



## RECUPERACIÓN GRÁFICA DE LA MÁQUINA PARA CORTAR LA HIERBA DE LOS CANALES NAVEGABLES DE AGUSTÍN DE BETANCOURT Y MOLINA: MODELADO TRIDIMENSIONAL Y DOCUMENTACIÓN GEOMÉTRICA CON SOLID EDGE

### GRAPHICAL RECOVERY OF THE AGUSTIN DE BETANCOURT'S MACHINE FOR CUTTING GRASS IN WATERWAYS: 3D MODELING AND GEOMETRIC DOCUMENTATION WITH SOLID EDGE

José Ignacio Rojas-Sola<sup>a,\*</sup>, José Porrás-Galán<sup>b</sup>, Laura García-Ruesgas<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos, Universidad de Jaén, Campus de las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, España.  
[jirojas@ujaen.es](mailto:jirojas@ujaen.es)

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Comillas, Alberto Aguilera 23, 28015 Madrid, España.  
[jporras@icai.comillas.edu](mailto:jporras@icai.comillas.edu)

<sup>c</sup> Departamento de Ingeniería Gráfica, Universidad de Sevilla, Isla de la Cartuja, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla, España. [lauragr@us.es](mailto:lauragr@us.es)

#### Abstract:

Agustín de Betancourt and Molina was one of the most distinguished engineers of the eighteenth and nineteenth century with numerous contributions to various fields of engineering, including civil engineering. This research shows the process followed in the documentation of the cultural heritage of that canary engineer, especially in the geometric documentation of the machine for cutting grass in waterways presented in England in 1795 after three years researching on theory of machines. The baseline information has been recovered from the Canary Orotava Foundation of History of Science who has spent years collecting information about the Project Betancourt, in particular, planimetric information as well as a small report on its operation and description of parts of machine. From this information, we have obtained its 3D reconstruction using CAD techniques with the cooperation of Solid Edge ST7 parametric software, which has enabled to obtain the 3D model as well as different detail plans and exploded views.

**Key words:** cultural heritage, geometric documentation, 3D reconstruction, Agustín de Betancourt y Molina, machine for cutting grass in waterways

#### Resumen:

Agustín de Betancourt y Molina fue uno de los más ilustres ingenieros del siglo XVIII y XIX, siendo muy numerosas sus aportaciones a diferentes ámbitos de la ingeniería, en particular a la ingeniería civil. La presente investigación muestra el proceso seguido en la documentación del patrimonio cultural del citado ingeniero canario, en particular, en la documentación geométrica de la máquina para cortar hierba de los canales navegables que presentó en Inglaterra en 1795 tras tres años investigando sobre la teoría de las máquinas. La información de partida se ha podido rescatar de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia que lleva años recopilando información sobre el Proyecto Betancourt, en concreto, se ha dispuesto de información planimétrica así como de una pequeña memoria sobre su funcionamiento y descripción de las partes del ingenio. A partir de dicha información, se ha obtenido su reconstrucción 3D, mediante técnicas CAD gracias al concurso del software paramétrico Solid Edge ST7, lo que ha posibilitado la obtención del modelo 3D así como diferentes planos de detalle y perspectivas estalladas.

**Palabras clave:** patrimonio cultural, documentación geométrica, reconstrucción 3D, Agustín de Betancourt y Molina, máquina para cortar hierba de los canales navegables

---

\* Corresponding Author: José Ignacio Rojas-Sola, [jirojas@ujaen.es](mailto:jirojas@ujaen.es)

## 1. Introducción

Agustín de Betancourt y Molina fue un célebre ingeniero canario nacido en la población tinerfeña del Puerto de la Cruz en 1758 y fallecido en la ciudad rusa de San Petersburgo en 1824.

Sus aportaciones a diferentes ámbitos de la ingeniería han sido muy numerosas, destacando aquellas que tienen que ver con la ingeniería civil.

En 1784 marcha a la Escuela de Puentes y Caminos de París para realizar estudios de hidráulica y mecánica y a diseñar máquinas para el Real Gabinete de Máquinas cuya creación se produjo en Madrid en 1792.

En 1792 se inaugura el Real Gabinete de Máquinas del que es nombrado Director, publicando el primer catálogo de modelos, planos y manuscritos que contiene 270 máquinas, 358 planos y más de 100 memorias con 92 gráficos, diseñados todos ellos en su estancia en París.

Posteriormente, en 1795 presenta en Inglaterra el diseño de la máquina para cortar la hierba de los canales navegables. Ya de regreso a España, es nombrado Director General de Puertos y Caminos, y en 1802 se crea la primera Escuela de Ingenieros de la que fue su primer Director.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de esta comunicación es la restitución digital de un modelo 3D preciso así como la documentación geométrica del ingenio desarrollado, obteniendo diversas perspectivas de cada uno de los sistemas y elementos principales.

