



**8º Congreso Internacional de Molinología  
28, 29 y 30 de abril de 2012  
Tui (Pontevedra)**

**TÍTULO:** "Nuevo modelo del Artificio de Juanelo"

**BLOQUE TEMÁTICO:** 1. Ingeniería, Industria, Tecnología y Desarrollo

**AUTOR:** Francesc Xavier Jufre Garcia

**FILIACIÓN INSTITUCIONAL:** Asociación Artificio de Juanelo

**E-mail:** [artificio@artificiodejuanelo.org](mailto:artificio@artificiodejuanelo.org)

**RESUMEN:** Está documentada la existencia en el s. XVI, de una obra mecánica excepcional, considerada la principal infraestructura hidráulica Europea del Renacimiento, los artificios del agua de Toledo, diseñados y construidos por Juanelo Turriano. El primero de los dos artificios que existieron, entró en funcionamiento el 1569, siendo el último de ellos definitivamente desmantelado en 1639.

Nunca se ha conocido con certeza, como era físicamente un artificio. Numerosos investigadores han sondeado archivos, bibliotecas, tratados de máquinas y manuscritos de la época, hallando suficiente información para elaborar conjeturas que permitan su reconstrucción.

La conjetura de "Torres Oscilantes" habitual en la bibliografía, no describe los ingenios en su totalidad, y entre los investigadores surgen dudas acerca de su viabilidad y aproximación a los textos históricos.

Aparece recientemente un nuevo modelo de artificio que propone respuestas y soluciones a las lagunas que ofrecen las conjeturas existentes, sin dejar de ajustarse al contenido de los textos históricos. Para definirlo se han caracterizado los elementos mecánicos, sus cadencias y desplazamientos espaciales en base a cálculos que han permitido elaborar una simulación informática tridimensional, que puede visualizarse en la web [www.artificiodejuanelo.org](http://www.artificiodejuanelo.org), siendo este nuevo modelo de artificio el objeto de esta comunicación.

**PALABRAS CLAVE:** Juanelo, Turriano, artificio, hidráulica, renacimiento, ingeniería.

**KEY WORDS:** Juanelo, Turriano, devices, hydraulic, renaissance, engineering.

## 1. Introducción

Con la llegada del Renacimiento a finales del s. XV y principios del XVI, Europa experimenta un gran avance tecnológico en un entorno prácticamente por desarrollar, aparece un tipo de ingeniero con inquietudes y conocimientos muy diversos (el más ilustre de todos ellos Leonardo da Vinci 1453-1519), se editan teatros de máquinas que muestran el saber técnico, y se diseñan ingenios de todo tipo. Especialmente destacadas son las construcciones hidráulicas, presentes en áreas de desarrollo estratégicas (minería, metalurgia, obras públicas, riego agrícola, jardines fastuosos...), siendo probablemente las más conocidas, la central de elevación de Augsburgo (1548), las bombas de Londres a orillas del Támesis (1582) y la Samaritaine de París (1608), pero emerge entre estas grandes obras “Los Artificios del Agua de Toledo”, obra de Juanelo Turriano (1500-1585), ingeniero y relojero real a las órdenes de Carlos V y posteriormente de su hijo Felipe II. Los Artificios de Toledo están considerados la principal infraestructura hidráulica del Renacimiento, tanto por sus prestaciones, como por su diseño singular, que otorgaron en su momento gran fama a su diseñador.

