

## El ingenio mecánico de Torriani para el abastecimiento de agua a Toledo

María Gloria del Río-Cidoncha  
Juan Martínez-Palacios  
Lucas González-Conde

Universidad de Sevilla, España

*La ciudad de Toledo, en España, se encuentra situada sobre un escarpado peñón, rodeado casi en su totalidad por el río Tajo. En la primera mitad del siglo XVI, coincidiendo con el reinado de Carlos I de España y V de Alemania, se convierte en capital del Imperio Español. Por estas fechas, el suministro de agua a la ciudad se realiza por medio de asnos que la suben a lomos desde el cauce del río hasta los depósitos de distribución, superando un desnivel de unos cien metros. Diversos intentos, basados en las tecnologías más avanzadas de la época, fracasaron. En 1565 se encargó la construcción de una máquina para este menester al italiano Giovanni Torriani (Juanelo Turriano), relojero, matemático y fabricante de artificios, que vino a España de la mano del emperador. El ingenio mecánico capaz de subir el agua a presión atmosférica estuvo funcionando sin interrupción y de forma satisfactoria hasta mediados del siglo XVII, pero la falta de mantenimiento y el robo de piezas obligaron a volver al primitivo procedimiento de utilizar cántaros a lomos de borricos. En este artículo se resumen las investigaciones realizadas para la documentación y reconstrucción virtual del Artificio de Juanelo, sintetizando las diversas teorías que todavía conviven; venciendo las incongruencias e indefiniciones, que quedan de manifiesto cuando se trata de animar o simular el funcionamiento del mecanismo, que previamente se ha diseñado de forma virtual. Para el modelado y la animación se ha utilizado la potencia que proporciona el software Computer Aided Three Dimensional Interactive Application (CATIA V5).*

**Palabras clave:** animación, arqueología industrial, CATIA, investigación histórica, modelado geométrico, recreación virtual, simulación.

### Introducción

En este trabajo se sintetizan las investigaciones realizadas para determinar cómo fue en la realidad el Artificio de Juanelo Turriano, destinado a la elevación de agua desde el río Tajo hasta la ciudad de Toledo, en España. La utilización de las últimas técnicas de modelado sólido y simulación de movimientos permiten validar las hipótesis históricas, que fueron recuperadas y estudiadas, y la revisión detallada que se ha realizado de las investigaciones anteriores acerca de este tema, detectando incongruencias o indefiniciones en los planos, obligado como se está por la necesidad de que el sistema virtual que se crea funcione correctamente.

En primer lugar se revisan los ingenios conocidos hasta ese momento de la historia para la elevación de agua y se presenta la biografía de Juanelo. Después se repasan cronológicamente las diferentes teorías que sobre el diseño del ingenio se conocen. Por último se presenta, de forma muy breve, la reconstrucción virtual que se ha hecho del artificio, apoyándose en técnicas de CAD.

### Ingenios predecesores para la elevación de agua

La construcción del artificio en Toledo causó una gran expectación, siendo visitado por personajes tan relevantes como don Juan de Austria. Hasta entonces

nada parecido se había hecho en el mundo, puesto que la mayor elevación previamente realizada era la de Augsburgo (Alemania): una torre de menos de cuarenta metros y que a la vista de descripciones de la época utilizaba tornillos de Arquímedes para elevar el agua de nivel. Estos tornillos sin fin, mostrados en la ilustración 1a, son un tipo especial de máquinas volumétricas, consistentes en un tubo enrollado en espiral alrededor de un eje. Un extremo se sitúa por debajo del nivel del agua, que al girar sobre sí mismo con una cierta inclinación, permite ascender el agua por su interior y fluir por el extremo situado a un nivel más elevado.

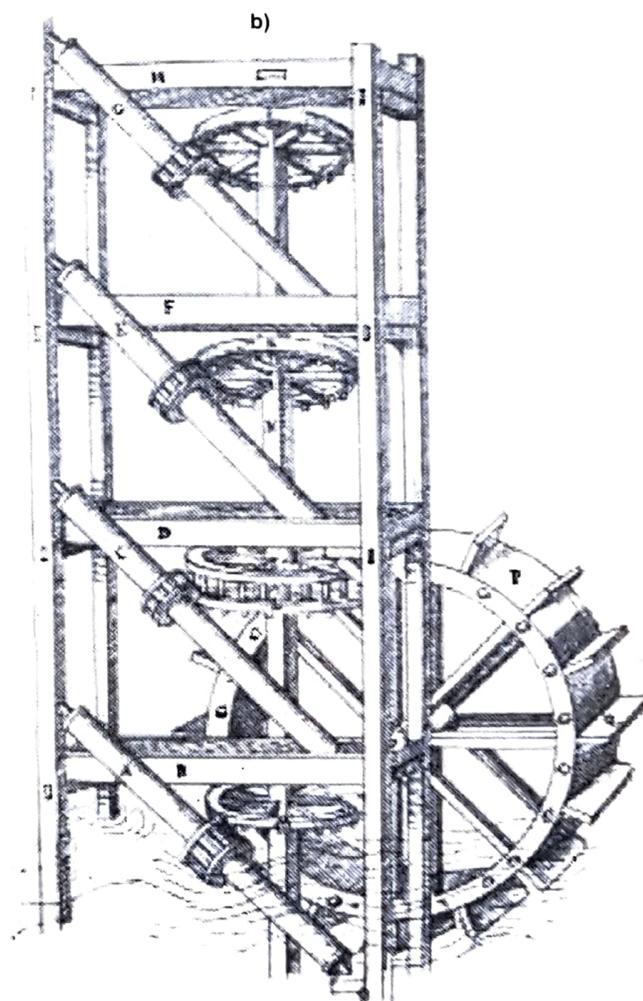
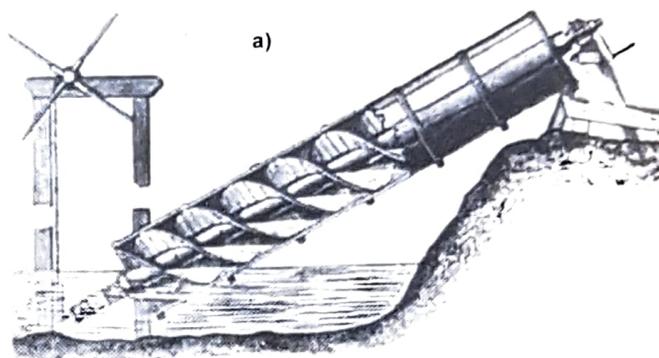
En muchas ocasiones, como puede observarse en la ilustración 1b, el movimiento de giro era proporcionado mediante una rueda o noria con la cual engranaban, las cuales aprovechaban la energía de una azuca o de un río que las hacía girar, para conseguir un movimiento primario. Además, estas norias también podían elevar el agua por sí mismas, al incorporar unas vasijas o recipientes alrededor de su circunferencia exterior y girar alrededor de su eje, que apoyaba en dos columnas fijadas en el cauce del río. Al dar la rueda una vuelta completa, cada vasija se llenaría abajo y se vaciaría en la parte alta de la noria. Valgan como ejemplo las Grúas de El Carpio, construidas entre 1561 y 1563 a orillas del Guadalquivir, y que estuvieron funcionando durante más de trescientos años, elevando el agua para uso de riego.

Esta idea de que el agua podía dar movimiento y ser elevada por una rueda fue propuesta por Arquímedes en el siglo III a.C. (Siculus, 1939), época en la que Ctesibio, ingeniero y matemático alejandrino, ideó y construyó la bomba impelente, descrita años más tarde por Vitrubio, en su obra *Los diez libros de Arquitectura*, libro X, capítulo VII (Vitruvius, 1960). Además de la máquina ctesibica, como él la llama, en este libro X, en el capítulo cuarto, Vitrubio habla de máquinas para elevar agua, donde clasifica ciertos elementos ideados para extraer agua y describe su construcción, al igual que lo hace acerca de las norias y ruedas fluviales en el capítulo V (ver ilustración 2).

