

LA BOMBA DE TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN LAS MINAS DE ESPAÑA Y JAPÓN: UNA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA INTERCULTURAL ASÍNCRÓNICA

Albert Koenig

*Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Hong Kong*

RESUMEN

Tras la restauración Meiji de 1868 en Japón, se descubrió que a principios del siglo XVII se utilizaron con éxito bombas de tornillo de Arquímedes para desaguar minas de oro en la isla de Sado. Hasta entonces, la única otra aplicación conocida de las bombas de tornillo de Arquímedes en las minas se había registrado en el siglo II a. C. en España. Se plantea la cuestión de si pudo producirse tal transferencia de tecnología asincrónica intercultural, cuándo y cómo. Este artículo recorre la historia de la bomba de tornillo de Arquímedes en España, su

introducción por misioneros jesuitas en China y, por último, su inesperada aplicación en Japón. Se sospechaba que los misioneros o mineros españoles habían llevado a Japón los conocimientos sobre las bombas de tornillo de Arquímedes. Sin embargo, se pudo demostrar que los japoneses habían construido las bombas por su cuenta basándose únicamente en las directrices de fabricación contenidas en *Taixi shuifu* [Métodos hidráulicos del Lejano Oeste], publicado por el jesuita Sabatino de Ursis 1612 en Pekín.

1. ANTIGÜEDAD¹

La invención de la bomba de tornillo de Arquímedes se atribuye tradicionalmente al científico griego Arquímedes de Siracusa (287-212 a.C.) durante su estancia en Egipto. La fuente más antigua son dos pasajes de la *Bibliothèque* (conocida en latín como *Bibliotheca historica*) del historiador griego Diodoro Siculo (ca. 90 — ca. 27 a.C.) ([http://www.anarkasis.nt/Diodoro de Sicilia/libro5.htm](http://www.anarkasis.nt/Diodoro%20de%20Sicilia/libro5.htm)).

(i). «El terreno aluvial del Nilo está bien regado; produce frutos abundantes y diversos (39). El Nilo se presentó un año después en su torrente con nuevo limo y los lugareños pueden regar fácilmente la isla usando una máquina construida por Arquímedes de Siracusa, que por su forma, que se llama la cóclea». (Libro I, 34), y,

(ii) «Esta máquina está construida de manera tan ingeniosa que, por su medio, fluirían enormes masas de agua, y se extraería fácilmente un río entero de las profundidades de la tierra a la superficie. Pero no es solo en esto que debemos admirar el talento de Arquímedes; todavía se le deben muchas otras obras más grandes, que son famosas en todo el mundo». (Libro V, 37).

El historiador griego Estrabón (ca. 64 o 63 a. C. — ca. 19 o 24 d. C.), contemporáneo del emperador Augusto, menciona en su *Geographia* (Lib. III, 2,9) una referencia aún anterior sobre el empleo de bombas de tornillo de Arquímedes en las minas españolas por el erudito griego Posidonio (135 a. C. — 51 a. C.) (López, 1767, p. 107-108):

[1] Partes del artículo fueron tomadas y modificadas con el permiso del editor de Koenig, A. (2019) *Introducción del tornillo de Arquímedes en Asia (China, Corea, Japón) durante los siglos XVII y XVIII*, traducido por Aldo Tamburrino. Revista de la Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, 34(1), 17-30.

[...] y [Posidonio] demuestra que esta industria y deseo de trabajar [de los mineros de Ática] es ahora comparable al de los Turdetanos² que hacen minas profundas y obliquas, y las más veces encuentran ríos. Extraen el agua con conchas egipcias; [agregado por López: y esta estratagema no la tenían antiguamente los Áticos].

Según el arquitecto e ingeniero militar romano Marco Pollio Vitruvio (ca. 80-70 a. C. — después de ca. 15 d. C.), además del riego agrícola y el drenaje de minas, una aplicación importante de la bomba de tornillo fue en la ingeniería militar como máquina de deshidratación. La obra fundamental de Vitruvio, *De architectura*, conocida hoy como *Los diez libros de arquitectura*, proporciona en el Libro X, Capítulo 6, la primera y única descripción detallada en la antigüedad del tornillo de agua de madera, sin mencionar el nombre de Arquímedes, y brinda pautas precisas para su fabricación. Sin embargo, no se sabe hasta qué punto estaba realmente extendido el uso de bombas de tornillo de Arquímedes en el Imperio Romano³.

2. RENACIMIENTO

Después de la caída del Imperio Romano, gran parte del conocimiento tecnológico quedó en desuso o se perdió. Afortunadamente, *De Architectura* de Vitruvio, que contenía el único relato de la bomba de tornillo de Arquímedes en la antigüedad, no se perdió. Los manuscritos de *De Architectura* fueron copiados y almacenados en muchos monasterios. Krinsky (1967) encontró que todavía se conservaban setenta y ocho manuscritos que con-

[2] Los turdetanos fueron un pueblo prerromano que habitaba en la Turdetania, región que abarcaba el valle del Guadalquivir desde el Algarve en Portugal hasta Sierra Morena, ocupando la mayor parte de la actual Andalucía. En realidad España era famosa por su riqueza mineral (oro, plata, cobre, plomo) mucho antes de que llegaran los romanos.

[3] Para obtener más detalles sobre la historia del tornillo de Arquímedes, consulte Koenig (2020a).

tenían el texto completo o extractos en once países, de los cuales los cuatro siguientes se encontraban en España:

Biblioteca del Escorial : texto completo, siglo X-XI

(Real Biblioteca del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial?)

Biblioteca del Escorial : texto completo, siglo XII-XIV.

(Real Biblioteca del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial?)

Toledo, Biblioteca del Cabildo: texto completo, siglo XV.

(Librería del Cabildo Toledano)

Valencia, Biblioteca de la Universidad: texto completo, 1455-58 (Fig. 1)

(Universitat de València, Biblioteca Històrica)

La primera edición impresa de *De architectura*, el único libro que queda sobre arquitectura de la antigüedad, apareció en 1486 en Italia, seguida de muchas más ediciones y traducciones al italiano, francés y alemán. Dado que las ilustraciones originales de Vitruvio se perdieron, se incluyeron nuevas ilustraciones basadas en las descripciones antiguas. La primera edición ilustrada fue publicada por el arquitecto, anticuario, arqueólogo e intelectual clásico veronés Fra Giovanni Giocondo 1511; incluía ciento treinta y seis grabados en madera. La primera edición en español fue publicada por el «modesto ensamblador y arquitecto» Miguel de Urrea (ca. 1520-ca. 1565-8) en 1582 (Fig. 2), aunque su manuscrito se completó antes de su muerte (<https://www.bvfe.es/es/autor/21404-urreea-miguel-de.html>). Su ilustración (Fig. 3) fue copiada de ediciones extranjeras anteriores y se parecía mucho a la de Giocondo. Una segunda edición impresa en español apareció en 1771 (Castañeda, 1771), basada en una traducción de 1673, edición francesa de Claude Perrault (1613-1688).

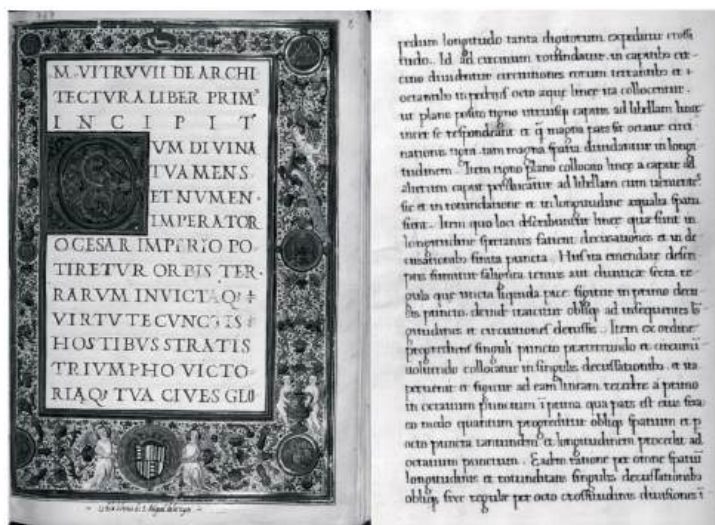


Fig. 1. Manuscrito de *De Architectura* libri decem de Vitruvio, ca. 1480; portada (izquierda) y pág. 147 (derecha) con una descripción de la cóclea.
Fuente: Universitat de València, Biblioteca Històrica BH Ms. 727;
<https://weblioteca.uv.es>



Fig. 2. Primera edición de Vitruvio impresa en español, 1582; portada (izquierda) y pág. 147 v (derecha) con la descripción e ilustración de la cóclea.
Fuente: <http://bdh-rd.bne.es>; <https://dicter.usal.es>

