

Estado del arte de la tecnología medieval y su contribución al descubrimiento de América

J. J. Prieto¹; M. Ceccarelli²; J.C. Fortes¹; J.A. Cabrera³; R.E. Gonzalez⁴

¹Dpto. de Ingeniería Mecánica, Minera y Energética.
Escuela Superior de Ingeniería – Universidad de Huelva.
Campus de la Rabida, Palos de la Frontera, Huelva, Spain.
e-mail: juan.prieto@dimme.uhu.es

² LARM: Laboratory of Robotics and Mechatronics
University of Cassino
Via Di Biasio 43, 03043 Cassino (Italy)

³Dpto. de Ingeniería Mecánica y Mecánica de Fluidos
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Málaga.
C/. Doctor Ortiz Ramos s/n 29071 Málaga (Spain)

⁴Dpto. de Ingeniería Mecánica y Diseño Industrial.
Escuela Superior de Ingeniería. Universidad de Cadiz.
C/. Chile nº 1, Cadiz (Spain)

Resumen.

El objeto de este trabajo consiste en poner a la luz la ingeniería mecánica y los mecanismos, que técnicamente posibilitaron el desarrollo de las Carabelas utilizadas en el descubrimiento de América. Esta base técnica ha sido a menudo olvidada entre los medios técnicos que hicieron posible el logro colombino, como la cartografía, la navegación, la construcción naval, etc. En este artículo, el estado de la ingeniería de máquinas y de diseño de mecanismos se discuten con miras a la aplicación específica naval en el siglo XV como contextualización de la aventura naval de Colón.

Abstract

The purpose of this paper is to shed light on the mechanical engineering and mechanisms that enabled the technical development of the caravels used to discover America. This technical basis, which included cartography, navigation and shipbuilding, etc., has often been overlooked among the technical means that made that achievement possible. In this paper, the state of mechanical engineering and mechanism design are discussed with a view to their specific naval application in the fifteenth century as the contextualisation of Columbus' naval adventure.

Palabras clave: Edad Media, popa plana, astrolabio, cuadrante, ballestilla, ampolleta, compás

Keywords: Middle Ages, flat stern, astrolabe, quadrant, cross-staff, watch glass, compass.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes históricos y mecanismos en el siglo XV.....	2
3. Instrumentación.....	4
4. Carabelas y Naos.....	5
5. Ingeniería mecánica en las Carabelas.....	6
6. Conclusiones.....	11
7. Referencias bibliográficas.....	11

1. Introducción.

Existe numerosa y extensa bibliografía que hace referencia a todo lo recogido en este artículo sobre ingeniería de máquinas del Siglo XV. La cosa 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 la diferenciación de 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 comprende harto 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 destaca 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 su tía, Isabel. La guerra tuvo un marcado carácter internacional.

Con la conquista armada de Andalucía (en el siglo XIII, la Andalucía del Guadalquivir y a finales del XV, la Andalucía granadina) por parte de las tropas cristianas mesetarias y montañesas, los andaluces de la época son anexionados violentamente y puestos bajo unas instituciones políticas, jurídicas y religiosas extranjeras: las de la Corona de Castilla. El 2 de enero de 1492 se produce la Caída de Granada. Tras acordarse las Capitulaciones de Santa Fe, los reyes católicos dan por concluida su conquista militar sobre Andalucía [1].

¿Cuál es la situación económica del reino de los Reyes Católicos? El transporte y las comunicaciones eran deficientes, a pesar del relativo auge que experimenta el comercio, gracias a la diversidad ecológica de la península. La política industrial es proteccionista. La guerra civil por la sucesión supone su ruina, siendo la gran estrella de la industria castellana la siderurgia vasca, de gran calidad y exportada a toda Europa [2]. La ganadería en España está dominada por el tipo de explotación extensiva. La organización más representativa es la Mesta [3], que practica la trashumancia entre el norte y el sur de la península.

En éste periodo, España sufría una crisis demográfica, que influye negativamente en una agricultura que tecnológicamente, era de la época romana. El utillaje era muy elemental: arado romano tirado por bueyes, hoz, guadañas, etc. [4]. Aunque ya se usaba el molino hidráulico y el de viento y algunas de las invenciones árabes. El comercio tuvo mucho que ver con los orígenes de la Era de las Exploraciones, pues se trataba de encontrar una ruta marítima hacia Asia, para traer a Europa occidental las especias de Oriente, que hasta ese momento llegaban por tierra.

La Edad Media, tecnológicamente, es un periodo de cierta carencia de creatividad y de capacidad de innovar, por tanto, la aportación de las máquinas a la producción es escasa. No es hasta la llegada del Renacimiento, entre los siglos XV y XVI, cuando se produce revolución científica. 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 [5]. 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 [6] y Guidobaldo del Monte [7] [8] .

Veamos diferentes máquinas, usadas en diferentes sectores productivos y militar. En el sector de la agricultura, el diseño de ciertas máquinas permite la mejora de sub-sectores como la lana, la harina o el vino como se muestra en el trabajo de Bautista Paz, E [9].

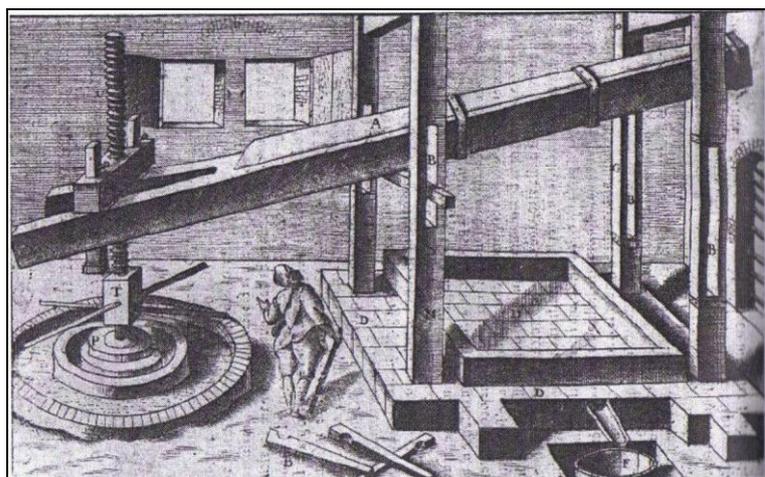


Fig.1 Máquina para hacer vino de Zonca "Novo Teatro Di Machine Et Edificii: per varie et sicure operationi" [10].

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 que diseñaba también la maquinaria necesaria (grúas de la figura 2) para construirlos [11].