Por último, en el capítulo VI, Vitrubio describe la construcción de una cóclea para elevar agua, o lo que es lo mismo, un tornillo de Arquímedes.

Según la opinión de varios historiadores, Juanelo tuvo la opción de tomar esas bombas como solución al problema de abastecimiento de agua en la ciudad de Toledo. Eran bien conocidas por él, tanto las de aspiración, en las que la elevación de agua se producía únicamente por la presión atmosférica, como las impelentes, en las que se producía una elevación por aspiración y otra por impulsión. La elevación producida

**Ilustraciones 1a y 1b. Tornillo de Arquímedes y Cóclea.**  
Extraído de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas*.



por la presión atmosférica sólo podía alcanzar una altura de diez metros, mientras que la elevación por impulsión estaba limitada por la resistencia del material y, cómo no, por el coste de conseguir unos materiales resistentes,

Ilustración 2. Configuración de noria para elevar agua. Extraído de Ramelli (1994).

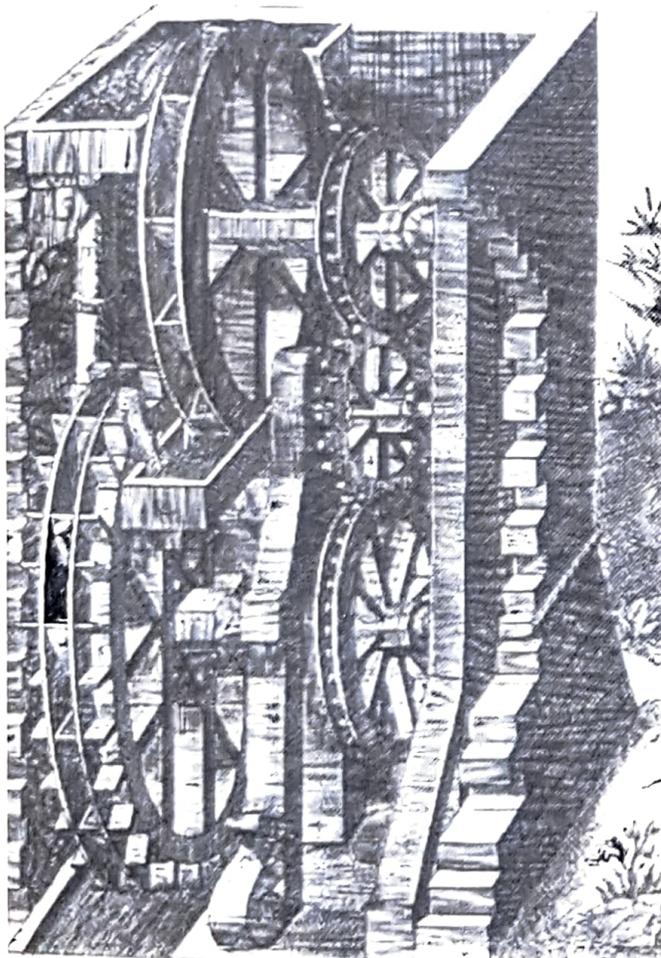
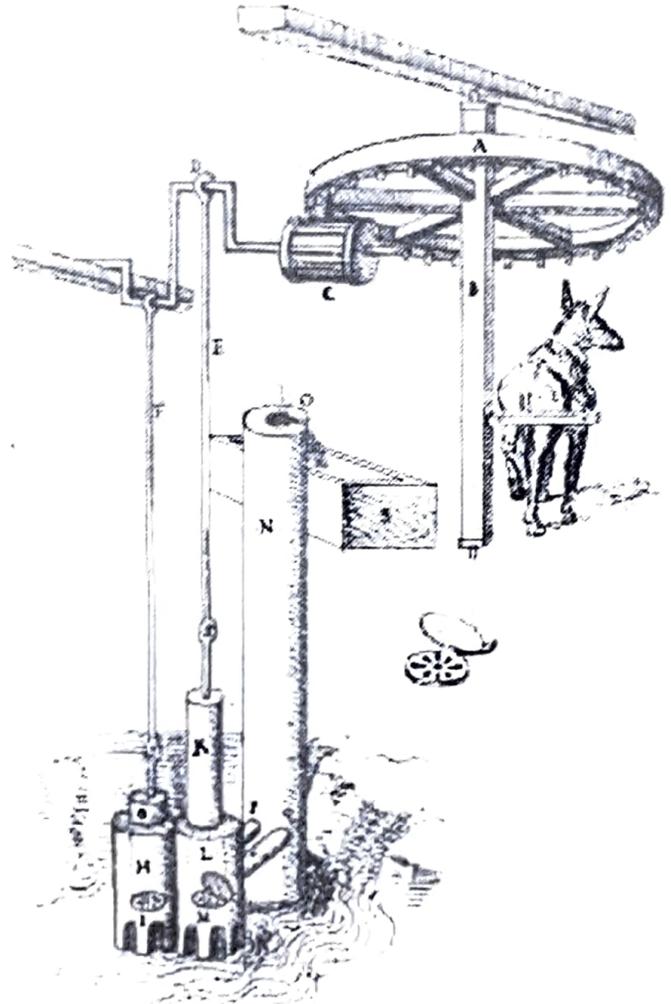


Ilustración 3. Bomba impelente de dos cuerpos. Extraído de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas*.



que aguantasen la presión derivada del desnivel que se pretendía vencer.

La ilustración 3 presenta una copia de la bomba impelente de dos cuerpos incluida en el libro XIII de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas*, atribuido al propio Juanelo (anónimo del siglo XVI, 1999). En ella se pueden distinguir los elementos que describía Vitrubio en su obra.

Ya que Juanelo en un principio tendría que costearse la construcción de su artificio y además no creía en la capacidad de los materiales para aguantar la presión que se derivaba del desnivel entre el cauce del Tajo y el Alcázar como para optar por las bombas, se decidió por la creación de una máquina nueva, de invención propia, en la que la elevación del agua se produciría a presión atmosférica.

### Juanelo Turriano. Reseña histórica

Conozcamos al autor, antes de abordar su obra. Giovanni Torriani nació en Cremota (Lombardía) alrededor del año 1500. Llegó a España de la mano del emperador Carlos V en 1530, donde ejercía las funciones de relojero de la Corte. De esta etapa se recuerda su restauración del reloj planetario de Giovanni Dondi y la construcción del famoso reloj astronómico Cristalino. También destacó como ingeniero, matemático y fabricante de mecanismos, gozando tanto del favor del monarca, que lo acompañó en su retiro del monasterio español de Yuste en Cáceres (Enríquez de Salamanca, 1992).

Tras la muerte de su padre, Felipe II no quiso prescindir de su servicio y le nombró Matemático Mayor, participando en esta época en la reforma del

calendario actual mientras estuvo prestado al servicio del Papa Gregorio XIII. Durante su estancia en España, las aportaciones de Juanelo Turriano al patrimonio del Imperio fueron numerosas: construcción de la presa del pantano de Tibi, en Alicante, la más alta del mundo durante casi trescientos años; diseño de las campanas, durante la edificación de El Escorial, de la mano de su amigo Juan de Herrera; construcción también de molinos, relojes y varios autómatas (danzarines, guerreros, pájaros voladores, etcétera), entre otras obras.