Los Artificios del Agua de Toledo fueron dos unidades prácticamente idénticas (el viejo 1569 y el nuevo 1581), cada uno de ellos transportaba unos 17.000 litros de agua diarios desde el río Tajo hasta el Alcázar de la ciudad. Cada Artificio era un conjunto de piezas encadenadas formando un sistema hidráulico de elevación sin presión, que se desplegaba a lo largo de un recorrido de 306 metros, superando un desnivel total de 90 metros de altura (elevación no superada hasta la construcción de las instalaciones de Marly en 1682, utilizadas para abastecer con agua del río Sena los jardines de Versalles). Aun siendo enormemente famosos en su época (existen numerosas citas de los Artificios en la literatura de los principales escritores del siglo de oro español), en 1605 el ingenio viejo ya no funcionaba, en 1624 se detiene temporalmente el ingenio nuevo, y ambos son desmantelados en 1639, quedando tan solo en pie los edificios de obra que a lo largo de su recorrido los albergaban. Desgraciadamente, la vida de Juanelo Turriano fue tanto o más tormentosa que el final de sus máquinas, murió en Toledo a los 85 años habiendo perdido su hacienda, y hallándose en extrema pobreza causada por los impagos relacionados con la construcción de los Artificios.

## **2. Documentación existente**

### **2.1. Planos y esquemas**

Del funcionamiento de la maquinaria hidráulica de Toledo, que transportaba agua desde el río Tajo hasta el Alcázar, no queda apunte, dibujo ni litografía. Este hecho no es extraño, pues Juanelo financió y dirigió las obras personalmente, con lo que no tuvo que dar excesivas explicaciones de sus actos a terceros, siendo al mismo tiempo un método de protección contra plagios y copias.

La dificultad en la concepción de los Artificios, mas su ubicación en el interior de edificios de obra que los protegían de hurtos de materiales valorables (sobretudo cobre, y demás piezas metálicas) y de la intemperie, tampoco facilitó que terceras personas pudieran plasmarlo en planos y esquemas, por este motivo nos aparece habitualmente en las vistas de Toledo, los edificios de obra civil que contenían los Artificios (ver figura 1). A modo de ejemplo se cita a Jehan Lhermite, el cual formó parte de la corte real entre 1597-1602, y publicó *Le passetemps de Jehan Lhermite, depuis son voyage d'Espagne*, donde se cita:

*Aunque es cosa ciertamente muy admirable que, como he dicho, ya he descrito, nunca he podido obtener un proyecto o representación fidedigna de esta máquina para satisfacer mi deseo de presentar una imagen viva que pueda contentar ocularmente a mis lectores, y si bien creo que el entendimiento humano y su intelecto pueden entender lo que es, difícilmente es posible comprender el artificio, industria e invención de este ingenio sin ver una representación suya. Así pues, me esforcé mucho en obtener una imagen fidedigna, pero hasta el día de hoy no he conseguido nada, y también resultaron vanas las muchas solicitudes que hice sobre este punto ante Juan Baptisto Monnegro, arquitecto del rey, presidente en el mencionado palacio, que es la persona que lo gobierna, quien no dejó de persuadirme en todo momento para que desistiera de mi empeño [...] me escribió en una breve nota que me envió en la que me decía en sustancia que para dar a entender bien y explicar cabalmente el misterio de este ingenio sería necesario en primer lugar hacer un libro lleno con las diferentes representaciones y que después todavía, para dar aún inteligencia más viva de ello, sería menester componer varias maquetas de madera, puesto que – me escribió- no hay en el mundo hombre capaz de comprender lo que es este ingenio por una sola representación.*

Será necesario utilizar las descripciones huérfanas de planos que se han conservado hasta nuestros días, para poder modelar un Artificio.



Figura 1. Grabado de Toledo, año 1650. Artificio coloreado en rojo



Figura 2. Esquema de Manuel Severim

## 2.2. Relatos conservados

Tras la muerte de Juanelo en 1585, el mantenimiento de los Artificios recae en su nieto Juanelo Turriano el Joven, encargándose de esta tarea hasta el 1598 en que fallece y lo sucede en el cargo Juan Fernández del Castillo.

Hacia el año 1600 aparecen numerosas averías de complicada solución en los Artificios, que junto a desperfectos generados por crecidas del río Tajo, y la dificultad de concepción del funcionamiento de los ingenios, provocan que se detenga definitivamente el Artificio viejo, y Juan Fernández del Castillo decide proponer al rey y a la ciudad de Toledo, el diseño de un nuevo tipo de ingenio basado principalmente en bombas ctesibicas, que sustituyan a los complicados Artificios de Juanelo.

