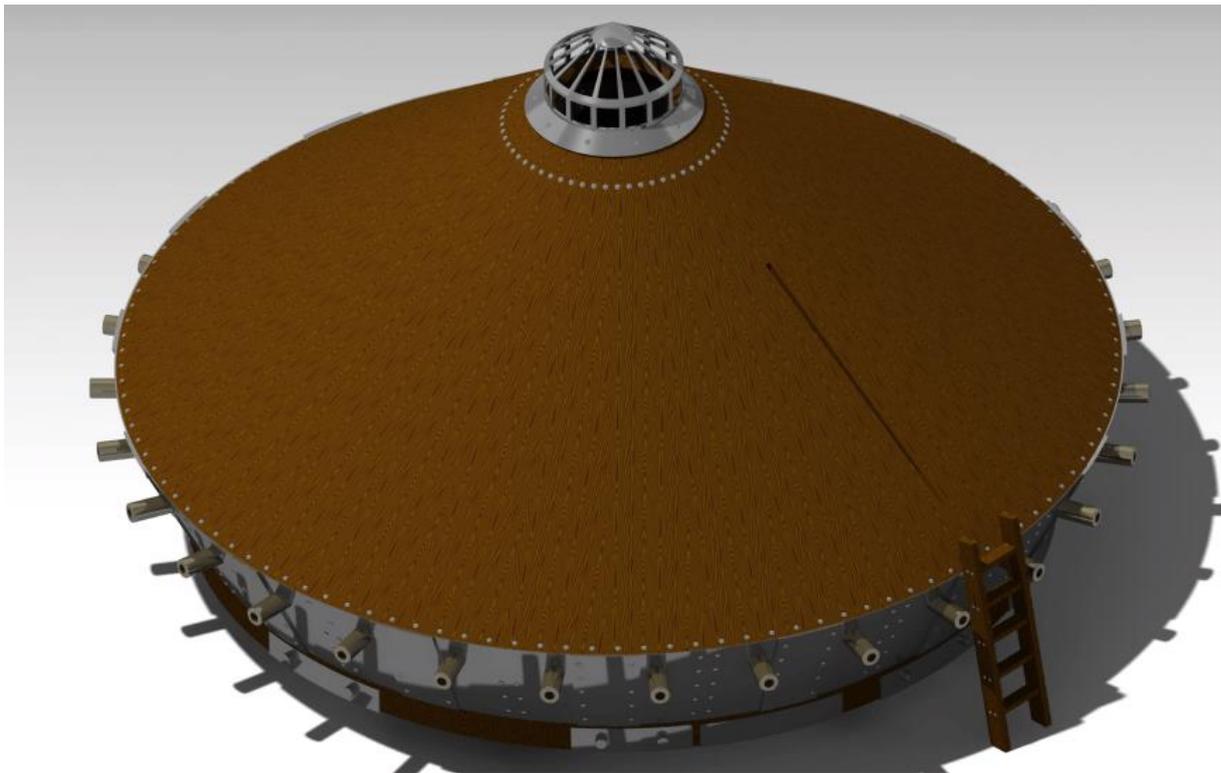


Modelado y recreación virtual del carro de combate de Leonardo da Vinci con CATIA V5

Alumno:
Antonio Menacho González

Tutor:
Francisco Valderrama Gual



Ingeniería Industrial
Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
2016/17

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. CAD/CAM	4
3. Leonardo da Vinci	5
3.1. Biografía	6
3.2. Leonardo en la ingeniería	13
3.2.1. Obras civiles	13
3.2.2. Mecánica aplicada	15
3.2.3. Máquinas de guerra	16
3.2.4. Máquinas de uso civil	18
3.2.5. Máquinas hidráulicas y marítimas	19
3.2.6. Máquinas para volar	21
3.2.7. Máquina de sumar	23
4. El carro de combate de Leonardo da Vinci	24
4.1. Bocetos del carro de combate	24
4.2. Materiales	25
4.2.1. Madera de roble	25
4.2.2. Acero forjado	27
4.2.3. Bronce	28
4.2.4. Bronce al plomo	30
4.3. Componentes	31
4.3.1. Elementos de unión	31
4.3.2. Estructura	32
4.3.3. Rueda	36
4.3.4. Suelo	40
4.3.5. Cubierta	42
4.3.6. Soporte de los cañones	46
4.3.7. Cañón	47
4.3.8. Engranajes	49
4.3.9. Escalera	52
4.4. Dimensiones	54
4.5. Conclusión	55
5. Bibliografía	56

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se ha tratado de reconstruir, mediante el programa CATIA V5, el carro de combate de Leonardo da Vinci. Uno de los objetivos del proyecto era el aprendizaje de dicho programa, ya que éste queda fuera del plan académico de Ingeniería Industrial y tiene una fuerte relevancia en el mundo laboral.

Leonardo da Vinci ha sido una de las mentes más brillantes de la historia. Además de sus aportaciones en anatomía, botánica, escultura y pintura entre otros campos, cabe destacar su aportación a la ingeniería. Tanto es así, que gracias a sus trabajos y conceptos tan avanzados a su tiempo hoy en día es considerado el primer ingeniero moderno.

La máquina objeto del proyecto es el carro de combate. Como fuente de información de la máquina sólo se tiene dos bocetos a mano alzada de la misma. Para la recreación de ésta se ha intentado ser fiel a las tecnologías y materiales disponibles en la época de Leonardo.

2. CAD/CAM

CATIA es el programa informático CAD/CAM más utilizado en la industria aeroespacial y de automoción. CAD significa *Computer Aided Design* (diseño asistido por ordenador) y CAM, *Computer Aided Manufacturing* (fabricación asistida por ordenador). La combinación CAD/CAM abarca desde la concepción del producto por parte del diseñador hasta las operaciones necesarias para la fabricación del mismo.

La gran ventaja de CATIA respecto a programas similares es la posibilidad de crear superficies complejas, típicas en los aviones y en la carrocería de los coches. Un ejemplo del uso de CATIA para generar estas superficies complejas es el museo Guggenheim Bilbao (figura 1).



Figura 1: Museo Guggenheim Bilbao

3. LEONARDO DA VINCI



Figura 2: autorretrato de Leonardo da Vinci

Leonardo da Vinci (figura 2) encarna el ideal del sabio polifacético propio del Renacimiento. Fue pintor, escultor, escritor, músico, matemático, científico, arquitecto e ingeniero. Se debe entender que todas y cada una de estas facetas del genio tenían un peso e influencias en el resto de ellas. El espíritu intelectual de Leonardo está marcado por una búsqueda del conocimiento permanente e incansable a lo largo de su vida.

Su principal lema era *Saper vedere* (saber ver). Él concebía el sentido de la vista como el principal de los sentidos: los ojos era la principal ventana al conocimiento. La visión reunía los hechos de la experiencia de una manera certera e inmediata. La representación gráfica fue la principal herramienta para dar rienda suelta a su creatividad. Consecuencia de esto es que fuera pintor, escultor, científico, arquitecto e ingeniero.

3.1. BIOGRAFÍA

PRIMEROS AÑOS EN FLORENCIA

Fue hijo ilegítimo de Ser Piero, notario y terrateniente adinerado. Su madre era una campesina, que más tarde contrajo matrimonio con un artesano de la zona. Leonardo nació el 15 de abril de 1452 en una propiedad familiar de su padre en Anchiano, una aldea de la pequeña población de Vinci. Leonardo se crio en Anchiano con su abuelo. Poco antes de 1469 se fue a vivir con su padre a Florencia. Allí su padre lo trató como hijo legítimo y le proporcionó la educación propia de la época: lectura, escritura y aritmética. Leonardo no recibió nociones de latín. Fue muchos años más tarde cuando aprendió a interpretarlo por sí mismo. Fue ya cumplido los treinta cuando se dedicó a las matemáticas: geometría y aritmética avanzadas.

A los quince años de edad entra a trabajar en el taller de Andrés Verrocchio. Allí aprendió pintura, escultura y artes técnico-mecánicas. En el taller adyacente, que pertenecía al maestro Antonio Pollaiuolo, también trabajó y se cree que es allí donde empezó su interés por la anatomía. Con Verrocchio no sólo aprendió arte sino que adquirió conocimiento sobre complicados trabajos técnicos. Un ejemplo de esto fue la erección de una enorme esfera de cobre encima del domo de Santa María en Fiore en 1472. Aparte de los mencionados maestros con los que el joven Leonardo aprendió de forma directa, él tomó como maestro ideal a Brunelleschi. La influencia de Brunelleschi se aprecia en los estudios técnicos de esa etapa.

Fue aceptado por el gremio de pintores de Florencia en el año 1472. Siguió trabajando en el taller de su maestro por un periodo de cinco años. Más tarde, trabajó de forma independiente hasta 1481. En esta época se encuentran en sus pinturas multitud de bosquejos técnicos (bombas, aparatos mecánicos, etc.). Esto muestra el interés de Leonardo en materias técnicas.

Leonardo se relacionó con las mentes más brillantes de la época. Uno de estos fue Benedetto Aritmetico, matemático interesado en la industria y el comercio. De Brunelleschi conoció los problemas de la ingeniería y las necesidades de la industria de la época. También fue influenciado por Toscanelli (físico, astrónomo y geógrafo) y por el aristotélico griego Giovanni Argiropoulo. Cabe destacar la existencia de un personaje que ejerció gran fascinación en Leonardo, León Battista Alberti. Éste era un anciano ilustre que por aquel tiempo dirigía los trabajos de construcción de la portada de la iglesia Santa María Novella. De él el joven Leonardo admiraba tanto sus conocimientos como su forma de ser.

Alberti fue el mayor teórico del Renacimiento y uno de sus mejores arquitectos. Practicó todas las artes y todas las ciencias. A pesar de ello él tenía una predilección por la arquitectura, a la que consideraba el arte por excelencia. También fue hijo

ilegítimo. Además fue gimnasta, aprendió música sin maestro y estudió derecho, que dejó para estudiar física y matemáticas. Observaba a los artistas, los artesanos y los sabios para tratar de descubrir sus secretos. Para evadirse pintaba, modelaba y creaba inventos. Entre ellos cabe destacar una cámara oscura, una escritura secreta y un calidoscopio donde se veía levantarse a la luna y las estrellas desde un paisaje rocoso.

Alberti medía la altura de las torres, la profundidad de los mares, la anchura de los ríos, la marcha de los buques. Se interesó por la fabricación de relojes y cuadrantes solares. En sus escritos la ciencia se presenta de una forma amigable y familiar, de la misma forma que encontraremos en los trabajos de Leonardo.

En las máquinas de Leonardo tiene gran protagonismo el tornillo. Éste es un elemento fundamental de las máquinas de Brunelleschi. Diseñó múltiples máquinas para ahorrar trabajo, como por ejemplo, para tornearse y pulir. Utilizaba la fuerza del agua como fuente de energía para el movimiento en sus máquinas. Una máquina representativa de esta etapa era la máquina para estriar limas (figura 3).

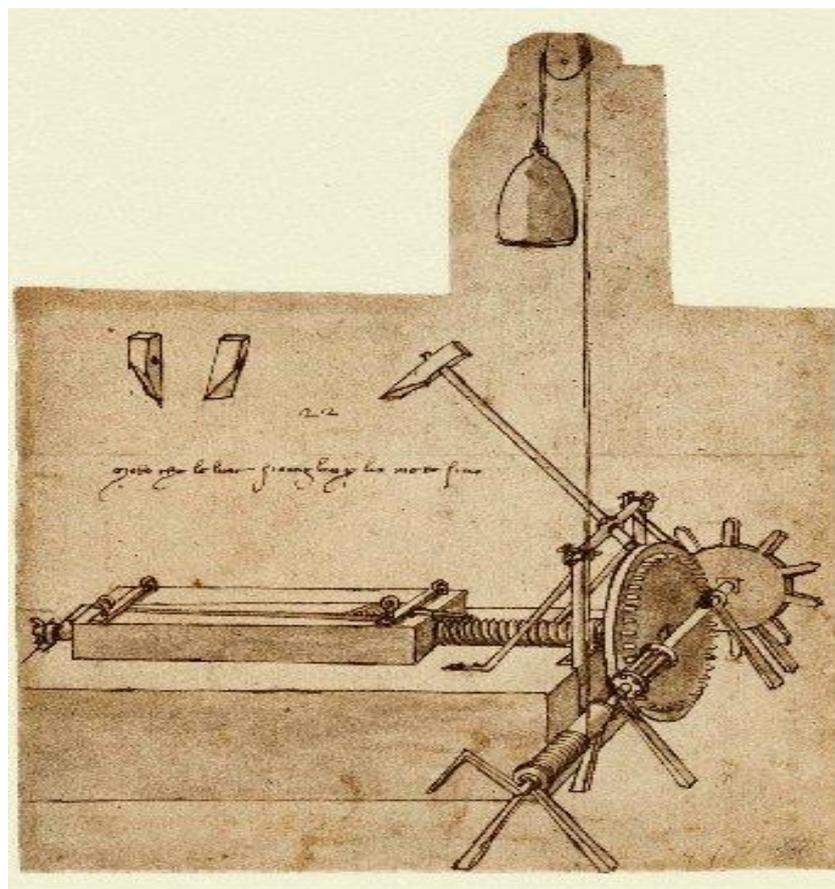


Figura 3: boceto de máquina para estriar limas

Floencia entró en guerra. Leonardo estaba atraído por la técnica militar que se desplegaba durante el transcurso de la misma. Era un periodo donde la técnica militar estaba sufriendo una transformación significativa debido a los nuevos inventos. Leonardo diseñó multitud de máquinas rodantes, trituradoras y de artillería. Entre ellas encontramos el carro de combate, objeto de estudio del presente documento. También estudió toda clase de invenciones para la defensa de la fortaleza de Colle. A pesar de sus profusos estudios sobre la técnica militar, no despertó el interés de Lorenzo de Médicis: el puesto de ingeniero militar estaba ocupado por Giuliano da Sangallo, el cual siguió en el cargo hasta la finalización de la guerra.

