

03-023

ANALYSIS OF THE TECHNICAL DOCUMENTATION OF THE DESIGNS AND PROJECTS OF LEONARDO DA VINCI

Cerveró Meliá, Ernesto; Ferrer Gisbert, Pablo; Capuz Rizo, Salvador

Universitat Politècnica de València

Leonardo da Vinci improved and fully completed the drawings and sketches of the designs of the Italian engineers who were contemporaries or who preceded him. Thus, he improved the machine designs of Paolo Santini and Francesco di Giorgio Martini, or those of the hydraulic devices of Mariano di Jacopo. He also complemented and exceeded Brunelleschi's crane designs for his Arno River detour project, arriving to elaborate specifications and documents with similar characteristics to the current ones.

As an example, in his project of the Sforza's Great Horse, he develops the memory, the general and detailed plans, the legends incorporated into the plans, etc., and in his project of the Mausoleum for Marshal Trivulcio he incorporates a budget with detailed prices by items, almost equivalent to those made today.

The article aims to demonstrate the document superiority of Leonardo's designs in front of his contemporaries, showing that the documentation elaborated by him for some of his technical designs allow us to qualify him as a precursor of the modern technical documentation.

Keywords: *Leonardo da Vinci; technical specification; blueprints and drawings; project documents*

ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE LOS DISEÑOS Y PROYECTOS DE LEONARDO DA VINCI

Leonardo da Vinci mejoró y completó con creces los dibujos y esbozos de los diseños de los ingenieros italianos coetáneos o que le precedieron. Así, mejoró los diseños de máquinas de Paolo Santini y de Francesco di Giorgio Martini, o los de los artilugios hidráulicos de Mariano di Jacopo. Igualmente complementó y superó los diseños de grúas de Brunelleschi para su proyecto de desvío del Río Arno, llegando a elaborar especificaciones y documentos con características similares a las actuales.

A modo de ejemplo, en su proyecto del Gran Caballo Sforza, desarrolla la memoria, los planos generales y de detalle, las leyendas incorporadas a los planos, etc., y en su proyecto del Mausoleo para el Mariscal Trivulcio incorpora un presupuesto con precios detallados por partidas, casi equivalente a los que se realizan hoy en día.

El artículo quiere demostrar la superioridad documental de los diseños de Leonardo frente a sus coetáneos, mostrando que la documentación por él elaborada para algunos de sus diseños técnicos permiten calificarle como un precursor de la moderna documentación técnica.

Palabras clave: *Leonardo da Vinci; especificación técnica; planos; documentos del proyecto*

Correspondencia: Salvador Capuz Rizo scapuz@dpi.upv.es



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

A finales del medievo y en los inicios del Renacimiento, Italia estaba compuesta por un sin fin de ducados (como Milán, Mantua o Ferrara), señoríos (como Rímini o Cesena) y ciudades estado (como Florencia y Venecia), que pugnaban entre ellos para incrementar el prestigio, engalanamiento y seguridad de sus respectivas cortes; lo que generó la necesidad de utilización de artistas, ingenieros y arquitectos que ayudaran a materializar tales propósitos. Ello incrementó el prestigio de dichas profesiones y facilitó el interés por el saber y la creatividad, y en concreto por el diseño de mecanismos y máquinas, tanto bélicas de defensa, como hidráulicas y de ayuda a la construcción. Muchos de ellos empezaron a plasmar sus diseños en tratados y manuscritos que son hoy objeto de estudio y admiración.

Leonardo da Vinci (1452 Vinci–1519 Amboise) es el más conocido de los ingenieros que ejercieron en todas estas disciplinas y que, dotado de una notable curiosidad y de una gran capacidad inventiva, hicieron que, aparte de su trabajo artístico, ejerciera como ingeniero civil y militar, a lo largo de su vida, para varios mandatarios como los Duques de Milán, las Repúblicas de Venecia y de Florencia, varios pontífices, incluso reyes de Francia. Todo ello lo plasmó junto con apuntes de pintura, escultura, etc. en un sinfín de hojas manuscritas, de las que hoy se conservan unas 7000, distribuidas en varios códices y manuscritos como el Códice Atlántico (Biblioteca Ambrosiana de Milán), el Códice de Madrid I y II (Biblioteca Nacional de España), el Códice Arundel (British Library, Londres), el Códice Foster (Victoria and Albert Museum, Londres), el Códice Hammer o Leicester (propiedad de Bill Gates, Seattle, Washington), el Códice del vuelo de los pájaros (Biblioteca Real de Turín), el Códice Trivulzio (Biblioteca Trivulziana, Castello Sforcesco de Milán), los manuscritos de Anatomía y otros (Royal Library del Castillo de Windsor) y los Manuscritos A a M (Biblioteca del Instituto de Francia, París).

A continuación se mencionan algunos de los ingenieros destacados de aquel entonces que, junto con Leonardo, plasmaron sus diseños técnicos.

Mariano di Jacobo, conocido como “Il Taccola” (1382-1458 Siena). Es autor de dos tratados manuscritos, uno conocido como “*De ingeneis*” (compuesto por el libro I-II, emplazado en la Biblioteca Estatal de Baviera, Munich, denominado Codex Latinus Monacensis 197 II; y por el libro III-IV ubicado en la Biblioteca Nacional de Florencia y denominado Manuscrito Palatino 766); y otro conocido como “*De machinis*” (un solo libro ubicado en la Biblioteca Estatal de Baviera, Munich, denominado Codex Latinus Monacensis 28800). En ambos representa dibujos y diseños de ingenios, mecanismos y máquinas hidráulicas, de molienda, de ayuda a la construcción y de guerra. Era poco conocedor del conjunto de elementos que conforman la perspectiva, por lo que sus métodos de representación tienen todavía mucho de medieval. No obstante, sus dispositivos son del todo ingeniosos y sirvieron de base a otros ingenieros posteriores.

Roberto Valturio (1405-1475 Rímini). Fue el autor del tratado militar “*De Re militari*” conformado por una historia de la guerra, con dibujos propios de maquinaria y defensa militar y alusiones a libros clásicos sobre ello, así como una dedicación al Señor de Rímini, Pandolfo Malatesta (1417 Brescia - 1468 Rímini). La primera edición es de 1446, escrita en latín, y fue objeto de varias ediciones posteriores.

