

LA INGENIERÍA HIDRÁULICA EN LOS TIEMPOS PRECLÁSICOS

Manuel Durán Fuentes¹

Gracias a la curiosidad, habilidad e interés que surgieron, de forma individual o colectiva en el seno de las más antiguas comunidades, para resolver los problemas y contratiempos a los que tenían que enfrentarse, y tras procesos iterativos de prueba-error, germinaron soluciones prácticas más o menos definitivas. Así, el conjunto de conocimientos y experiencias acumulado a lo largo del tiempo fue cada vez más amplio, y gracias a ellos los seres humanos se adaptaron a las condiciones y superaron las adversidades que les deparaban los territorios elegidos para asentarse.

Para que las tierras fuesen propicias para esa sedentarización tras milenios de nomadismo fue imprescindible la existencia de recursos hídricos para su abastecimiento de agua y de los animales que fueron domesticando, así como para el riego de los incipientes cultivos de cereales y productos de huerta. Para incrementar este aprovisionamiento y satisfacer las necesidades crecientes de agua tuvieron que ejecutar determinadas obras hidráulicas que les permitiesen su captación, canalización, almacenamiento y distribución. Había nacido la Ingeniería Hidráulica, cuya evolución facilitó, entre otros factores, la aparición de las primeras civilizaciones que pudieron ser llamadas así, con culturas complejas que llegaron a constituir los grandes imperios arcaicos.

Esta comunicación se va a limitar a la ingeniería hidráulica desarrollada en los territorios del Oriente Próximo, sobre todo en los de Mesopotamia, Siria y Egipto y en el espacio temporal que va desde la Época Neolítico hasta la mitad del primer milenio A.E.C. Las obras hidráulicas tratadas serán las destinadas al aprovisionamiento de agua de abastecimiento y para el riego de cultivos.

1. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Correo electrónico: casaneve2017@gmail.com.



Fig. 1. Coordenadas de yacimientos grabadas en el primer pilono del Templo de Karnak. @ Autor (2012).



Fig. 2. El árido valle del Jordán desde el Monte Nebot. @ Autor (2005).

1. LA IMPORTANCIA DE LA HISTORIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Para el conocimiento y avance de la Ingeniería Hidráulica, dentro del ámbito de estudio de la Historia de la Construcción, es imprescindible la participación de diferentes profesionales, y entre ellos, los ingenieros civiles y arquitectos. Un ejemplo antiguo de esta beneficiosa colaboración fue la incorporación de una Comisión de Sabios en el ejército expedicionario francés enviado por Napoleón para ocupar Egipto. La formaban una amplia variedad de expertos, entre los cuales había numerosos ingenieros (puentes y calzadas, matemáticos, de marina, geógrafos, hidráulicos, etc. (Ruiz Morales 2009, 17-24). Llevaron a cabo numerosas mediciones geodésicas, astronómicas y cartográficas, y dibujaron todo aquello que tuviera interés.

Un referente no solo para sus compañeros de oficio, sino también para los arqueólogos que excavaron en Mesopotamia, fue el arquitecto alemán Robert Koldewey que ha pasado a la historia por el descubrimiento de la mítica ciudad de Babilonia. Ha personificado al técnico que aúna conocimientos de un historiador, arqueólogo y experto en construcción, y que impulsó la aparición de una nueva rama del conocimiento que es la arqueología de la arquitectura. En Inglaterra y Francia se incorporó a los estudios arqueológicos, mientras que en Alemania se hizo en los programas de las universidades politécnicas.

2. LAS PRIMERAS CULTURAS HISTÓRICAS Y SUS OBRAS HIDRÁULICAS

Las tierras del Oriente han sido uno de los lugares del mundo donde se dieron las condiciones adecuadas para que los humanos se asentaran en ellas, pues allí crecían algunos cereales de forma natural, tenía un clima adecuado y había abundante agua en el entorno de los ríos. Es sorprendente que hayan sido estas tierras carentes de tantos recursos, de una relativa aridez y tan sensibles a los cambios climáticos donde se produjo el paso de la protohistoria a la historia con la aparición de la escritura en torno al 3400-3200 A.E.C., y se generaron en un par de milenios tal cantidad de avances materiales, religiosos, culturales, sociales, económicos, constructivos y tecnológicos que sentaron las bases de la civilización occidental.

Las culturas arcaicas de Oriente Próximo se conocen por los hallazgos arqueológicos que desde la primera mitad del siglo XIX se han realizado hasta hoy, con una continuidad más o menos constante solo ralentizada por episodios bélicos. El interés por Egipto nace en Europa en este siglo después de la citada campaña militar y científica de Napoleón, preámbulo de su posterior colonización. En el caso de las diversas culturas de Mesopotamia (sumeria, acadia, babilónica, asiria, persa, etc.) el interés es algo más reciente y está unido a la colonización de sus territorios llevada a cabo por distintas potencias europeas. Las excavaciones llevadas a cabo sacaron a la luz los restos arquitectónicos y, entre ellos, multitud de tablillas de barro que han permitido pergeñar, pieza a pieza, su Historia.

Estas culturas preclásicas o arcaicas, tan determinantes en la evolución de la Cultura Occidental, llegaron a Europa a través de los griegos y romanos, y más tarde de la mano de la Cultura Islámica cuya acción transmisora es hoy considerada imprescindible para la aparición del Renacimiento Europeo.



Fig. 3. Mapa del Oriente Próximo (Bryce – Birket-Rees, 2016).

Los territorios de Mesopotamia, el ‘país entre ríos’ de los griegos, Siria-Palestina y Egipto, forman un espacio territorial que es conocido por el “Creciente Fértil”, en el cual los ríos Éufrates, Tigris, Orontes, Jordán y Nilo aportan el agua necesaria para el desarrollo de la vida. El resto de sus tierras interiores son estepas y desiertos donde el ingenio humano supo aportar soluciones técnicas-constructivas que también fuesen habitables.

