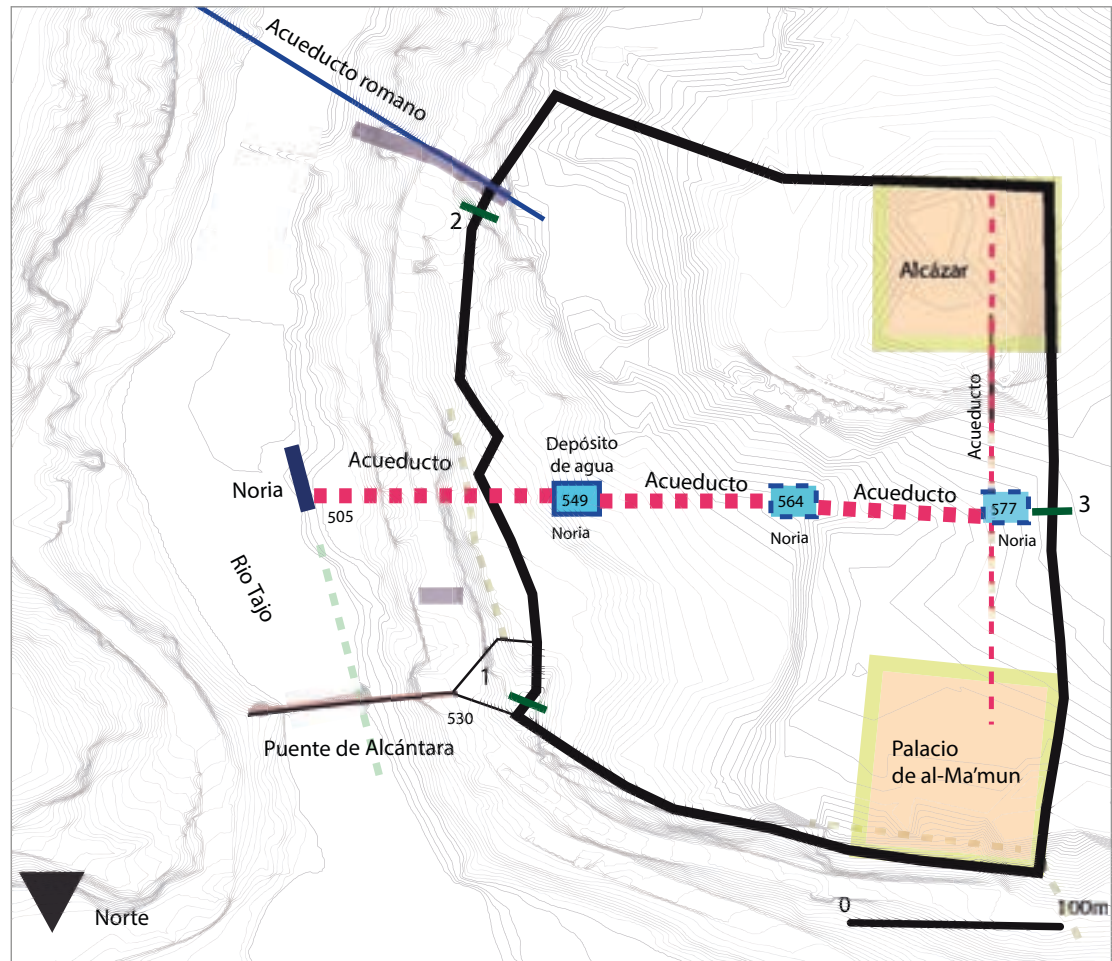
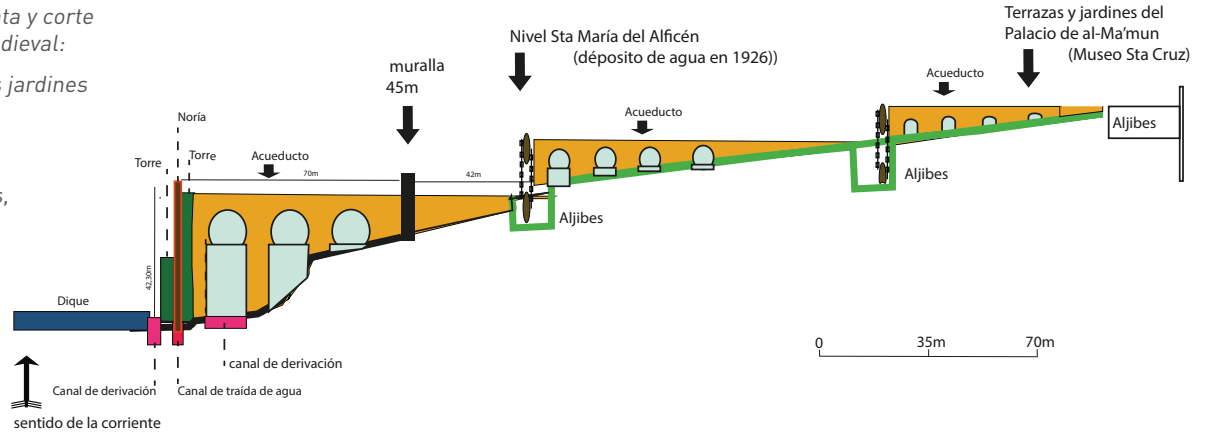
50 Medida tomada con GPS por PASSINI et al., 2016.

