

EL ARTIFICIO DE JUANELO TURRIANO PARA ELEVAR AGUA  
AL ALCÁZAR DE TOLEDO (S. XVI).  
MODELO CON ESCALERAS DE VALTURIO



# EL ARTIFICIO DE JUANELO TURRIANO PARA ELEVAR AGUA AL ALCÁZAR DE TOLEDO (S. XVI)

MODELO CON ESCALERAS DE VALTURIO



Francesc Xavier Jufre Garcia

Editorial  
**MILENIO**  
LLEIDA, 2008

Patrocina:



FUNDACIÓN  
JUANELO  
TURRIANO

Colaboran:

**Enginyers**  
**Industrials de Catalunya**  
Demarcació de la Catalunya Central



Grup de Recerca Consolidat  
ESPAI, PODER I CULTURA  
Universitat de Lleida

© de los textos, Francesc Xavier Jufre Garcia, 2008

© de las ilustraciones: sus autores

© de esta edición: Editorial Milenio, 2008

Sant Salvador, 8 - 25005 Lleida

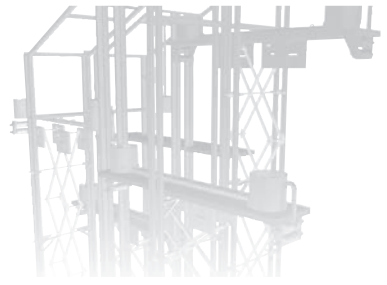
[www.edmilenio.com](http://www.edmilenio.com)

Primera edición: diciembre de 2008

ISBN: 978-84-9743-283-2

Depósito legal: L-1783-2008

Impresión: Arts Gràfiques Bobalà, SL.



# Índice

Prólogo .....	9
Presentación .....	11

## HISTORIA DE JUANELO Y SUS ARTIFICIOS

<b>1. Juventud.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Al servicio del emperador Carlos V .....</b>	<b>14</b>
<b>3. Al servicio del rey Felipe II .....</b>	<b>14</b>
<b>4. El diseño del artificio .....</b>	<b>15</b>
<b>5. El primer contrato y la construcción del primer artificio.....</b>	<b>16</b>
<b>6. La construcción del segundo artificio.....</b>	<b>17</b>
<b>7. Un nuevo pacto.....</b>	<b>18</b>
<b>8. El desenlace .....</b>	<b>19</b>

## EL MODELO CON ESCALERAS DE VALTURIO

<b>1. Introducción.....</b>	<b>21</b>
<b>2. Los modelos existentes.....</b>	<b>27</b>
2.1. Solución de Escosura y Beck .....	28
2.2. Solución de Ladislao Reti (variación de N. García Tapia) .....	30
2.3. Solución de J. L. Peces Ventas.....	31
2.4. Conclusiones .....	33



2.4.1. La lámina de las torres .....	34
2.5. Nuevo modelo con escaleras de Valturio.....	35
<b>3. Modelo con escaleras de Valturio .....</b>	<b>36</b>
3.1. Aspectos generales.....	36
3.1.1. El trazado y los edificios del recorrido .....	37
3.1.2. Partes del arteificio .....	41
3.2. El juego de ruedas hidráulicas del río .....	44
3.3. Visión de conjunto .....	45
3.4. Recorrido del agua.....	47
3.4.1. Hipótesis de trasvase en zigzag.....	48
3.4.2. Hipótesis de trasvase en línea recta.....	48
3.4.3. Comparativa entre hipótesis .....	49
3.5. Los grupos de trasvase .....	51
3.5.1. Caracterización de las <i>cazueletas</i> .....	51
3.5.2. Cuántas <i>cazueletas</i> había en el arteificio.....	54
3.6. El movimiento ascendente y descendente de los <i>grupos de trasvase</i> .....	57
3.6.1. Los modelos existentes .....	58
3.6.2. El nuevo modelo con escaleras de Valturio .....	60
3.7. Movimiento ascendente y descendente de los <i>grupos de trasvase</i> .....	62
3.7.1. Principales parámetros constructivos de las <i>tijeras</i> .....	64
3.7.2. Definición de la posición final de elevación de cada <i>tijera</i> .....	65
3.7.3. Cadencia de movimientos.....	66
3.7.4. La presencia de “muelles” en el arteificio .....	67
3.7.5. La dificultad constructiva del arteificio.....	68
3.7.6. Piezas en fricción, desplazamientos relativos entre los elementos del arteificio .....	69
3.7.7. Materiales constructivos de las <i>tijeras</i> .....	70
3.7.8. Una posible cita indirecta de las <i>tijeras</i> en los documentos de Simancas .....	71
3.8. El intercambio del agua .....	72
3.9. El sistema de <i>sifones</i> y <i>seguidores</i> . El <i>sifón</i> .....	73
3.9.1. Funcionamiento y distribución .....	73