La investigación en marcha es el principio de una más completa en el que se abordarán otros aspectos relacionados como la realización de una recreación virtual y el análisis estático realizado sobre el modelo 3D con herramientas de ingeniería asistida por ordenador, mostrando en estudios previos la estructura a seguir (Villar-Ribera *et al.* 2011), o la impresión 3D (fabricación aditiva) del modelo obtenido por técnicas CAD.

## 3. Material y Métodos

El material de partida ha sido únicamente la información disponible en el proyecto digital Agustín de Betancourt de la Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia promovido por el Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (CEHOPU), el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el Ministerio de Fomento y la Fundación Juanelo Turriano (Proyecto Digital Betancourt 2016)

En particular, la presente investigación se ha realizado apoyándose en el material que aparece en dicho sitio web (Expediente de la máquina para cortar hierba de los canales navegables 2016)

En dicha web, se muestra la información relacionada con dicho expediente titulado: Description d'une machine à couper les roseaux et les autres plantes aquatiques qui obstruent beaucoup de Canaux et de rivières navigables, datado de 1800 y con el número de manuscrito 2420.

La lámina realizada a escala en piés, se presenta en formato vertical dispuesta en tres franjas: arriba, se

observa el mecanismo en la barca en vista de alzado, en el centro se observa la planta superior, y abajo, el mecanismo funcionando en una ribera y la cuchilla cortadora (Fig. 1).

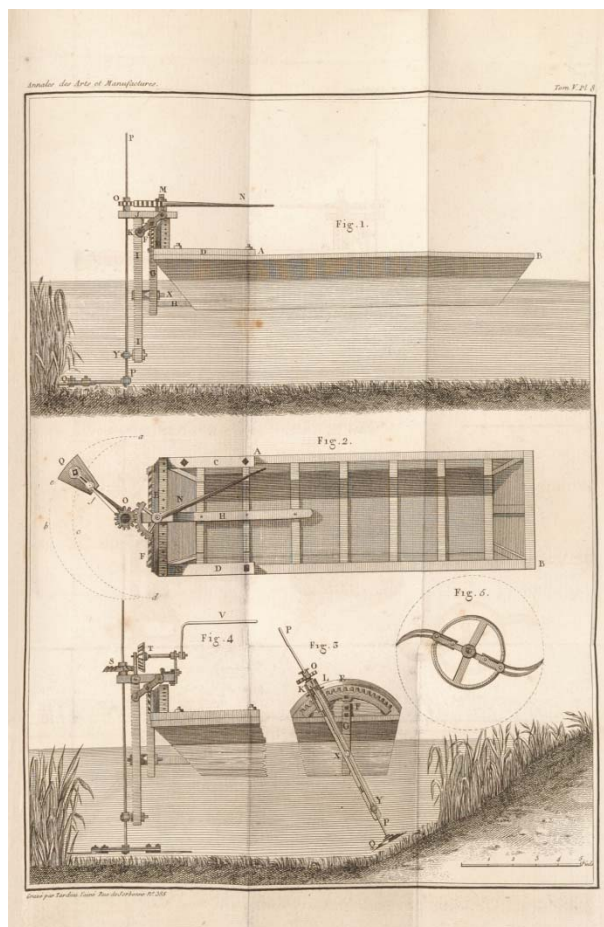


Figura 1: Vistas principales de la máquina. Imagen de la "Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia".

La metodología empleada ha sido la restitución digital del modelo 3D utilizando como herramienta Solid Edge ST7, software paramétrico de diseño asistido por ordenador desarrollado por Siemens AG, y cuya última versión estable data de julio de 2014 (Tickoo 2015).

Su kernel de modelado geométrico era inicialmente ACIS, pero fue cambiado a Parasolid desarrollado por Siemens PLM Software, y es utilizado como motor geométrico de otras muchas herramientas de CAD (del inglés, Computer-Aided Design).

## 4. Resultados y discusión

A la hora de realizar el modelo tridimensional de la máquina en estudio se han tenido en cuenta diversas consideraciones que se detallan a continuación.

La información de partida, como se ha podido observar anteriormente, no sigue los estándares modernos, es decir, no se pueden considerar las láminas como planos de fabricación tal y como se entienden en la actualidad. Además, no están sujetos a ninguna normativa, ya que en su momento éstas no existían. Cada ingeniero representaba sus invenciones como consideraba más conveniente. Se trata, por tanto de representaciones

conceptuales del diseño que no resuelven completamente las dificultades de fabricación y funcionamiento. Así pues, se dispone de varias representaciones con pequeñas incongruencias tanto entre dimensiones de algunos elementos como en la disposición geométrica de los mismos. Por tanto, al realizar las representaciones geométricas ha sido necesario realizar algunas hipótesis tanto de dimensiones como de geometría.