Gracias a la arqueología parece que las primeras técnicas de derivación y extracción de agua para regar los cultivos surgieron en el intervalo de tiempo que va desde el Neolítico a la sedentarización de los humanos, en torno al 6500 A.E.C. Recientemente se han descubierto en los yacimientos neolíticos de Shularveri, Gadachrili Gora e Imiris Gora en Georgia restos de la apertura de canales de irrigación para derivar agua de varios ríos, con unas características que han llevado a los arqueólogos a plantear la existencia de un control la velocidad del agua y sus repercusiones modificando las pendientes de las canalizaciones. Han datado su construcción entre el 6200 y 5900 A.E.C (Ollivier *et al.* 2018, 50). El asentamiento del oasis de El-Kowm en Siria donde se han hallado las acequias de riego que llevaban el agua por gravedad desde los manantiales hasta las tierras de cultivo, así como el de Jericó en Cisjordania, o en Çatal Hüyük en Anatolia, también se han datado en el VIII-VII milenio. En Egipto parece que esta técnica hidráulica no comenzó hasta el VI milenio (Bonnin 1984, 6-7).

Los distintos regímenes fluviales de los ríos mesopotámicos y del Nilo fueron determinantes para que se solventasen las mismas necesidades hidráulicas, pero de modo diferente. Las cíclicas y predecibles crecidas del Nilo favorecieron los cultivos aledaños con su aportación hídrica en plena temporada veraniega. No sucedía lo mismo en los ríos Éufrates y Tigris, que tenían un régimen fluvial más imprevisible porque



Fig. 4. El río Nilo al sur de la ciudad de Luxor. @ Autor (2004).

se desconocía cuando crecían sus aguas y cuál sería la altura que alcanzarían; además estas aportaciones extraordinarias de agua no coincidían con las necesidades de las tierras puestas en regadío, porque se producían habitualmente en primavera que era una estación tardía para los cultivos de invierno y demasiado temprana para los de verano. También había otra diferencia importante, pues los ríos mesopotámicos arrastraban una mayor cantidad de limo que reducía la capacidad de los cauces por lo que se desbordaban y cambiaban de curso con más frecuencia que el Nilo que tenía cauces más profundos. Debido a ello en Mesopotamia se construyeron más obras para almacenamiento y regulación del agua, de encauzamiento y protección de márgenes, así como un mayor y el número de canales que ampliasen los cauces. Además, también había diferentes condiciones hidráulicas entre estos dos ríos mesopotámicos, ya que el Éufrates tiene un mayor caudal, discurre a más velocidad y sus orillas son más escarpadas que dificultan las obras de derivación para el riego (Sprague de Camp 1974, 51-52).

Las crecidas medias del Nilo aseguraban la producción alimentaria anual de los egipcios y la acumulación de excedentes para los años malos, asegurando así la evolución y estabilidad de su cultura durante miles de años. Era muy importante conocer cada año el comportamiento del Nilo y para ello registraron las alturas máximas alcanzadas durante muchos años, con ayuda de los llamados “nilómetros” y su relación con las cosechas; gracias a la regularidad extraordinaria de sus avenidas podían conocer de antemano si el año iba a ser de hambruna o de abundancia y como sería la recaudación de los impuestos, ya que estaban vinculados a la producción agrícola.

Los ‘nilómetros’ se construyeron en los templos cercanos al Nilo y eran unos pozos relativamente profundos forrados de sillería que llegaban hasta rebasar el nivel freático más bajo, o unas galerías de fábrica de



Fig. 5. Nilómetro del Templo de Kom Ombo. @ Autor (2012).

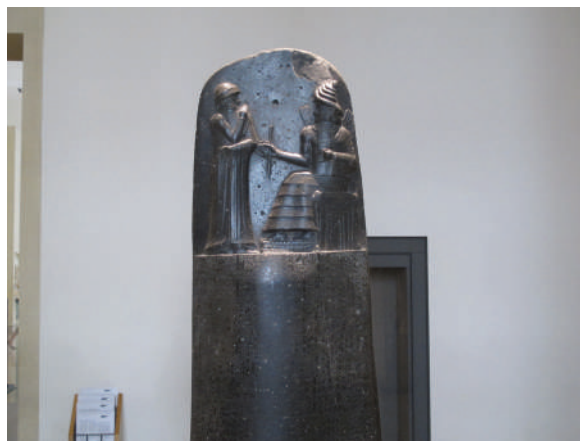


Fig. 6. Parte superior de la Estela de Hammurabi, Museo del Louvre. @ Autor (2012).

pedra que bajaban hasta el río. En sus paredes estaban labradas unas escalas que marcaban los niveles del río. Los menciona Diodoro Sículo (1.36.11), que los llama ‘niloscopios’; así como Estrabón, que describe el que había en la isla Elefantina, menciona las mediciones y la información que suministraba (17.1.48).

Para asegurar la producción agrícola en las tierras del Creciente Fértil que garantizase la supervivencia de sus habitantes, fue necesario un buen mantenimiento y conservación de las obras hidráulicas y una eficaz gestión de todos los recursos. Para garantizar el cumplimiento de estas exigencias se dictaron desde fechas muy tempranas leyes específicas. La primera que se conoce está en el Código del gran rey babilónico Hammurabi (1792-1750 A.E.C) y versa sobre la reparación de los canales (Sprague de Camp 1974, 46).

A pesar del déficit de hallazgos arqueológico sobre todo de tablillas de barro que muestren los conocimientos hidráulicos de los mesopotámicos, no se puede poner en duda el nivel de los conocimientos y experiencias de los técnicos y constructores que hicieron posibles importantes obras, como el canal abastecimiento de agua a Nínive con el acueducto de Jerwan de 300 m de longitud o el embalse de Dur-Un-tasf (II milenio A.E.C.) en Elam (Margueron 2013, 460-461). Quizá esta falta de pruebas se deba a que la transmisión de estos conocimientos mayoritariamente era oral y restringida a pocas personas en un ámbito familiar del maestro o de gremios.