Francesco di Giorgio Martini, (1439-1501 Siena). Persona polifacética que actuó como ingeniero, arquitecto, pintor y escultor. Fue conocedor de los escritos de “Il Taccola”, y amigo de Leonardo, con el que coincidía en inquietudes, y con el que colaboró para el asesoramiento en la reconstrucción de la catedral de Pavía. No obstante, tuvo menor amplitud de campo y de análisis reflexivo que este último. Su manuscrito el “*Codicceto*” (1465-70), existente en la Biblioteca Apostólica Vaticana de Ciudad del Vaticano y

denominado Manuscrito Latino Urbinate 1757, contiene diseños de mecanismos y máquinas hidráulicas, de molinos, carros de combate, etc., algunos de ellos copiados y mejorados de los de “Il Taccola”. El “*Opusculum de Architectura*” (1475-78) tiene un contenido similar al anterior pero con mejores detalles y explicaciones y que se denomina Manuscrito 197.b.21, ubicado en el British Museum de Londres. Y el “*Tratado de Arquitectura y Maquinas*”, del que hizo dos versiones; la primera de 1480, denominada Manuscrito Ashbumham 361, ubicado en la Biblioteca Medicea Laurenziana de Florencia, y en el que Leonardo también realizó algunas anotaciones; y la segunda versión de 1490, mucho más extensa, denominado Manuscrito II.I.141, ubicado en la Biblioteca Nacional Central de Florencia. Ambos se estructuran con una primera parte dedicada a dibujos y reflexiones sobre arquitectura, y una segunda dedicada a mecanismos y máquinas.

Paolo Santini (de Lucca). Es autor del denominado Manuscrito Latino 7239, de medianos del siglo XV, existente en la Biblioteca Nacional de París, aunque algunos historiadores lo creen más antiguo, de finales del siglo XIV, identificando al autor como Pauli Sanctini Ducensis (*Catalogue des manuscrits* de la Biblioteca Nacional de Francia), y que viene a ser casi una copia fiel de los tratados de “Il Taccola” pero debidamente adornados y coloreados. (Lucchesini, 1825).

Bonaccorso Ghiberti (1451-1516 Florencia). Ingeniero florentino, que escribió un manuscrito sobre artillería, armas y tecnología varia toscana, denominado “*Zibaldone*”, existente en la Biblioteca Nacional Central de Florencia. En él dibujó grúas, entre ellas la “grúa giratoria con contrapeso” que el arquitecto Filippo Brunelleschi (1377-1446 Florencia) inventó y utilizó en la construcción de la cúpula de Santa María de Fiore, para ir subiendo el material apoyándose en la propia construcción.

2. Objetivo

El objetivo del artículo es demostrar la superioridad documental de los diseños de Leonardo frente a sus coetáneos y predecesores, mostrando además ejemplos de ello y de que la documentación por él elaborada en algunos de sus diseños técnicos puede calificarse como precursora de la moderna documentación técnica que conforman hoy los Proyectos técnicos.

Martin Kemp (1942 Reino Unido) profesor de Historia del Arte en la Universidad de Oxford y uno de los mejores expertos en la obra de Leonardo, a raíz de la muestra “Los ingenios de Leonardo”, realizada en Londres en 2016, manifestó: “*Lo más asombroso de Leonardo, y lo que de verdad le distingue de sus coetáneos, es la calidad de sus dibujos...; su capacidad de observación y su habilidad para visualizarlo todo le desmarcan del resto*” (Fresneda, 2016).

Y el investigador italiano y doctor en Historia, Domenico Laurenza, opina: “*La confianza en el valor del dibujo como medio de comunicación relaciona a Leonardo con Taccola o con Francesco di Giorgio, pero Leonardo va más allá de la tradición que le había precedido no solo por la mayor calidad de sus dibujos o por las variadas e innovadoras fórmulas visuales de presentación del Proyecto (imagen desde varios puntos de vista, representación en conjunto y de los componentes, etc.), sino también por la complejidad de los contenidos contextuales expresados, a través del lenguaje visual, por la máquina*”. (Laurenza & Taddei & Zanon, 2006).

No solo Leonardo fue más prolífico que sus coetáneos y predecesores, en cuanto a cantidad de diseños de mecanismos y máquinas, sino que al comparar sus diseños técnicos y los del resto de ingenieros, observando los dibujos de los códices y manuscritos de varios de ellos, pueden comprobarse los adelantos y mejoras en los diseños de Leonardo. Así pues, el presente artículo pretende poner de manifiesto que los primeros diseños técnicos a los que

puede otorgárseles la denominación de verdaderos Proyectos Técnicos, similares a como se conciben hoy en día, fueron los de Da Vinci.

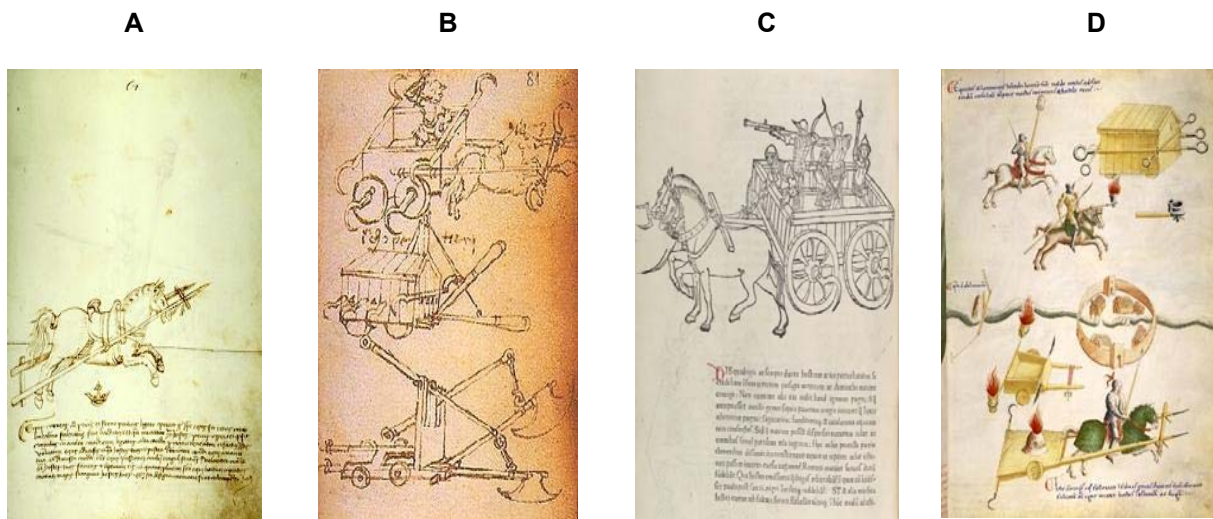
3. Los diseños de máquinas para la guerra

La defensa de ciudades y castillos fue fundamental en el final de la Edad Media, por lo que los ingenieros al servicio de los mandatarios tuvieron que diseñar o proyectar máquinas bélicas que iban desde un simple carro de guadañas a una catapulta.