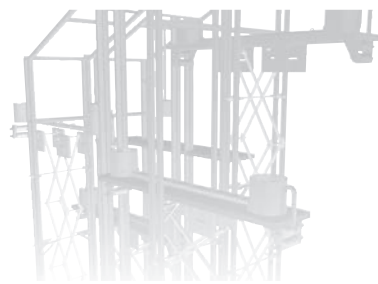
3.9.2.	Dimensionado de los <i>sifones</i> .....	77
3.9.3.	Tiempos de los diferentes movimientos en un ciclo de trasvase.....	78
3.9.4.	El <i>rebosadero</i> .....	79
3.9.5.	Comparativa con el modelo de “torres oscilantes”.....	81
3.10.	El sistema de <i>sifones</i> y <i>seguidores</i> . El <i>seguidor</i> .....	81
3.10.1.	Funcionamiento de la unión <i>seguidor-palpador</i> .....	84
3.10.2.	Estabilidad del conjunto y de la unión <i>seguidor-palpador</i> .	87
3.10.3.	Imágenes del conjunto de la unión <i>seguidor-palpador</i> ...	88
3.11.	<i>Transmisión y accionamientos</i> .....	89
3.12.	La <i>transmisión</i> .....	90
3.12.1.	Los <i>tirantes</i> .....	92
3.12.2.	Los <i>balancines</i> .....	92
3.12.3.	Unión <i>balancín - bancada</i> del artificio .....	93
3.12.4.	Imágenes de los elementos de la transmisión, extraídas de la simulación tridimensional .....	96
3.13.	Los accionamientos .....	99
3.13.1.	Los <i>pasadores</i> .....	99
3.13.2.	Los <i>actuadores</i> .....	99
3.13.3.	La <i>bancada</i> .....	102
3.13.4.	El funcionamiento de los <i>actuadores</i> .....	106
3.13.5.	<i>Actuadores</i> en trasvase de agua lineal .....	108
3.13.6.	<i>Actuadores</i> en trasvase de agua en zigzag .....	110
3.13.7.	El mejor tipo de <i>actuador</i> .....	110
<b>4.</b>	<b>Soportes y distribución espacial de los elementos del artificio</b> .....	<b>111</b>
4.1.	<i>Soportes</i> .....	111
4.1.1.	Doble <i>tijera</i> y “ <i>palos de mozuelo</i> ” .....	112
4.1.2.	Doble <i>transmisión</i> .....	113
4.1.3.	Estabilización del artificio.....	113
4.1.4.	Equilibrio en la rueda que acciona la transmisión del artificio.....	114
4.2.	Distribución espacial .....	115
4.2.1.	Anchuras.....	115
4.2.2.	Alturas .....	116



<b>5. Vista exterior del artificio</b> .....	116
<b>6. Descripciones del artificio</b> .....	117
6.1. Valorización de los relatos fechados en el siglo xv .....	117
6.2. Valorización de la crónica de Ambrosio de Morales siglo XVI .	118
6.3. Otros relatos principales .....	119
6.4. El relato de Manuel de Severim .....	120
6.5. El relato de Sir Kenelm Digby .....	122
6.6. <i>El Mago</i> de Luis Quiñones de Benavente.....	123
6.7. Otros relatos .....	123
<b>7. Grabados e imágenes del artificio</b> .....	124
<b>8. El artificio se mueve más rápido</b> .....	128
<b>9. Conclusión final</b> .....	129
9.1. Interés actual .....	129
9.2. Documentación referente al artificio .....	129
9.3. Puntos clave.....	130
9.4. Los modelos existentes .....	132
9.5. Las referencias .....	133
<b>10. Simulación informática tridimensional</b> .....	135
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	137
Lista de los principales elementos del artificio.....	140
<b>ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS</b> .....	143
Índice de figuras .....	143
Índice de tablas .....	145
<b>Anexo I.</b> Principios mecánicos comunes entre el astrario de Giovanni di Dondi y el modelo con escaleras de Valturio, del artificio de Juanelo Turriano para elevar agua al Alcázar de Toledo.....	147
<b>Anexo II.</b> Aproximación de la rueda motor del río .....	185
<b>Anexo III.</b> Cálculos .....	195
<b>Agradecimientos</b> .....	241