En Egipto la producción de cereales estaba asegurada con los cultivos a orillas del Nilo que salían adelante exclusivamente con la irrigación natural de las crecidas de verano y otoño. Marcaban la vida agrícola en las tres fases de inundación, siembra y cosecha de los cultivos de cereales, trigo y cebada fundamentalmente, y de lino usado para la confección de vestidos. Pero esto no bastaba para el cultivo de los huertos que estaban a una cota más alta y que necesitaban un riego frecuente de agua que tenía que ser elevada con empleo de artefactos elevadores accionados por energía de “sangre”, como el shaduf, la noria o el “tornillo de Arquímedes”.

LA INGENIERÍA HIDRÁULICA EN LOS TIEMPOS PRECLÁSICOS



Fig. 7. Shaduf grabado en un panel del Palacio de Senaquerib en Nínive (British Museum). © Autor (2010).



Fig. 8. Esclusas de la presa de Marib en Yemen. © Autor.

Recientemente se ha planteado que hubo otros lugares del Oriente Próximo, a una cierta distancia del Creciente Fértil, en los que se produjeron avances similares en cuestiones tecnológicas y formas sociales organizativas. Son varias las zonas a las que apuntan como posibles focos de la nueva civilización, como el norte de Siria debido a los hallazgos en Habura Kabira y Ebla, la zona sureste de Anatolia en el entorno de Göbekli Tepe donde se ha excavado lo que ha sido considerado el templo religioso más antiguo construido entre los siglos X y VII A.E.C., y el noroeste de Irán.

Coincidiendo con la aparición del hierro a principios del I milenio A.E.C en los países costeros de Arabia del Golfo Pérsico, se experimentó un gran auge comercial y económico impulsado por relaciones marítimas con las costas orientales de Irán y India y las terrestres con Egipto y el Mediterráneo (Liverani 1995, 657). Fue el mítico reino de la reina de Saba, conocida a través de la Biblia (Reyes 10,1-13) o el reino de Punt destino de numerosas expediciones de los faraones egipcios. Esta floreciente época duró mientras que su sistema de regadío de presas para retener el agua de las copiosas lluvias monzónicas, así como canales y largas conducciones subterráneas funcionó bien. Se conservan los restos de la gran presa de Marib que retenía y derivaba las aguas del *wadi* Dhana. Fue construida en el siglo VI A.E.C. con materiales sueltos con una sección trapezoidal, 16 metros de altura y cuya estanqueidad estaba confiada a una pantalla intermedia de argamasa. Disponía de dos grandes esclusas de sillera muy bien trabada y aparejada con mortero de cal, con dos compuertas de madera que deslizaban por unas ranuras verticales. El depósito continuo de arrastres colmató el vaso hasta que las aguas rebasaron la presa y a causa de la erosión que producían se derrumbó en el año 570 E.C. (Marr 2018, 205).

3. OBRAS PÚBLICAS PARA EL APROVISIONAMIENTO DE AGUA DE ABASTECIMIENTO, DEFENSA E IRRIGACIÓN

Según el Génesis, el paraíso de Adán y Eva estuvo en el Edén un jardín plantado expresamente por Yahvé para que lo habitaran, cultivaran y lo cuidaran regándolo con el agua de río que allí brotaba con cuatro brazos llamados Pisón, Guijón, Tigris y Éufrates. Según este texto parece que la tradición hebrea ha situado el Edén en suelo mesopotámico, aunque las condiciones naturales son más de una estepa que de un vergel. Es muy probable que, en realidad, estuviese en las mentes de los autores bíblicos los idílicos de los esplendidos jardines babilónicos construidos con gran esfuerzo e inteligencia (Margueron 2013, 28).

Los primeros avances de la civilización acontecieron en Sumeria, pero unos siglos más tarde este impulso civilizador se trasladó a Acadia, situado más al norte en los cursos medios y altos de los ríos Tigris y Éufrates. Según algunos investigadores se debió a un problema de agotamiento y salinización de las tierras de cultivo por regarlas por inundación (riego “a manta”) que poco a poco las agotaron por colmataron. Para evitar este problema tuvieron que cambiar el sistema de riego evitando su inundación y haciendo que el agua fluyese de continuo que arrastrando las sales y evitando que sedimentasen. También se mejoraron las tierras con el extendido de abono que mejoraba la producción.

Las primeras ciudades de Sumeria se implantaron en extensas planicies para cuyo abastecimiento hubo de realizar un gran esfuerzo de la mano de sus reyes, como Gungunum (1932-1906 A.E.C.), cuyos objetivos prioritarios eran “mejorar el aprovisionamiento siempre difícil, de agua potable para los grandes centros urbanos” (Glassner 2013, 233).

Los primeros datos que hay de la construcción de canales para aprovisionamiento de agua a una ciudad, para la irrigación de cultivos o para mitigar los efectos negativos de las crecidas de los ríos, es el ejecutado por mandato del rey Ur-Nanshe, fundador de la dinastía de los reyes de Lagash, en torno al 2600 A.E.C. (Postgate 1999, 213). Es un tipo de obra que exige un trabajo de nivelación muy preciso llevado a cabo por personal experimentado ya que la pendiente de su solera ha de ser muy reducida para limitar la velocidad de la corriente y, por lo tanto, la erosión del canal, y tampoco perder pronto el desnivel existente desde la derivación en el río y las tierras a irrigar, pues si se controlaba la pendiente se llegaba a un mayor número de parcelas. Algunos llegaron a alcanzar longitudes importantes como el de Nahrawân de unos 400 km de largo y una anchura de 122 m (Sprague de Camp 1974, 52; Bonnin 1984, 13).

En numerosas ciudades mesopotámicas (Nippur, Sippar, Uruk, etc.) se construyeron canales intramuros como vía de tránsito y para provisión de agua. Este sistema convivía con la existencia de numerosos pozos construidos en patios de edificios, templos o en el centro de plazas. En las excavaciones de Dur Sharrukin en la actual ciudad iraquí de Khorsabad, se han encontrado muy pocos pozos en relación con el tamaño de la capital, pero se cree que tuvieron que existir más. Uno de ellos fue localizado en el patio del templo de Nabu de unos 7 m de profundidad y de sección circular de un metro, revestido con una mampostería y rematado con un brocal cuadrado de un metro de lado de losas calizas puestas de canto (Loud – Altman 1938, 33).