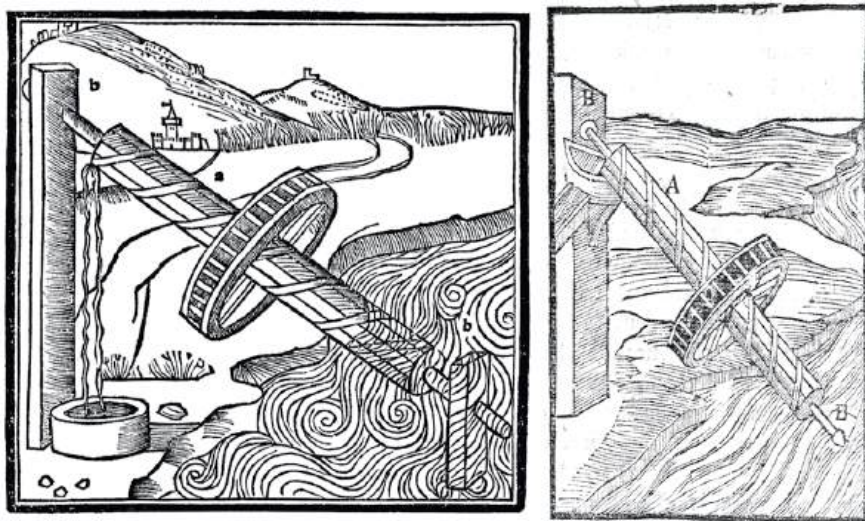


Fig. 3. Ilustraciones de la bomba de tornillo de Arquímedes en Giocondo 1511 (izq.) y Urrea 1582 (der.).

Fuente: <http://www.math.nyu.edu>; <http://bdh-rd.bne.es>

Hubo un tiempo en que se pensó que la primera traducción al español de Vitruvio la completó Lázaro de Velasco (ca. 1521—1584) entre 1554 y 1564. Su manuscrito nunca fue publicado; sin embargo, investigaciones posteriores demostraron que la obra en realidad se realizó entre 1573 y 1583, después de que Urrea ya hubiera fallecido. Curiosamente, Velasco tradujo la cóclea de Vitruvio como *husillo* en lugar del uso más común de *tornillo*. En el comentario al margen de la página Velasco escribió: «Desta maquina fue inventor Arquimedes y con esta maquina solian regar los Egiptos sus campos como dize Diodoro en el Lib. 1». La primera edición de Vitruvio que menciona a Arquímedes como el inventor del tornillo de agua fue la famosa edición de 1567 de Daniele Barbaro en latín (Barbaro, 1567). Este hecho podría servir como una indicación más de que Velasco no pudo haber completado su traducción entre 1554 y 1564 como todavía se sugiere en la entrada del catálogo.

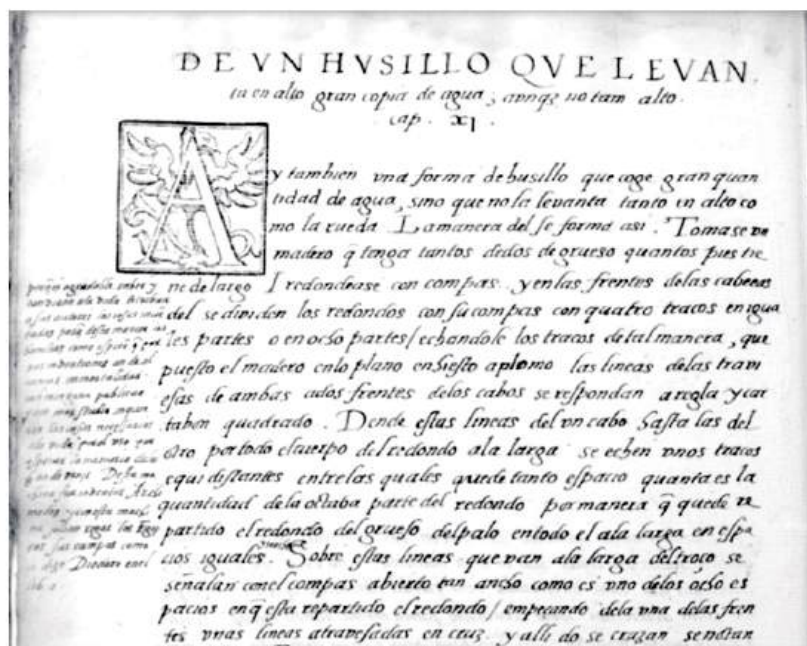


Fig. 4. Inicio del capítulo X. sobre el tornillo de Arquímedes de Lázaro de Velasco, 1573-1583.

Fuente: Manuscrito *Los diez libros de arquitectura* de Marco Vitruvio romano traducido en castellano por un matemático [Lázaro de Velasco]. Biblioteca Pública del Estado en Cáceres. <http://ciconia.gobex.es>.

Además de los libros impresos, también se encontraron algunos manuscritos que contenían ilustraciones del tornillo de Arquímedes. En España, estos manuscritos no se descubrieron hasta la segunda mitad del siglo XX. El primer y más importante manuscrito es el código de Turriano, redescubierto hacia 1965 por el ingeniero químico, eminente historiador de la tecnología y estudioso de Leonardo da Vinci Ladislao Reti (1901-1973) en la Biblioteca Nacional de Madrid (Reti, 1967). Su título es *Los Veinte y Un Libros de los Ingenios, y Maquinas de Iuanelo* (Fig. 5). Se atribuye al relojero, ingeniero y matemático cremonese Gianello Torriano (en español Juanelo Turriano) (1500-1585), que sirvió con distinción al emperador Carlos V y al rey Felipe II. Es mejor conocido

por diseñar y construir El artificio, o ingenio de Juanelo Turriano para elevar agua al Alcázar de Toledo, que incluso fue introducido en China en 1623 por el jesuita italiano Giulio Aleni (1582-1649) en *Zhifang waiji* [Crónica de tierras extranjeras].

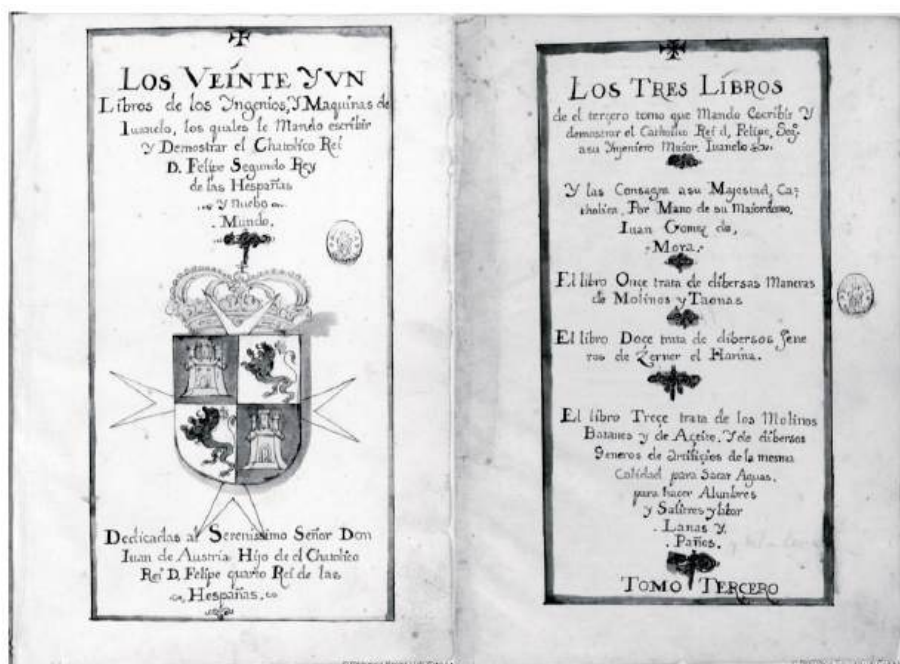


Fig. 5. Manuscrito *Los Veinte y Un Libros de los Ingenios, y Maquinas de Juanelo*, (ca. 1564-1575), Portada y índice del Tomo III.

Fuente: Biblioteca Digital Hispánica, <http://bdh-rd.bne.es>

El códice ha sido descrito de la siguiente manera: «Este importante manuscrito, encuadernado en cinco volúmenes, con casi mil páginas escritas e ilustrado con cerca de quinientas imágenes, es el códice europeo del siglo XVI más extenso que versa sobre aspectos técnicos: muchos de los temas que aborda podrían incluirse en lo que hoy denominamos ingeniería civil y tienen que ver principalmente con cuestiones hidráulicas». (Zanetti, 2017). La elaboración de *Los Veinte y un Libros* fue encargada por Felipe II, considerado como el nuevo Augusto, mientras

que la obra podría ser considerada como el nuevo Vitruvio. La obra nunca fue copiada ni circulada (¿contenía información clasificada?) pero si se imprimió «el público lograría con ello tener una obra en castellano anterior a las muchas que sobre los mismos asuntos escribieron los extranjeros, y verían que no eran exóticos en España: los conocimientos de las ciencias naturales y exactas en el siglo XVI» (García-Diego (1980). Dado que hasta el momento no se ha podido establecer definitivamente la autoría del código, la obra suele denominarse Pseudo-Juanelo. La primera y única edición facsimilar del manuscrito en la Biblioteca Nacional finalmente se publicó en 1996 (Anon 1996). El código es considerado la primera gran obra sobre ingeniería hidráulica escrita en Europa. Contiene finos dibujos con descripciones de una bomba de tornillo de Arquímedes, tanto simple como múltiple (Fig. 6), cuya invención, curiosamente, atribuye Juanelo a Pitágoras, pero no se mencionan ejemplos de este tipo de bombas helicoidales.