Realiza pruebas en el tramo más cercano a la orilla del río, que termina y deja en funcionamiento en 1602.

Felipe III autoriza la construcción del ingenio de Juan Fernández del Castillo en 1606, y ordena desmantelar el Artificio viejo de Juanelo para aprovechar todos los materiales reutilizables en la construcción de la nueva propuesta. El ingenio de Juan Fernández del

Castillo discurría por el exterior y adosado a los edificios que protegían los Artificios de Juanelo, estando expuesto a la intemperie y visible sin impedimentos.

Los viajeros, cronistas, curiosos..., que visitaron los Artificios en el s. XVII, es probable que observaran el ingenio de Juan Fernández del Castillo, arrimado exteriormente a los muros de los Artificios de Juanelo. Este hecho valoriza todas las descripciones anteriores a 1602, en particular todas las fechadas en el s. XVI. En 1605 Francisco de Pisa escribe referente a los Artificios en su *Descripción de la Imperial Ciudad de Toledo*:

*Verdad es que tiene necesidad este ingenio y aqueducto de continuo reparo, y mucha costa para averle de perpetuar o conservar. Después en el año de mil y seiscientos y quatro, se hallo cierto arbitrio, con el que se mejoró y facilitó este artificio y aqueducto.*

Así pues, la documentación existente referente a los Artificios de Juanelo debe de agruparse como mínimo en dos grandes bloques, en los que ubicaremos los dos textos conocidos más relevantes.

<b>Bloque:</b>	Documentos anteriores a 1602	Documentos posteriores a 1602
<b>Relato Principal:</b>	Ambrosio de Morales (1575)	Manuel Severim (1604)

Tabla 1. Bloques de documentación referentes a los artificios de Juanelo

### 2.3. Relato de Ambrosio de Morales

De entre todas las descripciones y relatos existentes, ninguno merece tanta atención como el realizado por Ambrosio de Morales, y que publicó en 1575, *Las Antigüedades de las ciudades de España. Que van nombradas en la crónica con las averiguaciones de sus sitios y nombres antiguos, que escribía*. Ambrosio de Morales, cronista del rey Felipe II, era una persona culta y habituada a plasmar acontecimientos con la máxima fidelidad posible, a su vez era sobrino del célebre humanista Fernán Pérez de Oliva, formado en las universidades de Salamanca, Alcalá, Roma y París, quien se preocupó del desarrollo de la técnica en el reino de Castilla. Pero aun más importante es que Ambrosio de Morales era amigo de Juanelo, quien le mostró personalmente la maqueta

previa a la construcción de los Artificios, y más tarde el primer ingenio terminado y funcionando.

Ambrosio de Morales presenta en los puntos principales de su descripción, un ingenio continuo, con 4 subidas de líneas de cazos, agrupadas dos a dos y que se adaptan a las pendientes del terreno, basado en la escalera de Valturio, con múltiples grupos de dos cazos con un “extraño mango” para vehicular el agua hasta el Alcázar, donde los conjuntos de cazos se detienen durante el trasvase del agua mientras el resto de la máquina sigue en movimiento, que se compone de gran número de piezas todas ellas interrelacionadas y que necesitan de frecuente engrase, que para su concepción debe tenerse grandes conocimientos de Aritmética debido a la necesidad de cálculo para definir el conjunto, y que la primera elevación de agua a orillas del río la realiza una noria de cangilones de grandes dimensiones, que deposita el agua a pies del Artificio propiamente dicho.

