

## Desde el imperio grecorromano a la actualidad: influencia e inspiración del imperio grecorromano en las máquinas y mecanismos actuales

Francisco Franco-Martínez<sup>1</sup>, Javier Echávarri-Otero<sup>1</sup>, Adrián López Arrabal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de investigación e Ingeniería de Máquinas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Madrid, España. Email: francisco.franco@upm.es

### Resumen

Las civilizaciones de la Antigüedad Clásica han destacado por el gran avance social-económico y tecnológico que desarrollaron. Estas civilizaciones datan aproximadamente del 1200 a.C. hasta el 476 d.C. Dentro de este amplio contexto histórico cabe destacar el comprendido entre el 285 a.C hasta el 272 d.C. que representa el periodo de la fundación y cese definitivo de la famosa biblioteca de Alejandría, en Alejandría, Egipto, donde grandes sabios como Arquímedes, Ctesibio de Alejandría, Philon de Bizancio o Herón de Alejandría, plasmaron sus descubrimientos y desarrollos tecnológicos en compendios o tratados. Los autores mencionados, así como Vitruvio, serán estudiados en este artículo, comentando algunos de sus descubrimientos e inventos más relevantes. Éstos serán comparados con las máquinas y mecanismos actuales para determinar la influencia de estos autores. Así mismo, se tratará de establecer las posibles conexiones desde la Antigüedad Clásica hasta la actualidad.

**Palabras clave:** Historia de las Máquinas y Mecanismos, Antigüedad Clásica, periodo grecorromano, Renacimiento.

### Abstract

The civilizations of Classical Antiquity are renowned for their significant socio-economic and technological advancements. These civilizations date approximately from 1200 B.C. to 476 A.D. Within this historical context, the period from 285 B.C. to 272 A.D. stands out, representing the founding and end of the famous Library of Alexandria in Alexandria, Egypt. During this time, important authors such as Archimedes, Ctesibius of Alexandria, Philo of Byzantium, and Hero of Alexandria documented their discoveries and technological developments in treatises. This article will study the aforementioned authors, including Vitruvius, by discussing some of their discoveries and inventions. The inventions from these geniuses will be compared with modern machines and mechanisms to determine the influence of these authors. Additionally, this study will attempt to establish possible connections from classical antiquity to the present day.

**Keywords:** History of Machines and Mechanism, Classical Antiquity, Greco-Roman world, Renaissance.

### 1. Introducción

A lo largo de la historia, la civilización humana ha inventado ingenios, máquinas y mecanismos que le permitiesen progresar, desde un punto de vista de crecimiento social-económico y tecnológico. Desde la edad de piedra hasta 1837, año en el que Charles Babbage inventó el primer ordenador mecánico [1], [2], puede decirse que la gran mayoría de máquinas inventadas se han centrado en ayudar a la humanidad desde un punto de vista físico. Es decir, las máquinas se han utilizado para permitir a los humanos mover, desplazar y elevar cargas que el cuerpo humano no podría mover o que suponen un gran gasto energético.

Dentro de la historia de la humanidad, las civilizaciones de la antigüedad griegas y romanas han destacado por el gran avance social-económico y tecnológico que desarrollaron. Estas civilizaciones datan aproximadamente del 1200 a.C. hasta el 476 d.C. comenzando por la Antigua Grecia (1200 – 146 a.C.), continuando con el imperio de Macedonia (siglo V – 167 a.C.) y finalmente Roma (753 a.C – 476 d.C.). Estas civilizaciones clásicas dejaron un desarrollo socio-económico y tecnológico por el que son conocidas.

Dentro de este amplio contexto histórico cabe destacar el comprendido entre el 285 a.C hasta el 272 d.C. que

representa la fundación y cese definitivo de la famosa biblioteca de Alejandría, en Alejandría, Egipto. Fue Ptolomeo I, quien se declaró gobernante independiente y rey de Egipto en el año 305 a.C., el responsable de ordenar la construcción de la biblioteca. Si bien, su hijo y sucesor al trono, Ptolomeo II (285 – 246 a.C.) fue quien permitió el gran desarrollo de esta biblioteca y con ello, dio inicio a un periodo histórico donde se desarrolló un gran conocimiento científico-tecnológico de la mano de grandes sabios como Arquímedes, Ctesibio de Alejandría, Philon de Bizancio y Herón de Alejandría, quienes plasmaron sus descubrimientos y desarrollos tecnológicos en compendios de obras, como los numerosos libros de Arquímedes como “La medida del círculo” y “De la esfera y el cilindro” [3], el compendio de mecánica de Philon de Bizancio que incluye 9 secciones desde una introducción de las matemáticas hasta dispositivos militares o juguetes mecánicos [4], [5] o el “tratado de Neumática” de Herón de Alejandría [6], [7], [8].

Los autores mencionados serán estudiados en este artículo, haciendo hincapié en algunos de sus descubrimientos e inventos científico-tecnológicos, que serán comparados con el desarrollo tecnológico, máquinas y mecanismos actuales para determinar la influencia de estos autores. Así mismo, se tratará de establecer las posibles conexiones desde la antigüedad clásica hasta la actualidad, pasando por la Edad Media (s. V – s. XV d.C) época en la que fueron mayormente olvidados y el Renacimiento (s. XIV – s. XVI d.C.) donde autores como Giorgio Valla (1447 – 1500) , Francesco di Giorgio Martini (1439 – 1501), Leonardo da Vinci (1452 – 1519) y Agostino Ramelli (1531 – 1607) [8], [9] entre otros, estudiaron, tradujeron e interpretaron los escritos de Arquímedes, Ctesibio de Alejandría, Philon de Bizancio, Herón de Alejandría y Vitruvio, demostrando así la influencia de estos autores y sus invenciones.

## 2. Metodología y Resultados

A continuación, se describen algunos de los ingenios de los autores clásicos mencionados. Muchos de ellos fueron redescubiertos durante el Renacimiento, reinterpretados y mejorados, dando lugar a las bases de máquinas y mecanismos que se emplean en la actualidad.