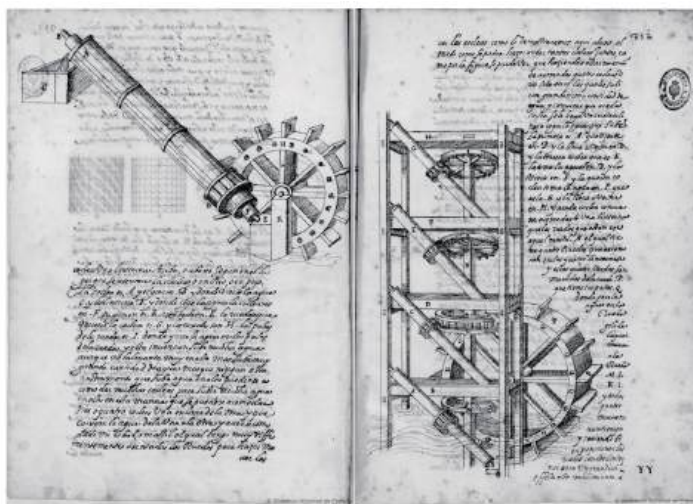


Fig. 6. Tornillos de Arquímedes simples y múltiples en el manuscrito *Los Veinte y Un Libros de los Ingenios*, y *Maquinas de Iuanelo*, (ca. 1564-1575), Tomo III, Libro 13, escaneos 611 y 612.

Fuente: Biblioteca Digital Hispánica, <http://bdh-rd.bne.es>

Un segundo manuscrito fue descubierto hace sólo unos 40 años (García Tapia y García-Diego 1987). Contiene un dibujo de un molino de recirculación (máquina hidráulica de movimiento perpetuo) utilizando un tornillo de Arquímedes (Fig. 7) (Jiménez Muñoz et al. 2015). El autor Francisco Lobato del Canto (ca. 1530 — ca. 1589) fue un cronista de su ciudad natal Medina del Campo interesado en los aparatos mecánicos e hidráulicos. Debió haber ideado este invento de forma independiente, quizás consciente del posible uso anterior de los tornillos de Arquímedes en la España musulmana (711-1492). Sin embargo, no se ha podido encontrar tal documentación escrita.

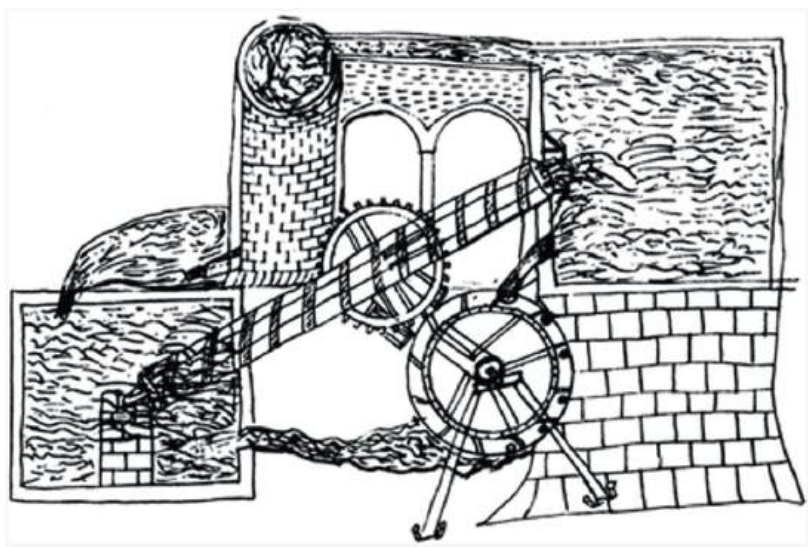


Fig. 7. Tornillo de Arquímedes para molino de recirculación de Lobato del Canto (ca. 1530-ca. 1589), California, 1577.
Fuente: García Tapia, Nicolás y García-Diego, José (1987)

3. ASIA ORIENTAL (CHINA, COREA, JAPÓN) DURANTE LOS SIGLOS XVII Y XVIII

3.1. CHINA

Después de que los primeros misioneros jesuitas entraron en China en 1582, pronto descubrieron, en particular Matteo Ricci, S.J. (1552-1610), que el acceso a la clase dirigente alfabetizada tenía más éxito mediante la introducción de la ciencia y la tecnología europeas. Para este propósito, Ricci había iniciado el establecimiento de una completa biblioteca de libros occidentales en Pekín, muchos de los cuales correspondían a la emergente área de la hidrotecnia (Koenig, 2014). De este modo, los libros occidentales servirían a los esfuerzos misioneros como una importante fuente de materiales para la transmisión del conocimiento occidental a través de traducciones y publicaciones. Un caso muy interesante es de cómo los jesuitas introdujeron el tornillo de Arquímedes en China y cómo este conocimiento se extendió aún más a Corea y Japón. En colaboración con literatos chinos, tres libros con descripciones del tornillo de Arquímedes fueron publicados por los jesuitas en China. Estos libros jugaron un papel importante en la transferencia de esta particular tecnología occidental a China, Corea y Japón.

Taixi shuifa [Métodos hidráulicos del lejano Oeste] (1612)

Taixi shuifa es el primer libro sobre hidrotecnia occidental en China e introduce tres nuevos dispositivos de elevación de agua: la bomba reciprocante de doble tubo de Ctesibius (bomba de fuerza); la bomba reciprocante de un solo tubo (bomba de succión) y la bomba de tornillo de Arquímedes, todas hasta el momento desconocidas en China. El libro se basó en parte en Vitruvio, pero también en modelos funcionales de bombas hidráulicas construidas por los misioneros jesuitas

Sabatino de Ursis (1575-1620) del reino español de Nápoles, desde 1607 en China, y Diego de Pantoja (1571- 1618) de España, desde 1599 en China. Fue escrito junto con el erudito funcionario chino y prominente converso Xu Guangqi (1562-1633), con el objetivo de presentar nuevas máquinas de elevación de agua occidentales para su uso en la agricultura.

Ambos jesuitas. eran muy ingeniosos [en las ciencias matemáticas]. En la quinta del Salvador (residencia jesuita en Pekín) fuera de los muros, fabricaron en el año 1612 muchos moldes de instrumentos y. máquinas hidráulicas, para sacar agua fácilmente de pozos y ríos: que puestos en práctica produjeron maravillosos efectos. El P. Sabbatino dio a luz un libro con estampas de los instrumentos en que demostraba y enseñaba el uso y provecho de los mismos (Soto Antuñedo, 2018, 134).

Con respecto al tornillo de Arquímedes, de Ursis proporcionó una descripción completa, que puede remontarse a las ediciones en latín e italiano de Vitruvio por Barbaro (1567 y 1584). Ambos se encontraban en la biblioteca jesuita en Pekín (Verhaeren 1949). La Figura 8 muestra de manera convincente que la ilustración del tornillo de Arquímedes construido en madera y presentado en *Taixi shuifa* coincide con la de las ediciones de Barbaro (Cigola y Fang, 2016). Con la ayuda de Xu Guangqi, de Ursis eligió un nombre chino clásico para la bomba de tornillo, a saber, *longweiche*, es decir, máquina de cola de dragón. Este nombre imitaba de alguna manera el nombre de un dispositivo de elevación de agua chino ampliamente utilizado, la bomba de paleta cuadrada llamada *longguche*, es decir, la máquina de hueso de dragón. Curiosamente, de Ursis no menciona el nombre de Arquímedes, aunque Barbaro lo había citado.