#### **2.4. Relato de Manuel Severim**

Referente al relato de Manuel Severim fechado en 1604, quien con 21 años se alojó en Toledo durante 4 días, siendo su estancia un alto en el camino de la peregrinación destino al Monasterio de Guadalupe, para dar gracias a la virgen por la reciente remisión de la epidemia de peste que había azotado la ciudad de Évora, titulado *Peregrinação de Baltasar de Faria Severim, Chantre de Evora, ao Mosterio de Guadalupe, no anno de 1604*, y en el que aparece un leve esquema (ver figura 2), que ha sido recientemente utilizado para apoyar la conjetura de “Torres Oscilantes” predominante en la bibliografía actual, es muy probable que Severim esté describiendo una modificación introducida por Juan Fernández del Castillo a orillas del Tajo, años después de la muerte de Juanelo y seguramente en fase de pruebas.

Todo parece indicar que el sistema presentado en el relato, solo podría encontrarse en un primer tramo al tomar el agua del río (como indica el relato de Severim y se observa en el esquema), donde se sabe con certeza que Juanelo utilizó una noria de cangilones.

#### **2.5. Puntos clave que debe cumplir una conjetura del Artificio**

Un modelo que intente reproducir el Artificio, debe en primer lugar respetar la descripción de Ambrosio de Morales, tener en consideración los legajos oficiales

existentes (contratos entre Juanelo, el rey y la ciudad de Toledo, aforos, listas de materiales para reparaciones, listados de materiales referentes al desguace del Artificio...) por su objetividad, y valorar toda la información restante, básicamente viajeros, aventureros y curiosos, teniendo presente que el ingenio sufrió modificaciones en el inicio del s. XVII.

### **3. Los modelos existentes**

Especialmente cinco investigadores han dedicado largo tiempo al estudio de los Artificios de Juanelo, obteniendo conclusiones que les ha permitido modelar diversas conjeturas, Luís de la Escosura y Morrogh, Theodor Beck, Ladislao Reti y J.L. Peces Ventas. De todas las conjeturas elaboradas, la más presente en la bibliografía de los últimos años es la de “Torres Oscilantes” de Ladislao Reti, con alguna adaptación posterior introducida por N. García Tapia. Es la única que presenta un Artificio discontinuo. Posiblemente la entidad de su postulador a favorecido la difusión de esta conjetura, el Dr. Ladislao Reti era especialista de Leonardo da Vinci, a quien la Biblioteca Nacional le encargó la edición de los códexs Leonardinos Madrid I y II, hecho que interrumpió definitivamente su estudio sobre los Artificios. De todas formas, están apareciendo dudas sobre su viabilidad expresadas por varios investigadores actuales, entre ellos el Sr. Ángel Moreno Santiago, autor del libro *Juanelo y su Artificio. Antología*, editado el 2006. Esta conjetura presenta un Artificio discontinuo, compuesto por torres de elevación de agua separadas entre ellas, no utiliza la escalera de Valturio, no consigue explicar el sistema de detención de cazos durante el trasvase del agua, y su concepción y diseño es simple, de manera que fácilmente un observador puede reproducir su funcionamiento. Estos puntos entran en contradicción con el relato de Ambrosio de Morales, y un Artificio de estas características difícilmente hubiese despertado tanto interés, ni obtener la fama de que gozó.

### **4. Nuevo Modelo con Escaleras de Valturio**

#### **4.1. Aspectos generales**

Existieron dos Artificios del agua, el “viejo” que entró en servicio el 1569, y el “nuevo” que entró en servicio en 1581.

El agua se elevaba unos 90 metros entre la orilla del río Tajo y el Alcázar de Toledo, alternándose los tramos de fuertes pendientes con otros más llanos, y recorriendo aproximadamente 306 metros de distancia. El perfil y la traza de los artificios sobre el terreno son conocidos gracias a la pintura del Greco *Vista y plano de Toledo*. Un Artificio suministraba unos 16.320 litros/día según los aforos realizados en Toledo el 1585.