PRIMER PERIODO EN MILÁN (1482-1499)

Leonardo dejó Floencia por varios motivos. Uno de ellos era que la corriente intelectual que se daba en la ciudad, el neoplatonismo, iba en contra de su pensamiento: los partidarios de dicha corriente veían las fuentes clásicas como única forma de obtener conocimiento. Leonardo consideraba que la experiencia era la fuente del saber y estos intelectuales menospreciaban su forma de pensar. Otros motivos para dejar la ciudad eran que algunos patronos nunca pagaban las obras que encargaban debido a los altos impuestos en la ciudad, la gran competencia profesional que existía, la peste y la guerra.

A Leonardo le atrajo de Milán su atmósfera académica, más realista que la de Floencia, y la brillante corte de Ludovico Sforza. Leonardo pasó cinco años tratando de obtener el favor de Ludovico, no obstante estuvo durante diecisiete años en la ciudad, hasta que Ludovico perdió el poder en el año 1499. Ostentó el cargo de pintor e ingeniero ducal. En esta etapa hizo pintura y escultura, diseñaba los festivales de la corte, era consultado como asesor técnico en temas militares e hizo trabajos de ingeniería hidráulica y mecánica. Fue muy valorado en la corte.

Durante esta etapa Leonardo intensificó sus trabajos científicos dando rienda suelta a su creatividad. Se produjo en él la necesidad de anotar de forma literal sus percepciones y experiencias. En esta etapa hizo investigaciones geofísicas, botánicas, hidrológicas y aerológicas. Estableció hechos irrefutables obtenidos de la experiencia, en contra posición al conocimiento especulativo, el cual detestaba.

En 1490 conoció a Francesco di Giorgio en Pavía, el cual influenció en su forma de ver la arquitectura y el conocimiento. En el mismo año hizo un análisis completo de los canales, que tuvo gran importancia para Milán, e hizo un tratado sobre el agua, que veía como un estudio necesario para resolver los problemas de la ingeniería hidráulica. También comprendió que la anatomía era la base para la representación del cuerpo

humano. Otorgó a la geometría el estatus de instrumento unificador para el estudio de diversos campos: botánica, anatomía, mecánica, hidráulica, etc. También estudió latín y leyó los clásicos. Además trató de resolver problemas prácticos como la estatua ecuestre de bronce de Francisco Sforza, el fundador de la casa Sforza.

En 1495, antes de empezar el cuadro de la Última Cena, diseñó el primer robot humanoide de la civilización occidental. El robot es fruto de sus estudios en anatomía y kinesiología y fue diseñado según el canon de Vitrubio. Fue diseñado para sentarse, mover los brazos y la cabeza; y estaba vestido con una armadura. Este diseño fue inspirado en los clásicos griegos. Ctesibio construyó los primeros órganos y relojes de agua con figuras en movimiento y Herón de Alejandría habló de autómatas utilizados en ceremonias religiosas y en el teatro.

En 1498 se premió a Leonardo con una propiedad cercana a la Porta Verzellina de Milán y fue nombrado *ingegnere generale*. Una invasión francesa era esperada y Leonardo estaba organizando la defensa de la ciudad. No obstante, los franceses consiguieron hacerse con la ciudad en 1499 y Ludovico fue hecho prisionero y llevado a Francia.

SEGUNDO PERIODO EN FLORENCIA

Poco después de la caída de la ciudad a manos de los franceses Leonardo abandonó ésta en compañía de Lucas Pacioli, el cual fue responsable, en parte, de su conocimiento en matemáticas y geometría. Después de una estancia en Mantua, llegó a Venecia, donde era muy esperado. Venecia estaba amenazada por los turcos y el Consejo de la República de Venecia le pidió su consejo sobre técnica militar. Leonardo aconsejó inundar la zona amenazada. El Consejo encargó a Leonardo que diseñara un baluarte defensivo junto al río Isonzo. Además diseñó presas con esclusas, construyó piezas de artillería y diseñó multitud de ingenios para la guerra naval. Planeó cómo hundir barcos enemigos utilizando buzos, cómo construir barcos-bomba llenos de pólvora y astilla que al encenderlos estallarían arrasando con lo que se encontraran a su paso, construyó barcos con espolón que podían anclarse al barco enemigo con un ingenio de palanca para fijarse por debajo de la línea de flotación, etc. Mucho de los inventos diseñados para Venecia no pasaron del papel, incluido el baluarte cuyo costo, calculado por los venecianos, sería considerado exorbitado.

Después de su paso por Venecia llegó a Florencia, donde ya estaba establecido el 24 de abril de 1500. Allí fue colmado con honores. Fue nombrado arquitecto experto en un comité que investigaba la fundación y estructura de la iglesia de S. Francesco al Monte.

En esta etapa parece que el estudio de las matemáticas lo mantuvo alejado de la pintura.

AL SERVICIO DE CÉSAR BORGIA

En el verano de 1502 Leonardo decidió dejar Florencia y trabajar para César Borgia. Sólo se entiende que Leonardo dejara Florencia si consideramos “el apetito por la vida” que éste tenía. Viajó por los territorios de César Borgia y los midió. Hizo planos de Imola y mapas topográficos, de una calidad tal que estableció las bases para la cartografía moderna. Diseñó ingenios bélicos y ofreció al Sultán (cuya delegación turca había acudido para entrevistarse con César Borgia) los planos para construir un puente en el Cuerno de Oro. También conoció a Maquiavelo, que ejercía de observador político para Florencia en la corte de César Borgia. Maquiavelo y Leonardo idearon un sistema de canales para hacer al río Arno navegable de Florencia al mar. El primer objetivo de este proyecto era militar, pero también contribuiría al comercio de Florencia.

Los capitanes de César Borgia se sublevaron contra éste y entonces Leonardo regresó a Florencia. En esta época Florencia estaba en guerra con Pisa, la ciudad rival a orillas del río Arno. Hizo un proyecto para desviar el río Arno por detrás de la ciudad de Pisa, que estaba sitiada por Florencia. Esto haría que Pisa no tuviera acceso al mar. Más tarde se demostró que plan era inviable, pero sirvió para volver a tener en consideración el plan que tuvo con Maquiavelo, de unir Florencia con el mar. No se llevó a cabo hasta siglos después, donde se construyó el canal por la ruta exacta que Leonardo indicó en sus estudios.

En 1504 trabajó para el Señor de Piombino en la reestructuración de las fortificaciones de la ciudad. Hizo trabajos de ingeniería hidráulica para región de Arno y Lombardía. Durante su estancia en Florencia Leonardo intensificó sus estudios científicos. Llevó a la práctica disecciones en el hospital de Santa María Nuova. Con estas disecciones completó sus estudios anatómicos, al tener en consideración el funcionamiento del organismo humano. Observó el vuelo de los pájaros y concluyó que éstos confían más en las corrientes de aire y el viento que en el batir de sus alas. Diseñó alas mecánicas que imitaban el vuelo de los pájaros. Amplió sus estudios hidrológicos con el estudio de las corrientes de agua, las cuales comparó con las corrientes de aire.

SEGUNDO PERIODO EN MILÁN (1506-1513)

Carlos d' Amboise, gobernador del rey de Francia en Milán, solicitó a Florencia, que dejara a Leonardo visitar Milán durante algún tiempo. Leonardo fue a Milán tras obtener el permiso. Pero lo que parecía que sería un pequeño periodo de tiempo se convirtió en seis años. Leonardo fue agasajado por Carlos d' Amboise y el rey Luis XII.

Tenía como tarea principal asesorar en tareas arquitectónicas. Ejemplo de ello fue la villa-palacio para el gobernador. También revisó un viejo proyecto de unir Milán con el lago Como.

En esta etapa Leonardo dio gran importancia a la teoría en la ciencia. Estudió mecánica, anatomía y geología de una forma tal que las consideraba que estaban gobernadas por unas leyes universales. Consideró el cuerpo humano como un conjunto de mecanismos. En la geometría investigó sobre la transformación de superficies de las formas geométricas, lo cual aplicó a la hidrología y el estudio del corazón humano. Conoció al gran anatomista Marcantonio della Torre, cuya colaboración incrementó el nivel de sus estudios anatómicos. Desarrolló la idea de que la fuerza y el movimiento como funciones mecánicas básicas daban forma a todas las formas de la naturaleza, tanto orgánicas como inorgánicas, y que, además, estas fuerzas básicas estaban gobernadas por leyes ordenadas y armoniosas.

ESTANCIA EN ROMA (1513-1516)

El gobernador francés de Milán, Carlos d' Amboise, murió en 1511. Leonardo no dejó Milán hasta el 24 de septiembre de 1513. Ya era un hombre anciano de sesenta años y parece que fue empujado a ir a Roma por eventos políticos. Allí permaneció durante tres años.

Era la Roma donde se congregaban multitud de artistas. San Pedro era construida por Donato Bramante, Rafael pintaba las estancias del Papa y la tumba del Papa Julio era completada por Miguel Ángel. Parece que Leonardo no estuvo muy contento durante su estancia en Roma. Esto es sabido por borradores de cartas suyas que han llegado hasta nuestros días. Pasaba el tiempo encerrado en su estudio o dando paseos examinando los monumentos de la ciudad.

Leonardo trabajaba sobre matemáticas y problemas técnicos. Además, parece que fue consultor para una restauración llevada a cabo en los Pantanos de Pontine, que fue ordenada por Giuliano de Médicis en 1514.

ESTANCIA EN FRANCIA (1516-1519)

El rey de Francia, Francisco I, invitó a Leonardo a que entrara a su servicio. Éste, a pesar de sus sesenta y cinco años, aceptó debido, en gran parte, a la solitaria vida que llevaba en Roma.

Abandonó Italia a finales de 1516. En Francia vivía en una pequeña residencia cerca del palacio de verano del rey, en Amboise. Fue nombrado primer pintor, arquitecto y mecánico del rey. En la práctica, Leonardo tuvo total libertad de acción. Hizo los planos para el palacio y jardín de Romaratin, que iba a ser destinado como residencia de la Reina Madre. En el diseño se combinaba la tradición francesa e italiana de una forma exquisita. El proyecto tuvo que ser detenido porque la región fue amenazada por la malaria. Leonardo pasó gran parte de su tiempo ordenando sus estudios científicos.

En Cloux, el 2 de mayo de 1519, Leonardo murió. Fue enterrado en la capilla del palacio de Saint-Florentin. Durante la Revolución Francesa la capilla fue arrasada y en el siglo XIX fue demolida, por lo tanto, no se sabe donde descansan sus restos. El legado artístico y científico fue heredado por su discípulo Francisco Melzi.

3.2. LEONARDO EN LA INGENIERÍA

3.2.1. OBRAS CIVILES

Lo más destacado en ingeniería civil fue el canal que diseñó para unir Florencia con el mar. El canal constaba de esclusas. Para ello proyectó túneles e inventó varios ingenios tales como grúas, excavadoras, etcétera (figura 4). La extracción de la tierra se realizaba con mano de obra, provista de picos y palas. Las obras fueron suspendidas porque hubo corrimientos de tierra debido a tormentas de otoño. A pesar de esto, los aparatos elevadores y grúas serían destinados a otra obra. Leonardo propuso elevar el baptisterio de Florencia (figura 5), que descansaría en un pedestal más elevado, que a su vez descansaría sobre arcadas.

Además, cabe destacar, el diseño de puentes modulares retráctiles. Su aplicación era superar el foso de una villa y mantener alejados a los intrusos.