Pero su gran creación fue la máquina hidráulica para surtir de agua del Tajo a la ciudad de Toledo. El encargo fue hecho en 1565 por el Marqués de Vasto y subiría a los depósitos situados bajo el Alcázar la cantidad permanente de *mil seiscientos cántaros de a cuatro azumbre de agua*, unos 12 400 litros diarios, con un plazo de ejecución de tres años. Juanelo cumplió su parte del contrato y el mecanismo funcionaba a pleno rendimiento, en plazo, y superando las previsiones iniciales, al llegar hasta los 17 000 litros. Sin embargo, la ciudad no le pagó, con la excusa de que el caudal completo quedaba para uso exclusivo del Palacio Real, en donde era almacenado. Arruinado, tras costear además de su bolsillo el mantenimiento del artificio durante seis años, se llega a un acuerdo para construir un segundo, sufragado por la Corona, que quedaría en poder de Juanelo y sus herederos. Se terminó en 1581. Aunque el rey cumplió con su deuda, no así la ciudad, por lo que no pudiendo costear su mantenimiento, se vio obligado a renunciar a él, lo que sin duda contribuyó a su muerte, el 13 de junio de 1585.

El complejo mecanismo de los artificios dificultó su conservación; ambos funcionaron durante más de cuarenta años, hasta mediados del siglo XVII, cuando se procedió a desmontar el primer ingenio y se dejó al segundo como icono de la ciudad, debido al entusiasmo y admiración que había levantado en tantas personas del mundo. Poco a poco, con el paso del tiempo y debido al constante robo de piezas, fueron desapareciendo los restos de los artificios, hasta el punto de que nada queda en Toledo de los ingenios.

### **Reconstrucción del artificio de Juanelo**

Pero, ¿cómo eran estas máquinas que causaban tanta admiración? ¿Cómo funcionaban? Responder a esas cuestiones cuando el único legado de los ingenios había sido el elogio de escritores, viajeros y demás contemporáneos de Juanelo, sin haberse encontrado plano o dibujo alguno que los represente, se convierte en una ardua y complicada tarea. De entre todos esos documentos destacan tres fundamentalmente, aparte de

antiguos inventarios que se realizaron sobre los ingenios y que han sido encontrados en importantes bibliotecas nacionales. El primer y quizás más importante de los tres pertenece al humanista y amigo de Juanelo, Ambrosio de Morales (Morales, 1985), que no vio los artificios, pero sí la pequeña maqueta que Juanelo construyó para convencer al pueblo de la validez de su idea. En él están basadas las dos teorías que hoy día existen acerca del funcionamiento de los artificios. La descripción que hace de las máquinas versa del siguiente modo:

"...La suma de esta invención es anexar o engoznar unos maderos pequeños en cruz por enmedio y por los extremos de la manera que en Roberto Valturio está una máquina para levantar un hombre en alto. Estando todo el trecho así encadenado, al moverse los dos primeros maderos junto al río se mueven todos los demás hasta el Alcázar con gran sosiego y suavidad, cual para la perpetuidad de la máquina convenía... Mas lo que es más maravilloso es haber encajado y engoznado en este movimiento de la madera unos caños largos del mismo metal a los cabos, los cuales subiendo y abajando con el movimiento de la madera, al bajar el uno va lleno y el otro vacío, y juntándose por este lado ambos, están quedos todo el tiempo que es menester para que el lleno derrame en el vacío. En acabando de hacerse esto, el lleno se levanta para derramar por el caño en el vacío, y el que derramó ya y quedó vacío se levanta para bajarse y juntarse con el lleno de atrás, que también se baja para henchirle. Así los dos vasos de un caño están alguna vez vacíos, teniendo sus dos colaterales un vaso lleno, yéndose mudando así, que el que tuvo un vaso lleno queda vacío del todo, y el vacío del todo tuvo luego un vaso lleno, y siempre entre dos llenos hay un caño con dos vasos vacíos..."

Basado en este texto, el Ingeniero de Minas don Luis de la Escosura y Morrogh (Escosura, 1888) se convirtió en la primera persona que se enfrentaba al reto que suponía dar una explicación al funcionamiento de los ingenios de Toledo. Interpretar la descripción de Morales sin ilustración alguna resulta muy complicado, por lo que Escosura se dedicó a buscar algún dibujo que le ayudase a comprender aquel escrito y comenta en sus conclusiones:

"...lo que con diligencia y trabajo no pude conseguir, me lo proporcionó la casualidad, examinando un libro rarísimo... El título de la obra es el siguiente: *Le diverse et artificiose Machine del Capitano Agostino Ramelli*...Quiso la casualidad que yo abriese este libro por la lámina correspondiente al capítulo XCV, que

representa una máquina para elevar agua, en la que inmediatamente reconoció el artificio de Juanelo que describe Morales...”

En la ilustración 4 se observa la lámina en la que Escosura vio reflejado el artificio de Juanelo, aunque aceptaba algunas diferencias con la descripción que hacía Morales. Concretamente, el amigo de Juanelo comentaba en un párrafo por separado, titulado “Particularidades maravillosas del Aqueducto”:

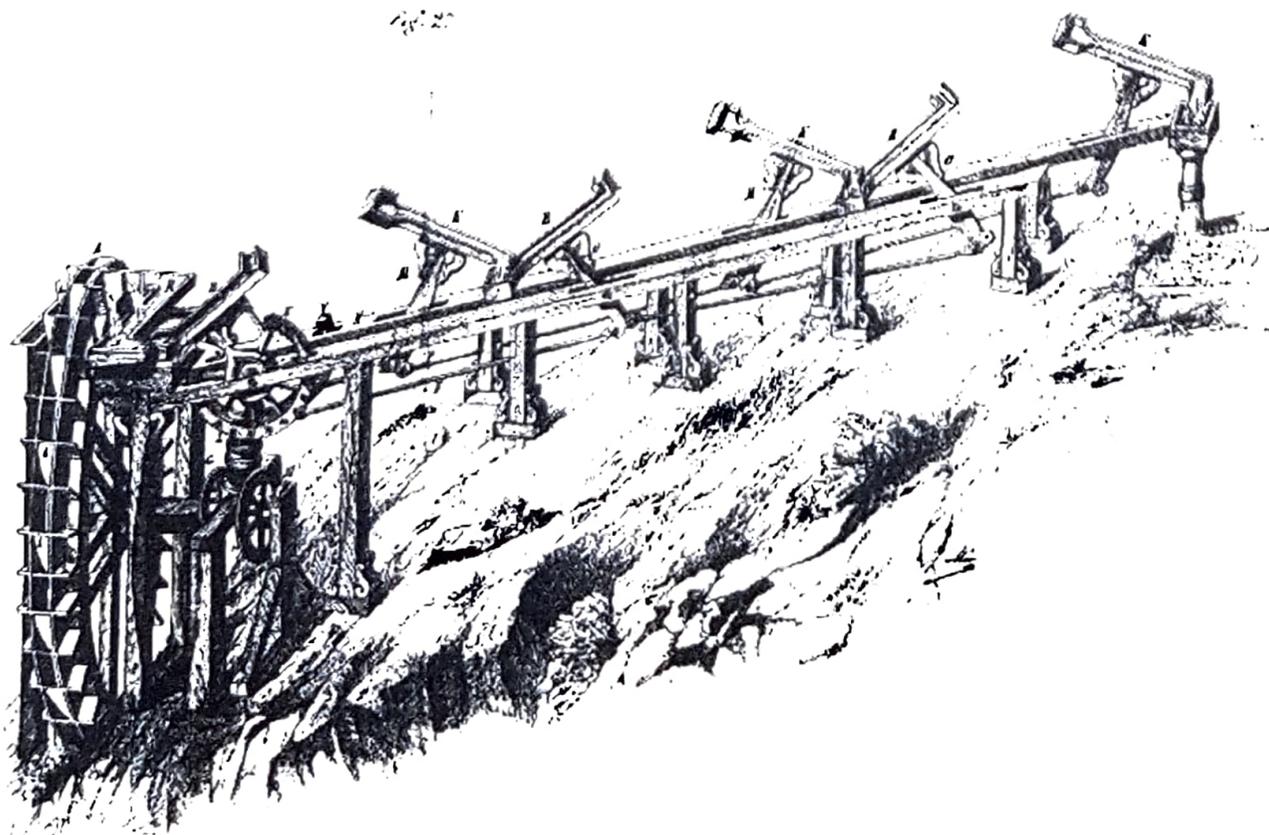
“...la forma de la cadena y de los arcaduces de cobre con que al principio se tomaba el agua del río...”.