Un ingenio del agua era un elemento continuo que transportaba el agua a presión atmosférica, estando en su totalidad cubierto y protegido por construcción de obra escalonada, que procuraba la limpieza del agua durante el camino al Alcázar, y lo resguardaba de las inclemencias del tiempo, y de posibles hurtos de materiales valorables como el cobre y el latón (ver figura 3).

La máquina de Juanelo nacía a orillas del río donde una presa, de la que hoy aun pueden verse los restos, favorecía el pequeño salto de agua indispensable para mover dos ruedas hidráulicas, una procuraba el agua a transportar y la otra la energía que requería el Artificio para moverse.

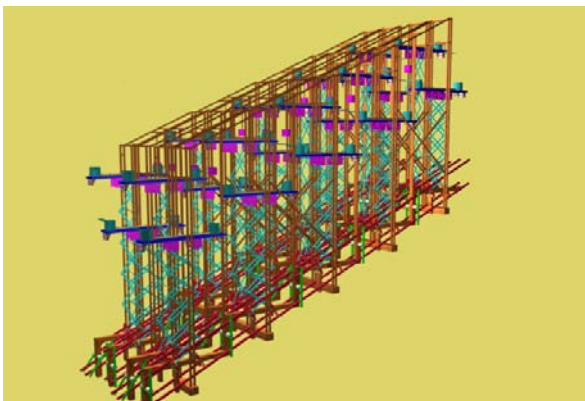


Figura 3. Tramo de Artificio

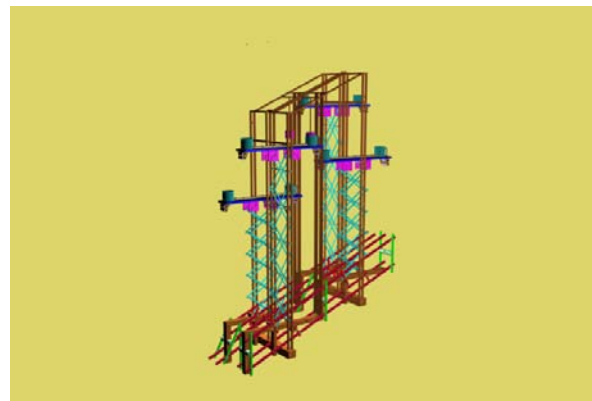


Figura 4. Unidad constructiva básica

#### 4.2. Unidad constructiva básica

Un Artificio era la concatenación de unidades de transporte de agua, que se encadenaban des del río Tajo hasta el Alcázar. Cada unidad estaba constituida por un numeroso grupo de elementos mecánicos, con desplazamientos y movimientos relativos de piezas entre ellos, que requieren de un diseño preciso para que no penalicen el conjunto con fricciones o desajustes. Para cada tipo de unidad repetitiva correspondiente a una pendiente diferente del terreno, las piezas son las mismas pero no sus valores



dimensionales, ni sus desplazamientos, velocidades, ni demás características dinámicas (ver figura 4).

Estas particularidades constructivas hicieron de los Artificios elementos complejos en el entorno del s.XVI, difícilmente imitables, confiriéndole su carácter legendario. Juanelo era en esencia el relojero de Carlos V, el Artificio fue la máquina hidráulica de trasvase de agua más parecida en concepción a un reloj, gran número de piezas, todas en movimiento, y relacionadas entre ellas. Juanelo responde a Ambrosio de Morales cuando este se interesa en unos cálculos anotados en unos maderos del Artificio viejo:

*... porque veis todo lo que he hecho con los relojes? Pues hombres he visto que saben tanta y mas Astronomía y Geometría que yo; mas hasta agora no he visto quien sepa tanta Aritmética como yo.*

En una unidad repetitiva de transporte de agua y por consiguiente en todo un Artificio, pueden identificarse 4 grandes grupos de piezas:

#### 4.2.1. Los grupos de trasvase

Realizan el intercambio de agua entre cazos, permitiéndole avanzar aguas arriba.