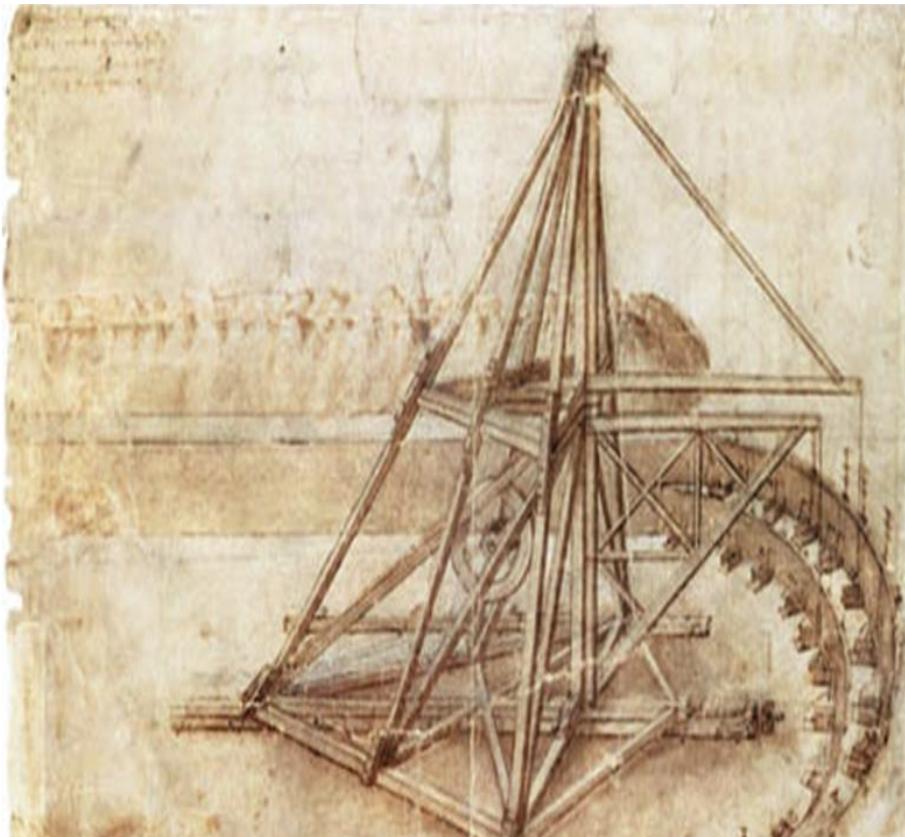


Figura 4: boceto de grúa excavadora



Figura 5: Baptisterio de Florencia

3.2.2. MECÁNICA APLICADA

EL TORNILLO Y LA RUEDA DENTADA

Leonardo clasificó los distintos tipos de tornillos. Busco sus potenciales aplicaciones en máquinas, midió su potencia e inventó artilugios para fabricarlos. En las ruedas dentadas, fijó su atención en los perfiles de dientes y en las posibles combinaciones de éstas para producir distintos movimientos.

POLEAS, EJES Y RODAMIENTOS

Utilizó poleas y conjunto de poleas para levantar cargas pesadas. También estudió cómo disminuir la fricción que soportaban los ejes móviles a partir de rodamientos.

CIGÜEÑALES Y VOLANTES DE INERCIA

A través de mecanismo de cigüeñales convertía el movimiento rotatorio en lineal. Los volantes de inercia facilitaban y regulaban el movimiento de los ejes.

RESORTES Y LEVAS

Hizo un amplio estudio de los tipos de resortes. Aplicó estos a relojería y cerraduras. Inventó un artilugio para fabricar resortes. La mejora de relojes es el motivo de su interés por las levas.

TRANSMISIÓN CON BANDAS

Consideró el uso de correas o cuerdas para obtener movimiento rotatorio o lineal alternado a partir de movimiento rotatorio continuo, como por ejemplo, el que generaba la rueda hidráulica.

3.2.3. MÁQUINAS DE GUERRA

A pesar de la invención de multitud de máquinas de guerra que llevó a cabo Leonardo, éste era un hombre pacífico, que iba desarmado, en contra de la costumbre de la época. La mayoría de las máquinas de guerra diseñadas por Leonardo no pasaron del papel. Por ejemplo, no construyó ninguno de los carros blindados que diseñó, entre los que se encuentra el carro de combate (figura 6) objeto de estudio del presente documento, y ninguna de las máquinas de asedio. Para Leonardo lo interesante era la propia idea, no la materialización de ésta en un proyecto tangible. Pero es esto precisamente lo que aporta la libertad creativa a Leonardo.

Se puede resaltar entre las máquinas de guerra las piezas de artillerías que tenían múltiples bocas (figura 7), que eran concebidas como si fueran los tubos de un órgano. Estos diseños serían la inspiración para, siglos más tarde, la ametralladora primitiva llamada *órgano Stalin*.



Figura 6: boceto del carro de combate



Figura 7: boceto de ametralladoras

3.2.4. MÁQUINAS DE USO CIVIL

En este apartado merece mención la máquina para estriar limas (figura 8) y la máquina para hacer sogas (figura 9). El hacer limas manualmente era una ardua tarea y no se tenía certeza del resultado final, por esta razón inventó una máquina que estriase limas de forma automática.

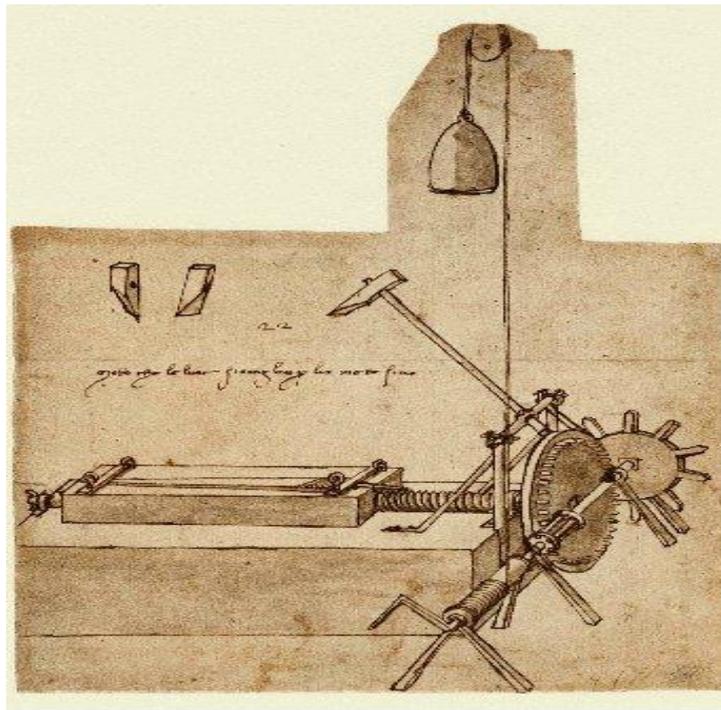


Figura 8: boceto de máquina para estriar limas

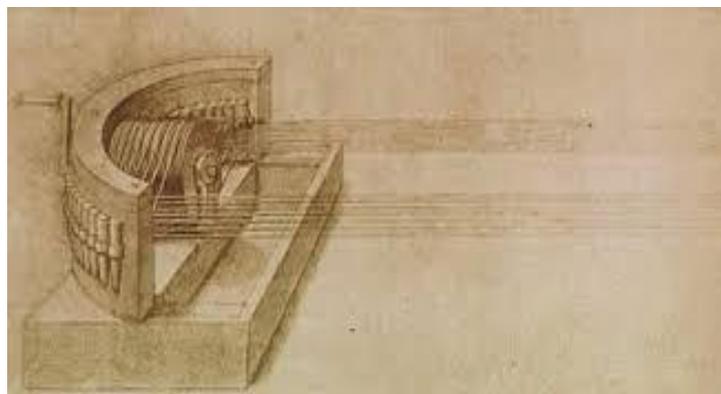


Figura 9: boceto de máquina para hacer sogas

3.2.5. MÁQUINAS HIDRÁULICAS Y MARÍTIMAS

Leonardo diseñó un traje de buceo de cuero (figura 10), aletas para nadar, el barco de palas (figura 11), etc. Éste último era irresoluble para la época. Estos inventos fueron concebidos durante su estancia en Venecia.



Figura 10: recreación del traje de buceo

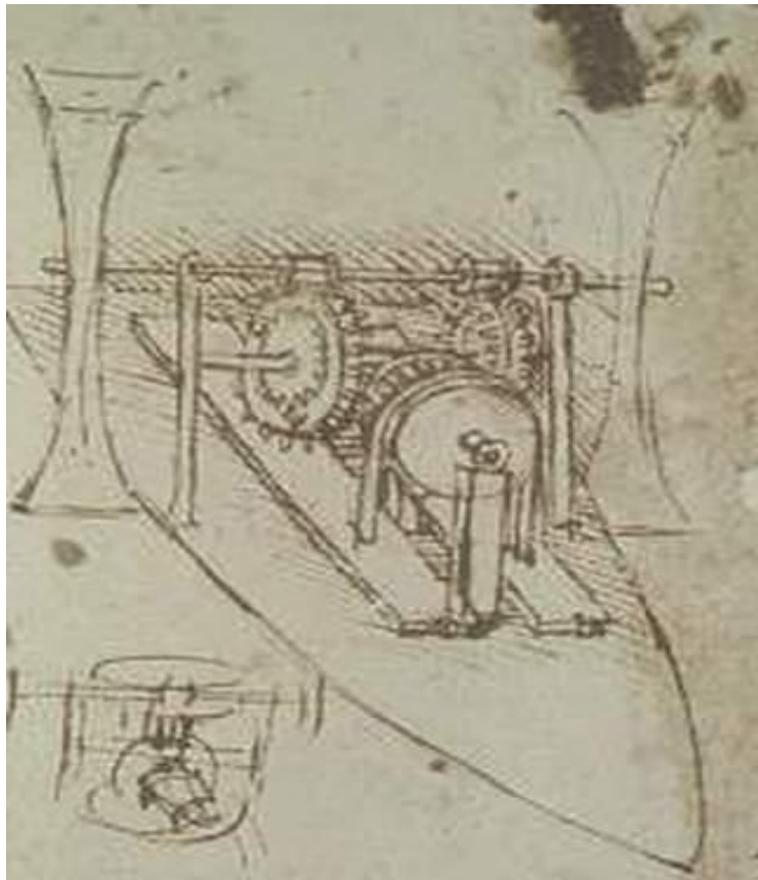


Figura 11: boceto del barco de palas

3.2.6. MÁQUINAS PARA VOLAR

Los diseños de estas máquinas (figuras 12 y figura 13) recogían el concepto de alas que se baten. El piloto aportaba la fuerza necesaria mediante los brazos y las piernas.

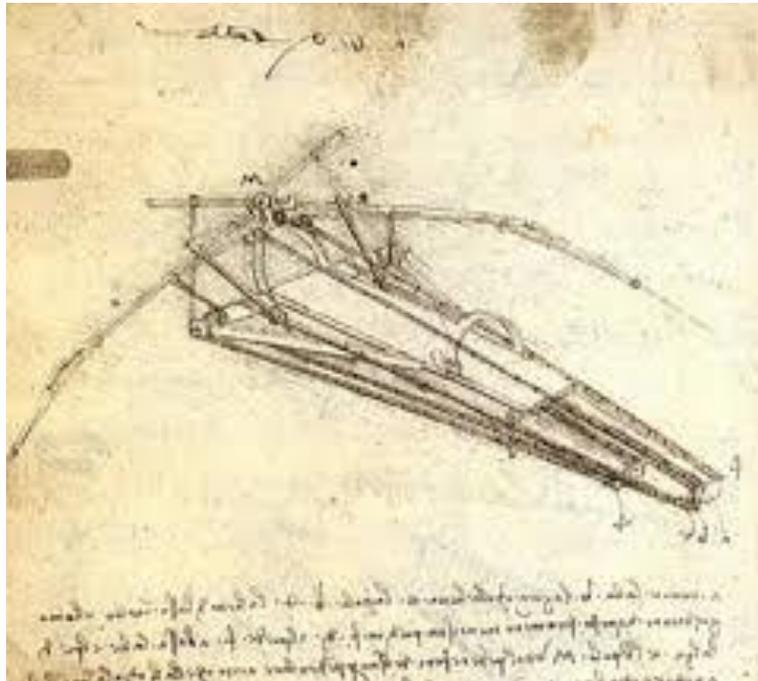


Figura 12: boceto del fuselaje de la máquina voladora

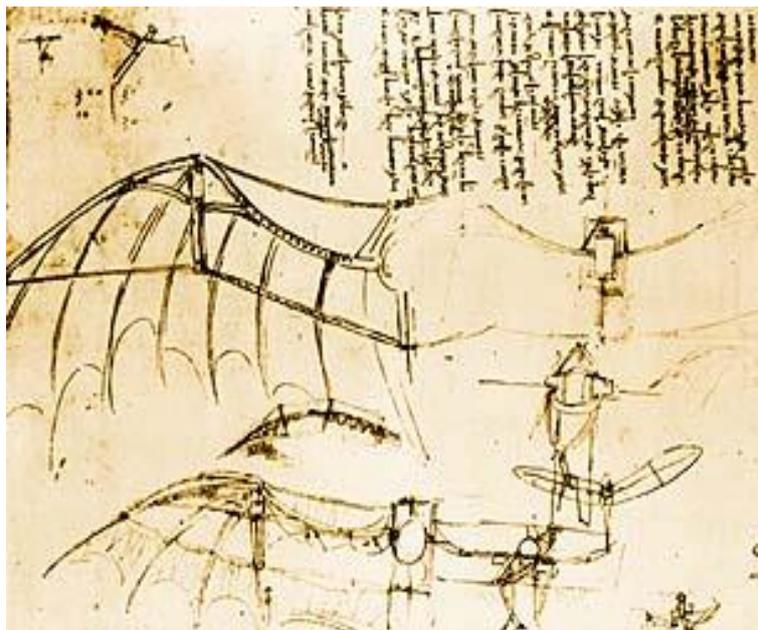


Figura 13: boceto de las alas de la máquina voladora

No se debe olvidar el tornillo aéreo (figura 14), precursor del helicóptero, y el paracaídas (figura 15), con forma cuadrada.