En este estudio se consideran 5 autores clásicos, cuatro de ellos griegos y uno romano. Estos autores han sido seleccionados ya que han tenido una gran influencia a lo largo de la historia de la tecnología, siendo por ejemplo estudiados por autores de renombre del Renacimiento como Leonardo da Vinci, Francisco di Giorgio Martini o Agostino Ramelli, así como posteriormente por Bennet Woodcroft y otros autores más actuales como Emilio Bautista Paz y Marco

Ceccarelli. De las invenciones de los autores clásicos que se describen a continuación, se han seleccionado aquellas más importantes o relevantes, teniendo en cuenta su conexión con la ingeniería de máquinas y las máquinas de hoy en día, consiguiendo así determinar que máquinas o mecanismos han sido influenciados o gracias a estos importantes autores.

Para llevar a cabo este estudio, en primer lugar, se han identificado los autores clásicos de interés en la ingeniería de máquinas, como se ha mencionado previamente. En segundo lugar, se ha realizado la búsqueda bibliográfica de traducciones de sus obras o estudios desarrollados que describan las máquinas e invenciones realizadas por estos autores. En paralelo a esta investigación, se han buscado aplicaciones actuales de esas máquinas u otras que muestren las conexiones e influencia de los autores estudiados.

A lo largo de los siguientes apartados se tratará cada autor por separado, destacando sus invenciones, funcionamiento e influencia en otras máquinas actuales. Posteriormente, se finaliza este apartado realizando una tabla resumen que engloba los autores, sus invenciones y similitudes con las máquinas actuales.

### 2.1. Arquímedes (287 – 212 a.C)

De los autores estudiados en este trabajo, Arquímedes es el más conocido gracias al desarrollo de la ley de la palanca y el principio de flotabilidad de los cuerpos en un medio acuoso, entre otros trabajos como la relación del volumen del cilindro y la esfera, teorema que hizo grabar en su tumba [3]. Algunos autores reflejan que la ley de la palanca ya era conocida y puede verse empleada en jeroglíficos egipcios donde se usan balanzas de medida. Sin embargo, fue Arquímedes el primer autor en estudiar los fundamentos de la palanca, proponiendo una explicación rigurosa y formulación en su libro “Equilibrio de planos”. También cabe mencionar otra de sus obras “Cuerpos flotantes” donde Arquímedes formuló el principio de flotabilidad, comúnmente conocido como el principio de Arquímedes [3].

En cuanto a máquinas, el invento más conocido de Arquímedes fue el denominado Tornillo de Arquímedes, que se trata de una bomba hidráulica de tornillo sin fin que permitía elevar harina, cereales y especialmente agua de ríos, lagos, embalses, etc. permitiendo así el acceso al agua en zonas alejadas de estas fuentes. Según algunos autores, este mecanismo también era conocido en el Antiguo Egipto, pero Arquímedes lo perfeccionó basándose en principios teóricos [3], [10] dados su amplios conocimientos matemáticos. El tornillo de Arquímedes, permite la elevación de agua a través del interior de un cilindro, ya que dentro de este cilindro existe un tornillo o hélice

capaz de girar. Al estar inclinado, este mecanismo permite la elevación de la materia desde la parte inferior hasta la superior gracias al giro del tornillo.

Esta máquina fue posteriormente estudiada en el Renacimiento por autores como Guidobaldo del Monte y Galileo Galilei, y también aparece en grabados de Leonardo Da Vinci [3], [9], [11], [12]. Este ingenio ha perdurado a lo largo del tiempo y a día de hoy se sigue empleando. En la Figura 1 aparecen unos esquemas (A, B) del tornillo de Arquímedes, así como un esquema de da Vinci del mismo mecanismo (C) y una imagen de la bomba hidráulica de tornillo sin fin que se encuentra en el castillo de Windsor (D). En este caso, el diseño de tornillo sin fin se emplea para la producción de energía eléctrica, haciendo recorrer el agua en sentido inverso al que se empleaba en tiempos de la Antigüedad Clásica, es decir, desde la parte superior a la inferior, consiguiendo así producir energía eléctrica a partir de la energía hidráulica. Además de este ejemplo, el tornillo sin fin se utiliza en numerosas aplicaciones industriales como extrusoras, transportadoras, reductores de velocidad, compresores, etc.

Arquímedes también desarrolló otras máquinas y mecanismos como grúas, máquinas de guerra o el sistema de polipasto y cabestrante mencionado por el historiador Plutarco, que permitió a Arquímedes sacar él solo un barco del agua a una dársena [3], [13].

## 2.2. Ctesibio (310 – 240 a.C.)

Ctesibio es conocido como el padre de la neumática, gracias Vitruvio, quien describe su obra y sus estudios sobre la neumática en su obra “De Arquitectura (X, 12)” [14]. Destacó por el descubrimiento de la fuerza del aire comprimido [7], [8], [15], [16], empleado para hacer sonar silbatos en forma de pájaros e incluso órganos, como el órgano de Ctesibio recogido en la obra de Herón “Pneumática” y también en el Libro X, 12 de Vitruvio [14]. Si bien, este autor de Alejandría fue conocido como padre de la neumática, no solamente se quedó ahí, sino que también desarrolló y perfeccionó ingenios hidráulicos como la bomba hidráulica de dos cilindros gemelos o las clepsidras, relojes de agua ya empleados en el Antiguo Egipto pero que Ctesibio perfeccionó y las dotó de una gran automatización.

