

Ingeniería mecánica en el siglo quince y su contribución al descubrimiento de América

Autores: JJ Prieto¹, JC Fortes¹, F Salguero¹,
R González-Palma², R Esquivel³

¹ Universidad de Huelva. Escuela Superior de Ingeniería.

² Universidad de Cádiz. Escuela Superior de Ingeniería.

³ Electricidad del Condado Sociedad Limitada

1. INTRODUCCIÓN

Existe numerosa y extensa bibliografía que hace referencia a todo lo recogido en este artículo sobre ingeniería de máquinas del Siglo XV. Esto difiere bastante si nos centramos en la parte de esta ciencia que contribuyó al descubrimiento de América, siendo este el objeto central de este trabajo.

No solo estamos ante una cuestión de arte naval, sino también ante una cuestión de ingeniería mecánica, la cual es desde el siglo XV una disciplina independiente.

Con los mecanismos utilizados y su estudio individualizado, se ha conseguido apreciar, el inestimable valor que la ingeniería mecánica aportó a esta hazaña, y sin la cual se hubiese sido complicado su éxito.

2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y MECANISMOS EN EL SIGLO XV

En el Siglo XV, pasamos de la Edad Media a la Edad Moderna, tomándose convencionalmente como momento de división entre ellas el año 1492 (Descubrimiento de América) o el 1453 (toma de Constantinopla por los turcos e invención de la imprenta). Entre los aspectos socio-políticos se desata la llamada Guerra de Sucesión Castellana, conflicto que se produjo en 1475 hasta 1479, por la sucesión de la Corona de Castilla, entre los partidarios de Juana, (hija del difunto monarca Enrique IV de Castilla), y los de Isabel. La guerra tuvo un marcado carácter internacional.

La Edad Media, tecnológicamente, es un periodo de cierta creatividad y de capacidad de innovar, por tanto, la aportación de las máquinas a la producción es fructífera. A la llegada del Renacimiento entre los siglos XIV y XV es cuando se produce revolución científica basada en los conocimientos e innovaciones de los siglos anteriores y estudios de mejora y renovación de los tratados árabes e incluso greco-romana.

Esta revolución científica fue un largo proceso creativo que supuso una transformación en tres áreas esenciales: la imagen del universo, la concepción de la ciencia y la metodología científica.

Se comenzaron a publicar los conocimientos de la mecánica de las máquinas considerándolos ya como una aplicación de la física, por personalidades tales como Galileo Galilei y Guidobaldo del Monte. Veamos diferentes máquinas, usadas en diferentes sectores productivos.

En el sector de la agricultura, el diseño de ciertas máquinas, permiten la mejora de sub-sectores como la lana, la harina o el vino como se muestra en el trabajo de Bautista Paz E.

En el sector de la construcción, el papel fundamental que empleaban las máquinas era el de elevación de cargas. Las obras arquitectónicas al ser cada vez más grandes necesitaron de nuevas soluciones. Cabe destacar la figura del arquitecto **Filippo Brunelleschi**, que no solo diseñaba edificios, sino

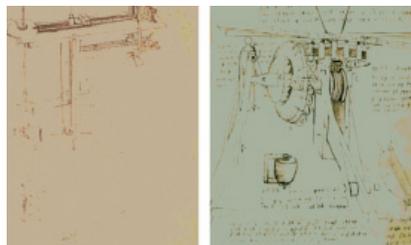


Fig. 1: Máquinas grúa de Filippo Brunelleschi, recogidas en la colección publicada por Bonaccorso Ghiberti en 1420.

que diseñaba también la maquinaria necesaria, grúas de la Figura 1, para construirlos.

Estos nuevos diseños eran adoptados inmediatamente por el gremio de los arquitectos. Otros diseños basados en poleas y tornillos son, la grúa diseñada por Da Vinci y utilizada por famosos arquitectos como Giuliano da Sangallo (figura 2a); la escalera de “De Ingensis” (figura 2b).