3.1 El carro con guadañas

Consistía en un carro, tirado por caballos o bueyes, al que se le incorporaban hoces de grandes dimensiones o guadañas, tanto a las ruedas laterales como en la parte delantera de las guías de las bestias, con el fin de que simplemente embistiendo al enemigo, las guadañas hicieran su función mortal.

Figura 1: A) *Il Taccola*, Manuscrito “*De Machinis*”, Bayerische Staatsbibliothek (Biblioteca Nacional de Baviera); B) Di Giorgio, Manuscrito “*Opusculum de Architectura*”, British Museum. C) R. Valturio Tratado de “*Re Militari*” (Edición de 1472) Carro con guadañas (www.metmuseum.org , Museo Metropolitano de Arte de New York). D) Paolo Santini, Carro incendiario “*Manuscrito Latino*” 7239 c. 19 r, Biblioteca Nacional de Paris (origen de las imágenes A, B y D <https://brunelleschi.imss.fi.it> , Museo Galileo, Florencia).



Los diseños de “*Il Taccola*” (Figura 1, A) y Di Giorgio (Figura 1, B) apenas son dibujos coherentes, que parecen de aprendices. La visión y perspectiva elegidas son inadecuadas e incluso el tamaño o relación entre las distintas partes del dibujo son a veces erróneas. R. Valturio (Figura 1, C) mejora en los acabados del dibujo, pero no es ilustrativo en cuanto al funcionamiento de la máquina, solo la explica en el texto. Mientras que P. Santini (Figura 1, D y 2, A) elabora figuras deficientes, que son similares al Manuscrito “*De Machinis*” de *Il Taccola*, pero debidamente coloreadas; de hecho hay expertos que establecen que son copia de las de “*Il Taccola*”. En definitiva, puede apreciarse en los dibujos y bocetos de los carros de guerra o con guadañas del resto de ingenieros predecesores y coetáneos de Leonardo, que aunque precisos desde el punto de vista descriptivo, son solo ilustrativos y con una deficiente perspectiva, tamaño de ruedas desproporcionado, sin visión o referencia clara a los mecanismos de funcionamiento, etc. Leonardo los supera a todos con los dos diseños del manuscrito de 1485 de la Biblioteca Real de Turín f.15583 r (Figura 2, B) (existiendo otro similar en el British Museum de Londres).

Figura 2: A) Paolo Santini, Carro con guadañas, “Manuscrito Latino” 7239 c. 78 r, Biblioteca Nacional de Paris (<https://brunelleschi.imss.fi.it>, Museo Galileo, Florencia). B) Leonardo, Carro con guadañas móviles. f. 15583 r (1485) Biblioteca de Real de Turín.

A



B



Los dos diseños plasmados por Leonardo en el manuscrito, no son solo superiores en dibujo, sino que este no se conforma con la solución estática y convencional de sus predecesores y coetáneos (donde las guadañas delanteras no se mueven y las de las ruedas solo recorren el movimiento de estas) y, además de añadir unas guadañas traseras, aprovecha el movimiento de las ruedas para hacer que las guadañas tanto traseras como delanteras (Figura 3, B) sean más eficaces. Para ello, mediante dos engranajes principales de tipo jaula o linternas, y un árbol de unión central, también provisto de engranajes en su inicio y fin, traslada el movimiento de las ruedas por un lado a las guadañas traseras y por otro a las de la parte delantera del carro y hace que todas las guadañas giren a mayor velocidad, en función del árbol multiplicador, siendo estas mucho más efectivas. Lo que supone ya no solo un boceto de solución como los del resto de ingenieros, sino un diseño o proyecto complejo, con necesidad de conocimientos de mecánica para su correcto diseño y construcción.

Además, ambas soluciones comunican movimiento y expresan dinamismo, incluyendo incluso figuras humanas con sus extremidades recién cortadas que muestran el dramatismo y la eficacia en el uso de la máquina.

Figura 3: A) Maqueta del Carro de Guerra (Biblioteca Real de Turín), B) Detalle del final del árbol de transmisión a las guadañas delanteras.

A



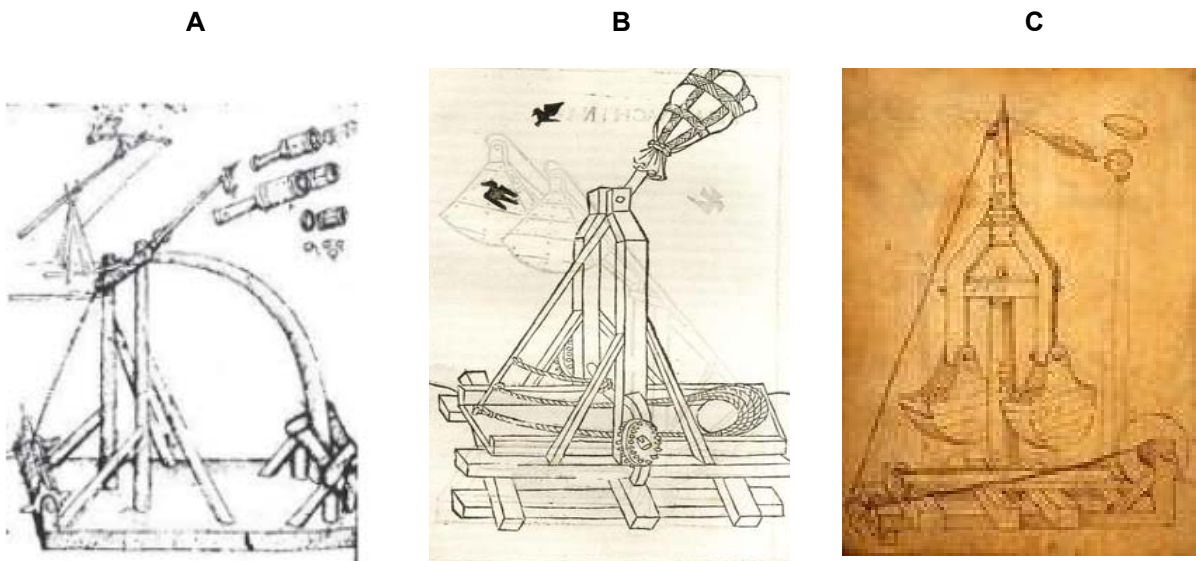
B



3.2 Las catapultas

Fueron la solución de ataque y defensa más eficaces, hasta la aparición de armas que aprovechaban el uso de la pólvora. Su función era lanzar un proyectil de elevado peso (piedra o bola de hierro) o flecha punzante, a la mayor distancia posible gracias a la energía almacenada en un elemento elástico, generalmente un mecanismo, que actuaba al estar en tensión, adquirida bien por torsión, tracción o contrapeso.