Por tanto, para completar su teoría, Escosura consideró una primera elevación realizada mediante una cadena de cangilones movida por una rueda hidráulica, la cual tomaba la fuerza de movimiento de las propias aguas del Tajo, y a continuación una segunda, basada en la disposición propuesta por Ramelli (Ramelli, 1994) en su lámina, de la que suprimía los cangilones de la primera rueda, convirtiéndola únicamente en motriz. Además, sustituía también las cajas y canales por unos vasos y tubos de latón

para dar completo sentido a las palabras de Morales en cuanto a movimientos, pausas y paradas. El último gran escollo para Escosura le supuso tener que dar significado a la escala de Valturio (Valturio, 1535) comentada en la descripción, concluyendo que se correspondía con los tirantes que transmitían el movimiento de vaivén de unos cazos a los otros, a los cuales sustituirían en la lámina de Ramelli. De este modo fue como Luis de la Escosura y Morrogh quedó convencido de haber encontrado respuesta al misterio de los artificios de Juanelo. La idea pues, se corresponde con un sistema de plano inclinado, de pendiente continua, a través del cual se elevaba el agua desde el río Tajo hasta el Alcázar y constituye la primera de las dos teorías vigentes acerca del funcionamiento de las máquinas.

La segunda fue ideada por don Ladislao Reti (Reti, 1967), conocido como el gran investigador de la técnica, y quien, interesado e intrigado por el tema, estudió los escritos de Escosura y los de un ingeniero alemán llamado Theodor Beck (Beck, 1900), el cual había aceptado y desarrollado un poco más la teoría del propio Escosura. Pronto le surgieron dudas y problemas acerca de la reconstrucción que planteaban, por lo que decidió

**Ilustración 4. Lámina 95 del libro de Ramelli, que representa una máquina para elevar agua de un río.**



hacer un estudio más crítico de la aceptada interpretación del funcionamiento y de la historia de su creador, a lo que siguió una intensa búsqueda en diversos archivos y grandes bibliotecas. Con ello comprobó rápidamente que las noticias recogidas por Escosura estaban lejos de representar toda la información histórica que había quedado del artificio y del propio Juanelo. Expuso el resultado de su investigación en una conferencia pronunciada en Toledo el 15 de junio de 1967, en donde contó con una maqueta construida por el artesano don Juan Luis Peces Ventas, en las que quedaron plasmadas todas las conclusiones a las que llegó y las cuales pueden verse reflejadas en el esquema de la ilustración 5.

Según Reti, en primer lugar existió una presa en el Tajo desde la que partían dos canales por donde el agua era conducida a unas ruedas hidráulicas que movían el artificio; una, concretamente, daba movimiento a una cadena de cucharas, de cuya existencia en el mecanismo ya habló Escosura, y el otro hacía lo mismo con la rueda motriz del artificio propiamente dicho. En cambio, esta segunda elevación es la raíz de la diferencia entre ambas teorías, ya que Reti no aceptó la lámina de Ramelli que tanto ayudó a Escosura a desvelar la incógnita de los ingenios de Toledo, sino otra, concretamente la siguiente en orden de aparición del mismo libro de Ramelli y expuesta en la ilustración 6.

Por tanto, la teoría de Reti sobre el artificio de Juanelo consiste en un sistema vertical, inspirado en

estos torreones de cucharones que elevaban el agua de forma escalonada: el agua ascendía a lo largo de la torre gracias al movimiento de vaivén de las cucharas, para luego ser transportada mediante conducciones de latón de una torre a la siguiente. Para secundar su teoría, Reti contó con varios grabados de la época que reflejaban esa elevación realizada de forma escalonada, con varios inventarios de la época que pudo encontrar en las búsquedas realizadas en diversas bibliotecas y además con un documento fundamental para él, que describía de esa forma el funcionamiento de las máquinas de Toledo. El escrito fue realizado por un viajero de la época llamado sir Kenelm Digby (Digby, 1845), quien vio los artificios funcionando y apuntaba:

"...Y así los dos lados de la máquina eran como dos piernas que pisaban por turnos el agua..."

Por todo ello, ésta es la teoría más aceptada en la actualidad, más aún si cabe después de la aparición del tercer escrito más importante en toda la investigación acerca del enigma de las máquinas de Toledo, el *Itinerario hispánico del Chantre de Évora*, publicado en 1604 por Manuel Severim de Faria (ver ilustración 7). El hallazgo de este documento, publicado en 1986 en la *Revista de Estudios Extremeños* (Cortés, 1986), supone reforzar la teoría de Reti, ya que describe un artificio que iba subiendo el agua a presión atmosférica de forma escalonada por medio de torretas de cazos que permitían adaptarse a las