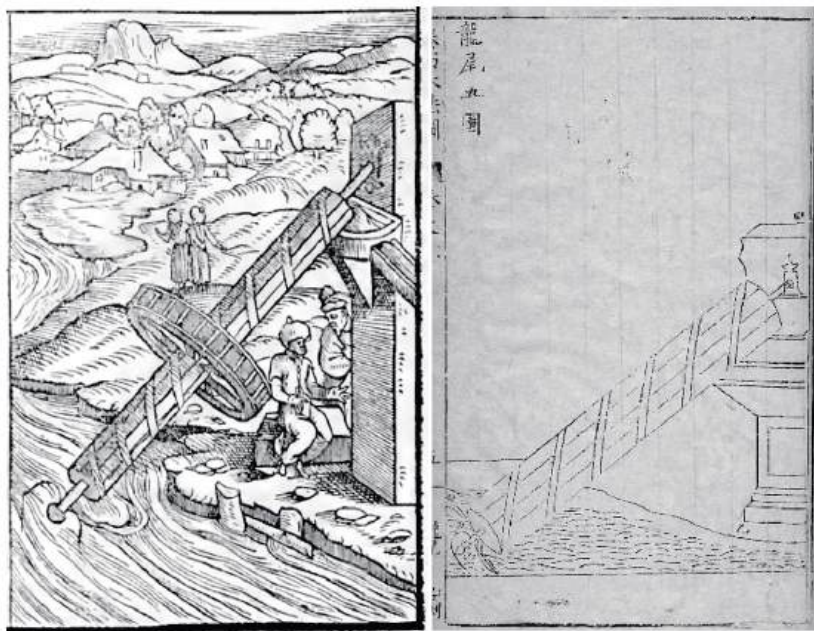


Fig. 8. Tornillo de Arquímedes (= *longweiche* = bomba cola de dragón).

Izquierda: Daniele Barbaro (1567) *De architectura libri decem*.

Derecha: Sabatino de Ursis (1612) [*Taixi shuifa*] (*Métodos hidráulicos del lejano Oeste*).

Zhifang Waiji [Crónica de tierras extranjeras] (1623)

Zhifang Waiji [Crónica de tierras extranjeras, 1623] es la primera descripción detallada sobre geografía mundial en chino. Fue publicado por el jesuita italiano Giulio Aleni, S. J. (1582-1649), desde 1613 en China, junto con Yang Tingyun (1557-1627), un funcionario chino y también eminente converso temprano. Aleni completó el libro basado en un borrador de sus ya fallecidos predecesores Diego de Pantoja, y Sabatino de Ursis, y agregó nueva información que había traído de Occidente. Es interesante que en este libro Aleni introdujo y describió brevemente varios trabajos famosos occidentales de ingeniería hidrotécnica, a saber (i) la máquina elevadora de agua de Toledo (a menudo llamada Artificio de Juanelo, por el nombre de su creador), (ii) el acueducto de

Segovia, (iii) las fuentes y los juegos de agua de un jardín renacentista (Palazzo Quirinale en Roma o Villa d'Este en Tivoli), (iv) los acueductos de Roma, (v) el tornillo de Arquímedes, y otros ingenios. Los ejemplos elegidos estaban destinados a demostrar la inventiva e ingenio occidentales para la aplicación práctica, basados en sólidos principios matemáticos y científicos (Koenig, 2020b).

Con respecto al tornillo de Arquímedes, el pasaje en la sección sobre Egipto, dice lo siguiente: «Hubo una vez un rey que buscó un método para combatir las sequías y los anegamientos. Encontró a un hombre sabio e ingenioso, llamado Yaerjimode [Arquímedes] para hacer un dispositivo hidráulico, que al mismo tiempo podría suministrar y eliminar agua, proporcionando a las personas beneficios incomparables [para el riego]. Ahora se llama longweiche (máquina de cola de dragón = tornillo de Arquímedes». Aleni fue, por lo tanto, el primero en introducir el nombre de Arquímedes en China utilizando la transcripción china de Yaerjimode. En lugar de proporcionar detalles técnicos o una ilustración de la bomba de tornillo, contó la breve historia de su invención por Arquímedes en el momento de su visita a Egipto, sin referirse a *Taixi shuifa* en absoluto. Sin embargo, no existen pruebas documentadas de que Arquímedes haya visitado Egipto o inventado la bomba de tornillo, pero ha sido una tradición común desde la época romana. En consecuencia, Aleni puso la descripción del tornillo de Arquímedes en la sección sobre Egipto, y no en la sección sobre España o Italia.

[Yuanxi qiqi tushuo lu zui] (*a menudo resumido como Qiqi tushuo*)

[Diagramas y explicaciones de máquinas ingeniosas del lejano Oeste]

(1628)

Qiqi tushuo fue el primer libro chino que introdujo sistemáticamente la mecánica y máquinas europeas en China y lo siguió siendo hasta mediados del siglo XIX. Fue publicado en 1628 por el funcionario aca-

démico de bajo rango, ingeniero y destacado converso Wang Zheng (1571-1644), junto con el jesuita alemán Johann Schreck (1576-1630), residente desde 1621 en China. Wang había leído sobre el Artificio de Juanelo y Arquímedes en *Zhifang waiji* de Aleni y se interesó en las máquinas occidentales, en particular en el Artificio, que era un ingenioso sistema capaz de transportar agua desde el río Tajo a la ciudad de Toledo, superando una diferencia de más de 100 m de altitud. Wang fue a visitar la residencia jesuita en Pekín, donde Schreck le mostró varios libros ilustrados sobre máquinas. «Luego convenció a Schreck para que tradujera un trabajo totalmente dedicado a este tema. Como resultado, un libro sobre mecánica e instrumentos en tres volúmenes, llamado [*Yuanxi qiqi tushuo lu zui*] (*Diagramas y explicaciones de máquinas ingeniosas del lejano Oeste*, a menudo resumido como *Qiqi tushuo*) se publicó en 1627». (Engelfriet, 1998). Aunque el énfasis estaba en la ingeniería mecánica, este trabajo incluyó también muchas ilustraciones de maquinaria hidráulica (incluso cuando no funcionaban). Las bombas de tornillo de Arquímedes se mostraron en tres arreglos diferentes, todos obviamente copiados de la obra de Agostino Ramelli *Le Diverse et Artificiose Machine* (1588) como se ve por ejemplo en la Figura 10. Notablemente, *Qiqi tushuo* no hace referencia a *Taixi shuifa*. El libro de Ramelli fue llevado por Schreck a China y depositado en la biblioteca jesuita de Pekín (Verhaeren, 1949).

Pese al hecho de que una completa información sobre el tornillo de Arquímedes estaba disponible en China, ejerció solo una limitada influencia. La literatura informa relativamente de pocas referencias sobre la bomba de tornillo, e incluso menos casos de su construcción. No obstante, el texto y las ilustraciones de *Taixi shuifa* se reimprimieron parcial o totalmente en varios trabajos. Al igual que *Taixi shuifa*, *Zhifang waiji* y *Qiqi tushuo* también fueron reimpresos varias veces hasta los años de 1800. Las citas frecuentes, reimpresiones y la inclusión en

enciclopedias imperiales muestran la importancia que les concedían a *Taixi shuifa*, *Zhifang waiji* y *Qiqi tushuo* diversos académicos y gobernantes. Sin embargo, debido a que estos libros se referían principalmente a conocimiento de las máquinas y de los países fuera de China, nunca adquirieron un alto estatus a los ojos de los funcionarios gubernamentales, que preferían los libros de moral tradicional y la filosofía.

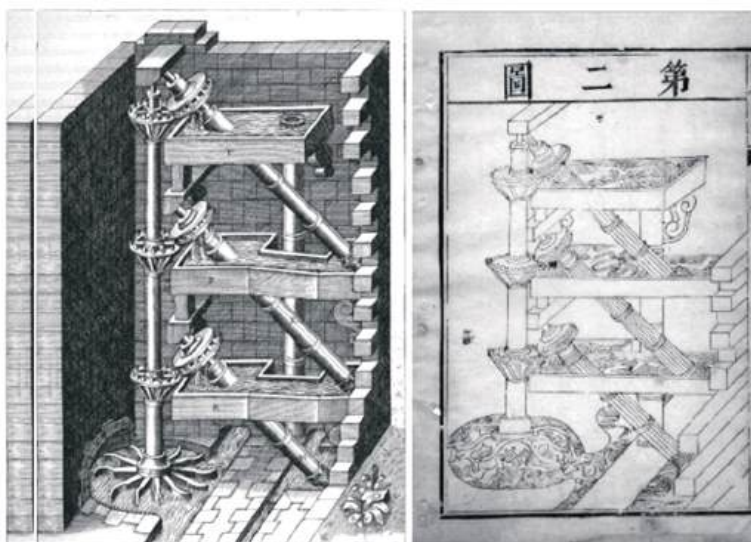


Fig. 9. Triple tornillo de Arquímedes.

Izquierda: Ramelli (1588) *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli*.
Derecha: Schreck y Wang (1627) [*Yuanxi qiqi tushuo lu zui*] (*Diagramas y explicaciones de máquinas ingeniosas del lejano Oeste*).