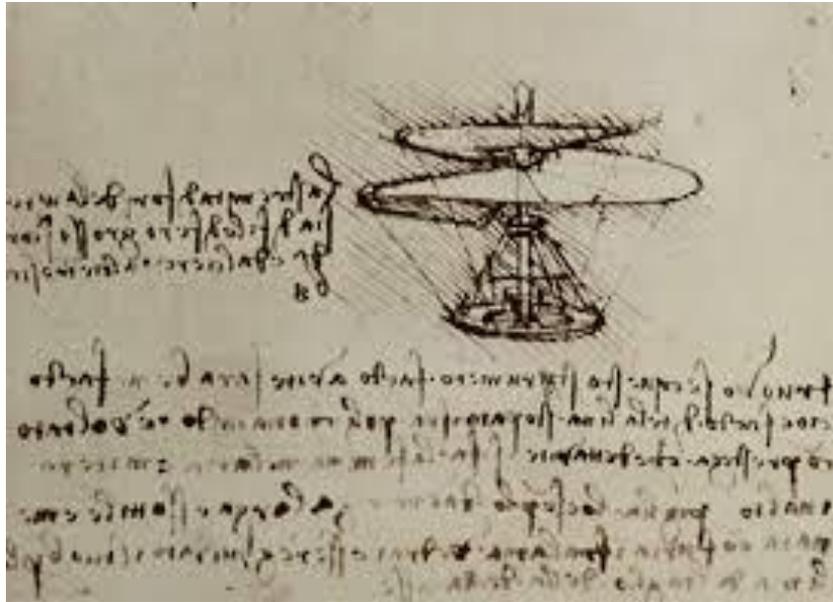


Figura 14: boceto del tornillo aéreo

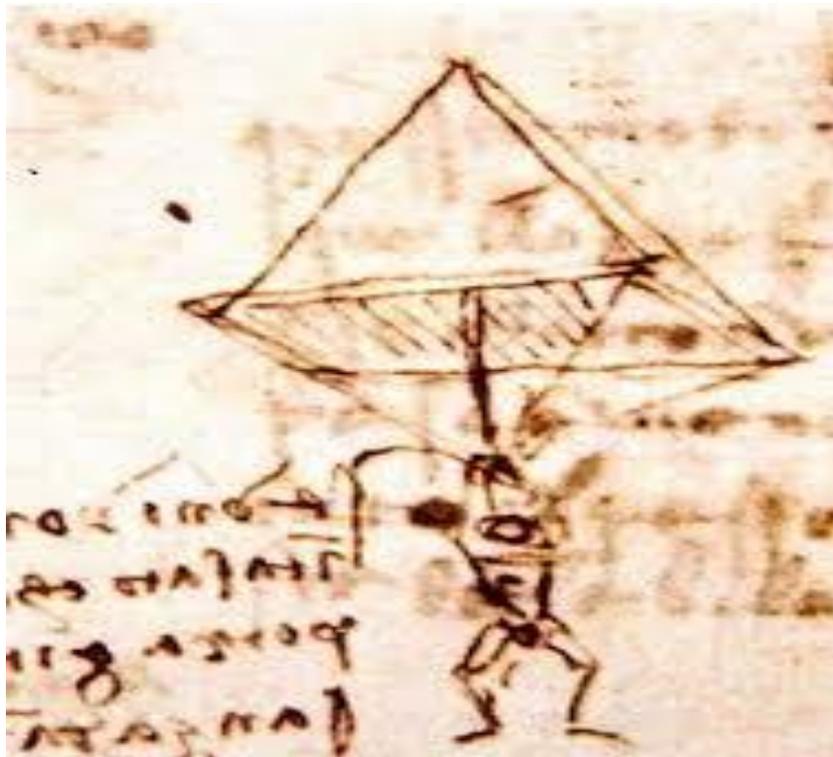


Figura 15: boceto del paracaídas

3.2.7. MÁQUINA DE SUMAR

Esta máquina (figura 16) servía para sumar. Constaba de trece ruedas para registrar dígitos. Cada una de estas ruedas tiene una relación uno a diez. Por cada revolución del primer manubrio se incrementa el dígito en la rueda de las unidades, estando el nuevo dígito obtenido entre 0 y 9. Cuando se hace girar el primer manubrio por décima vez, el dígito de las unidades pasa de 9 a 0, y el dígito de las decenas pasa de 0 a 1. El resto de ruedas operan en la misma proporción.

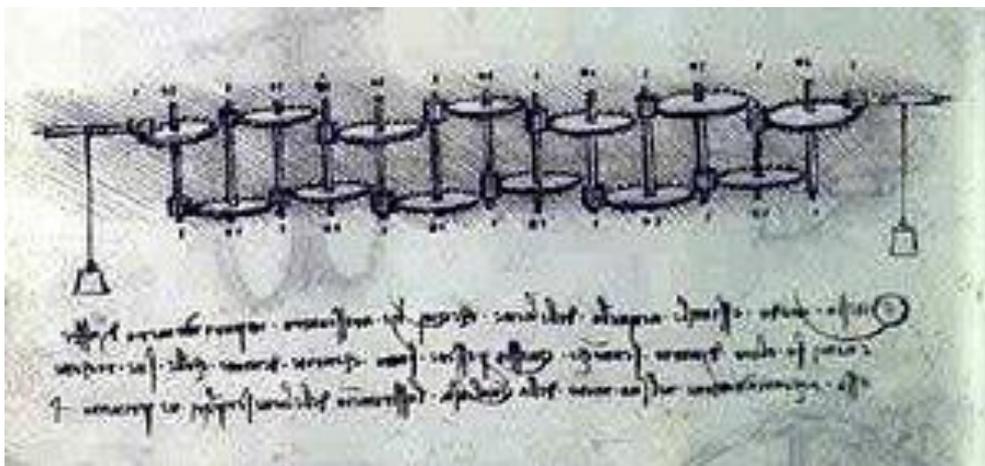


Figura 16: boceto de la máquina de sumar

4. EL CARRO DE COMBATE DE LEONARDO DA VINCI

4.1. BOCETOS DEL CARRO DE COMBATE

Tenemos dos bocetos del carro de combate (figura 17). En el primer boceto podemos observar el interior de éste. En él se aprecia cuatro ruedas que se mueven mediante un mecanismo de engranajes. Por cada rotación de una manivela se mueven a la vez dos engranajes, que a su vez hacen mover dos ruedas. Se puede apreciar que Leonardo ha puesto un error de forma intencionada para evitar la posible copia del invento. Si se construyera el carro de la forma dibujada las ruedas girarían en sentido contrario, haciendo colapsar el mecanismo de engranajes.

En el segundo boceto se aprecia que la cubierta tiene forma de disco asimétrico. Además consta de una treintena de cañones y un puesto de observación en su parte más alta.

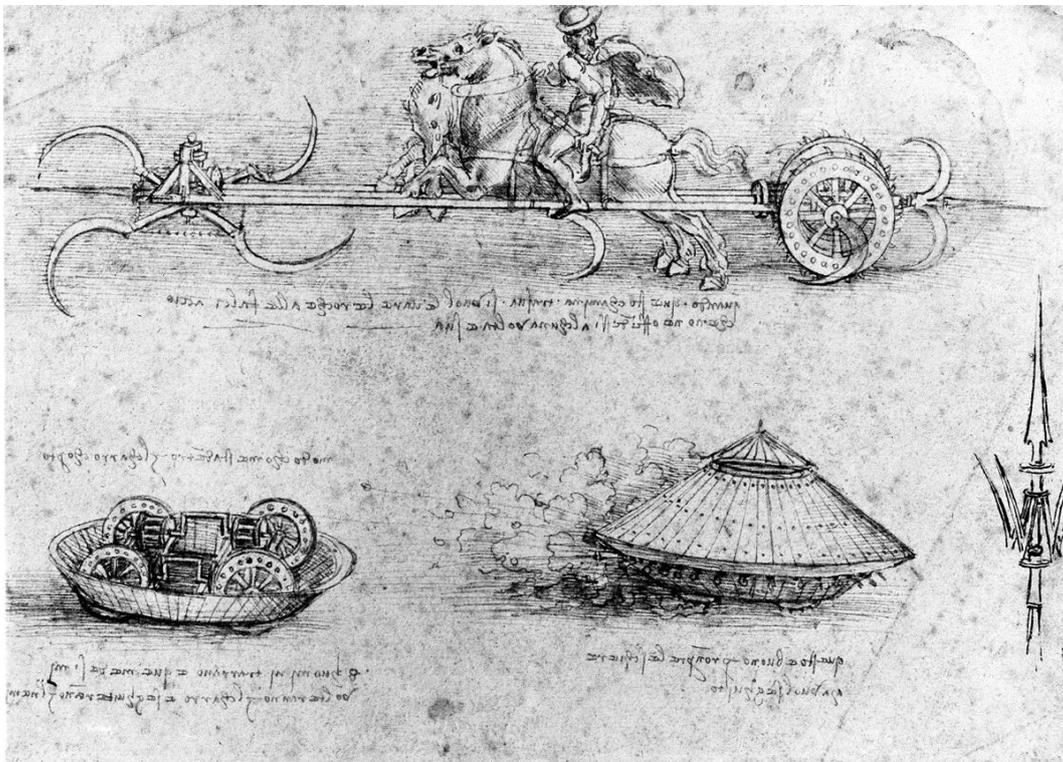


Figura 17: bocetos del carro de combate

4.2. MATERIALES

4.2.1. MADERA DE ROBLE

Se ha precisado de una madera dura y resistente, que se pueda utilizar para piezas estructurales. Además de piezas rectas, en el diseño del carro de combate tendremos piezas curvas. Por ello nos hemos inspirado en barcos de madera antiguos.

En 1565, el ballenero vasco San Juan se hundió en Red Bay, en la costa de Canadá. En 1978 un grupo de arqueólogos canadienses encuentra el pecio (figura 18) y lo investigan. Al estar las piezas en un gran estado de conservación debido a las frías aguas de Labrador, el equipo decide subirlas a tierra firme. El estudio y catalogación de las piezas llevó más de treinta años. En 2013, en Pasaia (Guipúzcoa), se inicia la construcción de la nao San Juan en la factoría marítima Albaola (figura 19), según los planos de los científicos canadienses. Para ello, se utilizan los materiales y técnicas de la época. El roble es la madera elegida para la piezas del barco, exceptuando la quilla, que es de haya.



Figura 18: pecio de la nao ballenera San Juan en Red Bay (1978)



Figura 19: construcción de la nao ballenera San Juan en la factoría marítima Albaola

Para el carro de combate se ha elegido la madera del roble. Para ello se debe elegir cuidadosamente el árbol idóneo para la pieza que queremos obtener. Si es una pieza recta o una tabla se elegirá un roble recto y si es una pieza curva se elegirá un roble que contenga esa forma específica (figura 20).



Figura 20: selección de un roble para obtener una pieza de la nao San Juan

4.2.2. ACERO FORJADO

Para las piezas metálicas se va a utilizar como material, exceptuando los cañones y los cojinetes, acero forjado (figura 21). Como es bien conocido, ya desde la Edad Media, se tenía un perfecto conocimiento de cómo trabajar este material, que tiene excelentes propiedades mecánicas.



Figura 21: herrero forjando clavo de hierro para la nao San Juan

4.2.3. BRONCE

Los primeros cañones eran de hierro forjado (figura 22). Estaban formados por anillos pequeños engarzados por arandelas. Utilizarlos era muy peligroso: eran cañones de retrocarga que podían reventar muy fácilmente durante su utilización, ya que el hierro se oxidaba con facilidad.