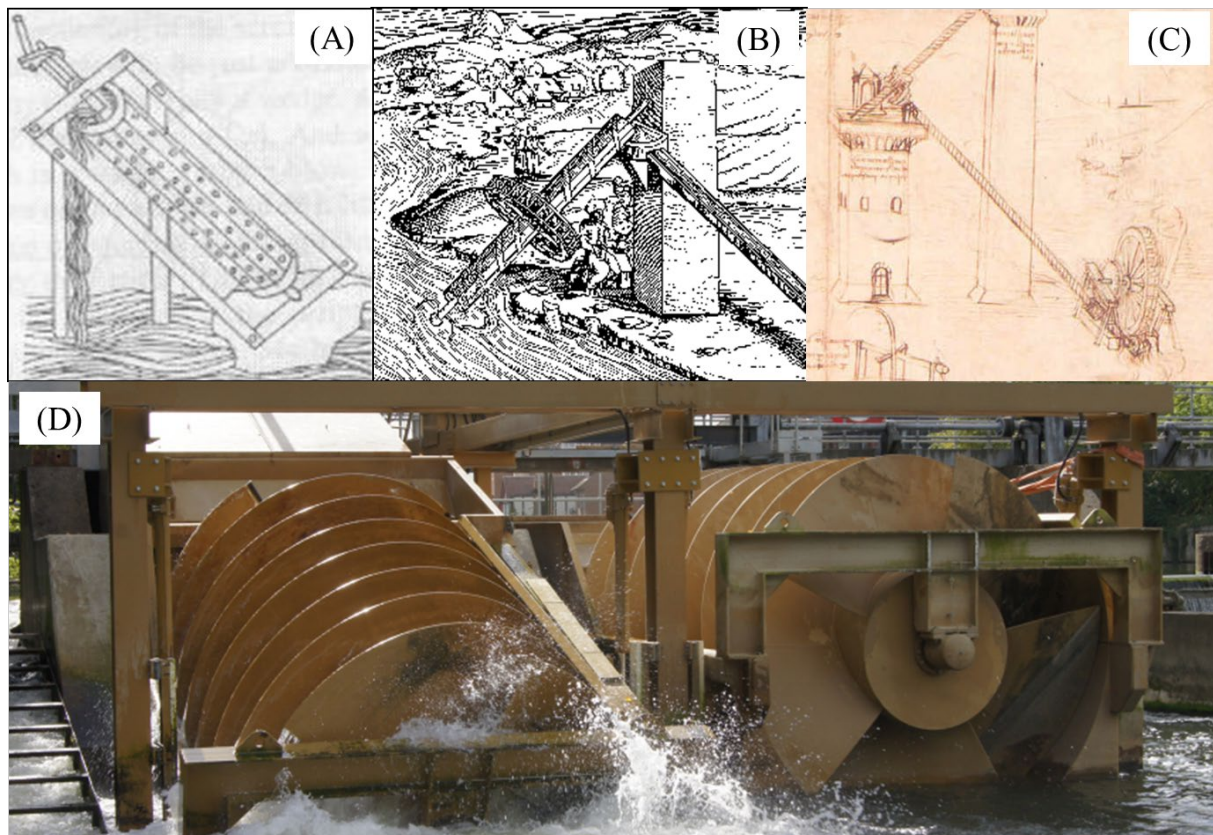


Figura 1. Tornillo de Arquímedes. (A), (B) Esquemas del tornillo de Arquímedes. Fuente: [8]. (C). Esquema de da Vinci de un mecanismo tornillo de Arquímedes, descrito en el Códice I de Madrid. Fuente: [2]. (D) Turbina hidroeléctrica que emplea el tornillo de Arquímedes para abastecer de electricidad al castillo de Windsor. Fuente: [web](#)

El órgano de Ctesibio, Figura 2, estaba compuesto por una serie de tubos sobre una tarima, bajo la que existen unas canalizaciones para el paso del aire. El aire es comprimido mediante una bomba de pedales y para mantener constante su presión se emplea un tanque sumergido en un contenedor de agua. Bajo cada tubo hay una tablilla perforada que al pulsar una de las teclas es conectada mediante un mecanismo articulado con el conducto de aire, haciendo así sonar la nota musical.

En cuanto a la bomba de dos cilindros gemelos inventada por Ctesibio, existen varios ejemplares que se han hallado en enclaves arqueológicos y datados de la época romana. El científico Thorkil Schioler, ha catalogado un total de 15 hallazgos de estas bombas construidas en metal y 19 en madera, todas siguiendo el diseño de Ctesibio. Una de ellas se muestra en la Figura 2 y fue hallada en la mina de Sotiel-Coronada en Huelva. Además, también se encontraron los restos de una de las válvulas de una bomba de Ctesibio en Irún en el solar Tadeo Murgia, donde se hallaron restos de un antiguo puerto romano [15].

La bomba de Ctesibio consta de dos cilindros laterales y una cámara de impulsión, que está conectada a través de una válvula con un tubo de ascensión vertical que termina en una boquilla con forma de V a través del cual se impulsa el agua. Al accionar el balancín que conecta ambos cilindros, uno de ellos asciende, aspirando el agua a través de la válvula, mientras que el otro desciende impulsando el agua a través del conducto vertical. De esta manera, puede conseguirse un flujo continuado de agua y utilizar esta bomba hidráulica para achicar inundaciones, apagar incendios o batir la pirita incandescente [14], [15], [16] en instalaciones como las de la mina de Sotiel-Coronada en Huelva.

La clepsidra es probablemente el invento más conocido de Ctesibio, aunque ya se usaba previamente en el Antiguo Egipto, este autor consiguió mejorarlo y

dotarlo de una exactitud que no pudo superarse hasta numerosos siglos después. En la Figura 2, pueden observarse un esquema del mecanismo de la clepsidra desarrollado por Ctesibio. Este mecanismo consta de un depósito superior conectado a un sifón y en el que flota una figura humana que indica la hora sobre un cilindro con líneas que sirven para contar el paso del tiempo. Cuando este depósito alcanza la altura del sifón comienza la descarga del agua a un depósito inferior, haciendo que la figura humana que sirve como aguja del reloj reinicie su posición. El depósito inferior se trata de una rueda con varios compartimentos, que cuando se llenan una cierta cantidad, hacen girar la rueda. El giro de esta produce el giro de una rueda dentada a la que está conectada, permitiendo así girar el indicador de las horas. De esta manera, la clepsidra podía contar el tiempo como se acostumbraba en la época grecorromana, que dividían las horas del sol en 12, pero al existir diferente duración solar en invierno y en verano, fue necesario esta invención de Ctesibio para registrar el tiempo adecuadamente.