3.2. COREA

Dado que Corea era un reino tributario del Imperio chino; su gobierno frecuentemente enviaba delegaciones tributarias a Pekín. Las delegaciones eran frecuentemente encabezadas por altos funcionarios con un excelente conocimiento del idioma chino escrito, que también funcionaba como el idioma oficial del gobierno y de

los eruditos en Corea. Una vez en Pekín, miembros de la delegación aprovechaban la oportunidad de obtener libros e información sobre los últimos avances en China, que ellos reportaban en largos informes después de su regreso a Corea. A veces, los miembros más aventureros visitaban la residencia de los jesuitas; en especial para aprender sobre los últimos métodos para preparar el calendario y otras novedades occidentales. Por lo tanto, las misiones tributarias podían servir como un vehículo ideal para transferir este nuevo conocimiento chino y occidental a Corea. Dado que Corea, al igual que China, era una sociedad agrícola, algunos informes oficiales o diarios privados por miembros de la delegación informaban sobre tecnologías agrícolas útiles, tales como nuevos dispositivos de elevación de agua para el riego. En este contexto, el tornillo de Arquímedes fue mencionado varias veces por los funcionarios escolares coreanas (Koenig, 2020a). Un erudito coreano, Ch'oe Hangi (1803-1877) publicó bajo nombres ligeramente diferentes versiones abreviadas de *Taixi shuifa* y *Qiqi tushuo* en 1834 y 1842, respectivamente. De este modo, tomó más de 200 años que estos dos libros de máquinas estuvieran disponibles en versiones impresas en Corea. Durante estos 200 años, la tecnología en Corea y China parece haberse mantenido prácticamente sin cambios. Las Figuras 11 y 12 muestran muy claramente que la versión coreana copió las ilustraciones del original chino, sin ninguna modificación. Baste decir que los textos chinos fueron también ampliamente copiados por Ch'oe.

Cabe señalar que sólo una pequeña minoría de los funcionarios eruditos podía leer tales libros. Al igual que en China, a menudo ellos despreciaban el trabajo manual y no debe ser ninguna sorpresa que no se haya encontrado algún registro de la construcción de un tornillo de Arquímedes en Corea.

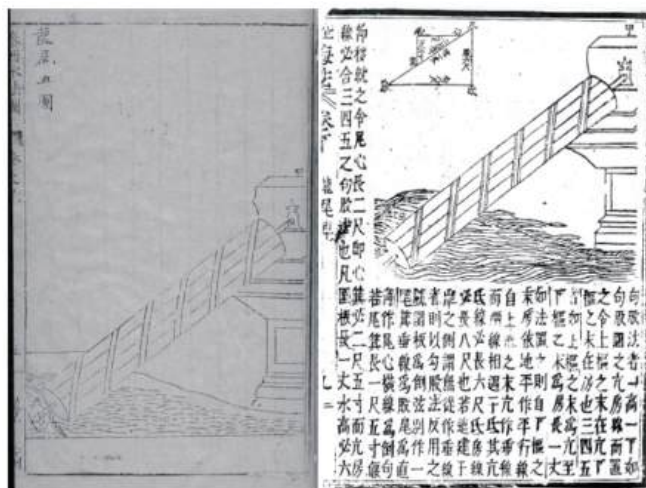


Fig. 10. Tornillo de Arquímedes.

Izquierda: Sabatino de Ursis y Xu (1612) [*Taixi Shuifa*]

(*Métodos hidráulicos del lejano Oeste*).

Derecha: Ch'oe Han-gi (1834) [*Yukhaeb*] (*Técnicas hidráulicas*).

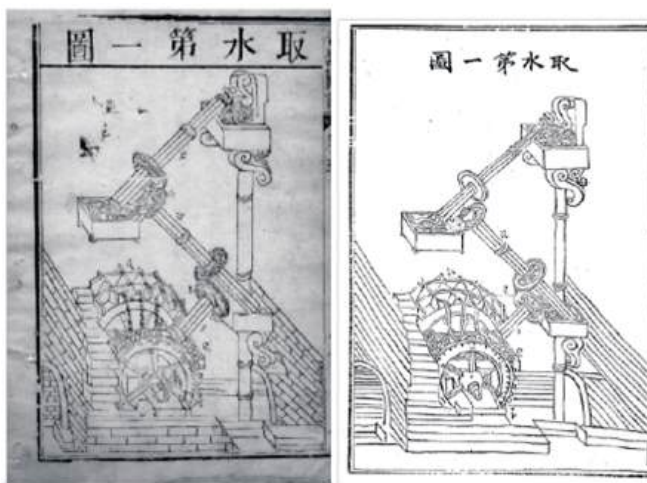


Fig. 11. Tornillo de Arquímedes.

Izquierda: Schreck y Wang (1628) [*Qiqi tusho* (*Diagramas y explicaciones de máquinas ingeniosas del lejano Oeste*)].

Derecha: Ch'oe Han-gi (1834) [*Simgi tosöl*] (*Ilustraciones y explicaciones de máquinas importantes*).

3.3. JAPÓN

A partir de alrededor de 1635 hasta 1853 Japón siguió una política aislacionista de confinamiento nacional. Además, desde 1630 hasta 1720 se prohibió específicamente la importación de libros chinos de 32 autores cristianos, entre ellos *Taixi shuifa*, *Zhifang waiji* y *Qiqi tushuo*. Fue sólo después que el shogun Yoshimune relajó las reglas en 1720 que la afluencia de libros extranjeros y sus traducciones entraron en Japón. *Zhifang waiji* se importó oficialmente en 1721, *Qiqi tushuo* en 1736 (Oba, 1996); una edición completa de la *Qiqi tushuo* japonesa fue impresa en 1830, pero no existen registros sobre *Taixi shuifa*. in embargo, se sabe que circularon clandestinamente copias manuales del *Taixi shuifa*; también fue citado después de 1720 en varios tratados agrícolas que incluían ilustraciones del tornillo de Arquímedes (Koenig, 2020a).

Por lo tanto, fue una gran sorpresa cuando Treptow (1918) publicó fotos de un rollo con una imagen de una mina de oro japonesa en la isla de Sado en la que se muestran tornillos de Arquímedes (Figura 13).

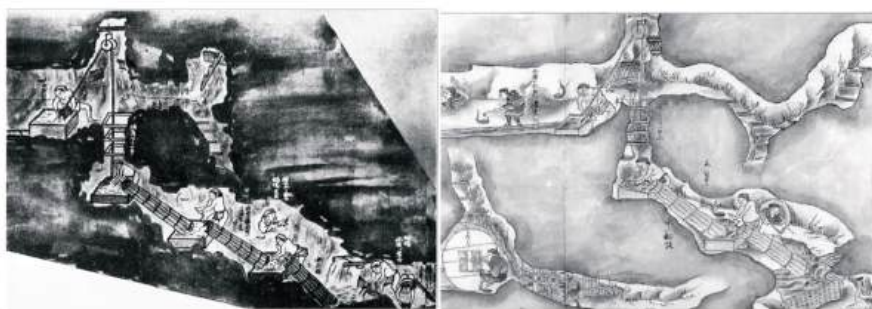


Fig. 12. Dibujos obtenidos de Rollos de Minería de Oro en la Isla Sado en Japón.
Izquierda: Tornillo de Arquímedes triple (Treptow, 1918).
Derecha: Tornillo de Arquímedes doble (Lentzch, 2008).

Tales rollos eran desconocidos en Occidente hasta finales del siglo XIX, cuando los ingenieros de minas extranjeros contratados por el gobierno japonés u otros visitantes tempranos los sacaron a luz. Los rollos mostraron ilustraciones detalladas de los diversos procesos de extracción de oro; desde la entrada de la mina a la obra, drenaje, ventilación y procesamiento de mineral subterráneo hasta el producto final y su venta, todo ello acompañado de subtítulos con breves explicaciones. Los rollos eran de hasta 20 metros de largo, de unos 25 cm de ancho, coloreados a mano y de gran interés especialmente para historiadores de la minería. Los rollos generalmente no están fechados, pero se originaron entre la década de 1730 y 1850; los artistas por lo general son anónimos. Mathias (2013) da una buena visión sobre la historia y el significado de los rollos de minería, donde se informa que hasta octubre de 2009 investigadores japoneses han reunido más de un centenar de rollos de Sado en todo Japón. Fuera de Japón, he identificado hasta el momento 33 rollos Sado en museos, publicaciones o sitios web, incluyendo dos por un vendedor de libros (Koenig 2020a). De estos, 11 muestran tornillos de Arquímedes usados para drenaje, seis no muestran ilustraciones, y el resto se mantiene desconocido. Cinco de las 11 ilustraciones muestran tornillos individuales (todos en depósitos aluviales), uno un tornillo doble en serie, y cinco muestran un tornillo de triple en serie. En Japón, Sugimoto y Swain (1978) reportan incluso el caso de un tornillo séptuple (Figura 14). Las ilustraciones se ven muy similares, lo que implica un «rollo maestro» general, con variaciones individuales dependiendo del artista, año, objetivo, lector, etc. Una distinción entre originales y copias es difícil.