**Ilustración 5. Esquema según Ladislao Reti del artificio de Juanelo.**

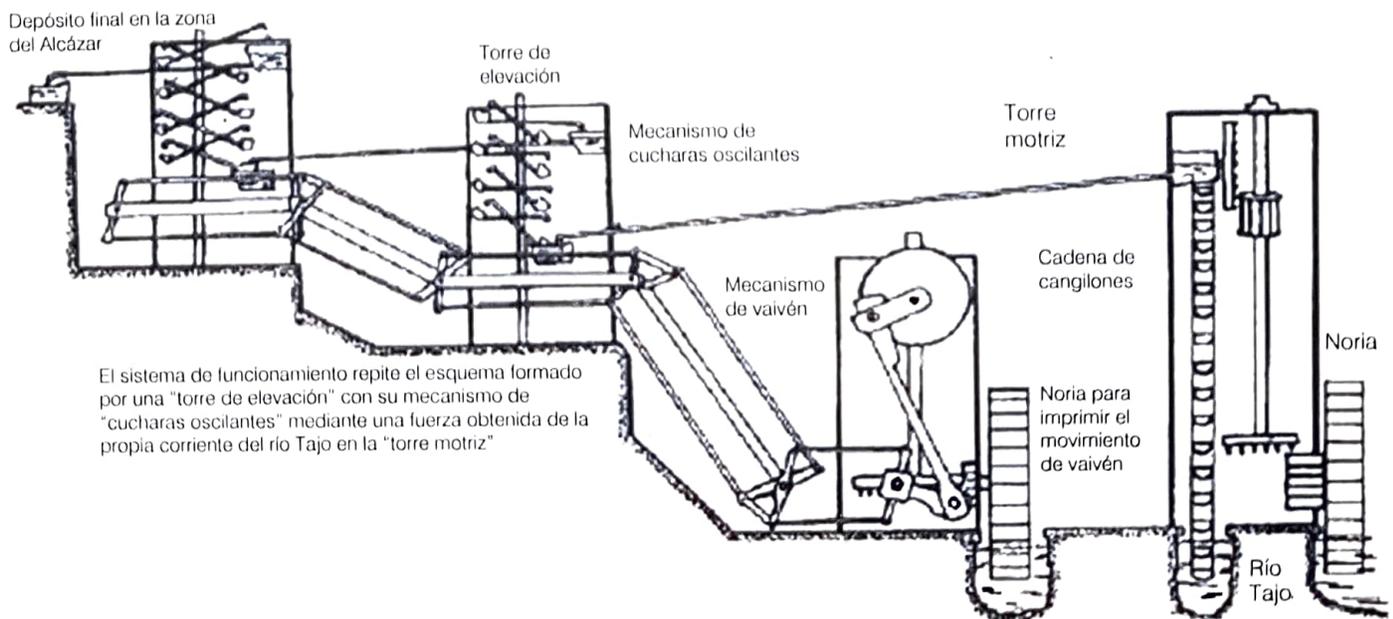
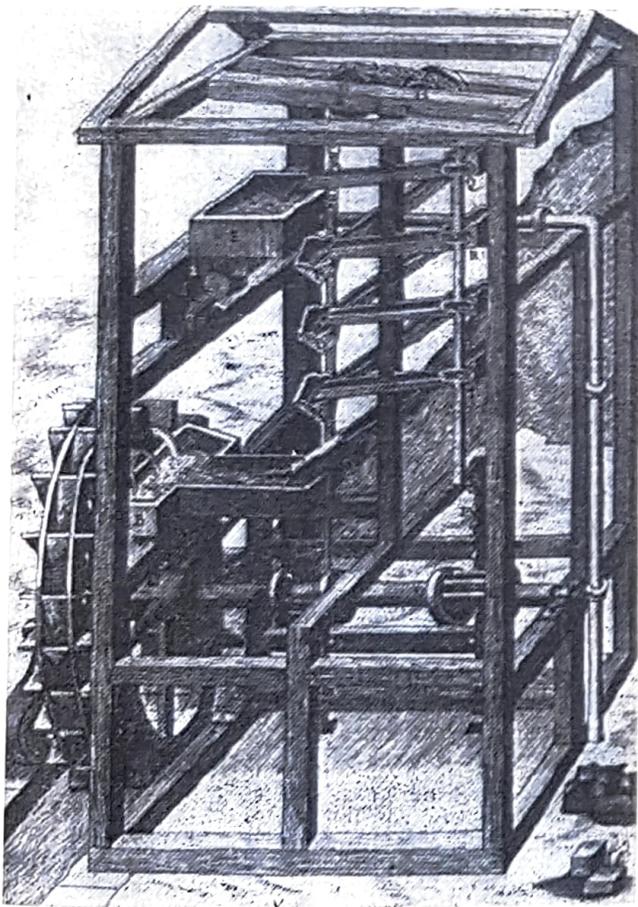
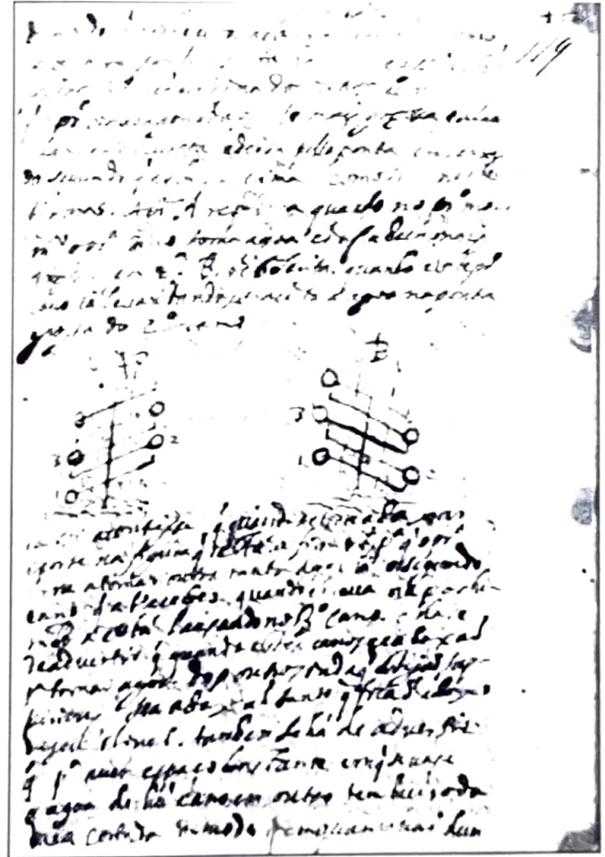


Ilustración 6. Lámina del libro de Ramelli aceptada por Reti.



Ilustraciones 7a y 7b. Tercer escrito e imagen ampliada del dibujo que incluye.

a)

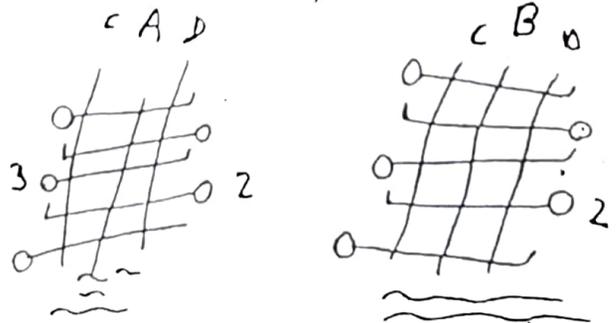


irregularidades del terreno. Incluso el documento aporta los únicos dibujos existentes hasta el momento realizados por alguien que vio funcionando los ingenios.

### Modelado y animación del artificio

Se ha realizado el modelado del artificio de Juanelo basado en los diseños aportados por la Fundación Juanelo Turriano, correspondientes al Proyecto de Reconstrucción Parcial del Artificio de Juanelo, elaborado por su fundador, el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, y discípulo de Reti, don José Antonio García-Diego (Fundación Juanelo Turriano, 1989), el cual nunca se llevó a cabo y que, claro está, se basa en la teoría vertical. La elección de esta solución se ha hecho con base en dos razones: es la teoría más conocida y divulgada, además de la más completa y desarrollada, por cuanto dispone de planos que han servido de base para la reconstrucción virtual. El modelado sólido ha sido hecho gracias a la potencia que proporciona el programa CATIA en su *release 5* (Del Río et al., 2007), en sus

b)



módulos de generación de piezas y de conjuntos, que incluso permiten animar el modelo y verlo en movimiento. Las mayores dificultades se encontraron en la cantidad de indefiniciones que contenían los citados planos, por lo que se tuvo que recurrir a otros esquemas, imágenes e incluso a la maqueta de Reti expuesta en la Diputación de Toledo, para dar solución a dichos inconvenientes. Con esto no se pretende, ni mucho menos, desmerecer

el trabajo realizado por el equipo de García-Diego, todo lo contrario, merece un gran reconocimiento y agradecimiento, ya que los medios y la situación de la representación gráfica en aquellos años, 1975, no permitían, como hoy día, gracias a las herramientas de simulación y realidad virtual disponibles, la verificación y revisión del funcionamiento de los diseños.

A continuación se describen los esquemas generales de las dos elevaciones que componen el artificio y que han servido para el modelado del ingenio completo.

La primera elevación se producía mediante una rueda hidráulica y una cadena de cangilones. En la segunda elevación también existía una rueda hidráulica idéntica a la anterior, pero un sistema de tirantes y forzantes, denominado *Stangenkunst*, se encargaba de mover la torre de cazos y elevar el agua.

La ilustración 8 representa un esquema general de la primera elevación. La rueda hidráulica (ver ilustración 9) actuaba como motor del ingenio y transmitía el movimiento de giro al eje. A través de un sistema de engranajes, formado en concreto por tres parejas, se comunicaba el movimiento a una rueda que elevaba la cadena de cangilones (ilustración 10). Todo el sistema y la rueda en particular eran regulables en altura, podían subir y bajar para adaptarse a los diferentes niveles que alcanzaba el agua del río Tajo. En la ilustración 11 se presenta el modelado de esta primera elevación.