Figura 4: A) “Il Taccola“, Catapulta de (García, 2011). B) R. Valturio, Catapulta de Tratado “Re Militari” (Edición de 1472) (Museo Metropolitano de Arte de New York). C) Di Giorgio, Catapulta de “Opusculum de architectura” Ms 197.b.21 (British Museum, London) c. 37v (<https://brunelleschi.imss.fi.it>).



Los diseños de los ingenieros predecesores (Figura 4, A, B, C) y coetáneos de Leonardo tienen una representación gráfica muy elemental, están carentes de una perspectiva correcta, e incluso sin coherencia en cuanto a la relación entre los tamaños de los elementos que conforman la máquina.

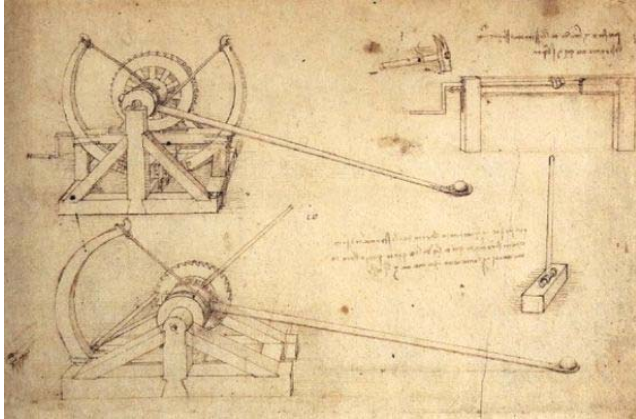
Leonardo (Figura 5) de nuevo mejora la solución convencional de catapulta de un brazo, añadiendo, junto con un dibujo perfecto, una perspectiva correcta y un adecuado número de vistas, una novedosa solución tecnológica, con la opción de utilizar dos brazos o ballestas de madera combada para garantizar un impulso más fuerte. Un arrollamiento de cuerda sobre el eje central asegura el tensado cómodo de los brazos o ballestas que, mediante un trinquete, frena la posibilidad de soltarse. Muestra en otra vista (Figura 5, A), el tornillo sin fin (que será el que mueve la rueda de gran tamaño que fuerza el arrollamiento de la cuerda) movido por una manivela que sirve para tensar las ballestas de una manera cómoda. Mientras que en otra vista muestra un martillo que sirve para liberar el mecanismo o resorte y producir el disparo mediante un golpe. Las aclaraciones a los posibles mecanismos de funcionamiento las detalla en otro plano también con varias vistas y texto adjunto aclaratorio (Figura 5, B).

La visión en perfecta perspectiva, así como la colocación del propio proyectil en la cuchara, dan una perfecta expresión gráfica del proyecto.

También diseñó otras grúas de un solo brazo (Figura 6, A), o incluso más complejas para lanzamiento de flechas de gran tamaño, como la del folio 181 r del Códice Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán, (Figura 6, B), con cuya sola visualización en perspectiva se clarifica su funcionamiento.

Figura 5: A) y B) Leonardo, Proyecto de Catapulta f. 140 a r, y Detalles de resortes y cabrestantes de sistemas para tensado de la catapulta f. 148a r del Códice Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán (1485-90).

A



B

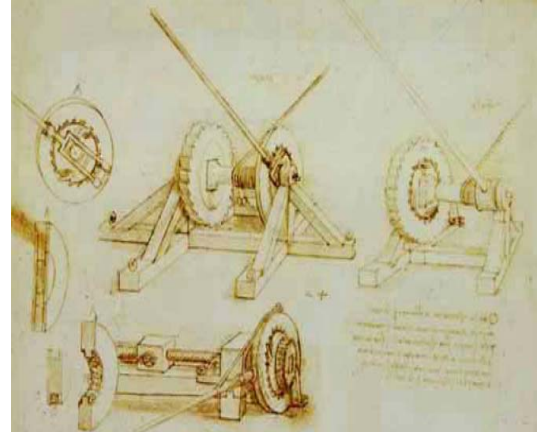
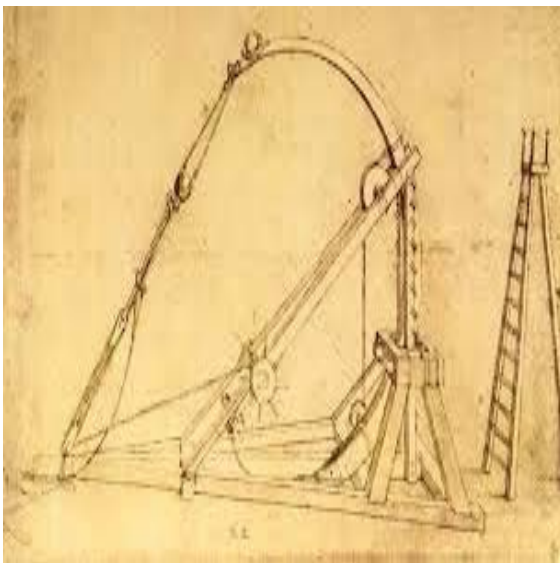
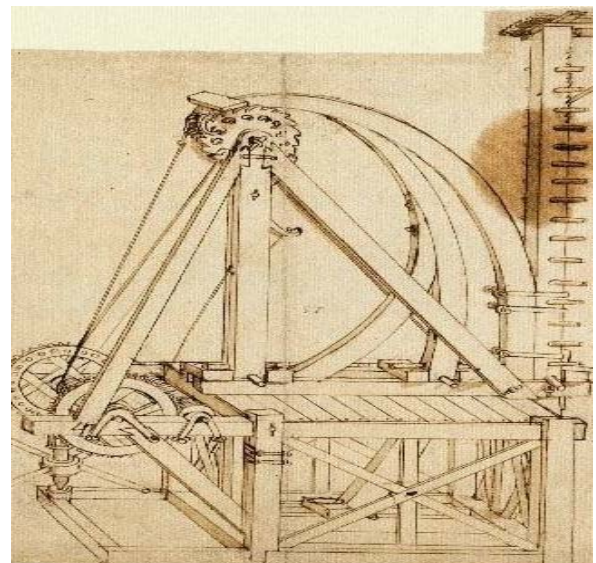


Figura 6: A) y B) Leonardo, Proyectos de Catapultas de un solo brazo f. 148b r; y para flechas f. 181 r, del Códice Atlántico, Biblioteca Ambrosiana de Milán (1485-90).