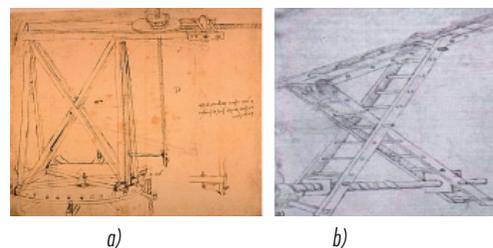


Fig. 2: a) grúa de Leonardo Da Vinci
b) escalera de “De Ingensis”

La guerra supone también en el siglo XV un campo de suma importancia en la investigación y desarrollo de nuevas soluciones técnicas, destacando la contribución de personalidades como Leonardo da Vinci y Francesco di Giorgio.

El sector del transporte salvo varios ingenios, sigue siendo prácticamente igual que en la edad media. Por tierra se desarrolla a través de carros de tracción animal y por mar a bordo de grandes veleros. Pero el Renacimiento aporta algunas nuevas soluciones originales, como el caso de las máquinas de Ramelli del trabajo “Le Diverse et Artificiose Machine”, constituida por numerosos engranajes y poleas como puede observarse en la Figura 3.



Fig. 3: Máquinas de arrastre de Ramelli.

Todas estas maquinas nos dan una idea del “estado del arte” de la ingeniería mecánica en la época del descubrimiento, y nos ayudan a comprender los conocimientos con que contaba el artesano a la hora de equipar las naves con la mejor dotación técnica posible. El objetivo es mecanizar al máximo la nave para hacerla mas veloz, más estable y segura, y con el menor esfuerzo posible.

3. INGENIERÍA MECÁNICA EN LAS CARABELAS

Las Carabelas disponían de las máquinas más complejas de su tiempo, y más aún en el siglo XV español. Esta complejidad nos venia ofrecida no solo por las mejoras en su diseño y construcción, sino por los numerosos adelantos técnicos con los que estaban dotada.

Adelantos técnicos en forma de sistemas mecánicos que hacían factibles numerosas labores de abordo y sin los cuales la historia habría sido totalmente diferente.

Estos sistemas mecánicos estaban basados principalmente en el uso de jarcias, poleas y palos, de tal forma que la nave se convierte en una estructura orgánica capaz de adaptarse a las numerosas circunstancias que un viaje transoceánico supone.

Los diferentes sistemas mecánicos con los que estaban equipados las Carabelas, se componen a su vez de diversos elementos mecánicos y mecanismos como jarcias, mástiles, vergas, poleas, polipastos, sistemas de poleas, timón, cabrestante y trinquete.

Jarcias: es el eslabón flexible (cuerda) encargado de la unión y desplazamiento del resto de elementos mecánicos. Puede tratarse de jarcia firme, se usa para afianzar (mástiles, velas, etc) o jarcia de labor, se usa para maniobrar o laborear (izado-arriado, etc).

Mástiles y vergas: junto a las jarcias, y tal y como se observa en la Figura 4, los mástiles y las vergas conforman la arboladura de la nave. Los mástiles son los palos verticales y las vergas son las

perchas perpendiculares a los mástiles. A las vergas se aseguran los grútiles de las velas, a fin de poder maniobrar con ellas de acuerdo con el viento. Reciben el nombre del mástil en el que van.

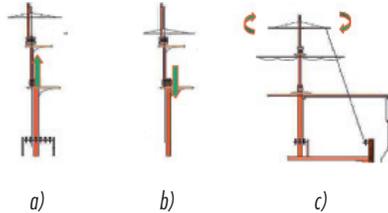


Fig. 4: Esquema de las principales funciones de la jarcia de labor. a) izado de vergas, b) bajada de las vergas, c) orientación de las velas.

Poleas o motones: como podemos ver en la Figura 5a y 5b, las poleas se componen de dos aberturas donde se atan las jarcias además de una rueda interior para redireccionar la fuerza ejercida mediante las jarcias. Una polea por si misma no supone ventaja mecánica alguna, esto se consigue mediante la unión de dos o mas poleas formando un sistema de poleas como se ve en la Figura 5b.