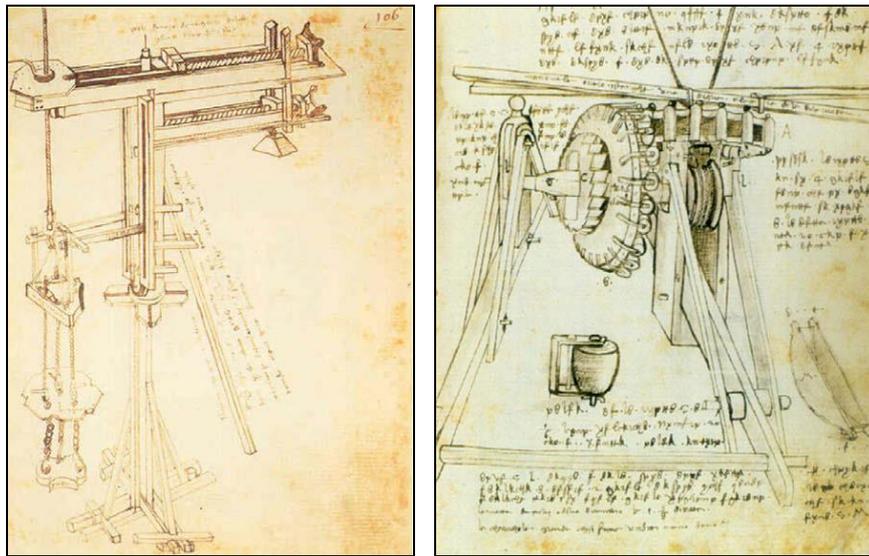


Fig.2 Máquinas grúa de Filippo Brunelleschi, recogidas en la colección publicada por Bonaccorso Ghiberti en 1420.

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 3a); la escalera de "De Ingensis" [12] (figura 3b).

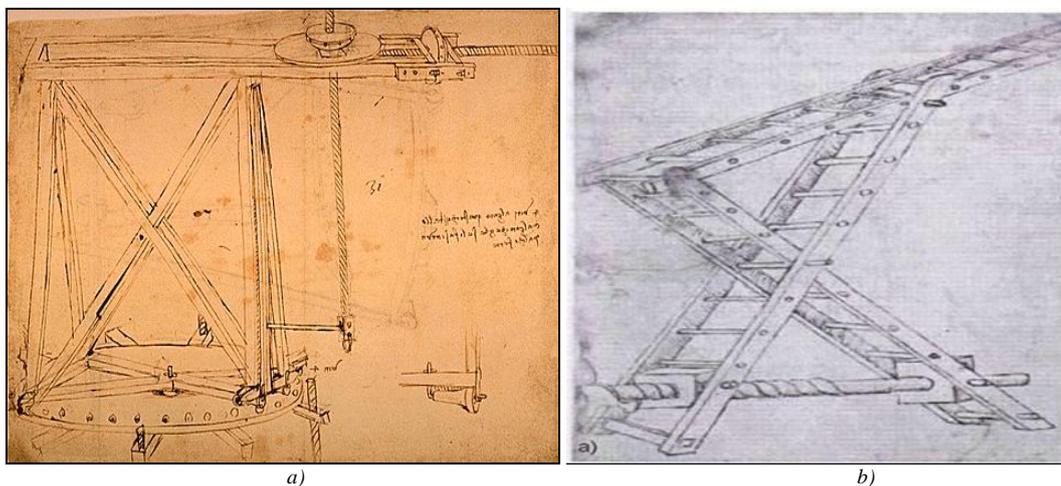


Fig.3 a) grúa de Leonardo Da Vinci b) escalera de "De Ingensis"

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 [13] [14] y Francesco di Giorgio [15]. En el cuaderno de Villard Honnecort del Siglo XIII [16], se observa una curiosa maquina lanzadora de flechas que demuestra sólidos conocimientos mecánicos. Era una estructura de cierta altura, y sistema de palanca con un contrapeso que, una vez elevado y cortado el cabo, impulsa la flecha a través del choque de la palanca, tal y como puede verse en la figura 4.

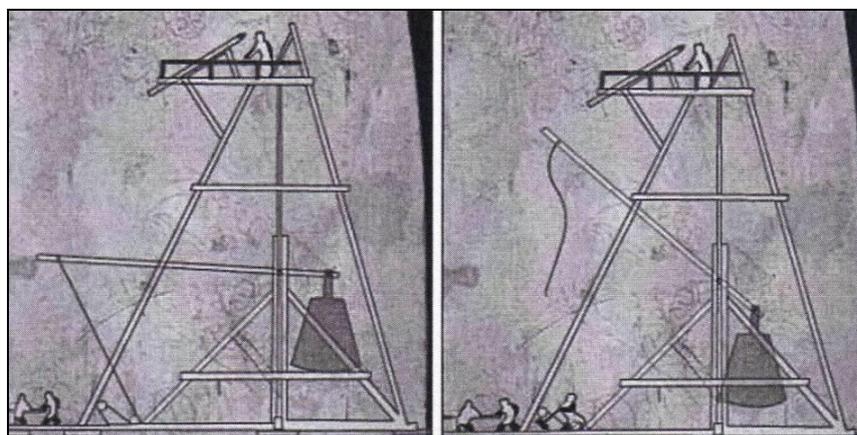


Fig. 4. Lanzador de flechas, libro de Villard Honnecort.

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" [17], constituida por numerosos engranajes y poleas como puede observarse en la figura 5.

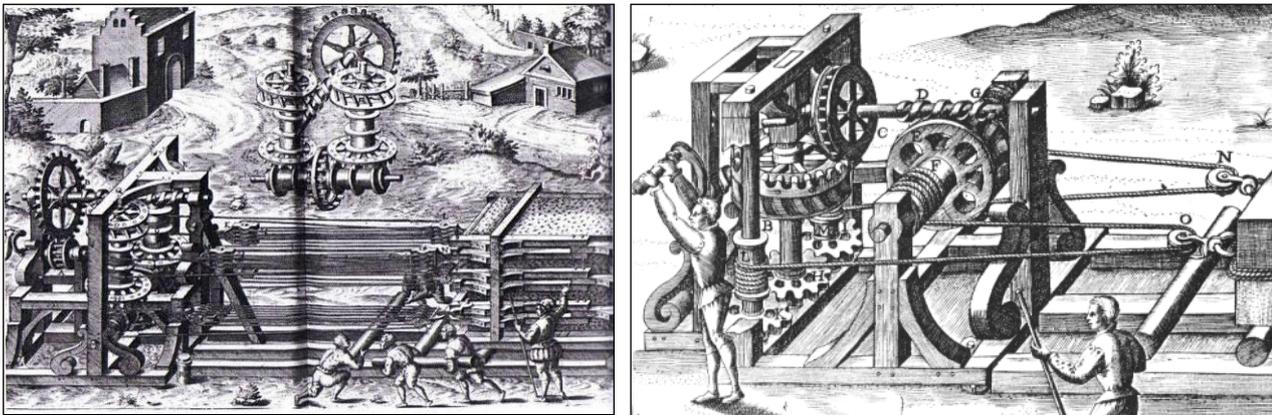


Fig.5 Máquinas de arrastre de Ramelli.