A



B



Colocando dos flechas de gran tamaño en la plataforma de la parte alta de la pilastra delantera, al liberar la catapulta, estas serán empujadas a larga distancia. Una manivela horizontal sirve para el tensado que, mediante engranajes, transmite el movimiento al cabestrante. En este caso diseña el trinquete de frenado en la parte superior de la pilastra trasera y el mecanismo de liberación en el centro de esta.

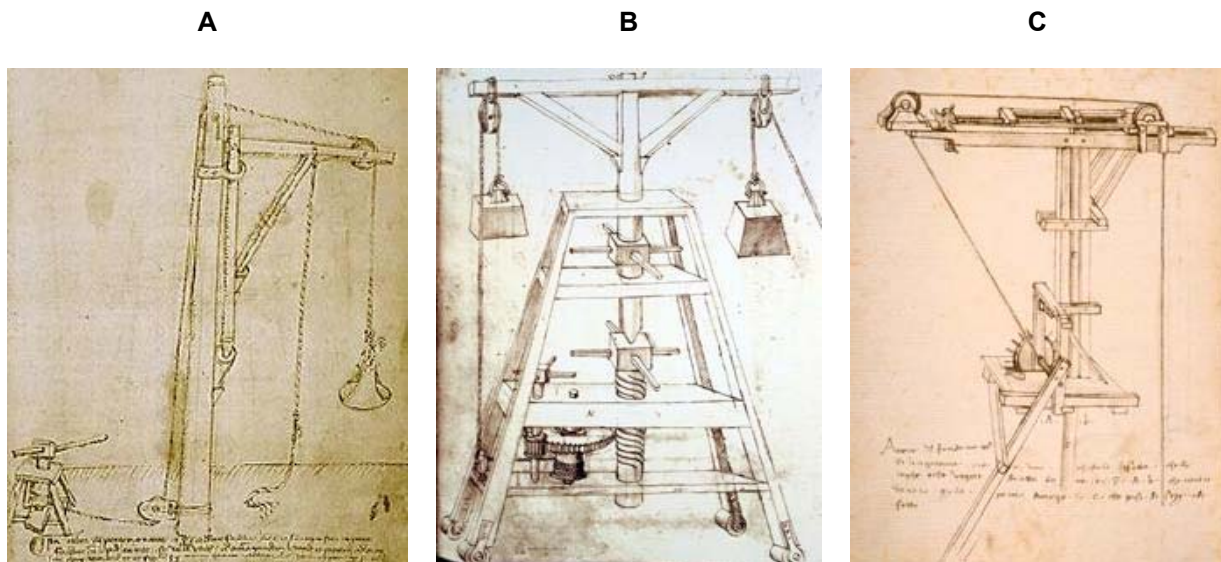
En el conjunto de diseños de catapultas, las de Leonardo son superiores en calidad, más completas, muestran diferentes vistas de un mismo proyecto, e incluso detalles de los mecanismos de funcionamiento, y se apoyan muchas veces en varios planos compuestos de las vistas necesarias. Demuestran un dominio excepcional de los elementos mecánicos, muy por encima del resto de ingenieros predecesores y de su época, que solo observan dibujos generalistas de la máquina.

4. Las grúas

Las grúas son elementos mecánicos que se precisan para un sinfín de tareas, p. e. elevación de cargas en trabajos de desvío de ríos, de piezas de artillería, o de columnas en construcción. Todos los ingenieros anteriormente citados, junto con Leonardo, las diseñaron o dibujaron a su manera, con más o menos corrección y detalle.

Como en puntos anteriores, se aprecia en los diseños del resto de ingenieros (Figura 7, A, B, C) una menor precisión en los dibujos así como una falta de la perspectiva adecuada. Igualmente, sus dibujos no manifiestan de manera clara el funcionamiento de los elementos mecánicos base para el accionamiento de las grúas.

Figura 7: A) Ingeniero sienés anónimo, Grúa siglos XV-XVI. B) Di Giorgio, Grúa, “Tratado Arquitectura y Maquinas 2ª versión”, Biblioteca Nacional Central de Florencia. C) Bonaccorso Ghiberti, Grúa giratoria con contrapeso de Brunelleschi, Manuscrito “Zibaldone”, B.R. 228, c. 107v Biblioteca Nacional Central de Florencia (sobre 1500). (<https://brunelleschi.imss.fi.it> Museo Galileo, Florencia).

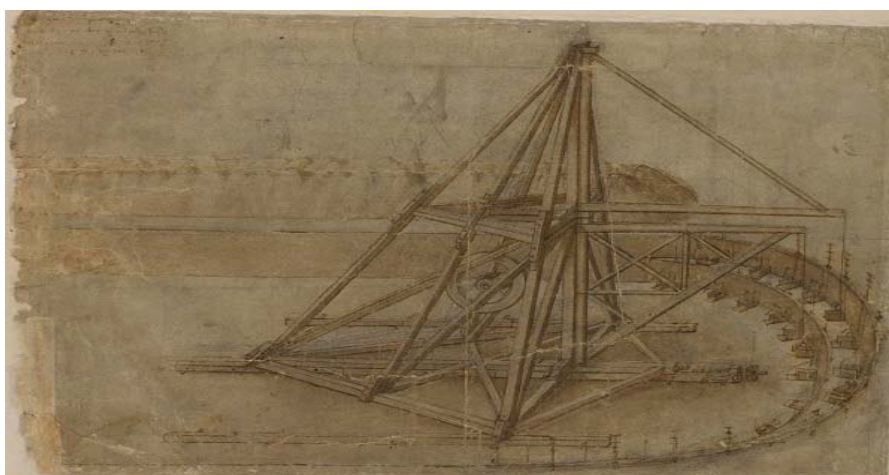


Leonardo también tiene diseños similares a los de todos ellos (p.e. Códice de Madrid, folio 96r y en el Códice Atlántico, folios 905 y 944v) pero la República de Florencia le encargó en 1503 el proyecto de desvío del río Arno, con el fin dejar a la ciudad de Pisa sin control del mismo y hacerlo navegable hasta Florencia. Para ello tuvo que estudiar soluciones de máquinas que hicieran las funciones de excavación de tierras de manera rápida y en grandes cantidades, con lo que diseñó varias soluciones de grúas, destacando una gran grúa giratoria y móvil, con doble brazo de actuación y a dos niveles de acción, que supera gráficamente y en características tecnológicas a todas las existentes hasta entonces.