Figura 22: cañón de retrocarga de hierro forjado

Por esta razón se buscó un material para fundir, para fabricar cañones con cuerpo de una sola pieza. El mejor material que se conocía que pudiera cumplir estos requisitos era el bronce (figura 23). EL bronce resistía mejor la corrosión y era un material muy fuerte. Además se podía construir cañones de avancarga, evitando los problemas de obturaciones y atascamientos, que suponían un peligro para los artilleros.



Figura 23: cañón de bronce

Pero el bronce, aleación compuesta por cobre y estaño, era caro, ya que estos metales eran difíciles de obtener en buena parte de Europa. Por ello se investigó sobre cómo fundir hierro. Fue Inglaterra, en 1543, el primer país que fundió hierro para cañones. Su situación fue la que obligó a Inglaterra a ensayar con el hierro, que era un país pobre y deficitario en cobre. Los cañones de hierro fundido eran ocho veces más baratos que los cañones de bronce.

Leonardo murió en 1519, antes del logro de los ingleses. Por lo tanto, se puede concluir que el material que se debe utilizar para los cañones del carro de combate es el bronce.

4.2.4. BRONCE AL PLOMO

Para los cojinetes se necesita un material que sea resistente a la fricción. El material elegido es el bronce al plomo. Es un material autolubricante debido a que el plomo no se mezcla íntimamente, al no formar aleación con el cobre. Este es el motivo por el que al calentar de forma excesiva una pieza hecha con este material se produzca la exudación del plomo. El plomo aparece como una especie de lodo, que permite que la pieza se autolubrique. Este material es utilizado en la actualidad para fabricar cojinetes de empuje para turbinas, cojinetes de locomotoras, cojinetes de trenes de laminación, etc.

4.3. COMPONENTES

4.3.1. ELEMENTOS DE UNIÓN

Se ha utilizado como elemento de unión clavos (figura 24) de acero forjado. El rango de clavos utilizados comprende desde 0,75 cm a 3 cm de diámetro y de 5 cm a 30 cm de longitud. En total hay diez tamaños distintos de clavos utilizados en el carro de combate.



Figura 24: clavo de 15 cm de longitud y 1,5 cm de diámetro

4.3.2. ESTRUCTURA

La principal pieza de la estructura es la unión principal (figura 25), de acero forjado.

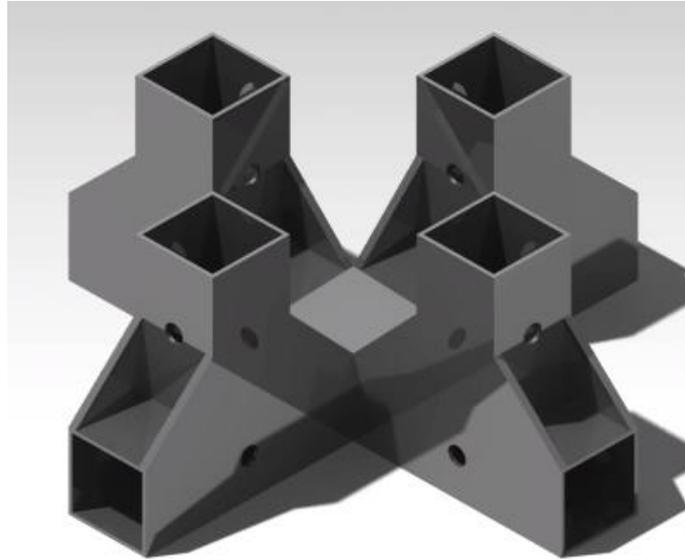


Figura 25: unión principal

Se ha utilizado la unión principal para unir la viga principal de la base con dos vigas más pequeñas (figura 26). La viga principal atraviesa completamente a la unión principal.

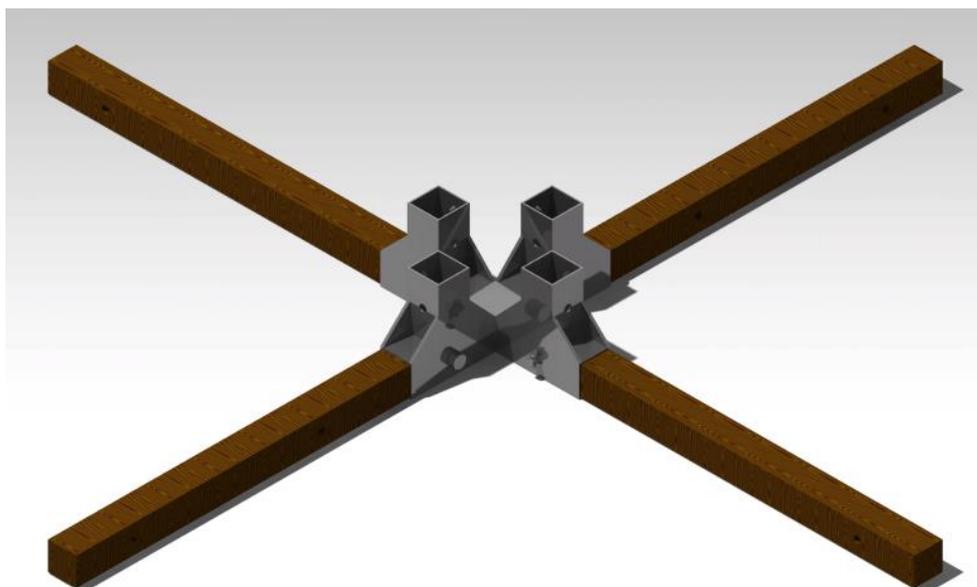


Figura 26: viga principal de la base unida con otras dos mediante la unión principal

Para fijar las vigas en la unión principal se ha utilizado un pasador, con un tope, para que no varíe su posición (figura 27).

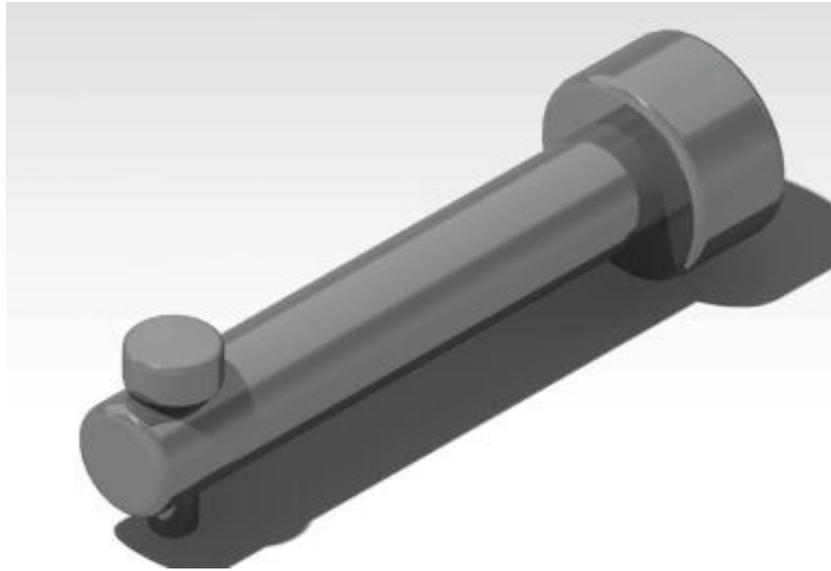


Figura 27: pasador y tope

Con otras uniones metálicas y otras vigas rectas se ha ampliado la base de la estructura (figura 28).

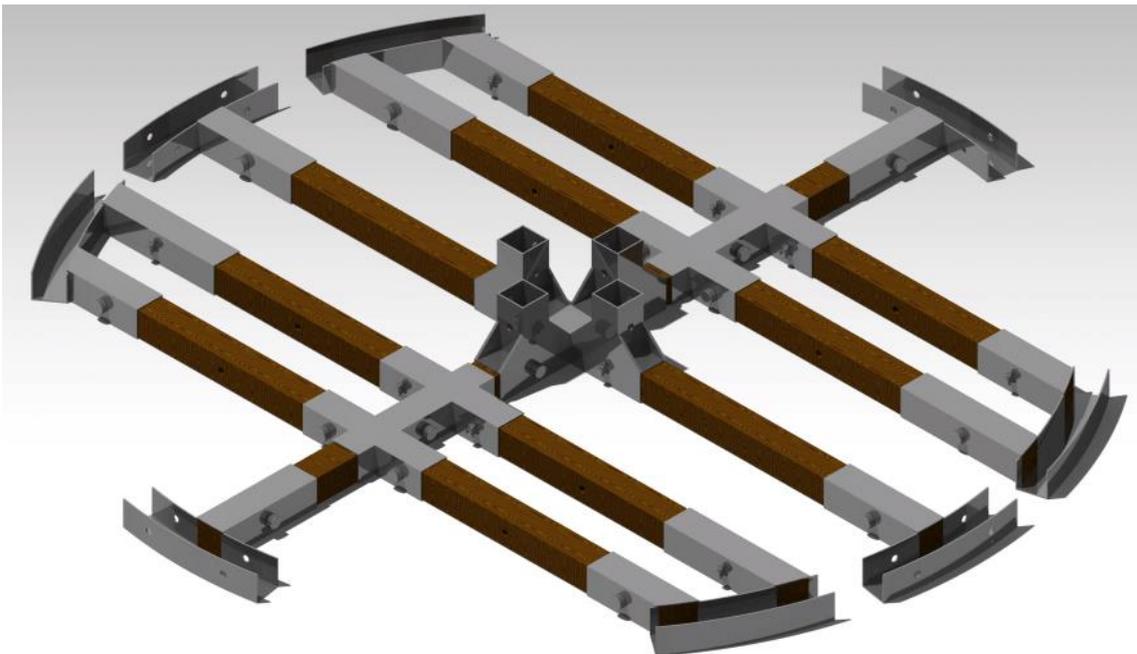


Figura 28: parte de la base de la estructura

En la parte externa de la base de la estructura descansa sobre las piezas metálicas una circunferencia (figura 29) formada por cuatro cuartos de circunferencia. En la figura 30 se puede observar la base completa de la estructura.