Fig. 13. Dibujos obtenidos de Rollos de Minería de Oro en la Isla Sado en Japón.
Izquierda: Tornillo de Arquímedes único (Winkelmann, 1964).
Derecha: Tornillo de Arquímedes séptuple
(National Archives of Japan Digital Archive).

Entonces, ¿cómo llegó el tornillo de Arquímedes a las minas de oro de Japón? Nagase-Reimer (2013) escribe: «En 1637 un tornillo de Arquímedes de madera llamado *suishorin* se utilizó por primera vez en las minas de Sado. Suigako Soho, un investigador ciego que había estudiado esta técnica en Nagasaki, había sido invitado a venir a Sado de Osaka para construir el dispositivo en el sitio». En un momento, de 200 a 300 tornillos de Arquímedes accionados manualmente eran empleadas en las minas Sado. Nagase-Reimer (2013) escribe más adelante: «Es probable que la técnica del tornillo de Arquímedes fuera traído desde China a Japón. *Taixi shuifa* contiene una descripción del tornillo de Arquímedes... parecería que Suigaku obtuvo y estudió el libro antes de 1630, o que copias circularon clandestinamente incluso durante el período de la prohibición». Restos y planos de tornillos aún se conservan en el Museo del Pueblo de Aikawa en la isla de Sado. Hay una sorprendente semejanza entre los tornillos japoneses y los de *Taixi shuifa* en términos de forma, longitud, diámetro e inclinación, sugiriendo fuertemente el diseño basado en *Taixi shuifa* y, en el fondo, en Vitruvio (ver también Cigola y Fang, 2016). En otro lugar, Todd

(1998) da 1618 como el año de la primera aplicación del tornillo de Arquímedes, el Museo del Pueblo de Aikawa indica el año 1653. A pesar de la fecha incierta y la historia improbable del ciego Suigaku, resultó ser Japón en lugar de China el verdadero beneficiario de esta particular transferencia de conocimiento entre Oriente y Occidente.

4. ¿INTRODUJERON LOS MISIONEROS O MINEROS ESPAÑOLES EL TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN LAS MINAS DE ORO JAPONESAS EN LA ISLA DE SADO?

Se ha sugerido anteriormente que el conocimiento sobre la bomba de tornillo de Arquímedes llegó a Japón a través de una copia del *Taixi shuifa* [Métodos hidráulicos del Lejano Oeste] o una de sus reimpressiones de China. Dado que en *Taixi shuifa* no se menciona el empleo de bombas de tornillo de Arquímedes para el drenaje de minas, se ha especulado que su uso en Japón pudo haber sido introducido por misioneros o mineros españoles, junto con otros nuevos métodos de minería durante el siglo XVI. Aunque Iaccarino (2014) ha revisado exhaustivamente el breve período de las relaciones comerciales hispano-japonesas, no hay mucha más información sobre el oro japonés o se pueden encontrar tecnologías de extracción de plata, así como el comercio asociado de mercurio chino-japonés o chino-español (Iwasaki, 1992; Schottenhammer, 2019). Se ha postulado, tal vez de manera demasiado simplista, que la tecnología minera europea moderna se transmitió a Japón a través de misioneros católicos de España o Portugal [Sasaki, 1980, p. 6 citando a F. Coignet (1874) (Nota sobre la riqueza mineral de Japón)], pero no se puede demostrar de manera convincente que el uso de tornillos de Arquímedes para drenar las minas de oro del Sado se debió a los misioneros españoles. Se pueden hacer las siguientes observaciones en apoyo de esta opinión: (i) no se conocían minas en las actuales Filipinas, México,

España o Portugal que emplearan bombas de tornillo de Arquímedes para el drenaje en la segunda mitad del siglo XVI o en la primera mitad del siglo XVI y el siglo XVII; y (ii) la primera bomba de tornillo de Arquímedes en las minas de oro de Sado no se construyó hasta 1637, unos 20 años después de que se prohibiera el contacto con los misioneros católicos. Por lo tanto, lo más probable es que el tornillo de Arquímedes se construyera y adaptara de forma independiente en Japón para fines de drenaje de minas, según la descripción y los planos del *Taixi shuifa*. Aunque prohibido como libro cristiano en Japón después de 1630, las copias impresas y reimpresiones habían llegado a Japón, y los manuscritos circulaban en secreto (Suzuki, 2012). Además, el sorprendente parecido entre los tornillos japoneses y los del *Taixi shuifa* en términos de forma, longitud, diámetro e inclinación sugiere fuertemente un diseño basado en dicho libro y, por tanto, en última instancia, en Vitruvio.

5. REDESCUBRIMIENTO DE LAS BOMBAS DE TORNILLO DE ARQUÍMEDES EN ANTIGUAS MINAS ROMANAS DE ESPAÑA

En la segunda mitad del siglo XIX, muchas antiguas minas romanas de España fueron reactivadas por empresas mineras británicas. Sorprendentemente, en el transcurso de sus investigaciones y operaciones se descubrieron varios tornillos de Arquímedes antiguos, todos ellos en minas de Sierra Morena, en el sur de España. La monumental obra sobre minas antiguas en la Península Ibérica del eminente arqueólogo francés Claude Domergue (Domergue, 1990, Tableau XXIII) enumera seis yacimientos mineros diferentes con en total más de 15 tornillos de Arquímedes encontrados en diversos estados de conservación. Para poner este número en perspectiva, las seis minas representan menos del 1% de las 758 minas antiguas reportadas por Domergue (1990),

de las cuales la mayoría de las 414 minas estaban en Sierra Morena. (Nota: como muchas produjeron más de un metal, ¡el número de minas reportadas es mayor que el número de sitios mineros!)

En su viaje al sur de España minas en 1905, Treptow (1918, p. 181) fue informado sobre tornillos de Arquímedes en una mina de Posadas, Córdoba, con una hélice con lámina de cobre, según escribe Gossé (1942, p. 56) Durante los trabajos de desescombro de una de las galerías, se descubrió una instalación completa de desagüe por medio del tornillo de Arquímedes. Los dibujos reproducidos se hicieron *in situ*, poco después de verificarse el hallazgo.... «Estos tornillos de Arquímedes eran accionados con los pies, gracias a una manigueta de madera. El obrero se colocaba cerca de la pared y podía sostenerse apoyando los brazos sobre unos maderos colocados, por un lado, cerca de la pared, donde los agujeros son todavía muy visibles, y por el otro lado, sobre pies derechos. De este modo estaba cómodamente instalada y podía, a voluntad, actuar con todo el peso del cuerpo para accionar la espiral». No se pudo verificar si los tornillos mencionados por Treptow eran parte de la misma instalación o los descubiertos por Gossé.

Treptow (1918, p. 180-181) también fue informado en 1906 por el ingeniero de minas alemán Pütz que en la mina Tres naciones cerca de Alcaracejos en la provincia de Córdoba se encontraron varios tornillos de Arquímedes. Todos estaban hechos de madera excepto la manivela y el cojinete. Domergue (1990, Cuadro XXIII) identificó esta mina como Las minas de las Morras del Cuzná, que está situada cerca de Alcaracejos.

Además, en 1908: en El Centenillo (Jaén), mina de plomo y plata, se encuentran 5 tornillos.

«En 1908 aparecían en El Centenillo, en el filón Mirador durante la explotación de la planta XI, cinco tornillos de Arquímedes, de los que

tres fueron extraídos, encontrándose uno en excepcional estado de conservación, el cual se conservó y parece que estaba destinado para el Museo Arqueológico Nacional o para la Escuela de Minas. Pero lo cierto fue que dicho traslado no se llegó a producir y se quedó en un almacén que ardió en 1947» (Ayarzagüena Sanz, 2002, en Hill y Sandars, 1911).

Matías Rodríguez (2004, p. 162) añade que

«se descubrieron cinco ejemplares de tornillos de Arquímedes, los cuales se disponían en cadena por debajo del nivel del socavón de D. Francisco, que marcaría el límite de los trabajos mineros y en el que se vertía el agua elevada. Actualmente están todos desaparecidos y solo se conserva una fotografía, un dibujo y la descripción que hizo el geólogo francés G. Tamain de un ejemplar que se conservaba en El Centenillo, en el almacén de la Sociedad Minera y Metalúrgica de Peñarroya, antes de incendiarse» (Tamain, 1966).

La arquitectura minera romana ha dejado huella, muy probablemente, en los arcos interiores de las galerías, los sistemas de entibación por sostenimiento artificial y la canalización de atanores finos; así como en la bocamina o socavón de desagüe de Suerte Alta y el Tornillo de Arquímedes que fue hallado en uno de los pozos mineros de Cerro Muriano antes del año 1927 [es decir antes de su cierre en 1919], con unas dimensiones de 1,50 m. (Boletín Oficial, 2010). Se informó que esos tornillos (más de uno) eran dispositivos extremadamente toscos y muy pequeños. (Palmer 1927).