La dibuja (Figura 8) en el Códice Atlántico con tiza, pluma y tinta sobre papel. La grúa es de grandes dimensiones, con un radio de giro de la mitad del tamaño del canal proyectado para solo tener que tocar el material una vez. En el recorrido de la grúa, girando a un lado o a otro, haría que el material central extraído se depositara en cada lateral y, con una sola operación, iría conformando un dique en cada lateral o extremo. En su parte baja diseña unos raíles que, a medida que avanzase la excavación, se irían prolongando, retirando los traseros y facilitando el desplazamiento de la grúa. Un cabestrante ubicado en la parte baja de la pata central delantera de la grúa facilitaría el desplazamiento de esta a través de los tres raíles. El elevado número y la distribución de los cajones de carga de tierra dan una idea de la magnitud de la obra, de las dimensiones de la grúa y de la necesidad de mano de obra.

La ratificación de que se trataba de un Proyecto completo, la reafirma el ya citado Domenico Laurenza: *“Este estudio es probablemente un proyecto para un contratista. Lo revela el carácter perfeccionista: Leonardo ha trazado primero con lápiz negro las líneas generales (los signos son todavía visibles), y después ha delineado con pluma el dibujo final, completado con acuarela. Por tanto, no se trata de un estudio hecho de manera improvisada, sino una copia en limpio. La necesidad de crear modelos antes de realizar la obra definitiva era común entre ingenieros, escultores y arquitectos. El contratista de la obra observando el modelo, podía pedir modificaciones o aceptar la propuesta y dar vía libre a su realización... El artífice podía crear modelos tridimensionales a escala o hacer dibujos, cuidados en los detalles y en la forma, casi siempre acabados con acuarela... Los contratistas eran probablemente los representantes de la República Florentina, que habían pedido a Leonardo que hiciera navegable el río Arno”* (Laurenza & Taddei & Zanon, 2006).

Figura 8: Leonardo, gran Grúa giratoria para excavar de canales, Códice Atlántico f. 4r, 1503 Biblioteca Ambrosiana Milán. (<https://brunelleschi.imss.fi.it> , Museo Galileo, Florencia).

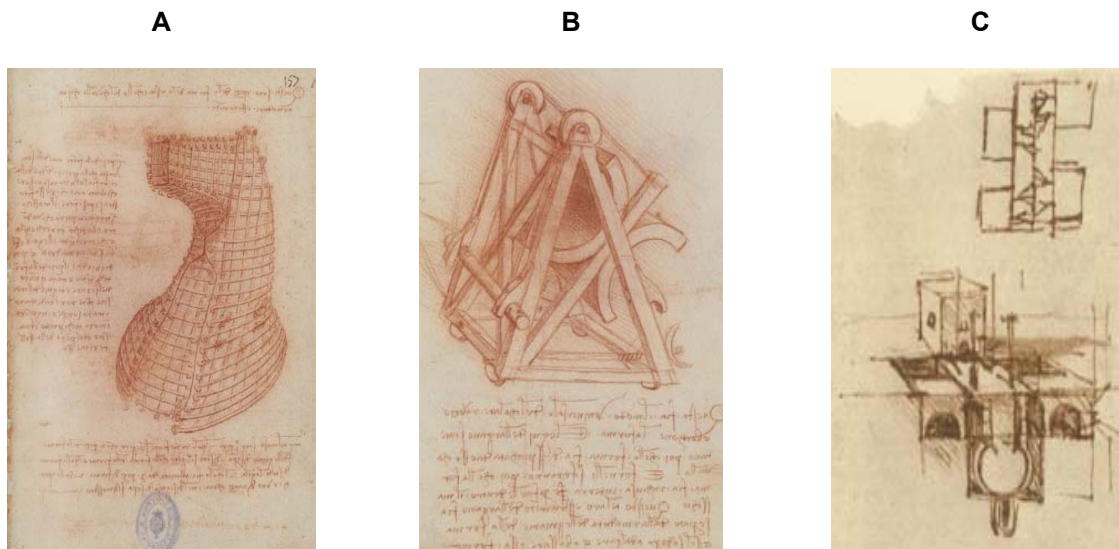


5. El conjunto de documentos del proyecto técnico en Leonardo

Los manuscritos de Leonardo estudiados documentan con claridad lo que es la visión gráfica actual de un proyecto técnico, o sea el conjunto de **planos** es abordado con detalle por Leonardo. Además, lo considerado como **memoria** aparece también claramente en las descripciones escritas junto a sus dibujos o planos.

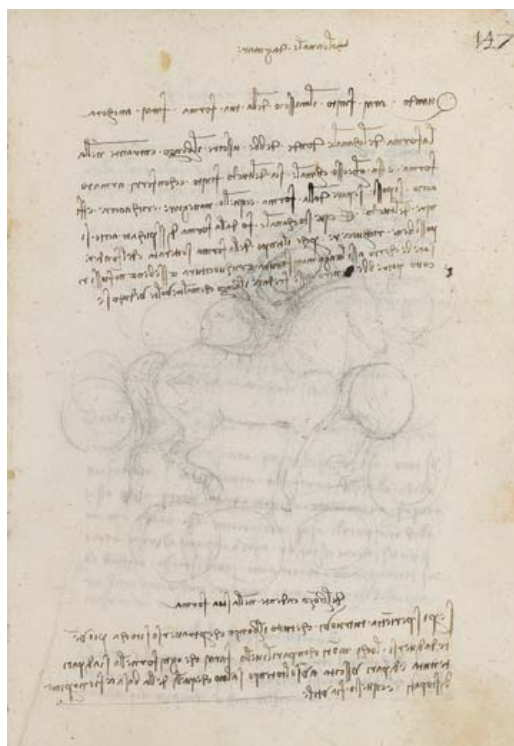
Pero además podemos encontrar más partes del concepto actual de Proyecto en otros trabajos de Leonardo, como por ejemplo en su **Proyecto** del Caballo Sforcesco (Cerveró & Ferrer & Capuz, 2016), que pretendía crear una estatua de fundición de más de 7 m de altura en honor del Duque de Milán, desarrollado principalmente en los manuscritos del Códice de Madrid II, en su parte final, a partir del folio 144v, hasta el folio 157v. Existen 27 hojas manuscritas con los dibujos, **planos**, croquis, y **memorias** de construcción mediante escritos de manera especular, con datos, **cálculos**, estimaciones, **mediciones**, etc. (algunas de ellas se detallan en las figuras 11, A y B, y 12, A). Previsor en cuanto a detallar el proyecto, Leonardo redacta también planos, información y referencias de cómo construir los habitáculos para los hornos y cuerpo de la propia fundición del caballo (folio 1103 r del Codex Atlanticus y en los folios manuscritos 12349r-p112r; 12348r-p112r; y 12348r-p108r de la Royal Collection, de Windsor). Esto último, como ejemplifica la figura 12, A y B, constituye un auténtico **pliego de condiciones técnicas de ejecución** del proyecto. Además, lo diseña enterrado, para ganar en estabilidad térmica, y con varios hornos en los laterales para, mediante canales, aportar la gran cantidad de metal líquido fundido en el menor tiempo posible.