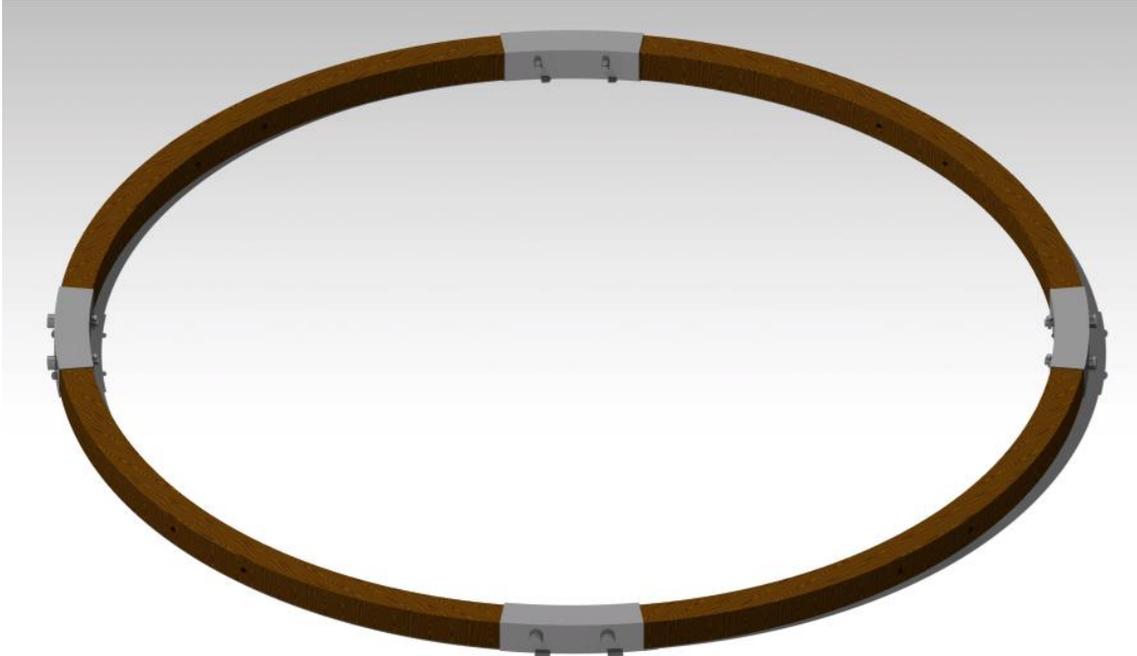


Figura 29: circunferencia que forma parte de la base de la estructura

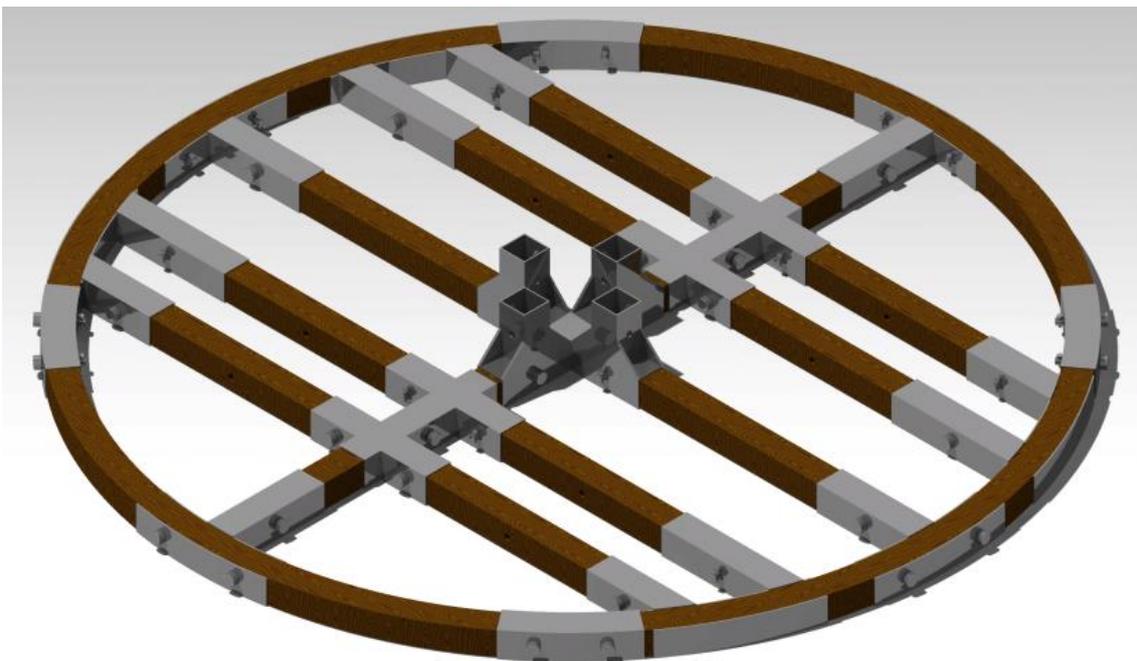


Figura 30: base completa de la estructura

Se ha añadido una torre de observación (figura 31), donde además, en el anillo superior, irá apoyada la parte alta de la cubierta del carro de combate.

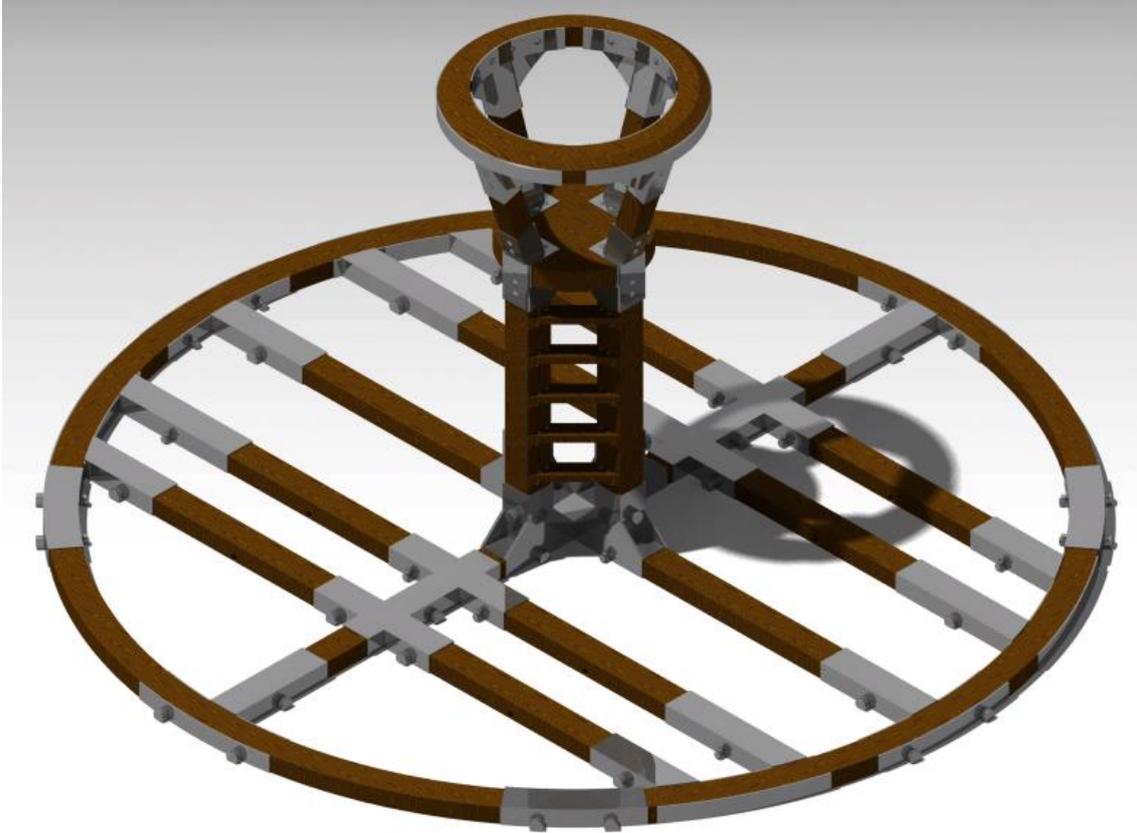


Figura 31: estructura completa del carro de combate

Se ha incluido en la estructura una escalera para poder subir a la zona de observación (figura 31).

4.3.3. RUEDA

La pieza principal de la rueda es la que se ha llamado anillo de la rueda (figura 32). En el anillo va embutido, en su parte central, el cojinete, que es de bronce al plomo, y en su zona externa van embutidos los radios (figura 33).



Figura 32: anillo de la rueda



Figura 33: anillo, cojinete y radios de la rueda

La circunferencia externa de la rueda está formada por cuatro cuartos (figura 34). Cada cuarto tiene un macho y una hembra para ensamblarse correctamente con otros dos cuartos. Además posee los orificios correspondientes para los radios y para las espigas, que engranarán con los engranajes.



Figura 34: cuarto de la circunferencia externa de la rueda

Se ha utilizado un anillo de refuerzo (figura 35) para mantener en la posición correcta a las piezas de la rueda. El anillo de refuerzo tiene orificios para fijarlo mediante clavos.



Figura 35: anillo de refuerzo de la rueda

En la figura 36 podemos observar la rueda completa.



Figura 36: rueda

En la figura 37 se puede apreciar cómo la rueda descansa en un eje y va restringida por dos coronas, de bronce al plomo, que a su vez están limitadas por dos topes. Los soportes de la rueda están encajados en una viga de la estructura (figura 38).



Figura 37: rueda, eje y soportes de la rueda

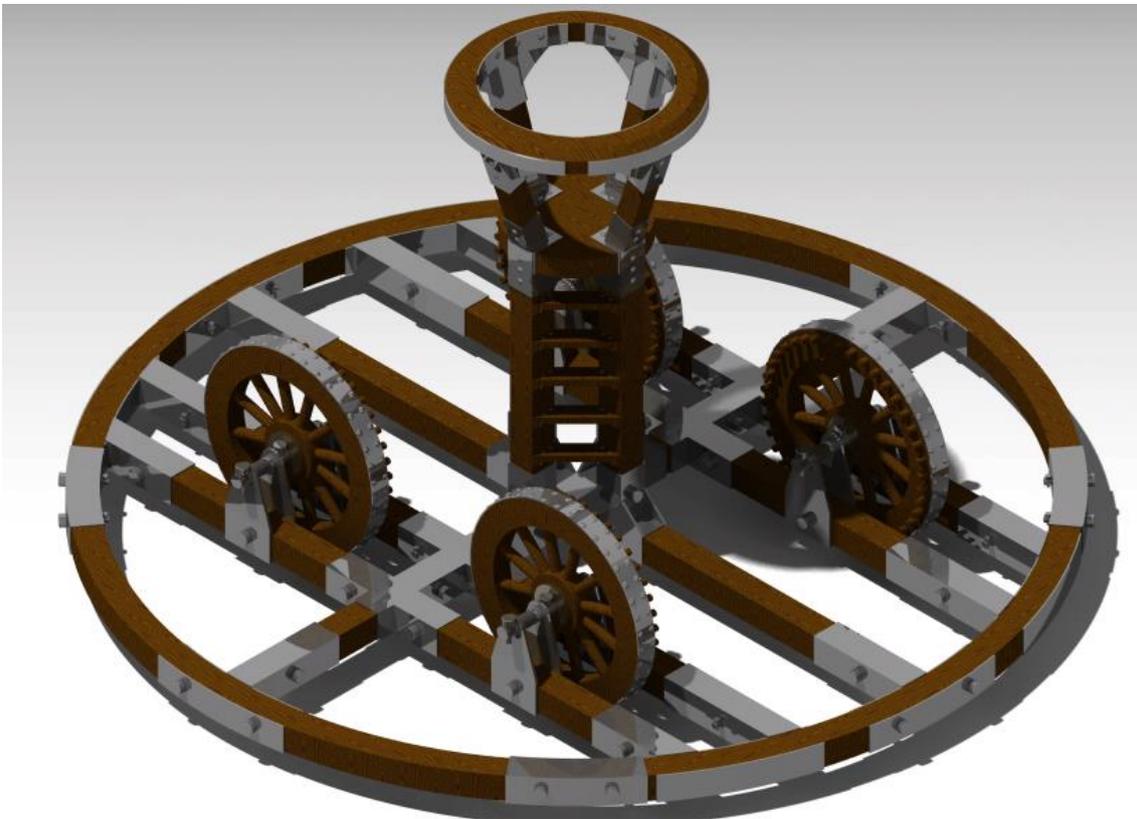


Figura 38: estructura y ruedas

4.3.4. SUELO

Mediante seis tablonces (figura 39) de distinto tamaño y formas se ha confeccionado el suelo (figura 40).

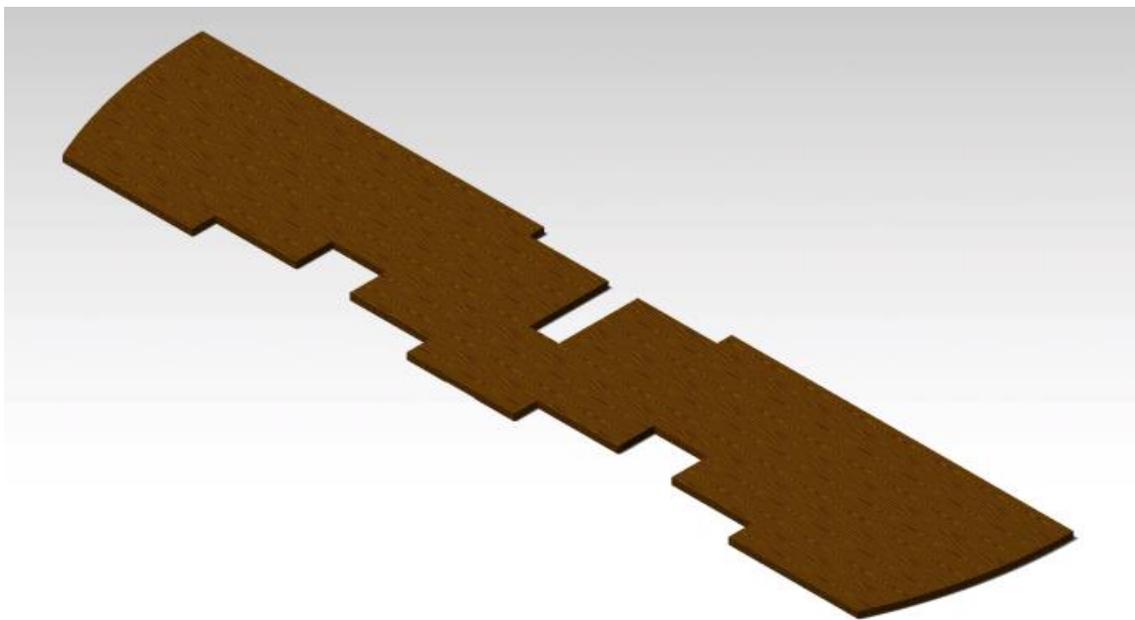


Figura 39: tablon para el suelo

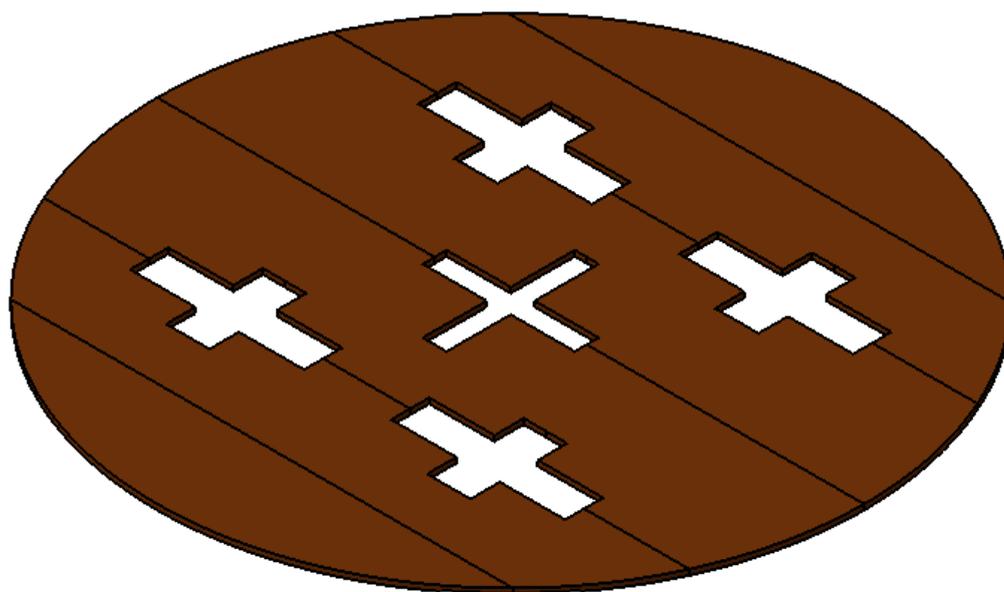


Figura 40: conjunto de tablonces (vista sin aplicar materiales)

En la figura 41 y la figura 42 se puede observar como los tablones van fijados a la estructura mediante grandes clavos. Se ha añadido un anillo que consta de cuatro cuartos, cuya función es evitar que la base de la cubierta se desplace hacia el interior.