Todas estas máquinas nos dan una idea del "estado del arte" de la ingeniería mecánica en la época del descubrimiento, y nos ayuda 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 más veloz, más estable y segura, y con el menor esfuerzo posible.

3. Instrumentación.

Además de los adelantos mecánicos que suponían las Carabelas, Colón contó con la ayuda de diversos instrumentos y recursos técnicos que le fueron de gran ayuda para alcanzar su éxito. En las grandes navegaciones oceánicas el problema fundamental era conocer dónde se estaba. Esta cuestión no era fácil de resolver, y daba lugar a grandes errores, especialmente en lo que se refiere a la determinación de la longitud. Colón se sirvió de la simple estima siempre que esto le era suficiente. Pero en otros casos, después de muchos días de navegación o al descubrir alguna isla desconocida, necesitaba saber en qué lugar del mundo se encontraba. Para esto se ayudaba de los siguientes instrumentos:

El astrolabio, del cual vemos una representación en la figura 6a, consistía en un círculo dividido en grados y un brazo giratorio en el centro de este círculo. Para medir correctamente, había dos opciones: colgarlo en un trípode o, manualmente, dejándolo en posición vertical. Cuando el punto cero del círculo se orienta con el horizonte, la altura de cualquier cuerpo celeste se puede medir por la orientación del brazo.

Después de varios cambios en el astrolabio se origina el cuadrante. Como se puede ver en la figura 6b y según el tratado de Maddison y Savage-Smith [18], consiste en una placa metálica con forma de cuarto de círculo. En uno de los lados hay dos mirillas (para dirigirlo hacia el astro deseado) y el arco está graduado. Del vértice cuelga una plomada que indica la dirección vertical. La lectura se obtiene de la posición del cabo de la plomada sobre el arco graduado

La ballestilla sirve para tomar alturas así como distancias interestelares. El Sol no se puede medir con ella a no ser que esté mitigado por una nube [19]. Consta de un bastón prismático sobre el que se pueden correr martillos (travesaños) de tamaños distintos. Aplicando la base del bastón en el pómulo del observador, tal y como se muestra en la figura 6b, este hará correr por la vara el martillo apropiado hasta que su borde bajo coincida con el horizonte y el borde alto con la estrella escogida. Entonces leerá en la cara de la vara correspondiente al martillo empleado la graduación marcada y tendrá la altura aparente del astro, o en otros casos una distancia interestelar.

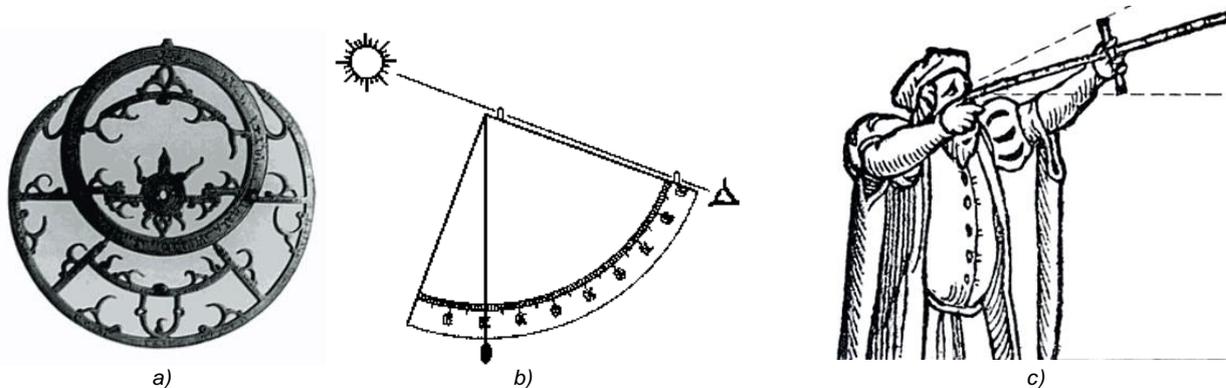


Fig. 6 Instrumentos utilizados en el viaje del descubrimiento a) Red de araña de un astrolabio del año 1266. Los cuernos se corresponden con 28 estrellas. Ilustración que muestra el funcionamiento del cuadrante c) Grabado que muestra el funcionamiento de la ballestilla.

Las ampolletas eran imprescindibles para medir tiempos cortos de cualquier actividad de la tripulación; por ejemplo, los intervalos entre las distintas guardias, etc, y constituían un elemento imprescindible para todo marino. Lógicamente eran medidas orientativas. Originalmente, tal y como se ve en la figura 7a, constaba de dos botellas de vidrio colocadas una sobre otra y conectadas por el extremo con un tubo. Las ampolletas de Colón medían periodos de 30 minutos [20] (una “vuelta” entera, una hora). Se usaba junto con la corredera para medir la velocidad del barco a través del agua en nudos.

La aguja de marear era una versión primitiva de la actual aguja magnética o compás. Consistía en una aguja de hierro imantado que llevaba pegado un círculo de cartulina, con una rosa náutica seguramente de 32 vientos, en la que muy posiblemente el norte se marcaba con una flor de lis y el este con una cruz. La aguja iba apoyada en un estilo de cobre o latón, sobre el que giraba con el menor roce posible para señalar el norte magnético. Dado que la aguja era de hierro, había que reimantarla con cierta frecuencia con un imán natural o “piedra de cebar”, que, por razones obvias, el piloto solía guardar como oro en paño. El conjunto iba alojado en un armario llamado bitácora, que según descripciones de la época consistía en una caja cilíndrica de madera de un diámetro poco mayor que el de la rosa, en la que iba el estilo y la aguja con su rosa, y tenía una marca fija coincidiendo con la línea de proa para señalar el rumbo del barco. Se podía abrir por el fondo para extraer la aguja y cebarla (imantarla) cuando fuera necesario. La parte alta estaba cubierta por un vidrio sellado con cera. Con una brújula tan primitiva como la que se ve en la figura 7b, Colón fue el primer hombre en deducir que el Norte magnético no coincidía con el Norte geográfico, esto nos da una idea de la utilidad del instrumento a la vez de la grandeza de Colón como navegante.



Fig.7: Instrumentos utilizados en el viaje de descubrimiento: a) ampolleta), b) Aguja de marear.

4. Carabelas y Naos.

La Carabela de origen incierto, tal vez árabe, contaba con cubierta, menor relación manga/eslora y líneas de agua más afinadas que las Naos al uso en el Siglo XV, con una, dos y hasta tres velas latinas. Por lo general, sin castillo de proa; sin embargo, las mayores podían tener a popa la cajonada de la cámara, como las Naos. Como corrían mal entre Cádiz y Huelva, les cambiaron las velas triangulares por otras en cruz (Carabelas al modo de Andalucía). Hacia 1490, para fortalecer las carabelas que intervinieron en la toma de Melilla, la falta de castillo se suplió con la construcción de una tilla o entablado sobre cubierta, naciendo así la Carabela armada, tipo en el que podemos encuadrar a la Santa María empleada por Colón.