Para realizar el modelado se han considerado tres partes diferenciadas: en primer lugar, los elementos solidarios a la embarcación y de unión (tornillos, pasadores, roblones), así como la propia embarcación; en segundo lugar, el sistema destinado a orientar y posicionar el aparato de corte respecto del fondo del canal, y por último, los elementos que constituyen el propio sistema de corte.

A la hora de estudiar las uniones entre las piezas se han considerado fundamentalmente uniones atornilladas, y en algunos casos, el uso de roblones entre piezas metálicas. Para la elección de las dimensiones de los tornillos, y teniendo en cuenta que en la época de la que estamos tratando no existía como se ha expuesto normalización, se han considerado valores aproximados a partir de las dimensiones observadas en las láminas, tratando de minimizar la variedad de tornillos distintos empleados en toda la máquina. Asimismo, no se ha modelado la rosca en dichas uniones atornilladas al no ser necesario ni interesante su estudio de cara al funcionamiento de la máquina.

Tampoco se han tenido en consideración las tolerancias de montaje entre las diferentes piezas, ya que debido al tipo de fabricación artesanal, los ajustes entre las piezas se harían por el propio artesano durante la fabricación propiamente dicha.

Por otro lado, la geometría de todas las piezas se ha modelado de forma paramétrica, esto es, todas las dimensiones están regidas por una variable modificable asociada y todas las relaciones geométricas están establecidas de forma independiente y se verifican ante cualquier modificación de la geometría. Esto permite que cualquier modificación en el diseño sea mucho más sencilla, pudiéndose probar diferentes variantes muy fácilmente. La elección de las dimensiones paramétricas y de las relaciones se ha realizado previendo posibles modificaciones y teniendo en cuenta la magnitudes más interesantes de cara a la fabricación de las piezas.

Asimismo, de cara a dicho proceso de modelado, se han dividido la invención en diferentes sistemas: modelado de elementos solidarios a la embarcación, sistema de posición y orientación, y sistema de corte de las hierbas.

Para obtener el ensamblaje final del conjunto, se ha buscado mantener los grados de libertad entre los diferentes elementos que permitieran el movimiento real de los mismos, realizándose gracias al concurso del software Keyshot 5 (Fig. 2).

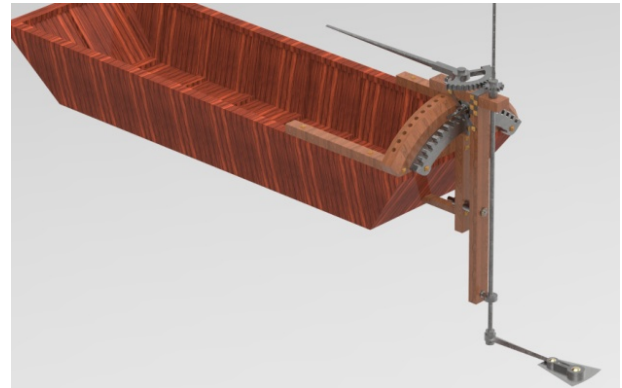


Figura 2: Imagen fotorealista del conjunto ensamblado.

## Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el seno del proyecto de investigación titulado: “*El patrimonio histórico de Agustín de Betancourt: estudio integral de las aportaciones a la ingeniería civil desde la ingeniería gráfica para su puesta en valor y difusión*” (HAR2015-63503-P), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, dentro del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia, Subprograma Estatal de Generación del Conocimiento, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016, y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Asimismo queremos agradecer muy sinceramente a la Fundación Canaria Orotava su disponibilidad y autorización a utilizar el material de su web, en la persona del que fue su Director, Sergio Toledo Prats, así como en la persona de María Rodríguez Hernández que ha sido la persona que ha gestionado toda la información necesaria.

## Referencias

- EXPEDIENTE DE LA MÁQUINA PARA CORTAR LA HIERBA DE LOS CANALES NAVEGABLES, 2016. Disponible en: [http://fundacionorotava.es/pynakes/lise/betan\\_coupe\\_fr\\_01\\_1800/](http://fundacionorotava.es/pynakes/lise/betan_coupe_fr_01_1800/) [12/15, 2015].
- PROYECTO DIGITAL BETANCOURT, 2015. Disponible en: <http://fundacionorotava.es/betancourt> [04/16, 2016].
- TICKOO, S. 2015. *Solid Edge ST7 for designers*. Lafayette (Indiana, EE.UU): Purdue University Calumet. 752 páginas.
- VILLAR-RIBERA, R., HERNÁNDEZ-ABAD, F., ROJAS-SOLA, J.I., y HERNÁNDEZ-DÍAZ, D., 2011. Agustín de Betancourt's telegraph: Study and virtual reconstruction. *Mechanism and Machine Theory*, **46**(6), pp. 820-830. DOI: [10.1016/j.mechmachtheory.2011.01.008](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.01.008).