Para la mejora del abastecimiento de Nínive, la ciudad capital de Asiria, el rey Senaquerib (705-681 A.E.C.) tomó el que tomaba el agua del Khosr a unos 18 km aguas arriba de Nínive, cerca de la actual ciudad de Ash-Shallalat (Toribio Marín 2013, 1027). Para ello construyó una presa de derivación y el canal de Kisiri del cual formaba parte el grandioso acueducto de *Jerwan*, que le permitía salvar una depresión de unos 300 metros.

Era un gran muro de sillería almohadillada que sostenía un canal de 22,00 x 2,00 m de sección interior, reforzada a ambos lados con unos amplios contrafuertes. En la parte de mayor altura disponía de una arquería para dejar paso a las aguas de escorrentía del valle, formada por cinco bóvedas ojivales realizadas con piezas de piedra con el intradós labrado en curva dispuestas en voladizos sucesivos, de unos 3,00 m de luz. Los cuatro pilares intermedios disponían de tajamares y espolones de punta redondeada y de unos 1,40 m de altura, rematados con unos sombreretes muy bajos (Jacobsen – Lloyd 1935, 3-18). El cauce bajo las bóvedas estaba pavimentado con tres capas de losas superpuestas dispuestas para evitar la socavación de las pilas.

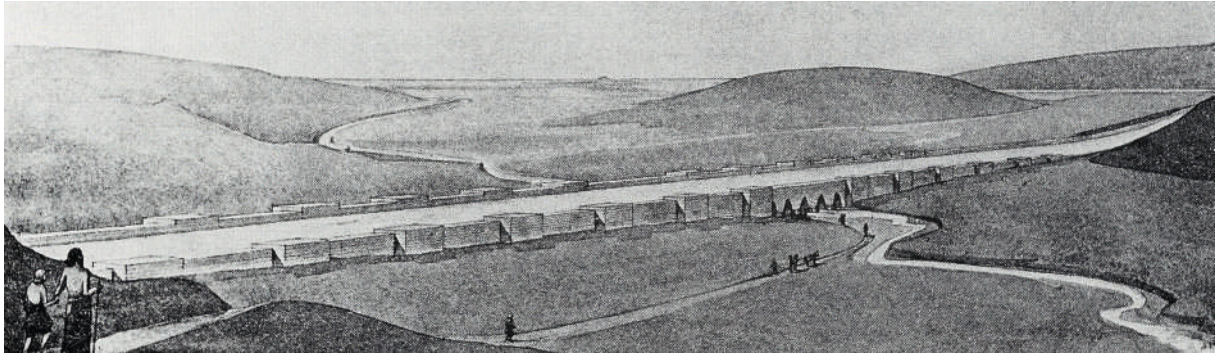


Fig. 9. Acueducto de Jerwan (Jacobsen – Lloyd 1935).



Fig. 10. Puente del acueducto de Jerwan (Jacobsen – Lloyd 1935).

Si no había más remedio los canales se construían con algún tramo en túnel, pues les era preferible, aun a costa de dar un rodeo, hacerlos a cielo abierto. El más conocido es el llamado ‘Negoub’ que en árabe significa ‘agujero’, que perteneció a un canal de riego construido en tiempos del rey asirio Assurnasipal II (883-859) para regar la llanura del entorno de la capital Ninrud y el abastecimiento de la ciudad. Se captaba el agua del río Zab y se regulaba su entrada mediante compuertas (Layard 2016, 123-4). Se conservan los restos de otro túnel que formaba parte del proyecto hidráulico que el rey asirio Senaquerib emprendió para suministrar agua a la ciudad de Arbail, a unos 83 km al sureste de Nínive. El agua del *wadi* Bastura, un afluente del alto Zab, fue traída a la ciudad a través de un túnel en lámina libre. Su entrada se encuentra al este de Qala Mortka en la margen izquierda de *Wadi* Bastura, a unos 20 km al noreste de Arbail; tenía 1,20 m de alto, 1,12 m de ancho y 6 m de largo y estaba completamente revestida de sillares. En su exterior disponía de una embocadura de aletas también construida con

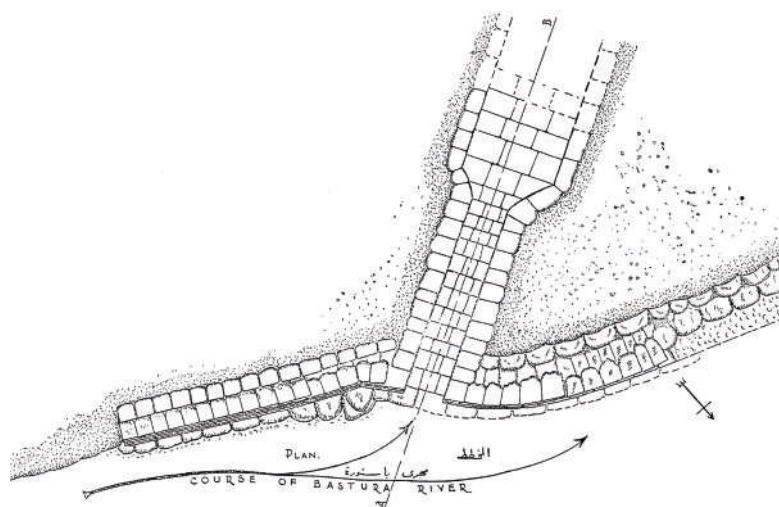


Fig. 11. Dibujo de la planta de la entrada del túnel de Bastura (Bagg 2000).

sillares. En el interior el ancho aumentaba a 2,70 m y el revestimiento de piedra solo incluía la solera y los primeros 0,50 m de las paredes. Aguas abajo de la entrada se cree que hubo una presa de piedra para desviar el agua hacia el túnel, pues hay numerosos bloques de piedra que yacen en el lecho del río (Bagg 2000, 225).