La segunda elevación (ilustración 12) comienza en la parte que no es idéntica a la anterior, en una pieza denominada yugo escocés. Este yugo es el responsable de las paradas en el movimiento de los cazos, para que diese tiempo de verter toda el agua de unos a otros, mientras el movimiento de la rueda era continuo (ilustraciones 13a y 13b). El sistema *Stangenkunst* (ilustración 14) de tirantes y forzantes accionados por medio del yugo comunica a los cazos un movimiento de vaivén. La torre de cazos tomaría el agua de la balsa situada a su pie (alimentada por la primera fase de elevación mediante la cadena de cangilones) y pasando desde el primero hasta el último cazo, la depositaría en otra balsa situada en la parte superior de la torre (ilustración 15). En la ilustración 16 se presenta el modelado de esta segunda elevación.

Por último, en la ilustración 17 se muestra el modelado del ingenio completo.

### Consideraciones finales

La simulación por ordenador y su siguiente escalón, la realidad virtual, facilitan la reconstrucción real de mecanismos, máquinas, edificios, etcétera, permitiéndonos conocer cómo serán o cómo fueron. En este

Ilustración 8. Esquema general de la primera elevación. Plano del proyecto de reconstrucción del equipo de García-Diego.

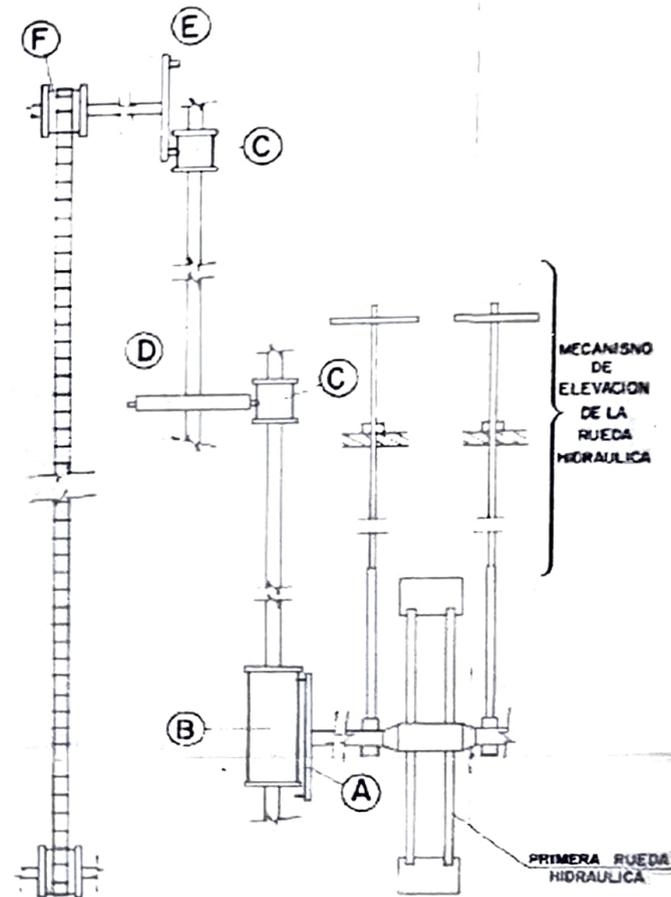


Ilustración 9. Montaje de la rueda hidráulica.

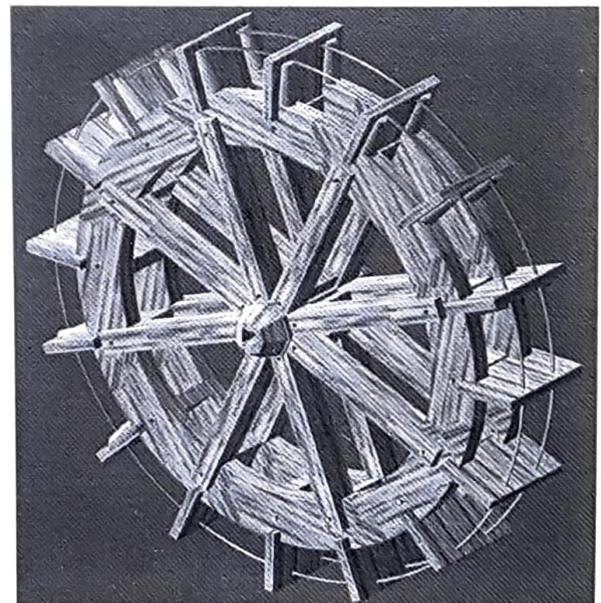


Ilustración 10. Secuencia de eslabones que se repite en la cadena de cangilones.

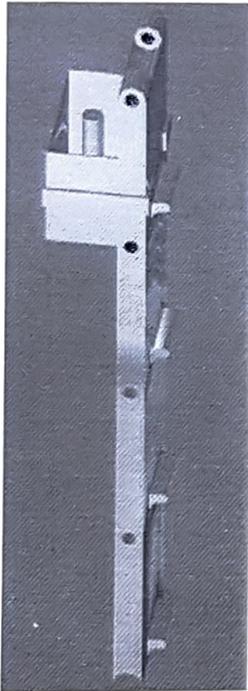


Ilustración 11. Perspectiva del esquema general de la primera elevación.

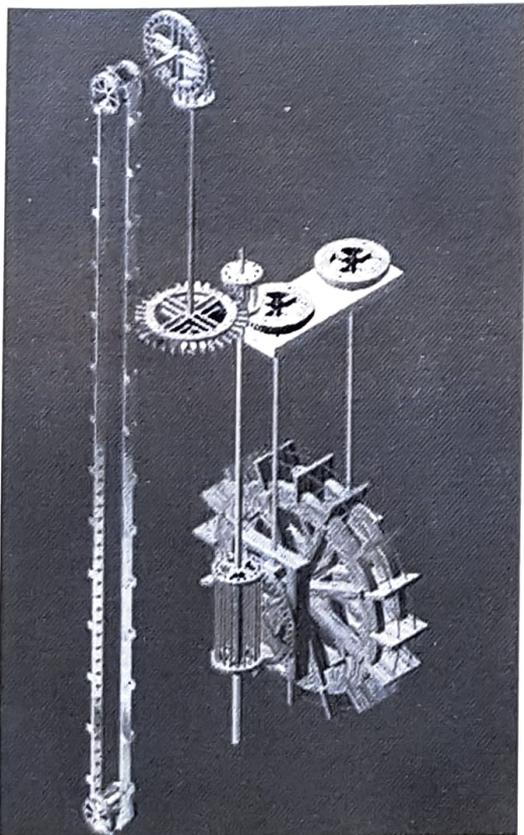


Ilustración 12. Esquema general de la segunda elevación. Plano del proyecto de reconstrucción del equipo de García-Diego.