51 TORRES BALBÁS, 1940, p. 206-208 : «La Albofalia de Córdoba, »

Fig. 6. Restitución de la planta y corte hipotético del acueducto medieval:

a. Elevación entre el río y los jardines del palacio de al-manun;

1. Puerta de Alcántara,
2. Puerta de Doce Cantos,
3. Puerta de la Corcha.



9.3. Fecha de puesta en funcionamiento de la máquina hidráulica

Es probable que la máquina hidráulica que describe al-Idrisi fuera construida durante el reinado de al-Ma'mun, entre 1043 y 1075, en una época en que Toledo era capital del reino de taifas. En efecto, al-Ma'mun, ha sido edificado en el interior del Alficén, un palacio suntuoso, hace venir agua corriente del Tajo en sus jardines y el palacio.

9.4. Reconstitución hipotética de la máquina hidráulica, y su trayecto posible desde el Tajo a los jardines del palacio de al-Ma'mun

Este artículo propone establecer tanto la composición de la máquina hidráulica que captaba el agua del Tajo sobre la ribera derecha (fig. 6.a) como el trayecto posible del acueducto en el interior del Alficén (fig. 6.b).

Se hace evidente la diferencia entre el acueducto romano y el acueducto musulmán. Los romanos, para dotar a la ciudad de suficiente agua potable llevaron el caudal de esta desde su nacimiento sobre un largo camino y lo hicieron cruzar el Tajo por un acueducto, mientras que al-Ma'mun, que quería tener un palacio suntuoso y unos jardines maravillosos, coge el agua del Tajo, al pie del lado este de la ciudad, y la hace subir hasta lo alto de la muralla mediante una noria que la vierte en un acueducto que a su vez cruza el Alficén hasta su palacio.

El acueducto romano, el acueducto árabe y la máquina hidráulica de al-Idrisi representan propuestas diferentes puestas en práctica para tener suficiente agua. Forman parte, como escribía Torres Balbás, del “vasto reino de nuestro pasado”. Por esta razón, parece importante y urgente que se dedique una atención particular a lo que queda de ellos antes de que una degradación total los condene al olvido. —