También se tenía que construir una presa si había que elevar el agua de un río para derivarla por un canal lateral más alto, para embalsarla o para retener el agua de las crecidas y evitar que dañasen ciudades y cultivos. Según los expertos las presas más antiguas del mundo fueron las construidas para abastecer de agua a la ciudad de Jawa, ubicada en una zona muy árida a un centenar de kilómetros al NE de Ammán. Todo el sistema hidráulico fue construido a mediados o finales del IV milenio A.E.C. para retener el agua de escorrentía de las lluvias de la zona y las crecidas del *wadi* Rajil. Las presas se construían con unos muros de mampostería cuya impermeabilidad se conseguía al interponer entre ellos unos rellenos de piedras, ceniza y arcilla (presa siria de Palmira). Al pie del primer muro de contención dispusieron muy inteligentemente un zócalo o zampeado de piedra para evitar o reducir las filtraciones de agua bajo la presa, que son tan dañinas por la socavación y la generación de sub-presiones. A pesar de sus reducidas alturas, en torno a los 5,00 m, almacenaban entre todas un volumen de agua para abastecer a una población de algunos millares de personas durante un año (Helms 1981, 162-180; Viollet 2000, 46-47).

En Mesopotamia se construyeron algunos diques en el Tigris entre el 1500-1300 A.E.C., uno de ellos cerca de la ciudad de Samarra (Bonnin 1984, 137) que suponemos que estaba destinada a formar un embalse de regulación. Se conoce alguna presa más, pero se desconoce cuando fueron construidas. El arqueólogo inglés Henry Layard cuenta que un día cuando descendía el río Tigris en una pequeña balsa, ante un ines-

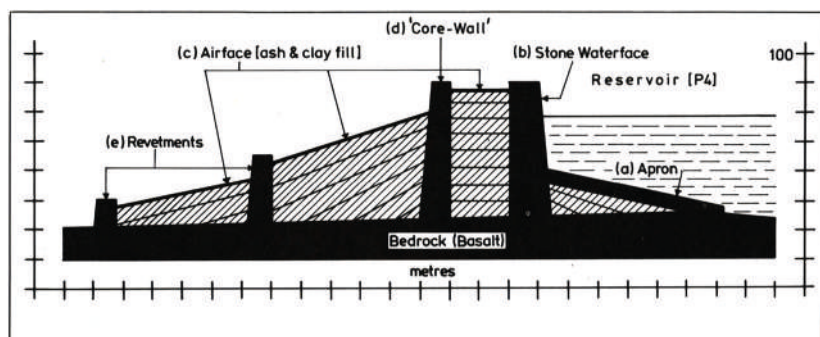


Fig. 12. Sección transversal de una presa de Jawa (Helms 1981).



Fig. 13. Cisterna del palacio de Mari del II milenio A.E.C. (Viollet 2000).

perado aumento de la velocidad la persona que guiaba la balsa “comenzó a emitir jaculatorias religiosas a medida en que nos acercábamos a una impresionante catarata, a donde fuimos arrastrados con cierta violencia”. Este inusual cambio del régimen del río estaba causado por los restos sumergidos de un antiguo dique construido a la altura de la ciudad de Nimrud, y cuya construcción era atribuida al rey Nemrod. Con caudales bajos se podía ver que estaba construido con grandes sillares unidos por abrazaderas o grapas metálicas (Layard 2016, 70). Era similar a la composición que, según Diodoro Sículo (2.8.2) tuvieron los pilares del puente construido sobre el Éufrates por la reina Semíramis (810-782 A.E.C.), con piedras trabadas con grapas de hierro y las mortajas de encaje rellenos de plomo fundido.

En la ciudad de Mari el agua para el abastecimiento se tomaba del canal del Éufrates que atravesaba la ciudad, elevándola manualmente. El agua era transportada a las cisternas subterráneas construidas de ladrillos cocidos y cubiertas con bóvedas de voladizos sucesivos, como se ve en los restos de la cisterna palacial. Se completaba este suministro con la aportación del agua de lluvia recogidas en te-



Fig. 14. Conos de tierra de pozos de un qanat iraní. @ Autor (2007).

rrazas y patios que llegaban a las cisternas por canalizaciones también hechas con ladrillos cerámicos (Viollet 2000, 50).

En zonas de poniente de estos territorios del Creciente Fértil el sistema más habitual de aprovisionamiento de agua eran los pozos y galerías a las que se accedía por una rampa o escaleras, excavados a una mayor o menor profundidad. En Israel el pozo más profundo es el Tel Beer Sheba de 70 m de profundidad, que tiene una antigüedad de unos 3.000 años (Tusk 2017, 180). La fundación y el crecimiento de la antigua ciudad de Jerusalén fue posible por la existencia de agua bajo el Monte Sión y, una vez captada, abastecía la fuente de Gihon y posteriormente la piscina de Siloé, mencionada en la Biblia (Bonnin 1984, 120).

La isla de Arwad situada frente a la costa de Siria fue habitada por los fenicios en el II milenio A.E.C., los cuales fundaron una ciudad muy activa y conocida en la antigüedad, pues está citada en la Biblia (Ezequiel 27.8/11). Sus sistemas de aprovisionamiento de agua llamaron la atención de Estrabón (16.2): uno empleado en época de paz en el cual el agua era transportada de tierra firme bajo su control, donde, previamente, había sido recogida y almacenada en cisternas, y el otro, muy curioso, empleado cuando la isla era asediada, que captaba agua de un manantial submarino que surgía a presión, cercano a su costa. La captación se realizaba con la inmersión de un recipiente cónico lastrado con plomo que asentaban en el fondo marino y sobre el manantial. El agua a presión ascendía por una tubería de cuero que se sujetaba a la punta agujereada del armazón, y así rellenaban los contenedores de una embarcación.