Figura 11: A) y B) Detalles de la armadura de la cabeza para la fundición del caballo Sforza, f. 157r del C.M. II, y del soporte para levantar y bajar el molde del f. 155v del Codex Madrid II (Biblioteca Nacional de España) (<http://leonardo.bne.es/index.html>). C) Detalle para los hornos y cuerpo de la fundición, Manuscritos de la Royal Collection, de Windsor 12349r p112r (www.museosciencia.org).



En el folio f157v del Códice de Madrid II manifiesta “Aquí quedan registradas todas aquellas cosas que están relacionadas con el **proyecto del caballo de bronce** en el que estoy trabajando en la actualidad (17-5-1491)...”; pareciendo que Leonardo daba así por completada la documentación técnica del Proyecto.

Figura 12: A) Detalle de f147r del Codex Madrid II (Biblioteca Nacional de España). B) Su traducción (<http://leonardo.bne.es/index.html>).



Acerca del conducto de fundición

Cuando hayas acabado el macho de tu molde, prepararas también el molde del conducto por donde debe circular el bronce que entrara en el molde. Y procura que este conducto quede bien acabado y con los hierros de la armadura, con el fin de que se pueda separar del molde y manejar, recocer y ultimar por completo. Haré este conducto separado del molde para que se pueda recocer bien, porque la duración del tiempo que debe estar el molde bajo tierra y que necesita la fundición resultaría escasa respecto al tiempo necesario para la manufactura y recocido del conducto, que es más largo. Y si el conducto no estuviese bien recocido, el bronce se podría enfriar en su interior, como se ha podido comprobar en algunas ocasiones.

[Figura]

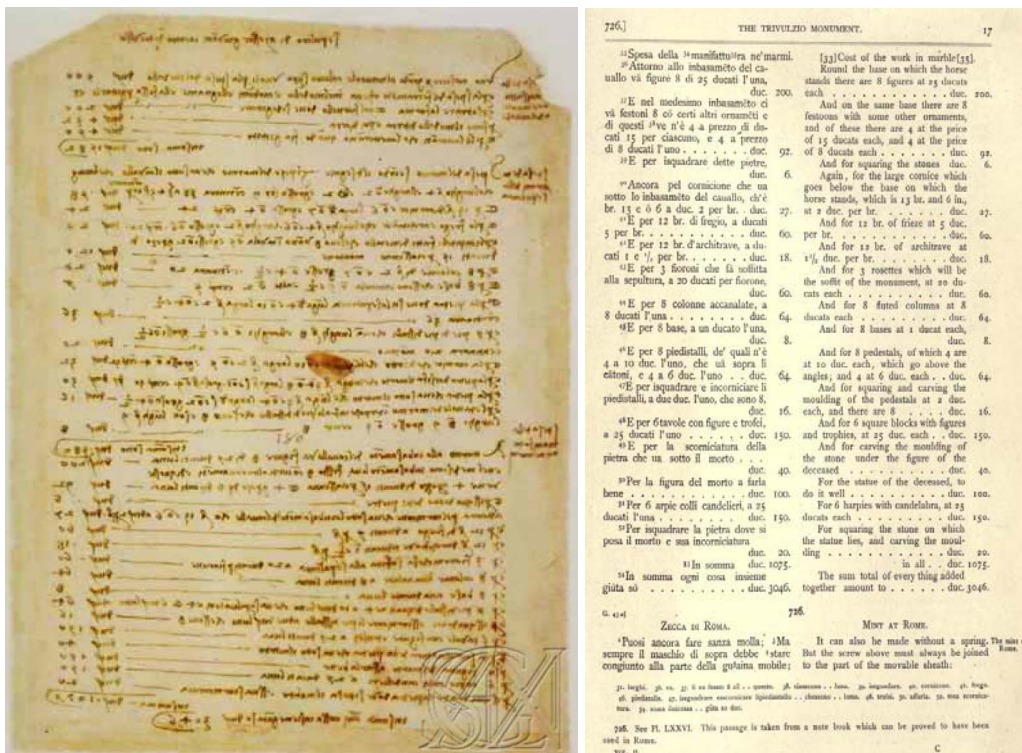
Sobre la caída del bronce en el molde

Si has comprobado experimentalmente que todo el bronce se comunica de manera transversal, procedente de diferentes lugares, y alcanza un mismo nivel, procurarás que cada hornillo tenga idéntica capacidad y la salida se efectúe al mismo tiempo, excepto los hornillos del pedestal que deben ser abiertos antes, ya que esto resulta útil.

Si quisiera observarse otro Proyecto con **presupuesto** incluido, basta consultar su Proyecto del Mausoleo para el Mariscal Gian Giacomo Trivulzio (existente parte en el folio 179 del

Código Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán, (Figura 13, A) y en los manuscritos de la Royal Collection de Windsor). En este proyecto, además de la memoria y los planos, se incluye un presupuesto con precios detallados por partidas, casi equivalente a los que se realizan en la actualidad. Leonardo divide el presupuesto en distintos conceptos coherentes de la obra que puedan considerarse y ejecutarse por separado, y le asigna costos a cada uno de ellos. En definitiva crea lo que hoy en día conocemos como “partidas”, y le asigna precios a cada uno de ellos, o lo que conocemos como “precios unitarios” y “asignación de precios”. Asignándole al proyecto un presupuesto total de 3046 ducados de la época. La traducción del citado Presupuesto por el historiador de arte alemán Jean Paul Richter (Dresde 1847-Lugano 1837) y primer compilador de los escritos de Leonardo, se adjunta en la figura 13, B).

Figura 13: A) Presupuesto del Mausoleo de Trivulzio f. 179 del Código Atlántico (Biblioteca Ambrosiana de Milán). B) Traducción del mismo (Richter, 1883).