El tipo de embarcaciones agrupadas en la denominación de *buque*, *buque redondo* o *Nao* parece tener ya su origen en la navegación atlántica. Su característica principal es la de contar como elemento propulsor con un velamen cuadrado o mixto junto con velas latinas [21]. En general, estos navíos eran de alto bordo, y la relación entre la quilla o eslora y la manga podemos situarla en torno a 3:1, a lo sumo 4:1, frente a otra embarcación de

referencia en la época como la galera, que normalmente alcanzaba 5-7:1 [22]. En la proa encontramos una sobrecubierta o castillo de proa, y en popa una media cubierta o tolda con la cámara para el mando. Desde finales del siglo XV se construyeron Naos con elevados castillos, para lograr una mayor robustez en los ataques de la artillería de otros barcos o desde tierra. Sin embargo, no resultaron eficaces, pues sobrecargaban el conjunto originando un freno a la movilidad y estabilidad del navío.

Mientras la importancia de otros barcos se medía por el número de bancos, en relación directa con los hombres que embarcaba, en las Naos la capacidad expresada en toneles, toneladas, y otras unidades, definía el tamaño del buque. El arqueo de un barco se solía medir en toneladas (medida del sitio en que caben dos toneles, equivalente a unos 600 kilogramos). Una nave de 500 a 700 toneladas precisaba un centenar de hombres en su tripulación [23].

En cuanto al casco (buco o cuerpo) en las Naos y bajeles españoles, su estructura se forma a partir de la quilla, que es como dice Thomé Cano [24] el primer madero que hace el largo y cumplido de la Nao, sobre el cual se comienza a fabricar. A proa de la quilla se alza un madero curvado y enmechado a ella que recibe el nombre de roda de proa o branque y a popa otro madero también enmechado, denominado codaste. Ensambladas y perpendiculares a la quilla de proa a popa, formando el esqueleto de la Nao, se sitúan las cuadernas. La superestructura la componen los castillos; el de popa se conoce por el nombre de tolda.

La Nao era un barco de comercio, utilizado eventualmente para la guerra; con el desarrollo de la artillería y debido a su mayor capacidad de carga y solidez demostró ser excelente buque artillero. De esta forma, se comenzaron a denominar Naos de armada para diferenciarlas de las destinadas exclusivamente al comercio. En los costados de las Naos se abrían portañuelas o portanolas para uso de la artillería, que debían quedar un codo más altas que la cubierta y dos más altas que el agua.

Para gobernar la Nao se usa el timón de codaste en sustitución de la espadilla (especie de remo lateral manejado a popa), que, como recoge Fernando Girón en su obra sobre el Oriente Islámico Medieval [25], es introducido en Europa por los árabes. La aparición del timón de codaste o timón axial, como el que podemos ver en la figura 8, significó una auténtica revolución en la construcción naval. Algo tan aparentemente sencillo como era la adaptación de una pala a todo lo largo del codaste, de forma que hiciera cuerpo con la nave, tardó siglos en ser una realidad. Su incorporación, permitió construir barcos de más eslora y fue un factor decisivo, que hizo posibles las grandes exploraciones oceánicas debido a un mejor aprovechamiento de los vientos favorables además de la ganancia en cuanto a la maniobrabilidad. Puede afirmarse que junto al estribo en las sillas de montar y la collera para animales de tiro, fue uno de los grandes inventos de la Edad Media.

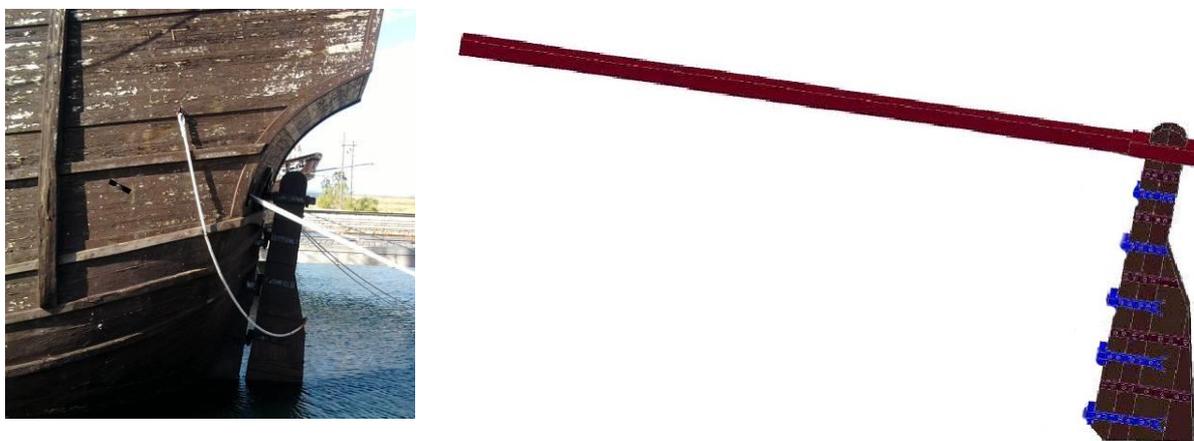


Fig.8 a) Timón en popa plana b) Representación de las partes móviles que unidas al casco componen el timón.

5. Ingeniería mecánica en las Carabelas.

Las Carabelas fueron las máquinas más complejas de su tiempo, y más aún en el siglo XV español. Esta complejidad nos venía ofrecida no solo por las mejoras en su diseño y construcción, sino por los numerosos adelantos técnicos con los que estaba dotada. Adelantos técnicos en forma de sistemas mecánicos que hacían factibles numerosas labores de abordaje 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.

La jarcia es el eslabón flexible (cabo) encargado de la unión y desplazamiento del resto de elementos mecánicos. Puede tratarse de jarcia firme, que se usa para afianzar mástiles, velas, etc., o jarcia de labor, que se utiliza para maniobrar o labrear (izado-arriado, etc). Junto a las jarcias, y tal y como se observa en la figura 9, 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 grátiles de las velas, a fin de poder maniobrar con ellas de acuerdo con el viento. Reciben el nombre del mástil en el que van [26].