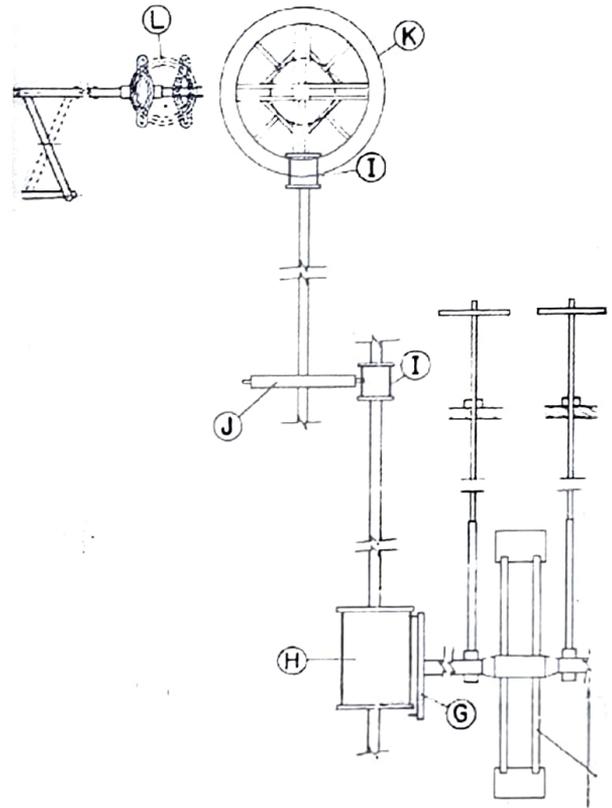
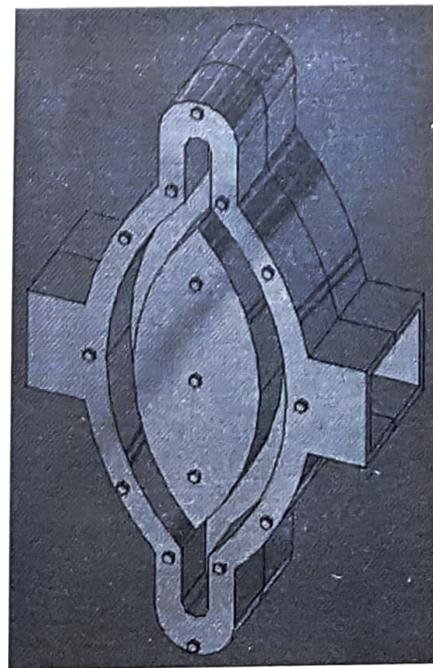
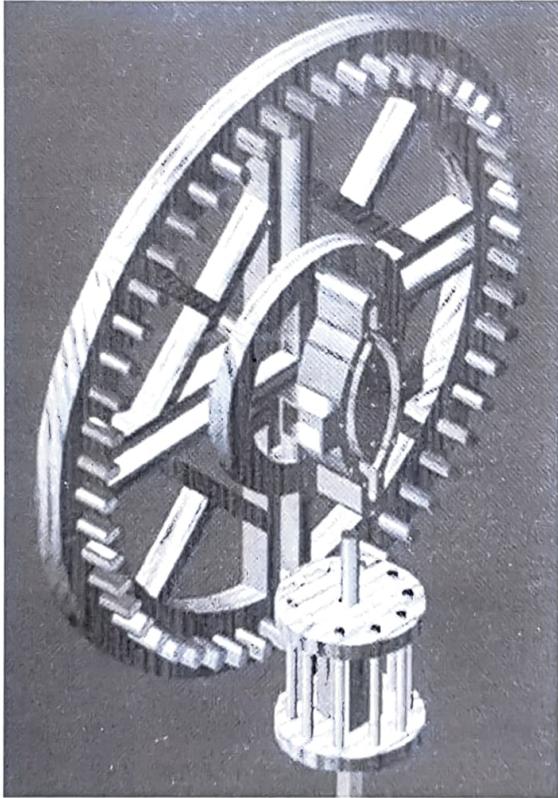


Ilustración 13a. Yugo escocés.



a)

Ilustraciones 13b. Yugo escocés y su acoplamiento a la rueda.



b)

Ilustración 15. Torre de cazos. El modelado se ha realizado con platabandas de acero en lugar de cadenas, para transmitir el movimiento de unos cazos a otros, al igual que en la maqueta de Reti.

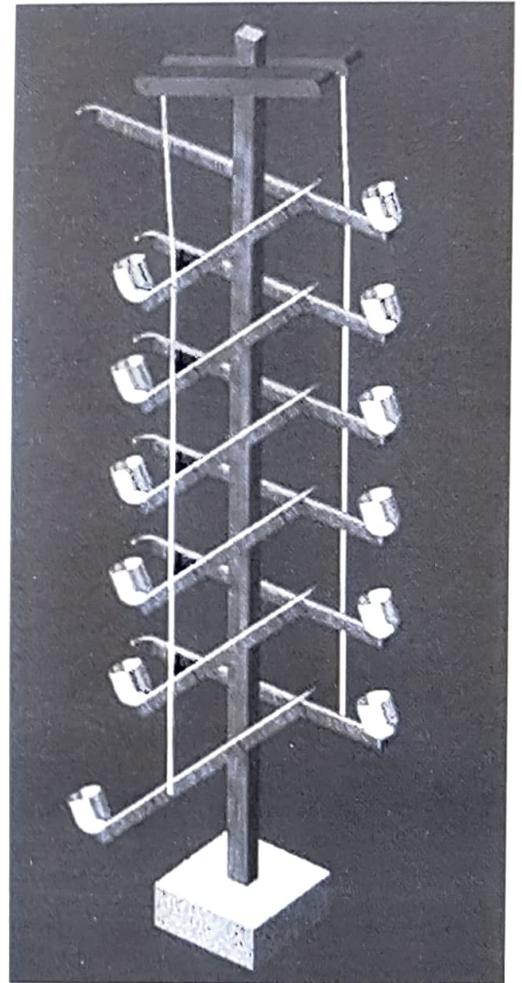


Ilustración 14. Sistema *Stangenkunst* y sistema vertical para la transmisión del movimiento de valvén a la torre de cazos.

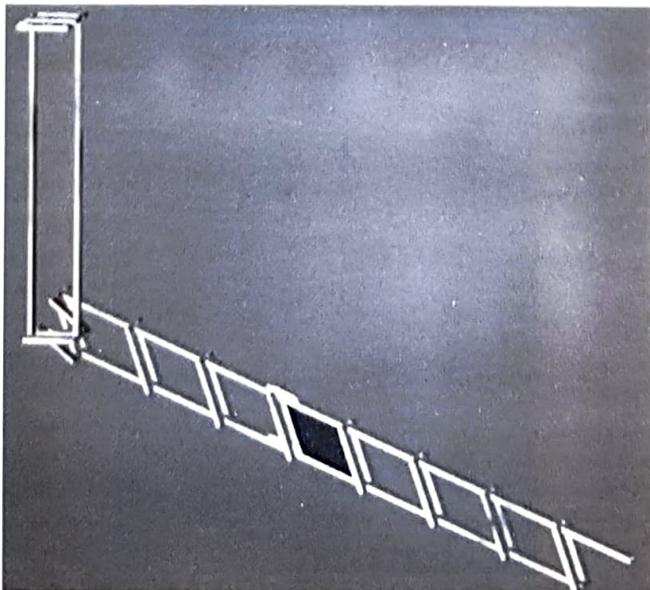


Ilustración 16. Perspectiva del esquema general de la segunda elevación.