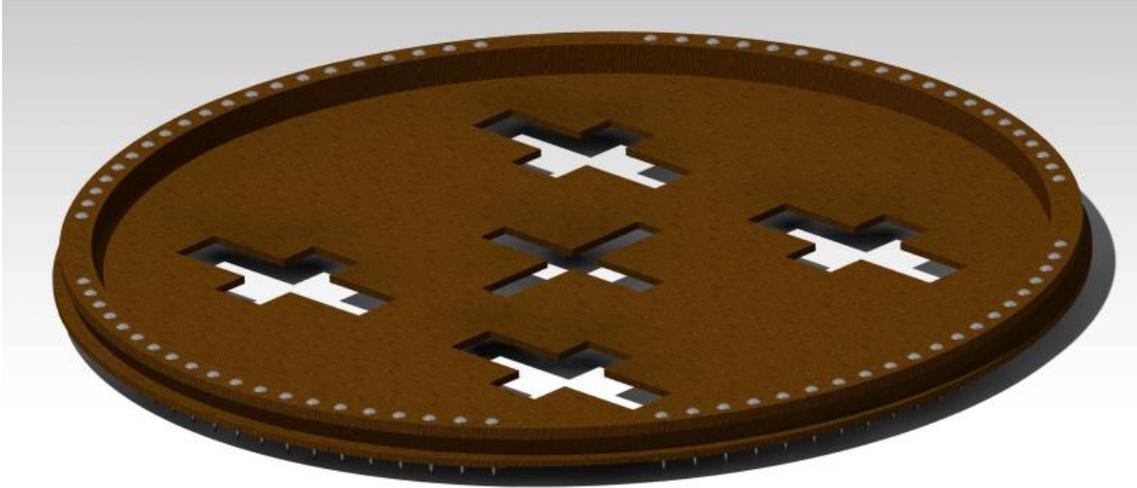


Figura 41: suelo

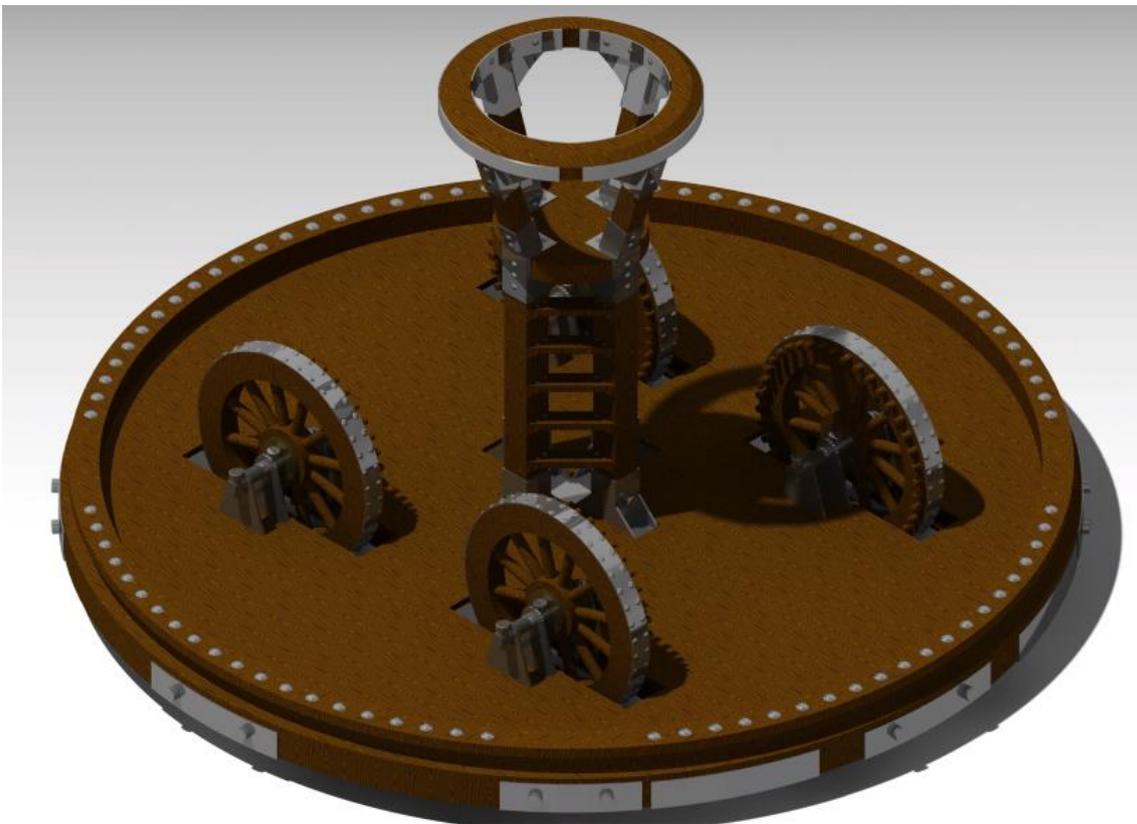


Figura 42: estructura, ruedas y suelo

4.3.5. CUBIERTA

La cubierta se ha dividido en cubierta inferior, cubierta superior y cúpula. La cubierta inferior está formada por treinta tablones (figura 43). Como se puede observar el tablón tiene un orificio para poder sacar parte del cañón por él.



Figura 43: tablón de la cubierta inferior

Los tablones de la cubierta inferior tienen unas piezas metálicas que los envuelven por su zona exterior (figura 44).

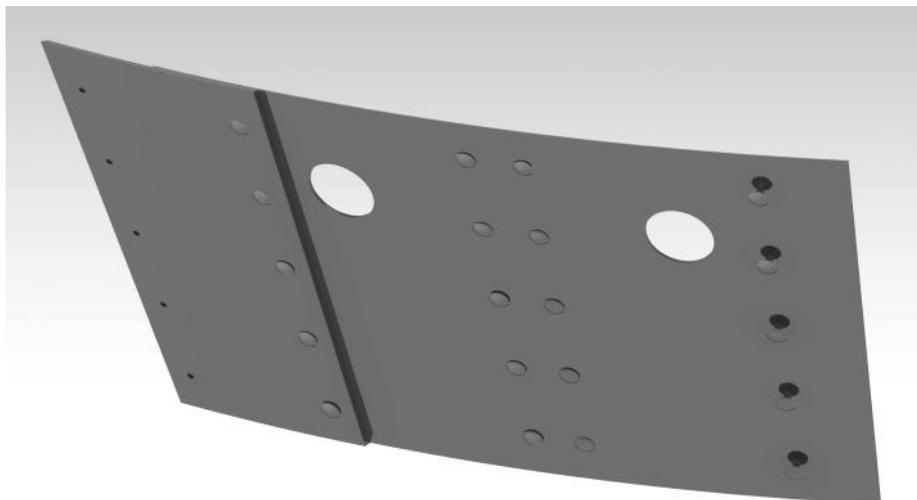


Figura 44: refuerzo y unión entre refuerzos de los tablones de la cubierta inferior

Estas piezas metálicas forman en su conjunto un anillo que envuelve a todos los tablonces de la cubierta inferior (figura 45) e impiden que colapsen cuando se le aplique carga en la parte superior de los éstos.



Figura 45: tablonces de la cubierta inferior con refuerzos y uniones entre refuerzos

Para la cubierta superior hemos utilizado el tablón de la figura 46.



Figura 46: tablón de la cubierta superior

Este tablón descansa sobre la parte superior del tablón de la cubierta inferior y sobre el anillo de la estructura (figura 47).

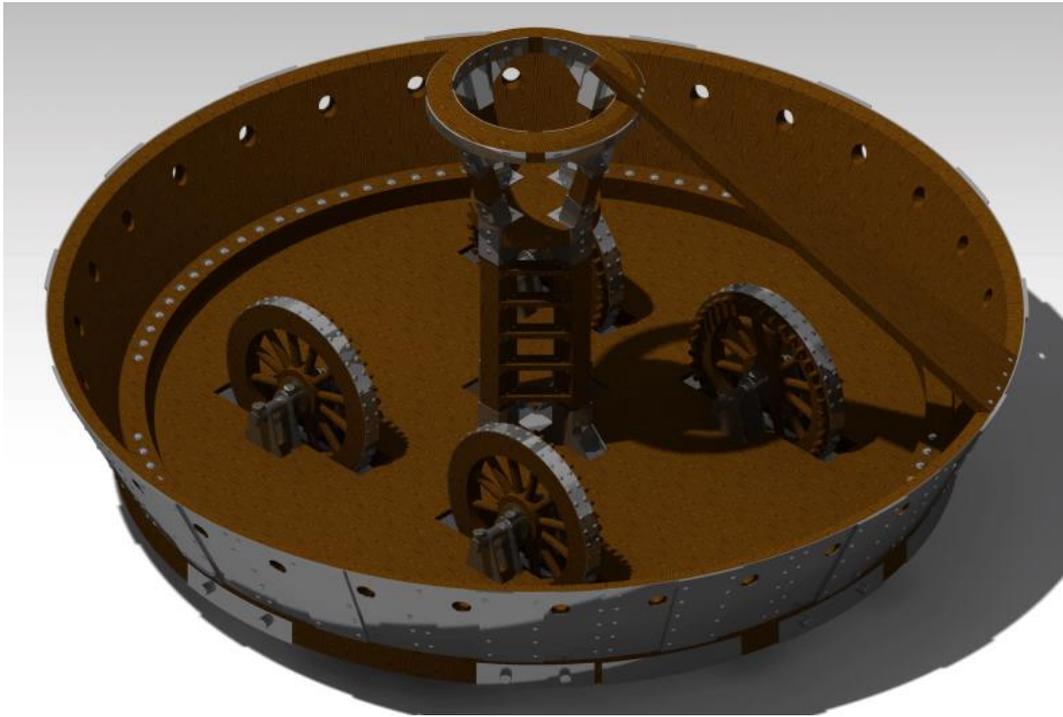


Figura 47: detalle del apoyo del tablón de la cubierta superior

En la cubierta superior se ha integrado una puerta para el acceso al carro de combate (figura 48). Esta puerta se abre hacia el interior del carro de combate.

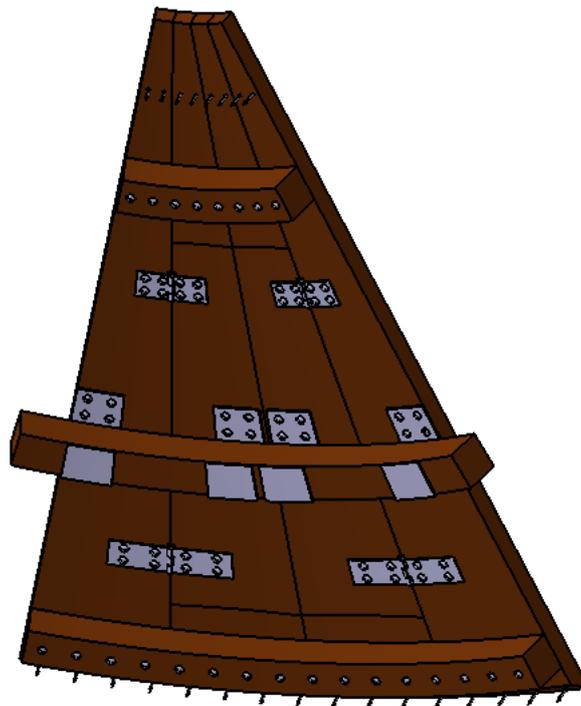


Figura 48: puerta (vista sin aplicar materiales)

Sobre la parte superior de la cubierta superior descansa la cúpula (figura 49), una pieza de acero forjado, mediante la cual entra la luz y el aire al interior del carro de combate.