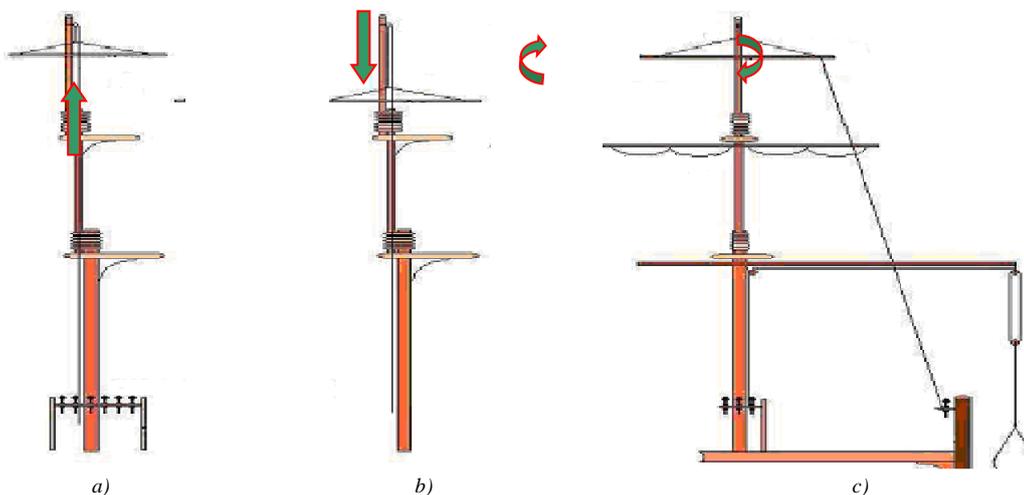


Fig.9 Esquema de las principales funciones de la jarcia de labor. a) izado de vergas, b) bajada de las vergas, c) orientación de las velas.

Poleas o motones: como podemos ver en la figura 10a y 10b, 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 sí misma no supone ventaja mecánica alguna, esto se consigue mediante la unión de dos o más poleas formando un sistema de poleas como se ve en la figura 10b. [27]

Distinguimos entre dos formas de usar estas poleas y así formar mecanismos de varias poleas sencillas. La primera de las formas sería la utilizada en la figura 10b, 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 10a, 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 10c. Este segundo tipo de polea, al conformar junto con la primera un sistema mecánico, conlleva la ansiada ventaja mecánica.

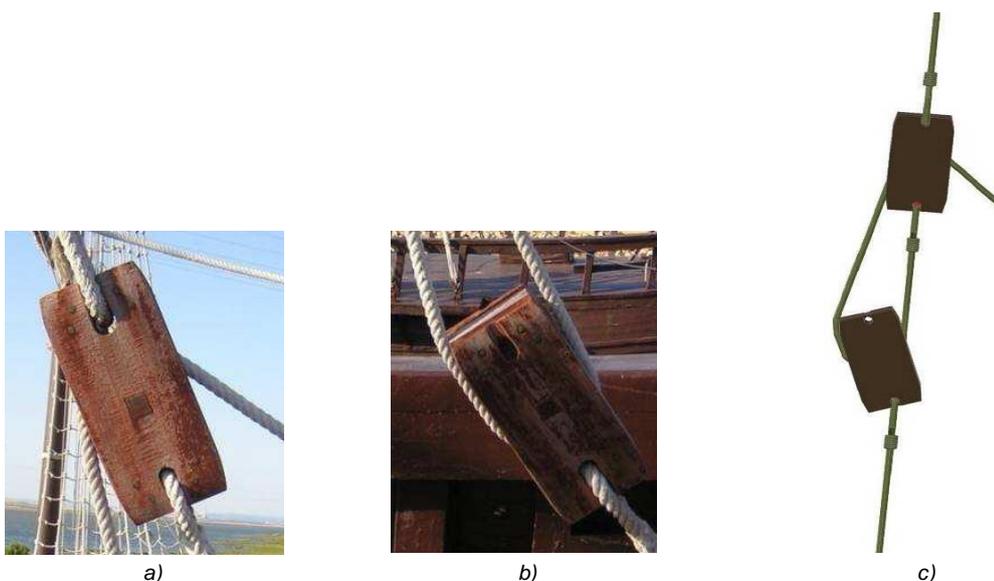


Fig.10 a) y b) reconstrucción de polea de la Nao Santa María, c) sistema mecánico formado por la unión de dos poleas.

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 la figuras 11 y 12, 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.

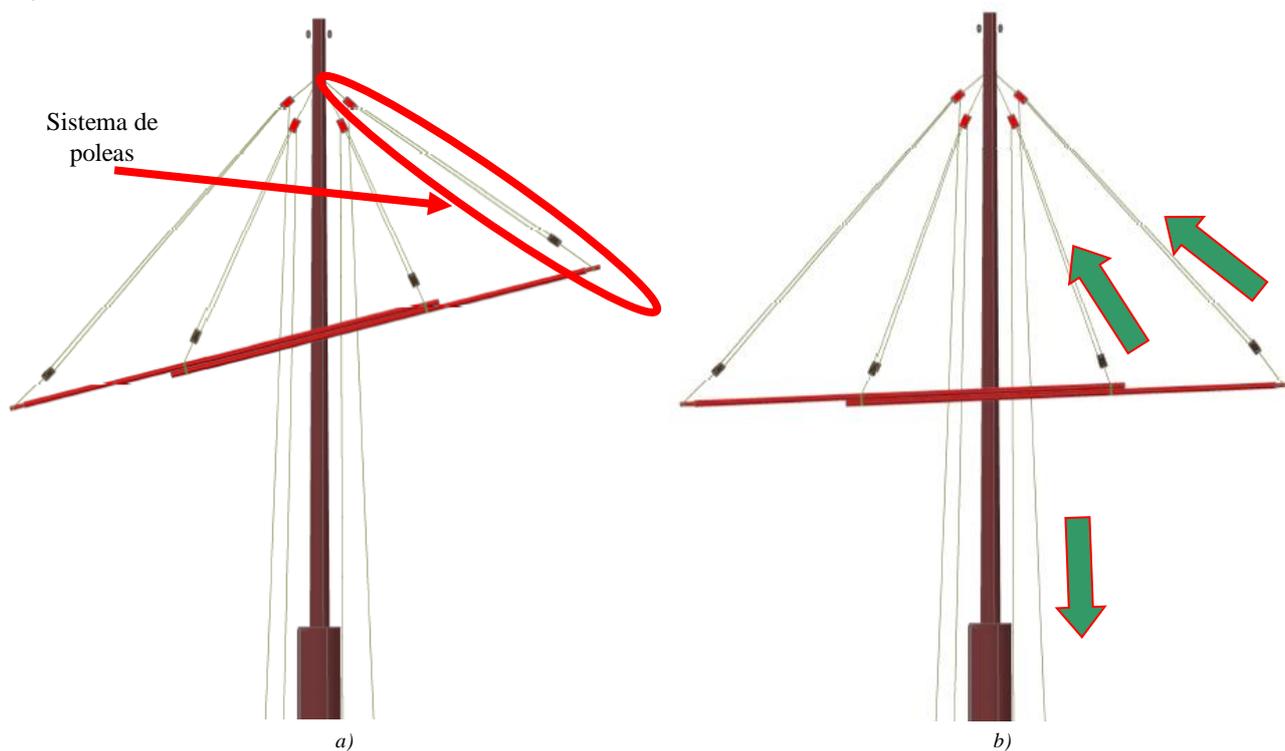


Fig.11 a) reconstrucción del sistema de alineación de verga b) sistema con verga inclinada con respecto al mástil.