Distinguimos entre dos formas de usar estas poleas y así formar mecanismos de varias poleas sencillas. La primera de las formas seria la utilizada en la Figura 5b, la polea va fijada por uno de sus extremos mientras que a través de su rueda central redirecciona la fuerza. La segunda de las formas es la que se ve en la Figura 5a, en la que la polea va fijada de un extremo mientras que el otro extremo, tras pasar por otra polea, regresa para pasar por su rueda central. Esto puede observarse mejor en la Figura 5c. Este segundo tipo de polea al conformar junto con la primera un sistema mecánico, conlleva la ansiada ventaja mecánica.



Fig. 5: a) y b) reconstrucción de polea de la Nao Santa María, c) sistema mecánico formado por la unión de dos poleas.

Estos sistemas de poleas se unen a otros eslabones y/o mecanismos para formar diversos sistemas mecánicos como por ejemplo el sistema encargado de alinear las vergas. Este sistema, tal y como se muestra en las Figuras 6 y 7, está formado por jarcia de labor y sistemas de poleas. Su función es alinear las vergas con respecto al mástil a fin de alinear a su vez las velas atadas a éstas.

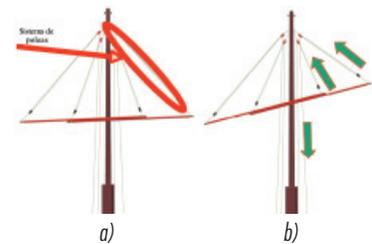


Fig. 6: a) reconstrucción del sistema de alineación de verga, b) sistema con verga inclinada con respecto al mástil.



Fig. 7: Sistemas de poleas en Verga del palo mayor de la Nao Santa María en el Muelle de Palos.

Otro sistema mecánico que hace uso de estos sistemas de poleas es el encargado del equilibrado de mástiles. Este sistema esta formado, como se aprecia en la Figura 8, por un conjunto de jarcias (firmes y de labor) y sistemas de poleas. El sistema realiza el trabajo de mantener el mástil adecuadamente erguido.

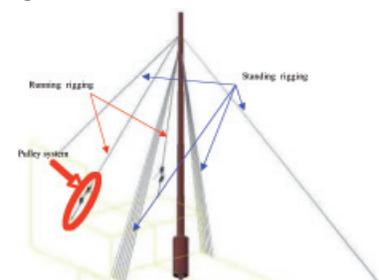


Fig. 8: Reconstrucción del sistema de equilibrado del mástil de las Carabelas.

La mayoría de las labores de velas y vergas en las Carabelas y en la Nao Santa María son resueltas con sistemas formados por poleas simples. Sin embargo en la Nao nos encontramos con un sistema mecánico más complejo que los anteriores compuesto por polipastos.

Los polipastos o cuadernales son mecanismos resultantes de la unión de dos o más poleas formando una sola pieza. Estas poleas se pueden distribuir horizontalmente como se muestra en las Figuras 9a y 9b, o verticalmente una encima de la otra tal y como se ve en las Figuras 9c y 9d.



Fig. 9: a) reconstrucción de un polipasto en horizontal b) dibujo que muestra el interior de las ruedas de un polipasto en horizontal c) reconstrucción de polipasto en vertical d) dibujo que muestra el interior de las ruedas de un polipasto en vertical.

En el caso de la Nao Santan María, nos encontramos con un sistema mecánico formado por un polipasto en vertical y otro en horizontal, tal y como se representa en la Figura 10. El polipasto en horizontal va atado al casco y lleva a cabo la labor de redirigir las fuerzas ejercidas por las jarcias. El polipasto en vertical resulta ser móvil, sube al soltar la jarcia y baja al tirar de ella. Unido al anterior se consigue la ventaja mecánica necesaria para izar el palo mayor de la nave.

Nos encontramos aquí frente a un complejo sistema mecánico en el que intervienen palos, vergas, jarcias, polipastos y poleas simples.

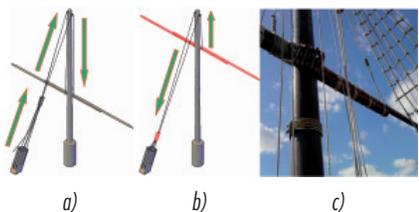


Fig. 10: a) Reconstrucción del sistema mecánico en el trabajo de elevación del palo mayor. b) descenso del palo mayor (las partes móviles están en rojo) c) Verga del palo mayor de la Nao Santa María en el Muelle de Palos.