### 2.3. Philon de Bizancio (280 – 220 a.C.)

Philon de Bizancio fue autor de una obra de mecánica compuesta por 9 libros, lo que refleja su gran capacidad en esta disciplina. Sus obras van desde principios matemáticos hasta armas bélicas o incluso el desarrollo de juguetes. De ellas se han conservado 4 libros, 3 de ellos en griego y la obra sobre neumática en árabe. Destacan los textos sobre catapultas con descripciones detalladas de los mecanismos de torsión y escalas de representación [5].

Aparte de las catapultas, Philon de Bizancio es conocido como el padre de la robótica por ser el primer inventor en desarrollar un autómatas con forma humanoide [2]. Este mecanismo se trata de la conocida sirvienta de Philon, una estatua con forma de mujer que en su interior alberga un sistema hidráulico. En la Figura 3 puede verse una reproducción y un esquema

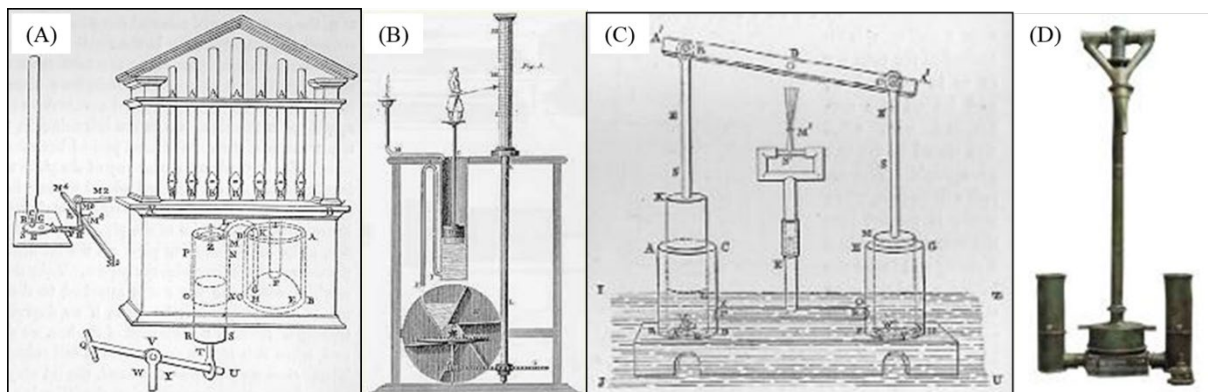


Figura 2. (A) Órgano de Ctesibio. Fuente: [10], [19]. (B) Clepsidra diseñada por Ctesibio. Fuente: [10], [19]. (C) Bomba de agua de Ctesibio Fuente [10], [19]. (D) Restos arqueológicos de la bomba de agua de Ctesibio de la mina de Sotiel-Coronada. Fuente: [16]



de este mecanismo concebido para servir vino mezclado con agua de forma automática. Para ello, el sistema hidráulico consta de dos depósitos con válvulas conectados con tubos que depositarán el vino y agua desde la muñeca de la estatua. El accionamiento del mecanismo se realiza a través de un sistema articulado que, al depositar el vaso, por acción de su propio peso abre y cierra el sistema de válvulas, sirviendo de esta manera vino mezclado con agua como se acostumbraba en la Antigüedad Clásica.

Además, Philon inventó lo que en la actualidad es el giróscopo mecánico, empleado a lo largo de la historia como la esfera armilar y más recientemente elemento esencial en la navegación aeronáutica para conocer el horizonte, siendo así también el precursor de los actuales giróscopos digitales que se emplean en dispositivos electrónicos como móviles, navegadores o

relojes inteligentes. En este caso, dada la época, Philon destinó su invento a un fin doméstico, alejado de las máquinas, se trata del tintero de ocho caras [17]. Este tintero evita el derrame de la tinta que contiene empleando un sistema de anillos concéntricos que permite mantener un recipiente interno siempre en posición horizontal, evitando así que se derramase el líquido. Además, el estudio de este invento por parte de Gerolamo Cardano (1501 – 1576) le llevó a inventar la junta Cardan, ampliamente utilizada en sistemas de transmisión cuando dos ejes se encuentran desalineados, y que posteriormente evolucionó en la junta homocinética que se emplea en los vehículos automóviles de cuatro ruedas [17]. También Leonardo da Vinci muestra diversos sistemas de juntas, como una junta esférica y una esfera armilar en su código I de Madrid [18].