Según Historias de Mestanza (2016) el hallazgo más sorprendente de Diógenes es un tornillo de Arquímedes que yacía a 170 m de profundidad ca. 1930 (Domergue, 1990, p. 452). Domergue (1967) informa también del hallazgo de un fragmento de un tornillo de Arquímedes alrededor de 1960 a una profundidad de 145 m. No se conoce documentación detallada.

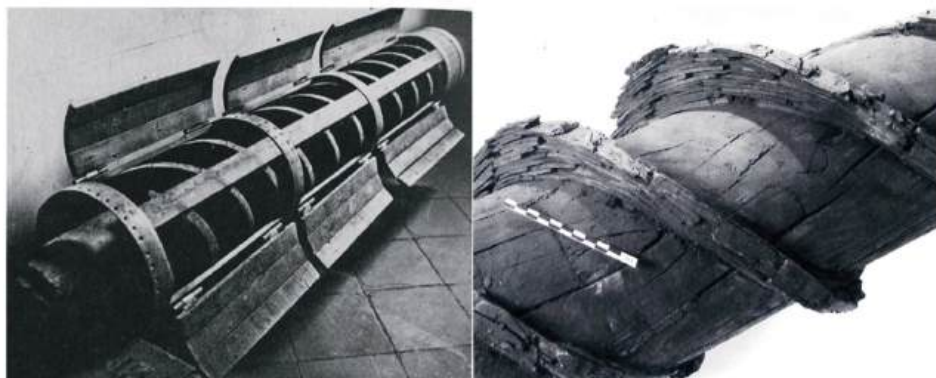


Fig. 14. Tornillos de Arquímedes para elevar agua en la mina de cobre romana de Sotiel Coronada 2, conservado en el Museo del Mundo de Liverpool.
<https://archaeologydataservice.ac.uk> (left); Domergue, Claude (1990), Plate XXI b.

En resumen, excepto la longitud y el diámetro inusualmente cortos del tornillo de Arquímedes encontrado en Cerro Muriano, todos los demás se aproximaban a las dimensiones dadas por Vitruvio. Las inclinaciones variaban según la topografía local entre 170 y 330 m. Todos los tornillos eran de madera, con algunas partes como la manivela y el cojinete de hierro; en un caso la hélice estaba hecha de plomo. Casi 2.000 años después de escribir *De Architectura*, se descubrieron en antiguas minas romanas españolas unas cuantas cócleas que coincidían perfectamente con la descripción de Vitruvio.

6. CONCLUSIÓN

Los usos reales de las bombas de tornillo de Arquímedes para el drenaje de minas sólo se han documentado en la España romana y en el Japón. Debido a la diferencia de más de 1700 años, no podría haberse producido una transferencia directa de tecnología. Sin embargo, el conocimiento sobre la bomba de tornillo de Arquímedes se conservó en manuscritos de la obra *De Architectura* del ingeniero militar romano Vitruvio, y las primeras copias impresas aparecieron en la Europa del

Renacimiento. Los jesuitas llevaron el trabajo de Vitruvio a China e incorporaron su descripción de la bomba de tornillo de Arquímedes en *Taixi shuifa*, el primer tratado chino sobre tecnología hidráulica occidental. A pesar de los estrictos controles de importación, una copia o reimpresión debe haber llegado a Japón. Cuando a finales del siglo XVI los mineros o misioneros españoles introdujeron en Japón nuevas tecnologías occidentales para la extracción y el procesamiento de oro y plata, el drenaje eficiente de las minas se convirtió en una necesidad urgente. Dado que en Japón no se conocían entonces los dispositivos de bombeo mecánico, *Taixi shuifa* se convirtió en la única fuente disponible de información técnica, por lo que la bomba de tornillo de Arquímedes resultó ser el dispositivo más adecuado para las condiciones dadas en las minas de oro de la isla de Sado. Siguiendo las detalladas directrices de fabricación del *Taixi shuifa*, los artesanos japoneses lograron de forma independiente producir un gran número de este tipo de bombas. Aunque, a mediados del siglo XVIII, estas bombas ya no se utilizaban, afortunadamente habían sido pintadas en numerosos rollos de imágenes, de modo que su aplicación desarrollada en Japón se hizo ampliamente conocida. El sorprendente parecido entre los tornillos de agua japoneses y los representados en *Taixi shuifa* apunta claramente a un diseño basado en *Taixi shuifa* y, por tanto, en última instancia, en Vitruvio. Por lo tanto, es realmente sorprendente que durante tantos años y una distancia de casi 20.000 km se haya utilizado el mismo dispositivo de bombeo, a través de un libro en chino escrito por un jesuita en Pekín.

BIBLIOGRAFÍA

Anon (1996) *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano* (The twenty-one books of engineering and machines of

- Juanelo Turriano / transcripción del manuscrito con prólogo de Pedro Laín Entralgo y reflexiones de José Antonio García-Diego). Editado por la Fundación Juanelo Turriano, Ediciones Doce Calles y la Biblioteca Nacional; Madrid.
<http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000099602&page=1>
- Ayazagüena Sanz, Mariano (2002) Horacio Sandars (Londres, 1857-Londres, 1922), Investigador y defensor del patrimonio arqueológico y minero andaluz. Libro de actas del Primer Simposio sobre la Minería y Metalurgia Antigua en el Sudoeste Europeo: Centre d'Arqueologia d'Avinganya, Serós (Segría, Catalunya, España), del 5 al 7 de mayo del 2000, vol. 2, 461-466.
https://www.academia.edu/2175285/Horacio_Sandars_investigador_y_defensor_del_patrimonio_arqueol%C3%B3gico_y_minero_andaluz
- Barbaro, Daniele (1567) *M. Vitruvii Pollionis De architectura libri decem, cum Commentariis Danielis Barbari, electi Patriarchae Aquileiensis. Venetiis: Apud Franciscum Franciscum Senensem, & Joan. Crugher Germanum.*
- Barbaro, Daniele (1584) *I dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio*, tradotto e commentate da Monsig. Daniele Barbaro ... En: Venetia, Appresso Francesco de Franceschi Senese.
- Boletín Oficial de la Junta de Andalucía - *Histórico del BOJA* Boletín número 149 de 30/07/2010
- Castañeda, Joseph (1761) *Compendio de los diez libros de Arquitectura de Vitruvio*. Escrito en Francés Por Claudio Perrault de la Real Academia de las Ciencias de Paris. Traducido al castellano por Don Joseph Castañeda. Gabriel Ramirez, Madrid.
- Ch'oe Han-gi [1834, 1842] (1981) Nongsö. 13. Nongsö: Nongjöng hoeyo 3, Yukhaeböpp, Simgidosöl (農書. 13. 農書: 農政會要 3, 陸海法, 心器圖說) Han'gukhak-Munhön-Yön'guso, ed. Asea Munhwasa, Seoul.

- Cigola, Michela and Fang, Yibing (2016) Traces and echoes of *De Architectura* by Marcus Vitruvius Pollio in the work of Xu Guangqi in 17th century China. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 11(1), 3-13.
- Domergue, Claude (1967) La mine antique de Diógenes (Province de Ciudad Real). *Mélanges de la Casa de Velázquez* [M.C.V.], tome 3, 29-91, see p. 41-43.
https://www.persee.fr/doc/casa_0076-230x_1967_num_3_1_957
- Domergue, Claude (1990) Les Mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine. *Ecole française de Rome*, Rome, p. 450-454, Fig. 39-42.
http://www.persee.fr/web/ouvrages/home/prescript/article/efr_0000-0000_1990_ths_127_1_4085?Prescripts_Search_tabs1=standard&
- Engelfriet, Peter M. (1998) *Euclid in China: the genesis of the first Chinese translation of Euclid's Elements, books I-VI (Jihe yuanben, Beijing, 1607) and its reception up to 1723*. Brill, Leiden, 338-341.
- García-Diego, José A. (1980) El manuscrito atribuido a Juanelo Turriano de la Biblioteca Nacional de Madrid. En: Garma, Santiago (coord.), *(Actas) I Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias. El científico español ante su historia. La ciencia en España entre 1750-1850*. Diputación Provincial de Madrid, Madrid, 449-462.
- García Tapia, Nicolás y José García-Diego (1987) *Vida y Técnica en el Renacimiento: Manuscrito que escribió, en el siglo XVI, Francisco Lobato vecino de Medina del Campo*. Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones, Valladolid.
- Giocondo, Giovanni, O.S.B. (1511) *M. Vitruvius per Iocundum solito castigatior factus cum figuris et tabula ut iam legi et intelligi possit*, Venezia, Giovanni da Tridentino.