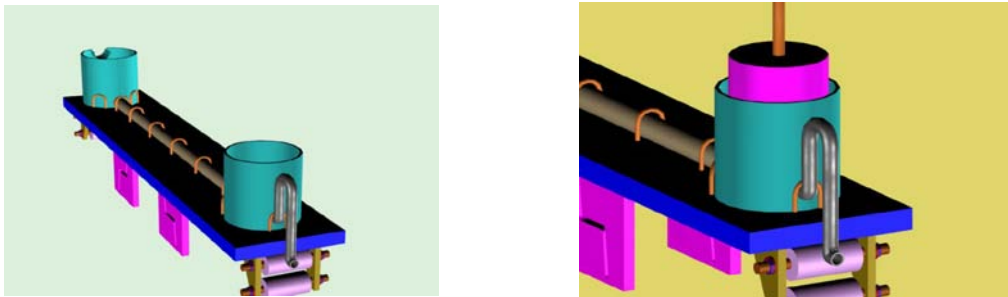


Figura 5. Grupo de trasvase con cazos, caño de unión, sifón y rebosadero

#### 4.2.2. Las tijeras de Valturio

Sin duda el elemento más característico de un Artificio, las tijeras levantan y descenden cíclicamente los grupos de trasvase.

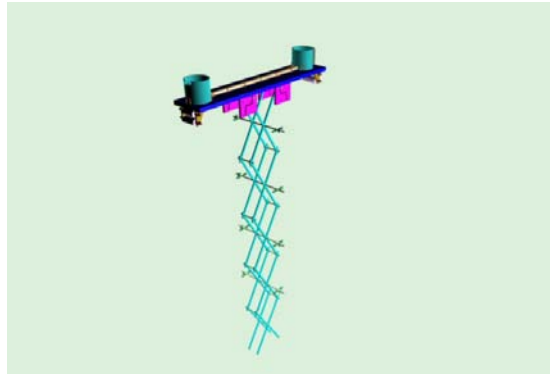
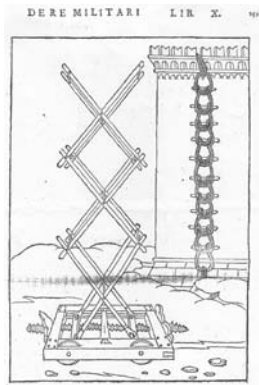


Figura 6. Escalera de Valturio original. Tijera extendida del Artificio con grupo de trasvase y seguidores

#### 4.2.3. La transmisión

Transfiere la energía obtenida de la rueda hidráulica del río a todos los elementos del Artificio.

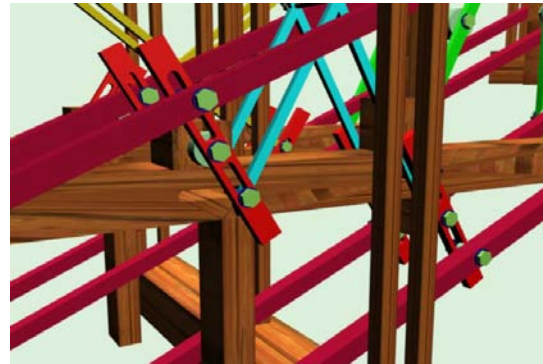
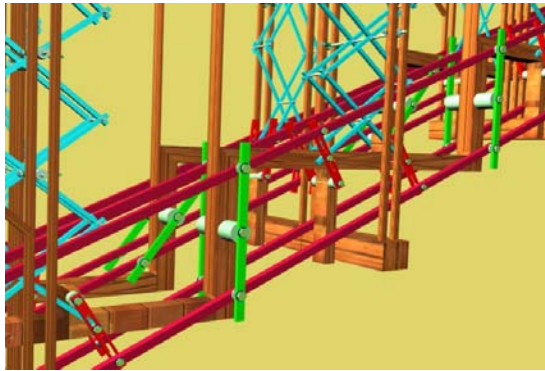


Figura 7. Transmisión de tirantes forzantes, con balancines y actuadores

#### 4.2.4. Los soportes

Es la estructura de pilares y viguetas que sostienen y estabilizan los demás elementos del Artificio.