6. Conclusiones

Se ha identificado perfectamente que Leonardo en sus folios manuscritos sobre diseños técnicos de hace más de 500 años ya conformó las clásicas partes o documentos que desde de la visión actual contemplan lo que es un Proyecto Técnico.

También se ha mostrado cómo fue innovador, con referencia a sus predecesores y coetáneos, no solo por la fuerza intelectual de sus dibujos y de una correcta perspectiva, sino por ser además pionero en la utilización de algunos recursos gráficos: utilización de mayor número de vistas en los planos, mayor descomposición en el diseño de componentes, utilización de vistas en transparencia para dibujar las partes opuestas o no visibles, utilización de zonas de sombreado para dar profundidad a las vistas en perspectiva o graficar zonas de colisión o rozamiento, e incluso simulación de momentos gráficos seguidos, utilizando vistas casi solapadas del dibujo para dar sensación de movimientos seriadados, lo que hoy equivaldría a las cadenas cinemáticas.

Todo ello viene confirmado por Soledad Álvarez, Catedrática de Historia del Arte de la Universidad de Oviedo, en la introducción del libro, "Once máquinas e ingenios de Leonardo Da Vinci interpretados por Carlos Gancedo": "*La polifacética y magistral actividad creativa de Leonardo son el origen de la ilustración científica en las que la imagen supera con minuciosidad y exactitud descriptiva a la reflexión teórica*" (Gancedo. 2011).

Pero Leonardo va aun más lejos y no solo se adelanta en la concepción de la morfología del Proyecto técnico sino que alcanza la filosofía actual del mismo. De acuerdo con la "Teoría de sistemas" de Karl Ludwing von Bertalanffy (Viena 1901-Búfalo 1972), todas las partes del proyecto y su objeto están interrelacionadas entre sí y con el entorno. Y Leonardo ya alude a esta visión en su siguiente manifestación: *¿Qué valor puede tener el que se dedica a abreviar las partes de las cosas, cuando pretende dar su conocimiento integral y deja tras de sí la mayor parte de lo que compone el todo?*" (Richter, 1883).

En el mismo sentido opina que para diseñar no basta conocer solo lo referente del pasado sino que hay que pensar en la necesidad de la propia experimentación y comprobación para adelantar en el conocimiento, manifestando en su Cuaderno de Notas (Edición de Busna 1982): "*Aquellos que se dedican a resumir obras perjudican al conocimiento y el deseo, ya que el deseo de algo es la fuente de conocimiento, y el deseo es tanto más ferviente cuando más cierto es el conocimiento. Esta seguridad nace del conocimiento profundo de todas las partes que componen el conjunto de una cosa*".

Referencias

Biblioteca Real de Turín. Obtenido el 24/02/2019. <https://www.museireali.beniculturali.it/biblioteca-reale/>.

Catalogue des manuscrits de la BnF. Biblioteca Nacional de Francia. Obtenido el 10/03/2019. <http://archivesetmanuscrits.bnf.fr/ark:/12148/cc66429v>.

Cerveró E, Ferrer P, Capuz S. El Caballo Sforza de Leonardo Da Vinci analizado desde la perspectiva de los proyectos de ingeniería. *20th International Congress on Project Management and Engineering*. Cartagena, 13-15th July 2016

Da Vinci, L. (1491-1493). *Códices de Madrid*. Madrid. Biblioteca Nacional de España, <http://leonardo.bne.es/index.html>.

Da Vinci, L. (1478-1518). *Códice de Atlántico*. Milán. Biblioteca Ambrosiana, <http://www.leonardo-ambrosiana.it/en/il-codice-atlantico/>.

Da Vinci, L. (1478-1518). *Manuscritos de la Royal Library Windsor*, Royal Collection Trust, <https://www.rct.uk/collection/themes/exhibitions/leonardo-da-vinci-a-life-in-drawing-0>

Da Vinci, L. (1487-1514). *Conjunto de Manuscritos de París*. París. Institut de France, <https://archive.org/details/lesmanuscritsdel00leonuoft>.

Da Vinci, L. (1487-1514). *Codex Arundel*. British Library de Londres. <https://www.metalocus.es/es/noticias/570-paginas-de-manuscritos-de-leonardo-da-vinci-estan-online-gracias-a-la-biblioteca-britanica-y-microsoft>.

Da Vinci, Leonardo (1982). *Cuaderno de Notas*. Madrid: Editorial Busma.

E-Leo. Biblioteca Leonardiana de Vinci. <http://www.leonardodigitale.com>.

Fresneda, C. (2016, Septiembre, 2). Los "ingenios" de Leonardo. *El Mundo*. Obtenido el 08/03/2019. www.elmundo.es/ciencia/2016/02/09/56b9f0b1268e3e2f108b4735.html.

Galería de la Academia de Venecia. Obtenido el 20/02/2019.

<http://www.gallerieaccademia.it/leonardo-da-vinci-universal-man-gallerie-dellaccademia-venice>.

Gancedo C., (2011) *Once Maquinas e Ingenios de Leonardo Da Vinci interpretados por Carlos Gancedo*. Editorial Fundación Museo Evaristo Valle.

García Fitz, F. (2011). Tecnología, literatura técnica y diseño de máquinas de guerra durante la Baja Edad Media occidental. *Anuario de Estudios Medievales* 41/2, 2011.

Gorman, M. J. (2002). Leonardo: Science, Technology, and Art <https://leonardodavinci.stanford.edu/submissions/clabaugh/history/othermen.html>.

Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia o Museo Galileo. Obtenido el 04/03/2019. <https://brunelleschi.imss.fi.it>.

Laurenza, D., Taddei, M., Zanon, E. (2006). *Las máquinas de Leonardo*. Susaeta Ediciones.

Les macchine di Leonardo da Vinci. Obtenido el 15/02/2019. <http://www.macchinedileonardo.com/index.php?machines-war#5>.

Lucchesini, C. (1825). *Memorie e Documenti per servire alla storia del Ducato di Lucca*. Francesco Bertini, tipografo ducale.

Museo Metropolitano de Arte de Nueva York. Obtenido el 06/03/2019. www.metmuseum.org

Museo de la Ciencia y la Tecnología de Milán. Obtenido el 27/02/2019. <http://www.museoscienza.org/english/visiting/leonardo-parade/>.

Richter, J. P. (1883). *The Literary Works of Leonardo Da Vinci*.

Universal Leonardo. Universidad de las Artes de Londres. <http://www.universalleonardo.org/work.php?>.

Nota: Las referencias “v” y “r” junto a la denominación de los folios (f.) o en francés “carte” (c.) de los manuscritos o códices, se refieren a “verso” y “recto”.