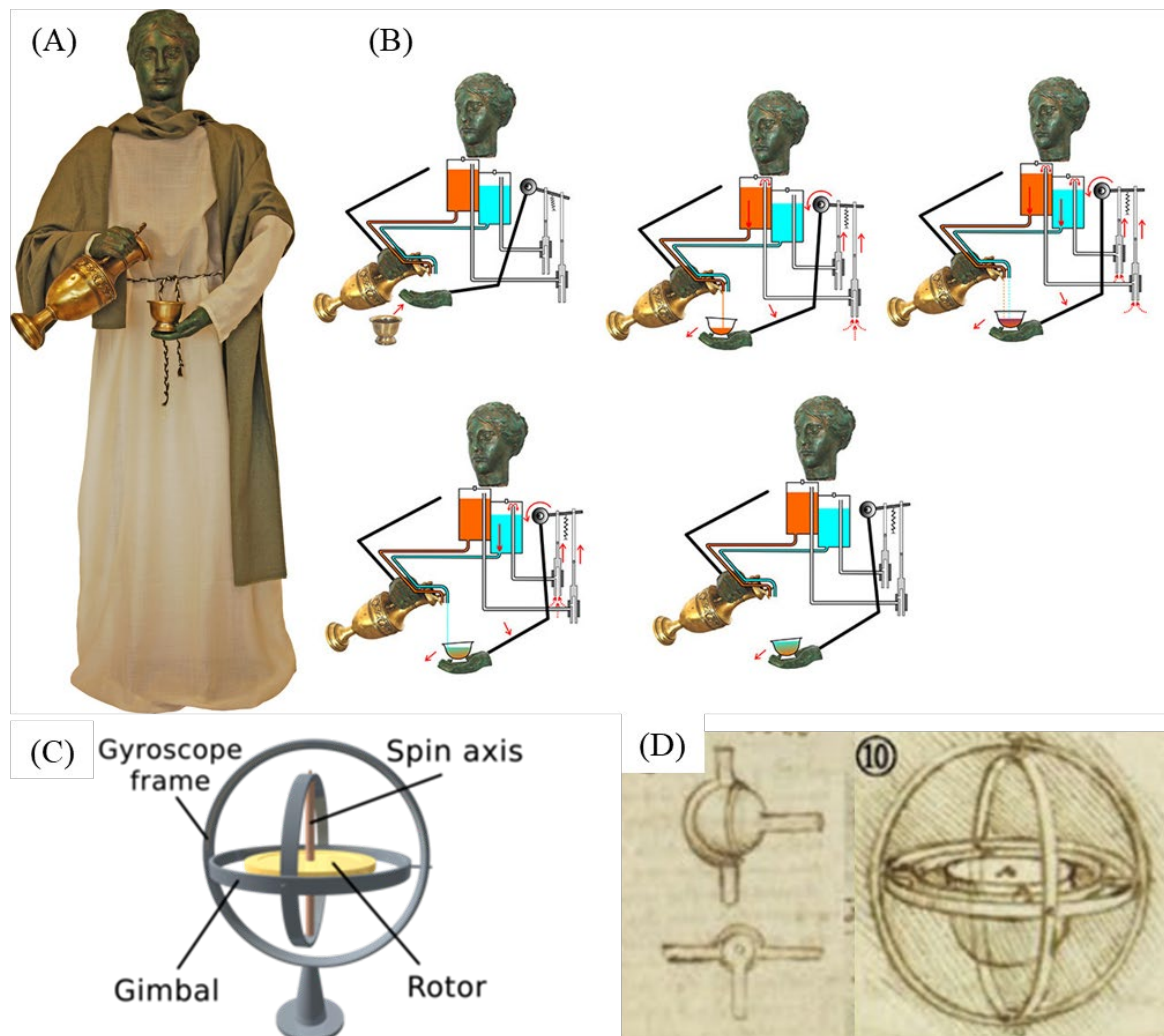


Figura 3. (A), (B) Reproducción de la sirvienta de Philon de Bizancio y esquema representativo del funcionamiento de la sirvienta de Philon. Fuente: <https://www.greecehighdefinition.com/blog/2021/2/13/automatic-maid-museum-of-ancient-greek-technology> (C) Esquema de un giróscopo mecánico. Fuente: licencia Creative Commons (D) Dibujos de juntas esféricas y la esfera armilar del Código I Madrid de Leonardo da Vinci. Fuente: [18]

## 2.4. Herón de Alejandría (s. I a.C.)

Entre Arquímedes, Ctesibio, Philon y Herón, hay un salto temporal, dados los años en los que vivió Herón, aunque se desconocen las fechas exactas. Muchos autores consideran a Herón el discípulo de Ctesibio, y así se demuestra en la descripción que hace de algunos de sus ingenios en su obra [7], [8] [10].

La obra de Herón, centrada principalmente en la neumática y los automatás, no se ha perdido a lo largo del tiempo, sino que ha sido traducida en diversas ocasiones. En 1575 Federico Commandino se encargó de la traducción de la obra de Herón al latín y ésta fue posteriormente reimpresa en Ámsterdam y París. Más tarde aparecieron más versiones durante el siglo XVII. Fue ya en 1851 cuando Bennet Woodcroft, basándose en la traducción de Commandino tradujo al inglés la obra de neumática bajo el nombre de “The Pneumatics of Hero of Alexandria” [7], [19]

Herón destaca por el uso del vapor como fuente de energía, con su ingenio denominado el aeolípila, considerado la primera máquina de vapor, aunque no tuvo un uso práctico. Este ingenio consta de un caldero cerrado en el que se introduce agua, bajo él se prende un fuego y a través de unos conductos que conectan una esfera hueca con el caldero, sale el vapor. Debido a la disposición de estos tubos en el ecuador de la esfera Figura 4, el vapor genera una fuerza capaz de hacer rotar la esfera. Este mismo sistema de propulsión se usa en los aspersores que se emplean para el riego de las plantas actualmente.

De igual forma, Herón de Alejandría no empleó la combinación de fuego y agua solamente en el aeolípila, sino que también inventó una figura que se movía basada en el mismo principio, dando lugar a un autómata y además fue capaz de trasladar este ingenio, que combinado con contrapesos y sistemas de poleas podían hacer que se abriesen las puertas de un templo de forma automática [2], [10], [19]. En la Figura 4, pueden verse ejemplos de estos tres ingenios. Cabe desarrollar el funcionamiento de las puertas automáticas de Herón. Al encender el fuego que se empleaba como ofrenda a los dioses en la entrada del templo, se calienta el aire que hay en un depósito cerrado que contiene agua. Cuando el aire se expande, el agua se desplaza a través de un sifón hasta un segundo depósito. Este depósito cuelga de un cable conectado a una polea y, gracias a la acción del peso del agua, al descender hace girar dos rodillos conectados a las puertas, permitiendo así una apertura automática. Al apagar el fuego se invierte el proceso y las puertas del templo se cerraban [10].

Además, cabe destacar el carácter didáctico de la obra de Herón de Alejandría, ya que realizó los diseños

enumerando los distintos elementos de sus invenciones y cómo éstos estaban conectados o funcionaban. Esto mismo se ha conservado y reeditado en las traducciones a lo largo de la historia.

También en la obra de Herón pueden encontrarse otros artilugios como depósitos para múltiples líquidos realizados con distintas particiones para servirlos a gusto del consumidor, automatás como el conocido “los pájaros cantores” o el odómetro inventado por Herón y que se asemeja al desarrollado por Leonardo da Vinci durante el Renacimiento. Esta máquina sirve para contar distancias, ya que mediante un sistema de engranajes se produce una reducción y cada vez que cae una bola a través del tubo de salida se puede calcular la distancia recorrida conociendo la reducción del sistema de engranajes Figura 4.