Nota: En el documento principal se han mantenido en cursiva los nombres propios de los elementos del artificio, para una mejor identificación. También se ha mantenido la palabra “cazueleta”, para distinguirla fácilmente como nombre propio de una pieza perteneciente al artificio.





## Prólogo

Entre las diversas acepciones que de la palabra “ingenio” recoge Sebastián de Covarrubias en su “Tesoro de la lengua castellana o española” figura la siguiente:

Las mismas máquinas inventadas con primor llamamos ingenios, como el ingenio del agua, que sube desde el río Tajo hasta el alcázar, en Toledo, que fue invención de Juanelo, segundo Arquímedes.

Esta obra fue publicada en 1611, cuando ya habían transcurrido veintiséis años del fallecimiento de Juanelo y cuando, a duras penas, seguía funcionando su Artificio. Se podrían multiplicar las citas de otros autores de la época que muestran la fama y prestigio que el cremonés Juanelo Turriano había alcanzado entre sus contemporáneos. Reconocimiento que se fue diluyendo con el paso del tiempo y deformando por la adición de elementos fantásticos o la errónea atribución de trabajos que le eran ajenos. Sucede, además, que las tres grandes obras de Juanelo, los dos relojes que inventó y construyó para el emperador Carlos V, los célebres Planetario y Cristalino, así como el artificio de Toledo, se perdieron relativamente pronto, dejando un exiguo rastro documental. Siguiendo ese tenue hilo, algunos investigadores intentaron descubrir el secreto del diseño del artificio. Luis de la Escosura, Theodor Beck, Ladislao Reti, José Antonio García-Diego, Nicolás García Tapia o José Luis Peces dedicaron tiempo e ingenio a esta tarea, proponiendo diversas soluciones que a su interés científico añaden la utilidad de servir de base para una eventual reconstrucción, siquiera parcial, de la “máquina del agua”.

La Fundación Juanelo Turriano, creada en 1987 por García-Diego para promover los estudios en los campos de la historia de la Técnica y de la Ciencia, se felicita por la incorporación a este reducido pero selecto “club de Juanelistas”, de Xavier Jufre, cuyo brillante trabajo tiene el lector en sus manos.





# *Presentación*

El objeto de este estudio es modelar el artificio del agua de Toledo. Las dos unidades que existieron fueron diseñadas y construidas por Juanelo Turriano, iniciando su funcionamiento en 1569, y siendo definitivamente desguazadas en 1640.

Aún siendo considerado el ingenio principal de la técnica desarrollada en la España del siglo XVI, y la obra hidráulica más importante del Renacimiento europeo, nunca se ha conocido con certeza cómo era realmente, pues no se conservan planos, ni tampoco ninguna referencia concreta que lo defina claramente, y tan sólo se dispone de descripciones y citas indirectas.

El alcance del modelo presentado en este estudio define por primera vez todo el conjunto que forma el artificio, así como también su funcionamiento y cadencia de movimientos. Finalmente se ha reconstruido informáticamente y en tres dimensiones, para obtener una simulación lo más real posible.

La metodología seguida ha consistido en revisar la documentación conocida referente al artificio y analizarla de nuevo, consultando en muchas ocasiones los originales en los archivos donde se hallan, con la intención de localizar datos circunstanciales o documentos asociados que pudieran ser útiles. Al mismo tiempo, se ha planteado y resuelto el análisis técnico de cada una de las propuestas que componen el modelo, constatando que son mecánicamente posibles y realizables en el entorno del siglo XVI. Finalmente, se presentan los referentes mecánicos de la época, que pueden tener parecidos con el artificio.