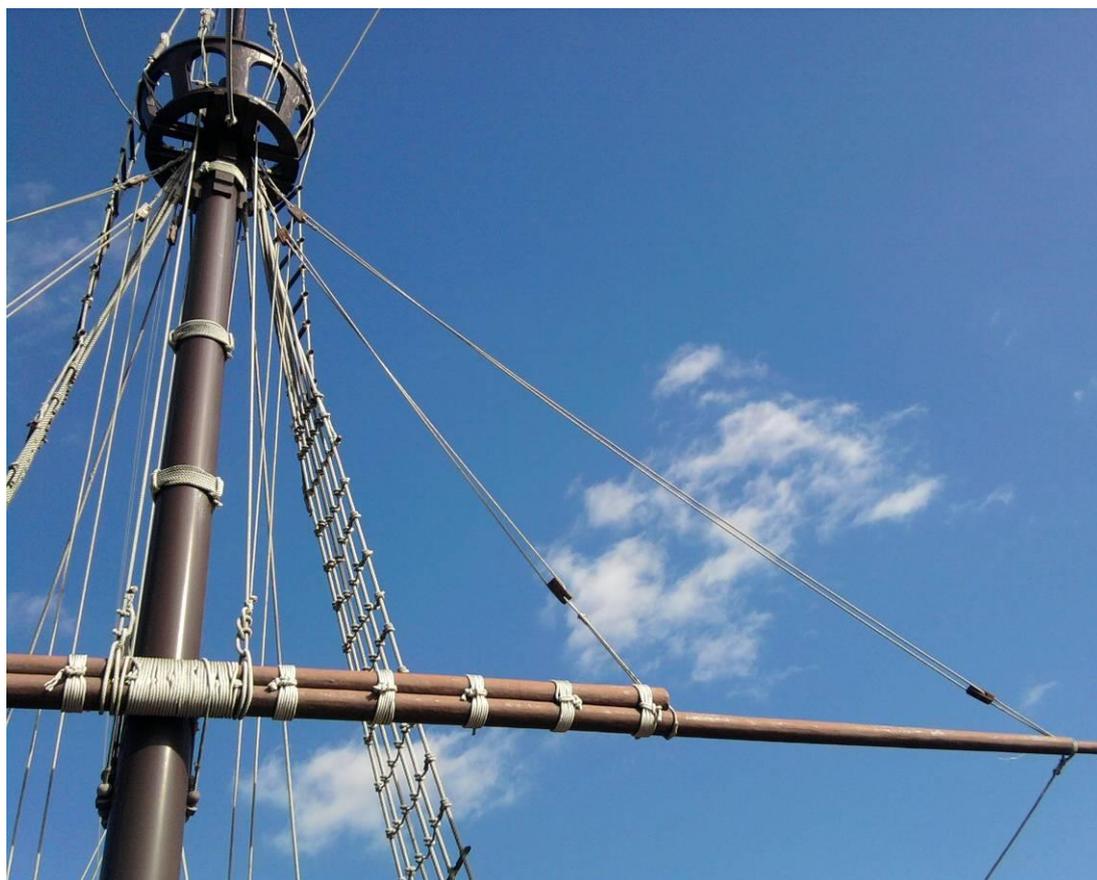


Fig.12 Sistemas de poleas en Verga del palo mayor de la Nao Santa María en el Muelle de Palos.

Otro sistema mecánico que hace uso de estos sistemas de poleas es el encargado del equilibrado de mástiles. Este sistema está formado, como se aprecia en la figura 13, por un conjunto de jarcias (firmes y de labor) y sistemas de poleas. El sistema realiza el trabajo de mantener el mástil adecuadamente erguido.

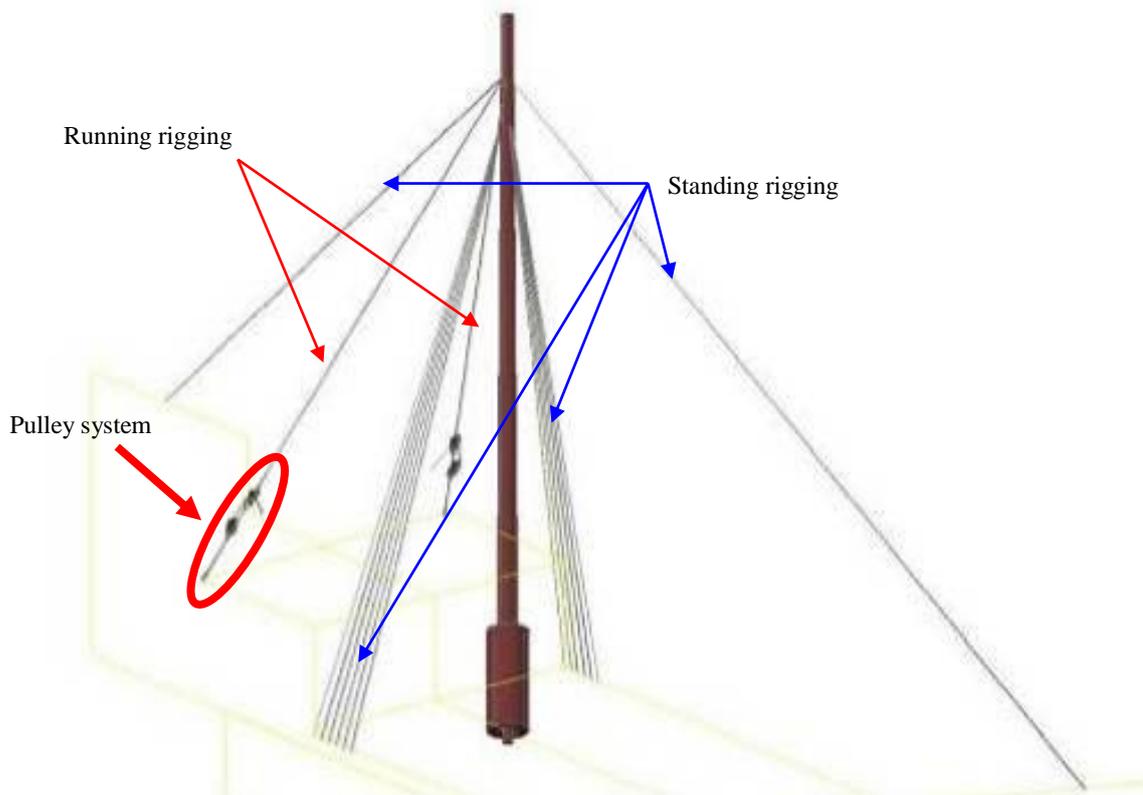


Fig. 13. Reconstrucción del sistema de equilibrado del mástil de las Carabelas.