La influencia de la obra de Herón es notable, como la invención del aeolípila que supone el precursor de la máquina de vapor; la disposición de los conductos radialmente que permiten la propulsión de la esfera del aeolípila, al igual que se emplea este sistema en los aspersores de hoy en día; el uso de recipientes compartimentados para varios líquidos y la posibilidad de servirlos por separado, similar a las máquinas de vending actuales o el odómetro que posteriormente diseña da Vinci con un mecanismo muy similar y que pudo influenciar el diseño de los medidores de larga distancia que existen a día de hoy como los topómetros.

## 2.5. Vitruvio (s. I a.C.)

No se conoce la fecha exacta de su nacimiento, pero Vitruvio fue ingeniero militar y bajo el mando de Augusto y arquitecto.

Durante su época como ingeniero militar diseñó catapultas accionadas por torsión, escorpiones y bastallas y que están descritas en su libro X, 15 [14] [5].

Vitruvio es conocido por su obra “De Architectura” en la que presenta diez libros, siendo de ellos el más interesante para este artículo el libro número diez (Libro X) donde describe la maquinaria diseñada y empleada para la construcción, algunos inventos de Ctesibio y maquinaria de extracción de agua con diseños como el tornillo de Arquímedes o una bomba de extracción de agua de cangilones [10]. El diseño de la bomba de cangilones ha perdurado a lo largo de la historia y en la actualidad son empleadas para el transporte de minerales y arenas como en dragas o minas. Un hecho interesante es que en los barcos de Nemi, construidos bajo el mando del emperador Calígula, uno de ellos destinado al ocio del emperador y otro como templo a la diosa Diana, se encontraron restos arqueológicos del empleo de este diseño de

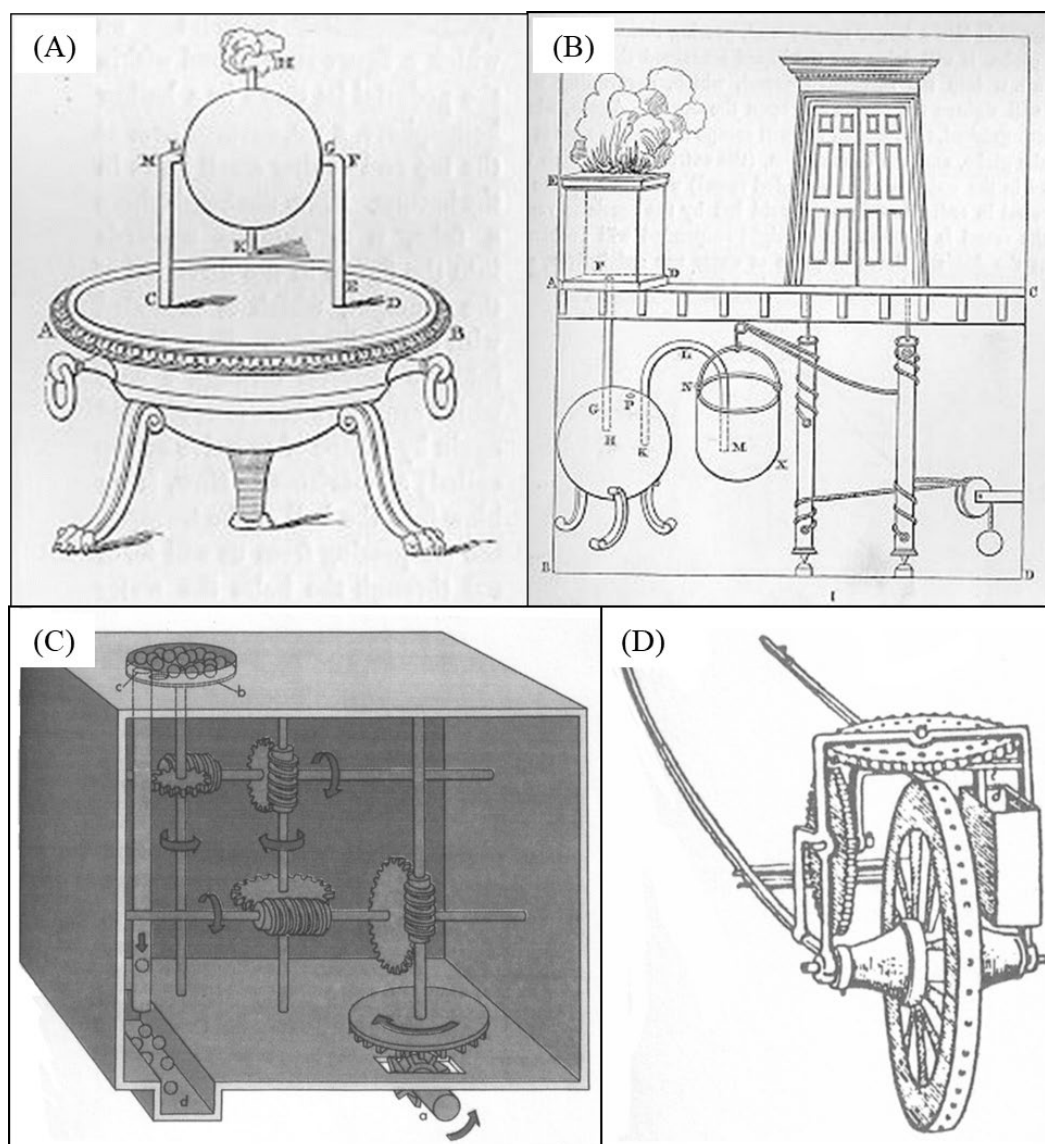


Figura 4. (A) Aeolípile. Fuente: [10], [19] (B) Puertas automáticas de Herón. Fuente: [10], [19] (C) Odómetro de Herón. Fuente: [10], [19] (D) Odómetro de da Vinci. Fuente: [10]

bomba de extracción de agua, que permitía un flujo continuo alimentando las fuentes que se encontraban en el barco. En la Figura 5 puede encontrarse una representación de esta bomba de extracción de agua procedente del tratado sobre máquinas de Vitruvio de 1787 por Joseph Ortiz Sanz [10], [14].