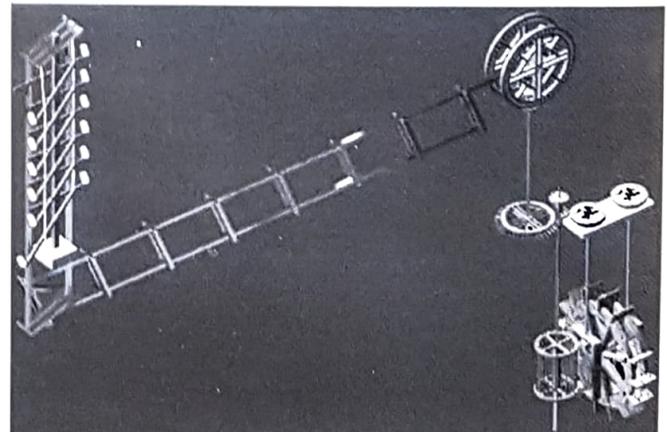
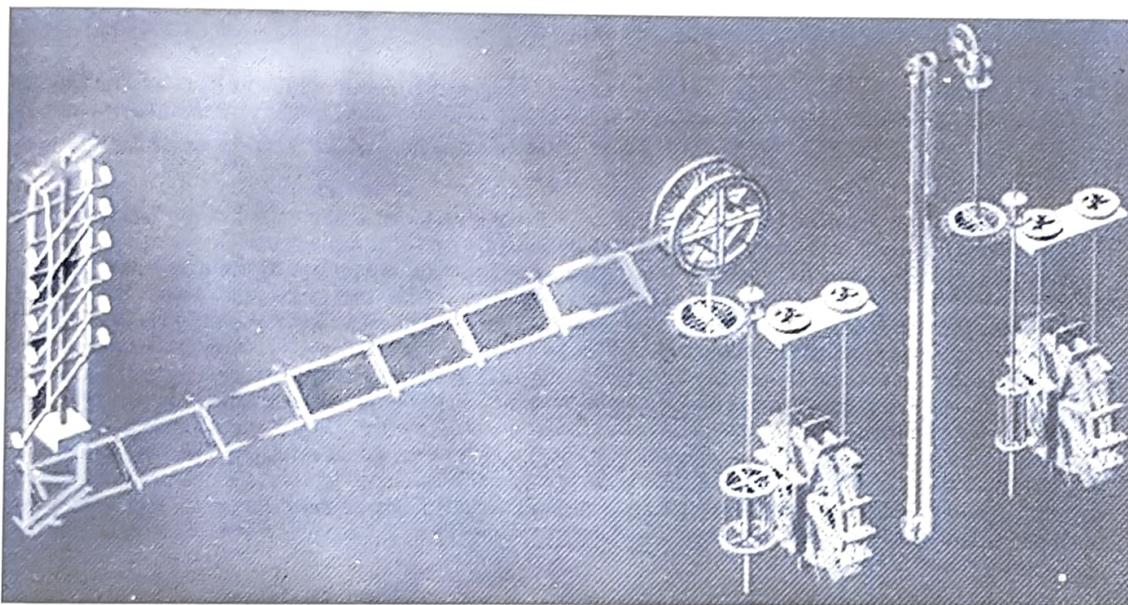


Ilustración 17. Perspectiva del artificio completo.



trabajo se ha aprovechado la potencia de estas técnicas para restaurar un ingenio audaz e innovador para su época, y que incluso hoy en día despierta la curiosidad y el interés de ingenieros y profanos.

Los autores de este artículo ponen a disposición de museos y otras entidades interesadas, el video demostrativo del funcionamiento virtual del artificio de Juanelo Turriano.

Recibido: 25/07/2007

Aprobado: 29/11/2007

## Referencias

ANÓNIMO DEL SIGLO XVI. *Los veintidós libros de los ingenios y las máquinas*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano y Ediciones Doce Calles, 1999.

BECK, T. *Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaues*. 2ª edición. Berlín: Editorial J. Springer, 1900.

CORTÉS, F. Nuevas incorporaciones documentales al Centro de Estudios Extremeños. *Revista de Estudios Extremeños*. Vol. 42, núm. 1, Departamento de Publicaciones de la Diputación Provincial de Badajoz, España, 1986, pp. 201-203.

DEL RÍO-CIDONCHA, M.G., MARTÍNEZ-LOMAS, M.E., MARTÍNEZ-PALACIOS, J. y PÉREZ-DÍAZ, S. *El Libro de CATIA V5*. Madrid: Editorial Tebar, 2007.

DIGBY, K.H. *Ages of faith*. London: C. Dolman, 1845.

ENRÍQUEZ DE SALAMANCA, C. *Curiosidades de Toledo*. Madrid: Editorial El País Aguilar, 1992.

ESCOSURA Y MORROGH, L. *El artificio de Juanelo y el puente de Julio César*. Madrid: Imprenta de Luis Aguado, 1888.

FUNDACIÓN JUANELO TURRIANO. *Reconstrucción del Artificio de Juanelo Turriano en Toledo*. [en línea] <http://www.juaneloturriano.com/publicaciones/index.htm>.

MORALES, A. *Viage de Ambrosio de Morales por orden del Rey D. Felipe II a los reynos de León, y Galicia, y Principado de Asturias*. Madrid: Ediciones G. Blázquez, 1985.

RAMELLI, A. *The Various and Ingenious Machines of Agostino Ramelli: A Classic 16th Century of Agostino Ramelli*. Mineola, USA: Dover Publications Inc., 1994.

RETI, L. *El artificio de Juanelo en Toledo: su historia y su técnica*. Toledo: Diputación Provincial de Toledo, 1967, pp. 3-46.

SICULUS, D. *Bibliotheca* (I siglo a.C.), Book V, 37, pp. 3-4. Traducido por Oldfather, C.H. in *Diodorus Siculus*. Library of History. Vol. 3. Cambridge: Loeb Classical Library, Harvard University Press, 1939.

VALTURIO, R. *En tibi lector Robertum Valturium... De re militari libri XII...* Parisiis Apud Christianum Wechelum, sub insigni scuti Basiliensis, 1535.

VITRUVIUS. *De Architectura*, (I siglo a.C.), Book X, Chapter VI. Traducido por Morris Hicky Morgan in *Vitruvius: the ten books on architecture*. Cambridge, 1914. Reeditado por Dover Publications, New York, 1960, pp. 295-297.

**Abstract**

DEL RÍO-CIDONCHA, M.G., MARTÍNEZ-PALACIOS, J. & GONZÁLEZ-CONDE, L. *Torriani's mechanical device for carrying water to Toledo. Hydraulic engineering in Mexico (in Spanish). Vol. XXIII, no. 2, April-June, 2008, pp. 33-44.*

*The city of Toledo in Spain is situated on a craggy mass of rock surrounded almost entirely by the Tajo River, which forms a peculiar meander around the city. It became the capital of the Spanish Empire in the first half of the sixteenth century under the reign of Charles I of Spain and V of Germany. By this time, water had been carried by donkey over 100 meters of uneven ground from the river bed to the water tanks. Several failed attempts were made to reconstruct this process using the most advanced technologies of the time. In 1565, the city commission recommended Giovanni Torriani (known in Spain as Juanelo Turriano), watchmaker, mathematician and inventor, to construct a machine to serve this purpose. He arrived in Spain under Phillip's reign. The mechanical device, which elevated the water level to atmospheric pressure, worked continuously until the mid seventeenth century, when lack of maintenance and the theft of its components forced a return to the old system of carrying buckets using donkeys. This paper summarizes the research carried out for the purposes of documentation and virtual reconstruction of Giovanni's device and presents the different theories which prevail in spite of age-old ambiguities and inconsistencies to simulate how the contraption works. Modeling and animation were done using the Computer Aided Three Dimensional Interactive Application (CATIA) software.*

**Keywords:** *animation, CATIA, historical research, industrial archaeology, geometric modeling, simulation, virtual reality.*

**Dirección institucional de los autores:**

*Dra. María Gloria del Río-Cidoncha  
Ing. Juan Martínez-Palacios  
Ing. Lucas González-Conde*

Universidad de Sevilla  
Escuela Superior de Ingenieros  
Av. de los Descubrimientos s/n  
41092 Isla de la Cartuja, Sevilla, España  
teléfono: + (34) 95 448 61 60  
fax: + (34) 95 448 61 58  
cidoncha@esi.us.es  
juanmp@esi.us.es  
lgconde10@yahoo.es