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 14a y 14b, o verticalmente una encima de la otra tal y como se ve en las figuras 14 c y 14d.

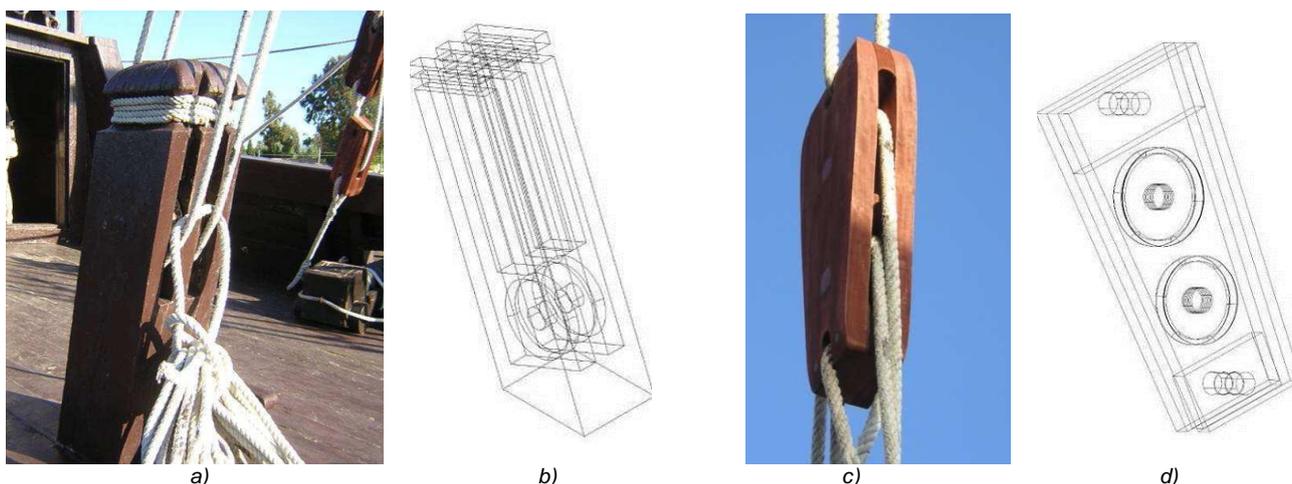


Fig.14 a) reconstrucción de un polipasto en horizontal b) dibujo que muestra el interior de las ruedas de un polipasto en horizontal c) reconstrucción de polipasto en vertical d) dibujo que muestra el interior de las ruedas de un polipasto en vertical.

En el caso de la Nao Santa 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 15. 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.

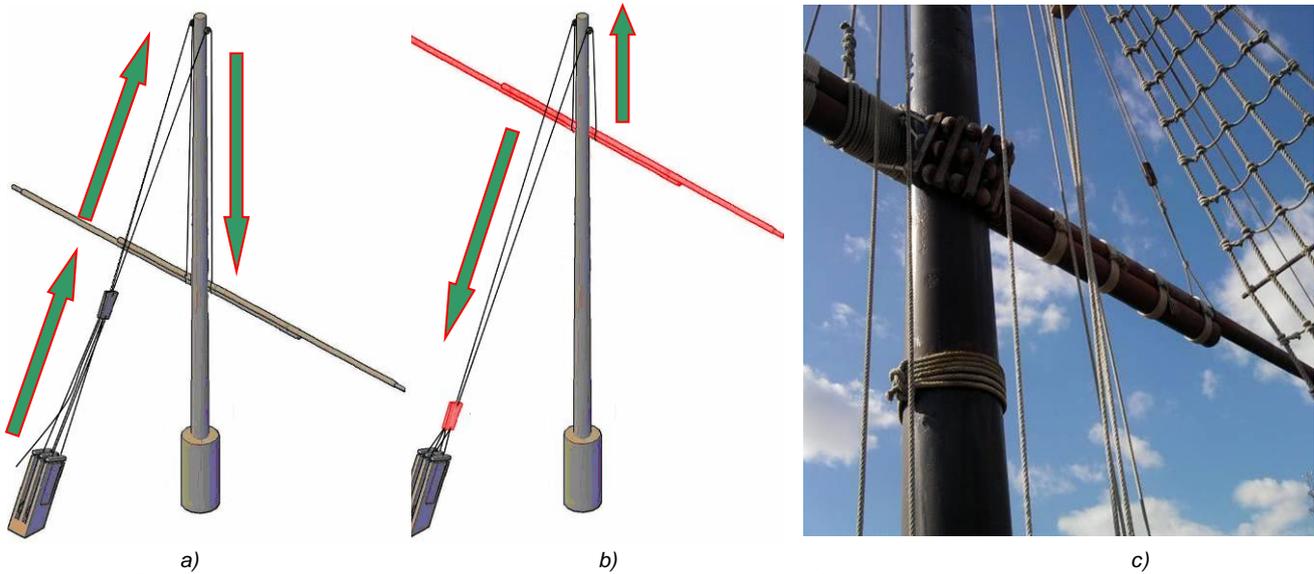


Fig.15 a) Reconstrucción del sistema mecánico en el trabajo de elevación del palo mayor. b) descenso del palo mayor (las partes móviles están en rojo) c) Verga del palo mayor de la Nao Santa María en el Muelle de Palos.

Otro mecanismo de gran utilidad del que iban provistas las Carabelas es el cabestrante. El cabestrante, tal y como podemos observar en la figura 16, 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 solo cuatro marinos se sumen a la tarea de hacerlo girar.

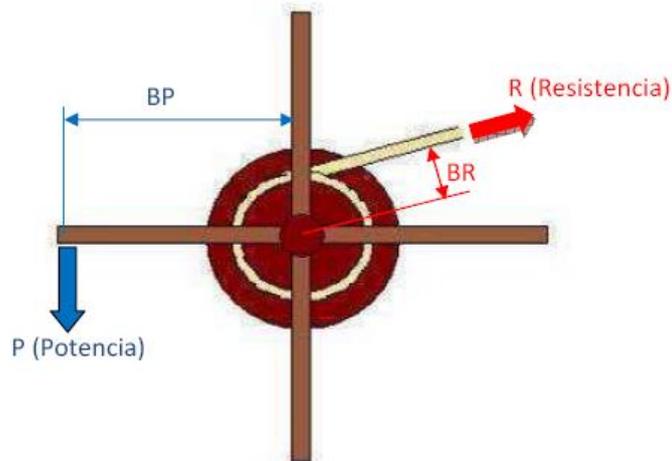


Fig. 16 Esquema cinemático del cabestrante.

El trinquete, del cual vemos una representación en la figura 17a, consiste en una rueda dentada que se une al cuerpo del cabestrante. Mediante el sistema de retención, figura 17b, se imposibilita la rotación entre el trinquete y el cabestrante.