Además, en su obra Vitruvio describe lo que denomina “máquinas tractorias” que se tratan de grúas y diversas máquinas empleadas para transportar y elevar pesos, algunas de ellas ingenios de otros ingenieros de la época. Puede verse en la Figura 5 cómo algunas están compuestas por polipastos, que permiten elevar cargas empleando una fuerza menor, así como sistemas de enganche con tenazas que permitían sujetar los bloques de construcción en su elevación [10], [14].

Cabe mencionar también que Vitruvio fue estudiado y su obra traducida, a la vez que sus máquinas interpretadas, por diversos autores durante el Renacimiento. El primero de ellos fue Sulpicio de Servi en 1486, también Cesare Cesariano en 1521 y Daniele Bárbaro en 1584 [9], [14].

## 2.6. Influencia de los autores clásicos

A continuación, a modo de resumen se muestran en la Tabla 1 los autores estudiados, sus invenciones y aquellas máquinas o elementos mecánicos que muestran similitudes o influencia de los ingenios de Arquímedes, Ctesibio de Alejandría, Philon de Bizancio, Herón de Alejandría y Vitruvio. En este resumen se ha considerado si entre las máquinas antiguas y las actuales tienen el mismo mecanismo, funcionalidad y/o finalidad o si presentan similitudes.

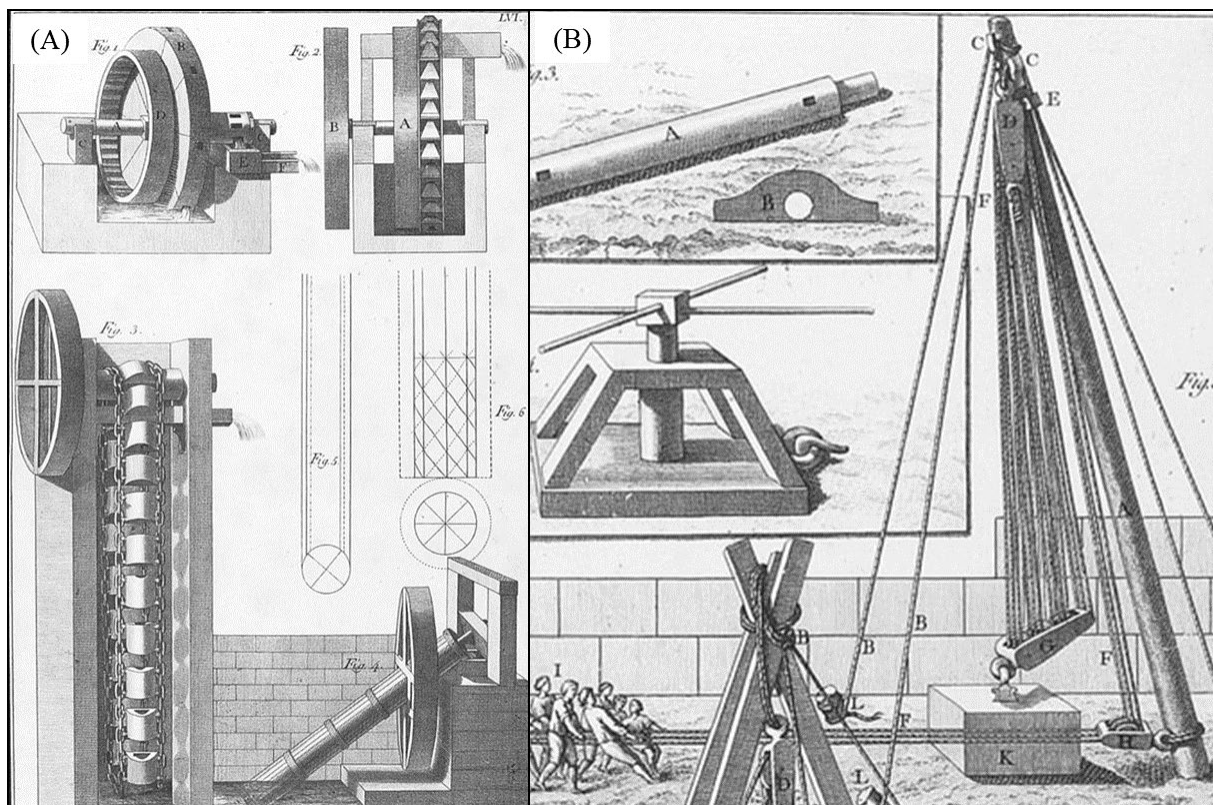


Figura 5. (A) Bombas para el transporte de agua. Se observa un elevador de cangilones en la parte inferior izquierda. Fuente: [10], [14]. (B) Grúas para elevación de cargas con polipasto. Fuente [10], [14].

Tabla 1. Resumen de autores clásicos estudiados, sus invenciones y máquinas o elementos mecánicos influenciados considerando si el mecanismo, funcionalidad o finalidad es el mismo o similar.

Autor	Invención	Máquina o elemento mecánico actual	Similitud o influencia
Arquímedes	Tornillo sin fin elevación de agua	Tornillo sin fin para generación eléctrica	Mismo mecanismo
		Tornillo sin fin para extrusión y transporte	Mismo mecanismo
	Polca y polipasto	Polca y polipasto	Mismo mecanismo
Ctesibio	Órgano neumático	-	-
	Bomba hidráulica de dos cilindros gemelos	Bomba hidráulica de dos cilindros gemelos	Mismo mecanismo
		Bomba de aire de cilindro	Mecanismo similar
Philon de Bizancio	Clepsidras	Reloj mecánico	Misma funcionalidad
	Sirvienta de Philon	Autómatas y robótica	Funcionalidad y finalidad similares
		Giróscopo mecánico	Mismo mecanismo
Herón de Alejandría	Tintero de ocho caras	Junta Cardan / Junta homocinética	Mismo mecanismo
			Mecanismo similar
	Aeolípila	Máquina de vapor	Generación de energía similar
		Aspersores	Sistema de propulsión mediante conductos similar
	Puertas automáticas	Puertas automáticas	Misma finalidad
Vitruvio	Depósitos para múltiples líquidos	Máquinas de vending	Misma finalidad
	Odómetro	Topómetro	Misma finalidad y mecanismo similar
Vitruvio	Bomba de cangilones	Bomba de cangilones	Mismo mecanismo

Fuente: elaboración propia.