A partir de la aparición del hierro se pudieron hacer mejores y más baratas herramientas para excavar los 'qanat' que, al parecer, se realizaron por primera vez en Armenia durante el apogeo del antiguo reino de



Fig. 15. La ciudad de Petra en el Uad Musa. © Autor (2005).

Urartu y que posteriormente se expandió hacia el sur (Liverani 1995, 668). Consistían en unas largas galerías subterráneas a las que se accedía por pozos excavados de trecho en trecho a lo largo de su recorrido y que se extendían hasta perforar capas freáticas profundas. Se puede conocer su existencia y recorrido gracias a los conos de tierra de la excavación acumulada en torno a las bocas de los pozos.

Posteriormente este sistema de captación de agua se extendió por otros países con extensas zonas áridas donde es conocida con distintos nombres: *karez* en China, Pakistán, Afganistán y Azerbaiyán, *sabridj* en Yemen, *falaj* en Omán y *foggaras* en Túnez y Argelia.

Al norte de la península arábiga en la zona desértica del Negeb habitaron los nabateos que a partir del siglo IV A.E.C., se distinguieron por su buena gestión de los escasos recursos hídricos que disponían.

La provisión natural de agua es bastante reducida en estas zonas desérticas, aunque no faltan durante el invierno torrenciales aguaceros. En la conocida ciudad de su capital Petra se conservan una buena parte de sus infraestructuras hidráulicas. Captaban agua de cuenca del Uad Musa (Valle de Moisés) con pequeños azudes construidos con mampostería que cortaban las torrenteras dispuestas en serie. De estos embalses partía una densa red de conductos y canales excavados en la roca cubiertos con losas de piedras, o con tubos cerámicos machiembrados que evitaban la contaminación, el calentamiento y la evaporación del agua. Todos estos canales la conducían a aljibes subterráneos con el fondo y las paredes impermeabilizados para evitar pérdidas por la porosidad de la piedra arenisca. La falta de luz no solo evitaba el calentamiento del agua y su evaporación, sino también la pérdida de calidad de su calidad ya que impedían la existencia de algas y bacterias.

LA INGENIERÍA HIDRÁULICA EN LOS TIEMPOS PRECLÁSICOS



Fig. 16. Canaletas labradas a ambos lados del antiguo cauce del wadi Musa. @ Autor (2005).

Al pie de la colina donde estuvo la antigua ciudad de Ugarit, actual Ras Shamra, se conservan los restos de una presa de derivación en el río ed-Delbé para la irrigación de las tierras de cultivo situadas al sur de la ciudad. Las excavaciones llevadas a cabo entre 1986 y 2009 han puesto al descubierto una buena parte de la obra llevada a cabo en dos fases: la primera en la época de Bronce para retener y derivar agua de riego y posiblemente también para servir de obra de paso, y otra, más moderna, de reparación y nueva puesta en funcionamiento en época helenística o romana. Se conserva un muro frontal de sillería caliza con dos huecos de 1,50 m de luz y otros laterales que cerraban el vaso. A través de esos huecos abriendo y cerrando unas compuertas de madera se controlaba el caudal del regadío. Quizá fue en época clásica cuando se construyó la fábrica actual de sillares trabados con grapas de madera con forma de doble cola de milano (Geyer 2013, *et al.*).

Los egipcios no consiguieron construir presas en el Nilo debido a su gran caudal, el cual incrementaba mucho con las crecidas anuales. Sí consiguieron como los mesopotámicos hacer diques o ataguías que solo ocupaban una parte del cauce, en aquellos puntos donde se daban condiciones favorables para conservarse a salvo de las corrientes y así desviar agua a los canales. En cambio, sí pudieron acometer la construcción de alguna presa en algunos afluentes del Nilo y en *wadis* que evacuaban menores caudales. La presa más conocida fue la de Sadd el-Kafara a unos 30 km al sureste de El Cairo, construida en un estrechamiento del *wadi* al-Garawi. Se cree que pudo ser levantada a mediados del III milenio A.E.C., durante el Imperio Antiguo (2700-2460 A.E.C.), e incluso antes, durante el período menfita, en el ca. 2850 (Bonnin 1984, 136). Construida con materiales sueltos con una sección trapezoidal de unos 80 metros de ancho, 60 metros en coronación y una altura de 14-15 metros; la longitud actual en coronación supera los 100 metros (Schnitter 2000, 17; Baba *et al.* 2018, 154). Los expertos no tienen una opinión común sobre



Fig. 17. Presa egipcia de Sadd el-Kafara (Viollet 2000).

la finalidad de esta obra, que varía entre que se trata de una obra para retener las avenidas torrenciales del *wadi* o para embalsar agua de regadío y/o abastecimiento. Según la opinión del especialista sobre la presa Gunter Garbrecht la presa no llegó a ponerse en funcionamiento, pues una fuerte avenida la rebasó cuando estaba en construcción que arrastró una buena parte de ella (Viollet 2000, 80-81; Fernández Casado 1983, 117; Schnitter 2000, 18; Hassan 2017, 138).

La composición de la presa de Sadd el-Kafara responde, básicamente, a los mismos principios que rigen la construcción de las presas modernas de materiales sueltos, pues consta de dos muros granulares drenantes estabilizados por unos revestimientos o “espaldones” de piedra y un núcleo central impermeable entre ellos. Solo se conserva el espaldón de aguas arriba construido con unos sillares escalonados, y se desconoce si hubo otro del lado aguas abajo. El núcleo intermedio de unos 30-36 metros de espesor lo hicieron con capas granulares cuidadosamente asentadas y compactadas, para que fuese lo más impermeable posible; al parecer, no emplearon arcilla que sería y es el material más idóneo para conseguirlo.

En ocasiones los diques no eran solo para la protección de las tierras cultivadas, como el construido por el primer faraón Menes (3.200 A.E.C.) y descrito por el historiador griego Herodoto, con el fin de desviar las

aguas del Nilo y desecar la zona donde quería construir la capital Menfis. Estaba formado por un terraplén de tierra levantado en un recodo del gran río a unos cien estadios aguas arriba, que todavía en los tiempos que estuvo Herodoto había que reforzarlo para evitar su colapso e impedir que las aguas desbordadas inundasen la ciudad al hallarse a una cota más baja (Hdto. 2.99).