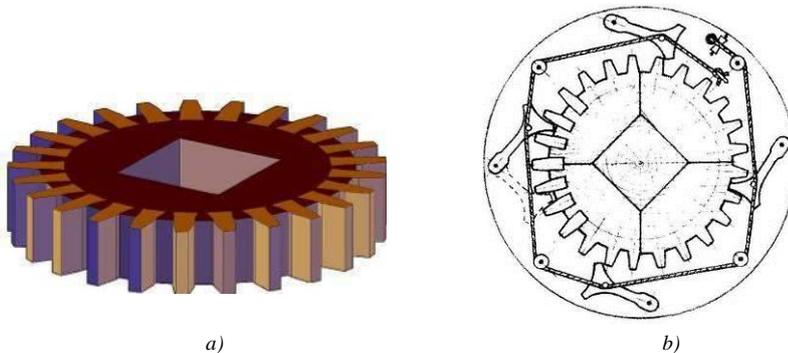


Fig. 17 a) representación 3d del trinquete. b) ilustración de un sistema de retención

Cabestrante, trinquete, sistema de retención, jarcias y cargas se unen para formar un elaborado sistema mecánico, como el mostrado en la figura 18. Este sistema se usa cuando no es suficiente con la ventaja mecánica que ofrecen los mecanismos a base de poleas solamente a la hora de elevar 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 [28].

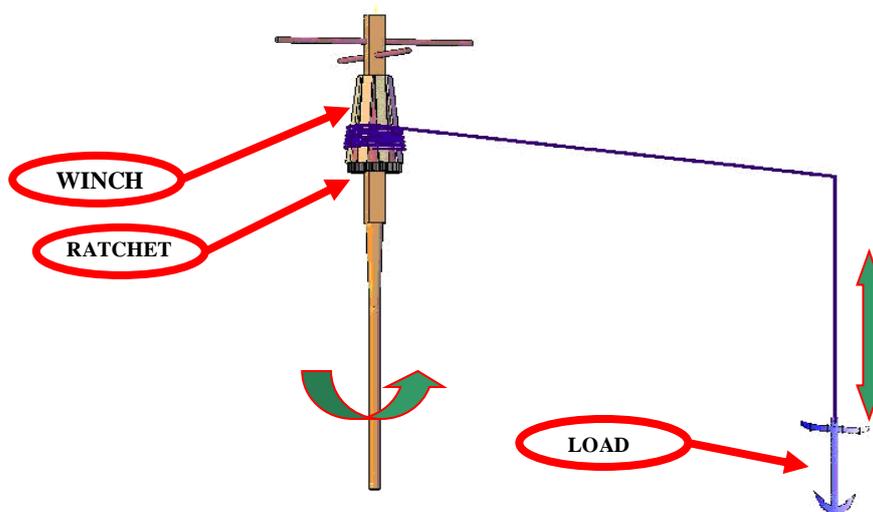


Fig.18 Representación en 3d del sistema mecánico de elevación de cargas en el trabajo del izado del ancla.

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

La ingeniería mecánica en el siglo XV y por tanto, su contribución al descubrimiento, no deja de ser básicamente una aplicación de la ley de la palanca, es decir, se hace realidad el famoso dicho de Arquímedes "dame un punto de apoyo y moveré el mundo". 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 este 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 está aún, en gran medida, por desvelar. Estos secretos probablemente no se encuentren en ningún libro y sus principales conocedores seguirán siendo viejos artesanos.

7. Referencias bibliográficas

- [1] Rafael Diego Fernández. *Columbian capitulation*. 1987
- [2] Emiliano Fernández de Pinedo. *Crecimiento económico y transformaciones sociales del País Vasco (1100–1850)*. Madrid, Siglo XXI. E. 1974
- [3] Enric Guinot Rodríguez. *Middle Ages in the XIV and XV: Economy and Society*. 2003
- [4] María Teresa Oliveros de Castro, Julio Jordana de Pozas. *Agriculture in the Spanish kingdoms in time of Catholic Kings time*. 1968
- [5] Antonio Beltrán. *Scientific Revolution, Renaissance and history of science*. 1995.
- [6] G. Galilei. *Les Mechaniques* Reeditado por F. Brunetti, Torino, 1964, (1593).
- [7] G. del Monte. *Mechanicorum Liber*. 1577.
- [8] G. del Monte. *Le Mechanique*. 1581.
- [9] Bautista Paz, E., *Illustrated Brief History of machines*. Spanish Association of Mechanical Engineering-ETSII. Madrid 2007.
- [10] V. Zonca. *Novo teatro di machine et edificii per uarie et sicure operationi*. Appresso F. Bertelli. 1607.
- [11] BARTOLI, Lando, *La rete magica di Filippo Brunelleschi*, Firenze, Nardini, 1977.
- [12] M. di Jacopo "Il Taccola". *De Ingensis*. Reeditado por L. Reichert en 1984. 1433.

- [13] L. da Vinci. Códice Atlántico. S. XV
- [14] L. da Vinci. Códice Madrid. 1493.
- [15] F. di Giorgio. Trattato di architettura e machine. S.XV.
- [16] V. de Honnecourt. Book. Siglo XIII. Akal. 1991.
- [17] A.Ramelli. "Le Diverse et Artificiose Machine".1588.
- [18] Maddison and Savage-Smith. Science, Tools & Magic. Oxford University Press, 1997.
- [19] Rolando Laguarda Trias. Towards a new world view. Gonzalo Menéndez Pidal. 2003
- [20] José Luis Comellas. El cielo de Colón: técnicas navales y astronómicas en el viaje del descubrimiento. Madrid Tabapress,1991.
- [21] F. Olesa Muñido, La Organización naval de los estados mediterráneos. 1968.
- [22] Fernández Izquierdo, Francisco. Astilleros y construcción naval de la España anterior a la Ilustración. *España y el ultramar hispánico hasta la Ilustración, I Jornadas de Historia Marítima, Cuadernos Monográficos del Instituto de Historia y Cultura Naval, nº 1. Madrid 1989, pp. 35-62, 19/01/2000*
- [23] López Pinero, J. M. El arte de navegar en la España del renacimiento. Ed. Labor, 1979.
- [24] Thomé Cano. Arte para fabricar Naos. Editor En casa de Luys Estupiñan,1611.
- [25] Fernando Girón. Oriente islámico medieval. Ed. AKAL1994.
- [26] Marcelino Gonzalez. Nao "Santa Maria" captain of the discovery. Editorial The sword and the pen, Madrid 2006.
- [27] .José María Martínez-Hidalgo. The ships of discovery and his men.1992
- [28] Manzano, J.: Cristóbal Colón. Siete años decisivos de su vida (1485-1492). Ediciones Cultura Hispánica, Madrid 1964