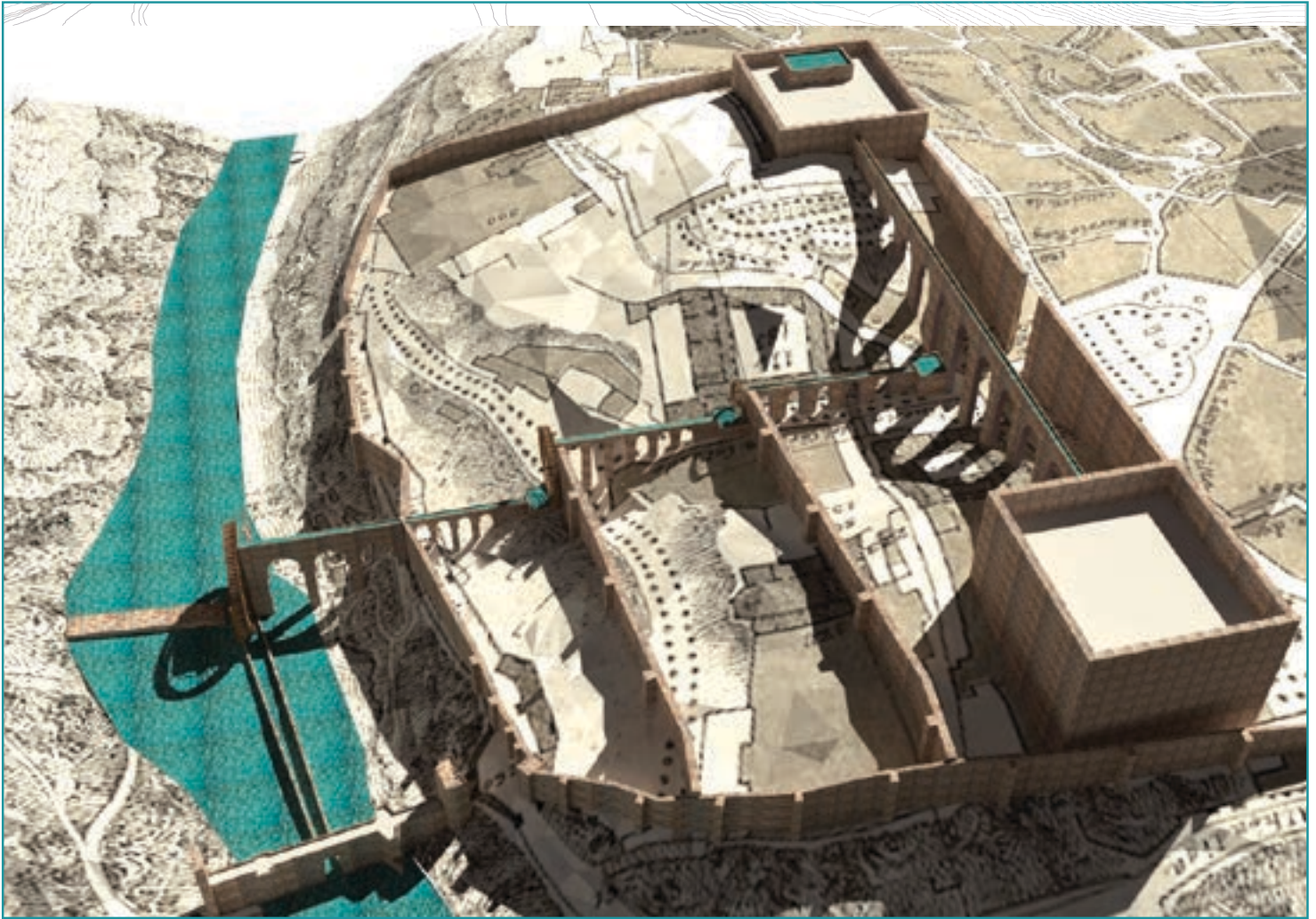


Fig. 6b. Restitución hipotética del acueducto medieval. 3D del conjunto restituído, dibujo, M. Capuchino.

Recreación en: <http://psig.huma-num.fr/toledo/maquina-aguanoria/>