- Gossé, G. (1942) Las minas y el arte minero de España en la antigüedad. Ampurias: Revista de Arqueología, Prehistoria y Etnología. Núm. IV, 43-68.
<https://raco.cat/index.php/Empuries/article/view/96999> [Consulta: 19-04-2022].
- Hill, G.F. and Sandars, H.W. [William] (1911) Coins from the neighborhood of a Roman mine in Southern Spain. The Journal of Roman Studies, 1, 100-106.
- Historias de Mestanza (2019) <https://historiademestanza.com/2018/11/25/la-mina-romana-de-diogenes/>
- Iaccarino, Ubalde (2014) Merchants, missionaries and marauders: trade and traffic between Kyushu (Japan) and Luzon (Philippines) in the late sixteenth and early sixteenth centuries. Crossroads, 10, 155-194.
https://www.ostasien-verlag.de/zeitschriften/crossroads/cr/pdf/CR_10_2013_155-194_Iaccarino.pdf
- Iwasaki Cauti, Fernando (1992) Extremo oriente y Perú en el siglo XVI. Editorial MAPFRE, Madrid, Cap. 4. Chincheo y Huancavelica: Azogues para Nueva España (1584-1633), 157-180.
- Juanelo [Turriano] (ca. 1564-1575) *Los Veinte Y Un Libros de los Ingenios, Y Maquinas de Juanelo, los quales le Mando escribir y Demostrar el Chatolico Rei D. Felipe Segundo Rey de las Hespañas y Nuevo Mundo*. Manuscript.
<http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000099602&page=1>
- Jiménez Muñoz, Carlos; Martínez de Azagra Paredes, Andrés; y García Tapia, Nicolás (2015). Los móviles perpetuos en el manuscrito de Francisco Lobato (siglo XVI). En: González Redondo, F.A. (coord.) Ciencia y Técnica entre la Paz y la Guerra. 1714, 1814, 1914. Volumen II. Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (SEHCYT), Madrid, 1133-1140.

- Koenig, A. (2014) Western books on hydraulics in the historic Beitang Library of the Jesuits in Beijing, China (1583-1773). *E-Proceedings, IWA Regional Symposium on Water, Wastewater and Environment: Traditions and Culture*. March 22-24, 2014. Patras, Greece, 251-264.
- Koenig, A. (2020a) *Introduction of the Archimedean screw pump to East Asia during the seventeenth and eighteenth centuries*. Chinese Annals of History of Science and Technology [Zhongguo kexue jishushi 中国科学技术史], 4(1), 102-138.
- Koenig, Albert (2020b) Crónica de tierras extranjeras (職方外紀: Zhi-fang Waiji) de Giulio Aleni, S. J. (1582-1649) y la introducción de obras hidráulicas occidentales en China. Encuentros en Catay, n° 33. Ediciones Catay, Taichung, Taiwan, 60-85.
- Krinsky, Carol Herselle (1967) Seventy-eight Vitruvius manuscripts. *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, 30, 36-70.
- Lentzsch, Susann (2018) Die japanische Bildrolle mit Bergbaudarstellungen des Stadt- und Bergbaumuseums Freiberg. En: *Mitteilungen des Freiburger Altertumsvereins*, 111/112, 129-163.
- López, Juan (1787) *Libro tercero de la Geografía de Estrabon, que comprehende un tratado sobre España antigua*. Traducido del latín por Don Juan Lopez, Geografo Pensionista de S. M. Individuo de la Real Academia de Buenas Letras de Sevilla, y de las Sociedades Vascongadas y de Asturias, Madrid: Viuda de Ibarra, hijos y compañía. https://books.google.com.tw/books?id=oaqD1_unZw0C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Mathias, Regine (2013) Picture scrolls as historical source in Japanese mining. En: Nanny Kim and Keiko Nagase-Reimer, eds. *Mining, moneys, and culture in early modern societies: East Asian and global perspectives*. Brill, Leiden, 291-310.

- Matías Rodríguez, Roberto (2004) Ingeniería minera Romana. In: Elementos de ingeniería Romana. Congreso Europeo Obras Publicas Romanas, 3-6 Noviembre, Tarragona, p. 157-190, here p. 168.
http://www.traianvs.net/pdfs/2004_07_matias.pdf
- Nagase-Reimer (2013) Water drainage in the mines of Tokugawa Japan: Technological improvements and economic limitations. En: Nanny Kim and Keiko Nagase-Reimer, eds. *Mining, moneys, and culture in early modern societies: East Asian and global perspectives*. Brill, Leiden, 25-42.
- Oba, Osamu (1996) Sino-Japanese relations in the Edo period (Part Three: The discovery of banned books). Transl. Joshua Fogel. *Sino-Japanese Studies*, 9(1), 56-74.
- Palmer, R. E. (1927) Notes on some ancient mining equipments and systems. *Transactions Institution of Mining and Metallurgy (TIMM)*, Vol. XXXVI, Cleveland House, London, 299-336.
- Perrault, Claude (1673) *Les dix livres d'architecture de Vitruve, corrigez et traduits nouvellement en françois avec des notes et des figures*, Paris, Jean-Baptiste Coignard.
- Reti, Ladislao (1967) The Codex of Juanelo Turriano (1500-1585). *Technology and Culture*, 8(1), 53-66).
- Ramelli, A. (1588) *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli ... , composte in lingua Italiana et Francese*. A Parigi in casa del'autore [Paris].
- Sasaki, Junnosuke (1980) *Modes of traditional mining techniques*. The United Nations University, Tokyo.
https://d-arch.ide.go.jp/je_archive/pdf/workingpaper/je_unu24.pdf
- Schottenhammer, Angela (2019) Trans-Pacific connections: contraband mercury trade in the sixteenth to early eighteenth centuries. En: *Picturing Commerce in and from the East Asian Maritime Circuits, 1550-*

- 1800: *Visual and Material Culture, 1300-1700*, Tamara H. Bentley, ed. Amsterdam: Amsterdam University Press, pp. 159-194.
- Soto Artuñedo, Wenceslao, SJ (2018) El P. Diego de Pantoja en la *Chrono-historia* de Bartolomé Alcázar [Chrono-historia de la Provincia de Toledo de la Compañía de Jesús, por el R.P. Alcázar de la misma Compañía. 1586-1590. Capítulo IV]. En: Diego de Pantoja, SJ (1571-1618). Un puente con la China de los Ming, Wenceslao Soto Artuñedo SJ (Coord.). Xerión, Aranjuez, pp. 65-148, ver p. 134.
https://www.academia.edu/37352663/Diego_de_Pantoja_SJ_1571-1618._Un_puente_con_la_China_de_los_Ming
- Sugimoto, Masayoshi and Swain, David L. (1978) *Science and culture in traditional Japan. A.D. 600-1854*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 187.
- Suzuki, Takeo (2012) Transmission and propagation of the forbidden Christian book *Taixi Shuifā* during the isolation Japans [in Japanese]. *Sûri kaiseki kenkyûsho kôkyûroku*, vol. 1787, 2012, pp. 116-126.
<https://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~kyodo/kokyuroku/contents/pdf/1787-09.pdf>
- Tamain, Guy (1966) Las minas antiguas de El Centenillo (Jaen). *Ore-tania*, 8(23-24), 286-303.
- Todd, Hamish (1998) The British Library's Sado Mining Scrolls. *British Library Journal*, 24(1), 130-143.
- Treptow, Emil (1918) Der älteste Bergbau und seine Hilfsmittel. En: Matschoss, Conrad, ed., Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie: Jahrbuch des Vereines Deutscher Ingenieure, Band 8. VDI-Verlag, Berlin, 155-191.
- Urrea, Miguel de (1582) *M. Vitruuio Pollion de Architectura: diuidido en diez libros*. Impresso en Alcala de Henares: por Iuan Gracian.
<http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000085157&page=1>

- Velasco, Lázaro de (c.1554-1564) *Los diez libros de arquitectura de Marco Vitruvio romano traducido en castellano por un matematico* [Lázaro de Velasco]. [s.l.], Manuscrito Mss/2, Biblioteca Público del Estado, Cáceres.
- Verhaeren, Hubert (1949) *Catalogue de la Bibliotheque du Pe-t'ang*. Imprimerie des Lazaristes, Pekin.
- Winkelmann, Heinrich (1964) *Altjapanischer Goldbergbau und Hüttenbetrieb auf Sado. Handkolorierte Reproduktionen nach einem Bildwerk in der Bibliothek des Deutschen Museums in München*. Eisenhütte Westfalia, Wechthin/Lünen.
- Zanetti, Christiano (2019) Los veinte y un libros de los ingenios, y maquinas de Juanelo. En: *Sueño e ingenio. Libros de ingeniería civil en España: del renacimiento a las luces*. Fundación Juanelo Turriano, Madrid, 211-216. https://issuu.com/juaneloturriano/docs/sue_o_e_ingenio-baja_res