Durante la dinastía XII de Egipto hubo un intenso tránsito fluvial en el tramo del Nilo que atraviesa Nubia debido a las políticas de conquista y asentamiento llevadas a cabo por los faraones de esta época, que construyeron más de una decena de grandes fortalezas para la contención de los nubios y defensa de la entrada a Egipto por el sur. Según una inscripción del faraón Sesostri III de la Dinastía XII (2000-1788 A.E.C.) había dificultades para navegar en un largo tramo aguas arriba de la 2ª catarata conocido por Batn-el-Haggar o 'vientre de piedra', cuando su caudal era bajo. Para aumentar el calado y así solucionar el problema mandó construir una presa, al parecer no muy alta y más de 400 m de longitud total, distribuida en varios tramos que se apoyaban en distintos afloramientos rocosos del cauce. Las obras las completó su hijo y sucesor Amenemes III (Pons Mellado 2003).

El Reino Antiguo (2686-2181 A.E.C.) terminó abruptamente por un brusco cambio en las precipitaciones en las cabeceras del Nilo, que produjo una reducción muy grande y rápida de su caudal. Todo el sistema administrativo colapsó y el hambre se extendió por Egipto produciendo grandes desórdenes y muertes. Durante mucho tiempo trataron de aliviar estas duras condiciones que fueron superadas a partir de la subida al trono del Amen-Hotep III (1844-1797 A.E.C.), el cual desarrolló un ambicioso proyecto hidráulico, el primero de Egipto, de llevar agua del Nilo a la Depresión de Fayum situada al sureste de la capital Memphis. El agua desviada del Nilo discurría por un antiguo brazo seco que fue acondicionado como canal de derivación (Bonnin 1984, 9), y en su entrada, cerca de el-Lahun, se construyó la obra de control del caudal de entrada que según Estrabón eran "unas esclusas en ambas bocas del canal, a través de las cuales los ingenieros administran la entrada y salida del agua" (17.37). Al parecer esta depresión no se usó como depósito regulador de las inundaciones del Nilo, con entrada de agua durante los seis meses de crecida y su devolución al río durante los otros seis meses de caudales bajos, tal como cuenta Herodoto (2/149). Según estudios recientes el caudal de entrada en la depresión estuvo controlado y limitado a una determinada cantidad, de modo que una amplia zona de la depresión se pudiese para dedicarla a la agricultura. Para el control de las inundaciones del Nilo se empleó un embalse excavado antes de la obra de control citada, de forma alargada y relativamente estrecha, desde el que por el canal Mewêr, el 'Gran Canal', en griego Moeris, se distribuía agua de riego a las llanuras entre Faiyum y Memphis (Hassan 2017, 139-40).

Un sistema de almacenamiento de agua para riego similar y muy utilizado en Egipto fueron grandes balsas bordeadas de diques de tierra, donde se decantaban los beneficiosos limos y, una vez vaciadas de agua al abrirle huecos, en su interior quedaba la tierra húmeda y abonada lista para ser cultivada (Bonnin 1984, 9). Al parecer existía desde los primeros tiempos faraónicos un canal construido a lo largo del Nilo que se iba cortando con azudes transversales que derivaban el agua hacia las balsas.

BIBLIOGRAFÍA

- Baba A. *et al.* (2018). “Developments in Water Dams and Water Harvesting Systems throughout History in different Civilizations”, *International Journal of Hydrology* 2.2, 155-171.
- Bagg, A. M. (2000). *Assyrische waserbauten*, Mainz.
- Bonnin, J. 1984. *L'eau dans l'antiquité. L'hydraulique avant notre ère*, Paris.
- Bryce, T. – Birket-Rees, J. (2016). *Atlas of the Ancient Near East. From Prehistoric Times to the Roman Imperial Period*, London.
- Fernández Casado, C. (1983). *Ingeniería hidráulica romana*, Madrid.
- Geyer, B. *et al.* (2013). “Le ‘pont-barrage’ du Narh Ed-Delbé (Ras Shamra-Ougarit, Syrie)”, *Études Ougaritiques* 3, 1-45.
- Glassner, J.-J. (2012). “Mesopotamia hasta las invasiones arameas del fin del II milenio”, en: Ph. Lévêque (dir.), *Las primeras civilizaciones*, Madrid.
- Hassan, F. A. (2017²). “Water heritage of Egypt and Nile Region”, en: ICOMOS, *Cultural Heritages of Water. The cultural heritage of water in the Middle East and Maghreb*, 123-144.
- Helms, S. W. (1981). *Jawa, Lost City of the Black Desert*, New York.
- Jacobsen, T. – Lloyd, S. (1935). *Sennacherib's aqueduct at Jerwan*, Chicago.
- Layard, A. H. (2016). *Nínive. Historia de los descubrimientos en Mesopotamia*, Salamanca.
- Liverani, M. (1995). *El antiguo Oriente. Historia, sociedad y economía*, Barcelona.
- Loud, G. – Altman, C. B. (1938). *Khorsabad. Part II. The citadel and the town*, Chicago.
- Margueron, J.-C. (2013). *Los mesopotámicos*, Madrid.
- Marr, A. (2018). *Una historia del mundo*, Madrid.
- Ollivier, V. *et al.* (2018). “Neolithic water management and flooding in the Lesser Caucasus (Georgia)”, *Quaternary Science Reviews* 197, 267-287.

Pons Mellado, E. (2003). “Política defensiva en Nubia: las fortalezas”, *Supplementa ad Isimu Estudios Interdisciplinarios sobre Oriente Antiguo y Egipto*, serie II, v. II, 263-279.

https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/13634/63894_15.pdf?sequence=1 (Fecha de la consulta marzo de 2019).

Postgate, J. N. (1999). *La Mesopotamia arcaica. Sociedad y economía en el amanecer de la historia*, Madrid.