### 4.3. Funcionamiento, cadencias y dimensiones del Artificio

El funcionamiento de todo el conjunto, dimensionado, cadencias y cálculos del “Modelo con Escaleras de Valturio”, se hallan en la publicación *El Artificio de Juanelo Turriano para elevar agua al Alcázar de Toledo (s.XVI). Modelo con Escaleras de Valturio*. Ed. Milenio, Lleida 2008, publicación patrocinada por la *Fundación Juanelo Turriano* de Madrid, y con la colaboración del *Col·legi d’Enginyers Industrials de Catalunya. Demarcació Central*, y del *Grup de Recerca Consolidat Espai, Poder i Cultura* de la Universidad de Lleida.

Para visualizar el modelo propuesto de Artificio de Juanelo con Escaleras de Valturio, se ha reproducido y animado informáticamente, a escala y en 3 dimensiones en el dominio web [www.artificiodejuanelo.org](http://www.artificiodejuanelo.org).

## **5. Singularidad y referencias de la tecnología del Artificio**

La crónica de Ambrosio de Morales deja patente que el espíritu de la máquina reside en la dificultad existente en el diseño y cálculo de sus componentes, y en la habilidad para que todo el ingenio se mueva con armonía, respetando el equilibrio del conjunto, la cadencia de movimientos y la distribución de tiempos, huyendo de la concepción puramente mecánica tradicional de la época.

Una construcción tan particular lleva asociada la dificultad en encontrar referentes de sus soluciones mecánicas en otros ingenios hidráulicos, no habiendo podido ser resuelta consultando teatros de máquinas de otros ingenieros coetáneos a Juanelo. Estas referencias también podrían ser halladas en otras realizaciones de Juanelo, pero desgraciadamente no se ha conservado ninguna de ellas hasta nuestros días. Con esta perspectiva, se ha planteado la búsqueda de máquinas que no siendo construidas por Juanelo, este hubiese intervenido en su elaboración o mantenimiento.

Juanelo Turriano estudió el Astrario de Giovanni Di Dondi, del que se inspiró para posteriormente construir para el emperador Carlos V el “Reloj Grande” o “Planetario”, el reloj astronómico renacentista más completo y exacto del que se tiene noticia.

El Astrario (reloj astronómico que representaba la posición de los 7 planetas conocidos sobre la eclíptica solar cada día del año), concebido entre 1365 y 1380 está considerado en la bibliografía como la máxima expresión de la mecánica medieval. Aunque no se ha conservado hasta nuestros días, Di Dondi dejó escrito en el “Planetarium”, los detalles constructivos y un largo memorándum de cómo realizar los frecuentes ajustes que el reloj requería. Este documento ha permitido reconstruir informáticamente la esfera de Mercurio, y acelerar sus movimientos para poder observar cómo se mueven las distintas piezas entre sí. Puede encontrarse esta simulación informática en [www.artificiodejuanelo.org](http://www.artificiodejuanelo.org).

Observando el funcionamiento del Astrario y del Artificio de Juanelo según el "Modelo con Escaleras de Valturio", se identifican coincidencias sobre todo en el diseño de conjuntos de piezas con movimientos relativos entre ellas, que se trasladan y deslizan al mismo tiempo.

## **6. Conclusión**

"El Modelo de Artificio con Escaleras de Valturio" es la conjetura más próxima a los textos históricos, y en particular a la descripción de Ambrosio de Morales, el principal documento que lo define.

## **Bibliografía**

La bibliografía relacionada con el "Modelo con Escaleras de Valturio", se detalla en la publicación: Jufre Garcia, Francesc Xavier (2008), *El Artificio de Juanelo Turriano para elevar agua al Alcázar de Toledo (s. XVI). Modelo con Escaleras de Valturio*, Lleida, Ed. Milenio.