### 3. Conclusiones

De este trabajo se extrae una amplia visión de las máquinas y mecanismos que posibilitaron el desarrollo social-económico y tecnológico durante la Antigüedad Clásica y se da a conocer a cinco autores, inventores, científicos e ingenieros que han sido claves en la historia de la humanidad, algunos de ellos muy conocidos como son Arquímedes y Vitruvio.

Considerando la Antigüedad clásica, periodo histórico que abarca numerosos siglos, para el desarrollo de este trabajo destacan los comprendidos entre el s. III a.C – s. I a.C. ya que durante estos siglos existió la biblioteca y escuela de Alejandría, en su máximo apogeo. Muestra de ello es que cuatro de los cinco autores aquí tratados visitaron y estudiaron en esta escuela. Este hecho demuestra la importancia del conocimiento y las instituciones de enseñanza, pudiendo asemejarse esta escuela a lo que hoy consideramos la universidad, institutos y centros de investigación.

El estudio del mundo clásico, en concreto las máquinas y su construcción, así como el interés por la ciencia fue abandonado en gran parte durante la Edad Media. Mientras que, durante el Renacimiento surge de nuevo el interés, la curiosidad y el conocimiento científico, lo que hizo de esta época un punto clave para el desarrollo tecnológico de la humanidad con grandes autores como Galileo Galilei y Leonardo da Vinci. De ello pueden extraerse las siguientes reflexiones: por un lado, quién sabe cuál sería el estado científico actual de haberse continuado el desarrollo científico con una visión helenística durante la Edad Media. Por otro lado, que la inversión en desarrollar conocimiento y con ello tecnología es de gran beneficio para el desarrollo de la sociedad, tanto actual como futura. Por último, que el estudio de la historia, del pasado y de los desarrollos previos siempre puede ayudar al desarrollo actual.

### 4. Referencias

- [1] «Charles Babbage | Biography, Computers, Inventions, & Facts | Britannica». Accedido: 25 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.britannica.com/biography/Charles-Babbage>
- [2] D. Herath y D. St-Onge, Eds., *Foundations of Robotics: A Multidisciplinary Approach with Python and ROS*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. doi: 10.1007/978-981-19-1983-1.
- [3] M. Ceccarelli, «The Mechanics of Archimedes Towards Modern Mechanism Design», en *The Genius of Archimedes -- 23 Centuries of Influence on Mathematics, Science and Engineering*, vol. 11, S. A. Paipetis y M. Ceccarelli, Eds., en *History of Mechanism and Machine Science*, vol. 11. , Dordrecht: Springer Netherlands, 2010, pp. 177-187. doi: 10.1007/978-90-481-9091-1\_12.
- [4] J. Brunschwig y G. Lloyd, *Diccionario Akal de El saber griego*. Ediciones AKAL, 2000.
- [5] G. Lee, H. Whittaker, y G. Wrightson, *Ancient Warfare: Introducing Current Research, Volume I*. Cambridge Scholars Publishing, 2015.
- [6] E. Papadopoulos, «Heron of Alexandria (c. 10–85 AD)», en *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies Part 1*, M. Ceccarelli, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2007, pp. 217-245. doi: 10.1007/978-1-4020-6366-4\_9.
- [7] N. Pierrotti, «La Neumática de Herón de Alejandría. Documentos para el estudio del Antiguo Oriente.», *egiptomania.com*, ene. 2004.
- [8] I.-M. Lloret-Sos, «Ars topiaria, Mise-en-scène y entradas triunfales. El arte como placer y la ciencia como la máquina del mundo durante los siglos XVI y XVII.», *Ars topiaria, mise-en-scène, entrades triomfals. L'art com plaer i la ciència com la màquina del món durant els segles XVI i XVII*, 2018, doi: 10.6035/Millars.2018.45.8.
- [9] M. Ceccarelli, «Renaissance of machines in Italy: From Brunelleschi to Galilei through Francesco di Giorgio and Leonardo», *Mech. Mach. Theory*, vol. 43, n.º 12, pp. 1530-1542, dic. 2008, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2008.01.001.
- [10] E. Bautista Paz y Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, *Breve historia ilustrada de las máquinas*, Ed. de julio 2007. Madrid: Sección de Publicaciones de la E.T.S.I. Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 2007.

- [11] T. Koetsier y H. Blauwendraat, «The Archimedean Screw-Pump: A Note on Its Invention and the Development of the Theory», en *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*, M. Ceccarelli, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2004, pp. 181-194. doi: 10.1007/1-4020-2204-2\_15.
- [12] G. Drachmann, *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity*. Copenague: Munksgaard, 1963.
- [13] T. G. Chondros, «Archimedes (287–212 BC)», en *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies Part 1*, M. Ceccarelli, Ed., Dordrecht: Springer Netherlands, 2007, pp. 1-30. doi: 10.1007/978-1-4020-6366-4\_1.
- [14] J. Ortiz de Sanz, *De Architectura de M. Vitruvio Polión*. Madrid: Imprenta Real, 1787.
- [15] M. Urteaga, T. Schiöler, M. J. Noain, y D. L. de Munain, «La válvula de la bomba Ctesibio de Oiasso, Irun (Gipuzkoa)».
- [16] «Bomba hidráulica de Sotiel-Coronada», Google Arts & Culture. Accedido: 26 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://artsandculture.google.com/asset/bomba-hidráulica-de-sotiel-coronada/LQGVomzXL2NEXA>
- [17] L. Fraiture, «A History of the Description of the Three-Dimensional Finite Rotation», *J. Astronaut. Sci.*, vol. 57, n.º 1-2, pp. 207-232, ene. 2009, doi: 10.1007/BF03321502.
- [18] H. Rubio Alonso, «Código Madrid I: Un análisis de los mecanismos del primer tratado completo de sistemas mecánicos», *Téc. Ind.*, vol. 337, pp. 44-52, abr. 2024, doi: 10.23800/10549.
- [19] B. Woodcroft, *The Pneumatics of Hero of Alexandria: From the Original Greek*. Taylor, Walton and Maberly, 1851.