Ruiz Morales, M. (2009). *La Expedición a Egipto de los sabios franceses*, Granada.

Schnitter, N. J. (2000). *Historia de las presas. Las pirámides útiles*, Madrid.

Sprague de Camp, L. (1974). *The Ancient Engineers*, New York.

Toribio Marín, C. (2013). “Agua y territorio en la antigüedad. La construcción del sistema hidráulico de Senaquerib”, en: S. Huerta Fernández – F. López Ulloa (eds.), *VIII Congreso de Nacional de Historia de la Construcción (Madrid, 9-12 octubre)*, Madrid, 1027-1036.

Tusk, T. (2017). “Water Management in Arid and Semi-Arid Regions. Challenges and Solutions through the Ages: Example from Israel”, en: ICOMOS, *Cultural Heritages of Water. The cultural heritage of water in the Middle East and Maghreb*.

Viollet, P.-L. (2000). *L'hydraulique dans les civilisations anciennes. 5000 ans d'histoire*, Paris.

INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA.

VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

SANTO DOMINGO DE LA
CALZADA 7, 8 Y 9 DE
NOVIEMBRE DE 2019

ISAAC MORENO GALLO
(COORD.)

21 HISTORIA ARQUEOLOGÍA

INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA.
VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS
OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

ISAAC MORENO GALLO (COORD.)

INGENIERÍA HIDRÁULICA ROMANA. VI CONGRESO INTERNACIONAL DE LAS OBRAS PÚBLICAS ROMANAS

Santo Domingo de la Calzada 7, 8 y 9 de noviembre de 2019

Congreso Internacional de las Obras Públicas Romanas (6º. 2019. Santo Domingo de La Calzada)

Ingeniería hidráulica romana: VI Congreso Internacional de las Obras Públicas Romanas: (Santo Domingo de la Calzada 7, 8 y 9 de noviembre de 2019) / coordinador Isaac Moreno Gallo. -- Logroño: Instituto de Estudios Riojanos, 2023.

308 p.: il.col; 28 cm. - (Historia Arqueología; 21).

D.L. LR 696-2023. - ISBN 978-84-9960-170-0

1. Obras públicas-España-Hasta S.V - Congresos y Asambleas. 2. España-Restos arqueológicos romanos-Congresos y asambleas. I. Moreno Gallo, Isaac. II. Instituto de Estudios Riojanos. III. Serie.

624(460)"/04"(063)

904(460):7.032(37)(063)

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los titulares del copyright.

Primera edición: julio, 2023

© Isaac Moreno Gallo (Coord.)

© Instituto de Estudios Riojanos, 2023

C/ Portales, 2

26001 Logroño, La Rioja

www.larioja.org/ier

© Imagen de cubierta: *Torres de descarga de presión en los cambios de alineación del acueducto romano de Aspendos (Turquía)*. Fotografía de Isaac Moreno Gallo.

Depósito Legal: LR 696-2023

ISBN: 978-84-9960-170-0

© Realización técnica: Grupo Editorial Sargantana

Impreso en España. Printed in Spain.

Índice

- 9 **Prólogo**
Concha Andreu Rodríguez
Presidenta de la Comunidad Autónoma de La Rioja
- 13 **Abastecimientos de aguas romanos. Paradigmas y realidades**
Isaac Moreno Gallo
- 67 **Inverted syphons and roman hydraulic technology**
H. Paul M. Kessener
- 105 **Agua y canales en la minería hidráulica romana del oro**
Roberto Matías Rodríguez
- 143 **Archaeological information obtained from carbonate deposits in ancient water systems**
Cees Passchier - Gül Sürmelibindi
- 169 **Descubrimiento y análisis de dos nuevas conducciones en el entorno de Mérida: avances y resultados**
Santiago Feijoo Martínez – Diego Gaspar Rodríguez
- 189 **Regulación de caudales en los abastecimientos de agua romanos**
José Manuel de la Peña Olivas

- 219 **La ingeniería hidráulica en los tiempos preclásicos**
Manuel Durán Fuentes
- 239 **El agua en los puertos romanos**
José Manuel de la Peña Olivas
- 255 **Ingeniería hidráulica de la ciudad de *Valeria* (Cuenca): la cuestión del ninfeo**
Jesús Sánchez Sánchez
- 287 **Dos acueductos romanos inéditos: *Norba Caesarina* (Cáceres) y *Regina Turdulorum* (Casas de Reina)**
Juan Gil Montes – José Vargas Calderón

El VI Congreso Internacional de Ingeniería Romana organizado por el Colegio de Ingenieros Civiles y celebrado en Santo Domingo de la Calzada en noviembre de 2019, supuso un nuevo hito en la investigación de la ingeniería antigua. En esta monografía se ponen de relieve nuevos aspectos sobre el abastecimiento de aguas y la ingeniería sanitaria en el mundo romano.

Roma fue una cultura donde el agua garantizaba la *salubritas* y *securitas* de las ciudades y convertía a sus territorios en paisajes irrigados. Las estructuras hidráulicas que desempeñaban esta función, sobre todo los acueductos, eran vistas como el símbolo de la grandeza de Roma, de su obra civilizadora. Estrabón los consideraba, junto con las calles y las cloacas, las obras públicas más extraordinarias de una ciudad (Str. 5.3.8); Frontino, por su parte, dice que son más útiles que las pirámides de Egipto o las famosas construcciones griegas (Aq. 16). Pero, como se puede leer en estas páginas, los acueductos no son solo las admiradas arquerías de que en ocasiones disponían, aunque realmente son casi las únicas estructuras que el imaginario colectivo ha asociado a este valiosísimo legado romano. El abastecimiento de agua quedó garantizado por tuberías de diversas naturalezas, galerías subterráneas que conducían el agua por el subsuelo, o canales de fábrica cubiertos que, aunque no son perceptibles a simple vista, sí que formaron parte entre todos, junto con las arquerías, de esas grandes obras de abastecimiento de agua potable que dotaron de salud, bienestar y seguridad a aquella civilización por todo el *Orbe* entonces conocido.