Otro mecanismo de gran utilidad del que iban provistas las Carabelas es el cabestrante. El cabestrante, tal y como podemos observar en la Figura 11, consiste en un rodillo de madera giratorio al que, mediante dos barras cruzadas, se le aplica la fuerza necesaria para subir el ancla o mover alguna otra carga. Ofrece la ventaja mecánica propia del momento de fuerzas de las barras y además da la oportunidad de que cuatro marineros se sumen a la tarea de hacerlo girar.

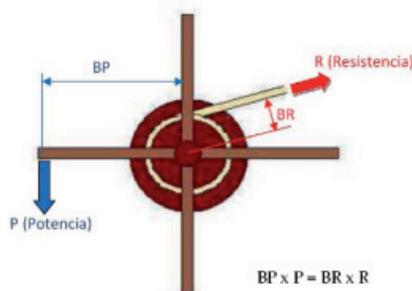


Fig. 11: esquema cinemático del cabestrante.

El trinquete, del cual vemos una representación en la Figura 12a, consiste en una rueda dentada que se une al cuerpo del cabestrante. Mediante el sistema de retención, Figura 12b se imposibilita la rotación entre el trinquete y el cabestrante.

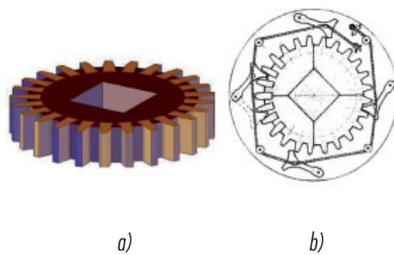


Fig. 12: a) representación 3d del trinquete. b) ilustración de un sistema de retención

Cabestrante, trinquete, sistema de retención, jarcias y cargas se unen para formar un elaborado sistema mecánico, como el mostrado en la Figura 13. Este sistema se usa cuando no es suficiente con la ventaja mecánica que ofrecen los mecanismos a base de poleas solamente, como por ejemplo,

elevant cargas a bordo, elevar el ancla y a veces ayudar en la labor de tirar de otras jarcias como la necesaria para izar la verga en el palo mayor.

Con la ayuda del cabestrante, cuatro hombres podían levantar los 10 quintales que pesan el ancla y su cable en una Carabela.

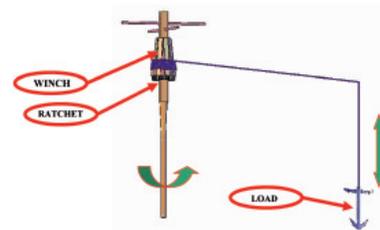


Fig.13: Representación en 3d del sistema mecánico de elevación de cargas en el trabajo del izado del ancla.

4. RESULTADO Y CONCLUSIONES

Percibimos que al estudiar las naves del descubrimiento, no solo nos enfrentamos a una cuestión de arte naval, sino también a una cuestión de ingeniería mecánica, la cual es desde el siglo XV una disciplina independiente, como ya expuso Galileo Galilei en su obra *Le Meccaniche*.

Con la diferenciación de estos mecanismos y su estudio individualizado, se ha conseguido apreciar el inestimable valor que la ingeniería mecánica aportó a ésta hazaña, y sin la cual se comprende harto complicado su éxito.

Así también, se observa, que sin la aplicación adecuada y una admirable destreza en la manejabilidad de estos sistemas mecánicos, hubiese sido muy difícil la consecución de éste histórico punto de inflexión.

Por otro lado, se entiende que muchos conocimientos técnicos (diseño, construcción, etc.) se han ido perdiendo, dado que su transmisión era exclusivamente verbal. Se puede concluir, por tanto, que la investigación sobre los aspectos de ingeniería de estos navíos están aún por desvelar en gran medida. Estos secretos probablemente no se encuentren en ningún libro, y sus principales conocedores seguirán siendo viejos artesanos.