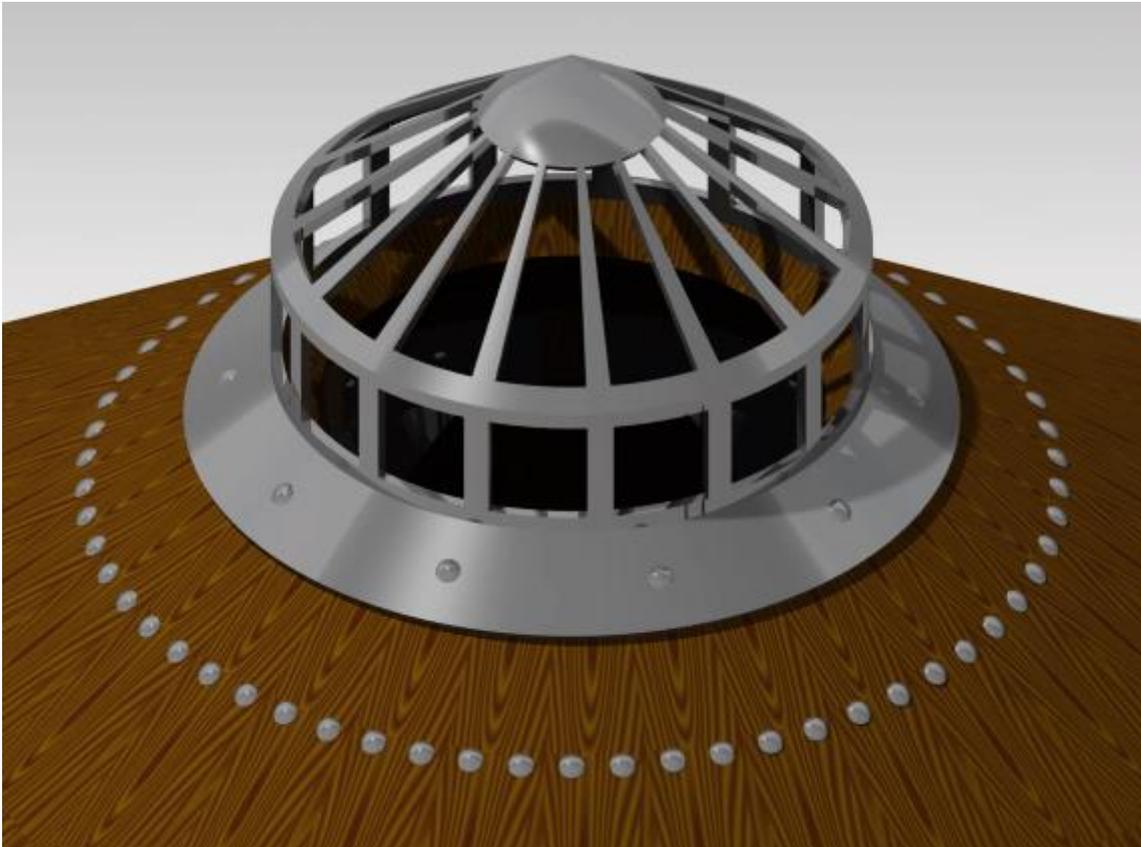


Figura 49: cúpula

4.3.6. SOPORTE DE LOS CAÑONES

Los cañones van apoyados en el soporte de los cañones (figura 50). Este conjunto consta de un tablero que descansa sobre patas con refuerzos y cuñas fijadas mediante clavos a la cubierta inferior.



Figura 50: soporte de los cañones

4.3.7. CAÑÓN

El cuerpo del cañón, de bronce, va fijado al tablero del soporte de los cañones mediante abrazaderas (figura 51).

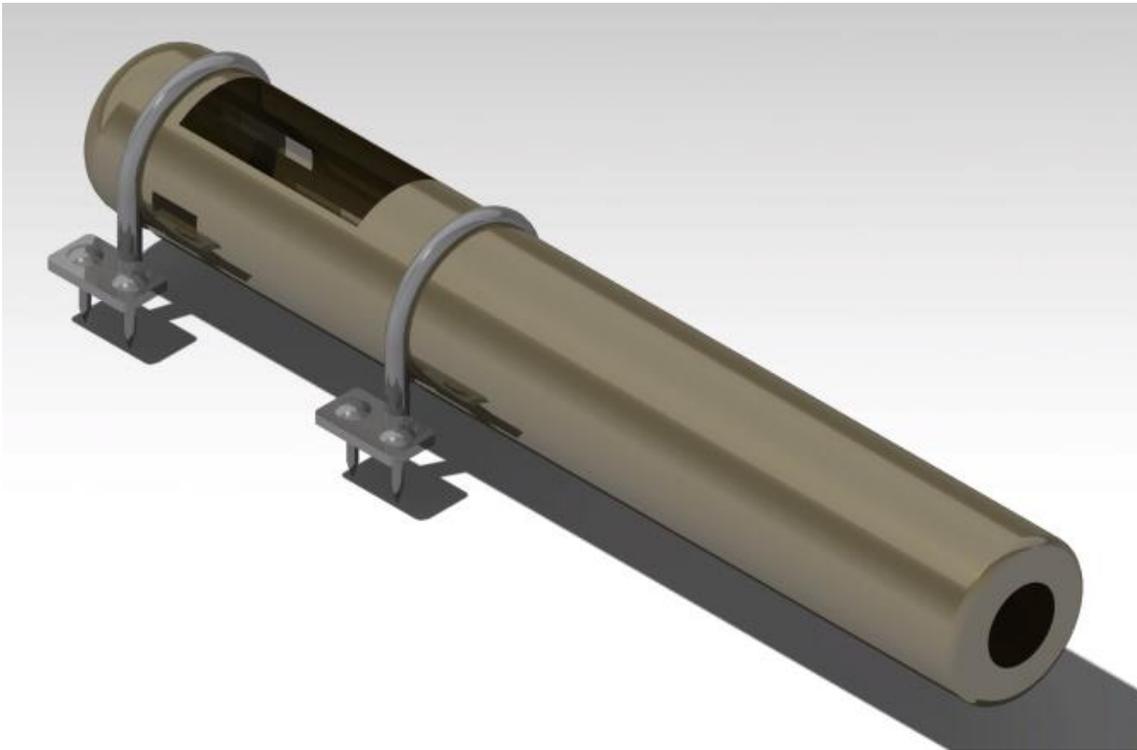


Figura 51: cuerpo del cañón y las abrazaderas que lo fijan al tablero

Es un cañón de retrocarga, es decir, el proyectil se coloca en la parte trasera del cañón. Esto se debe a que se necesita que los cañones se puedan cargar desde dentro del carro de combate. El cañón se carga colocando el proyectil envuelto en un trozo de cuero. Luego se llena de pólvora la cámara de pólvora (figura 52) y se coloca la mecha en el orificio que hay en ésta. Colocamos la cámara de pólvora en su posición y luego la cuña, para evitar el retroceso de la cámara de pólvora cuando se produzca la combustión, y, por último, encendemos la mecha. En la figura 53 se muestra el cañón cargado.



Figura 52: cámara de pólvora

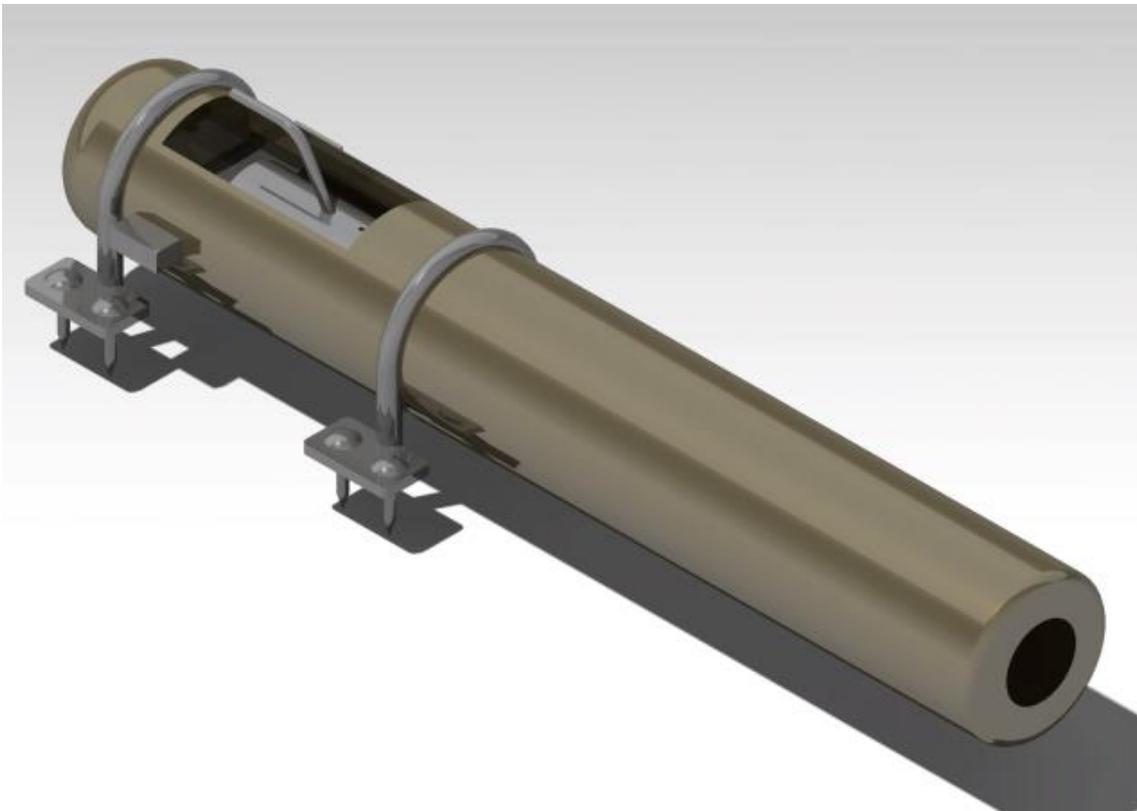


Figura 53: cañón cargado

4.3.8. ENGRANAJES

Los engranajes están fabricados de madera. Van unidos a piezas de acero forjado con orificios para darles consistencia mediante clavos (figura 54). Tenemos dos engranajes solidarios por cada manivela, es decir, uno para cada rueda.

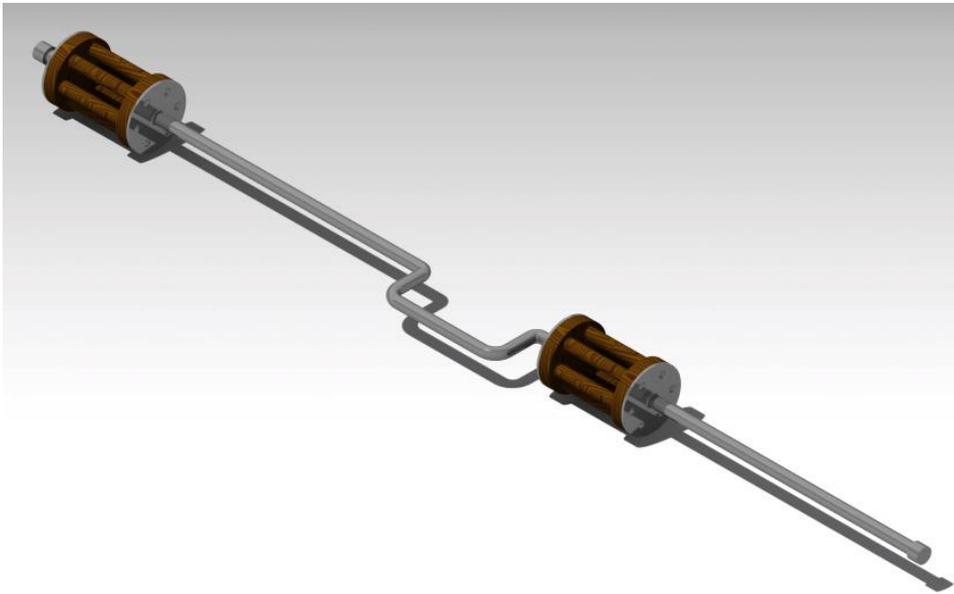


Figura 54: engranajes solidarios

Los engranajes van colocados sobre soportes, los cuales van fijados al suelo del carro de combate mediante clavos (figura 55).

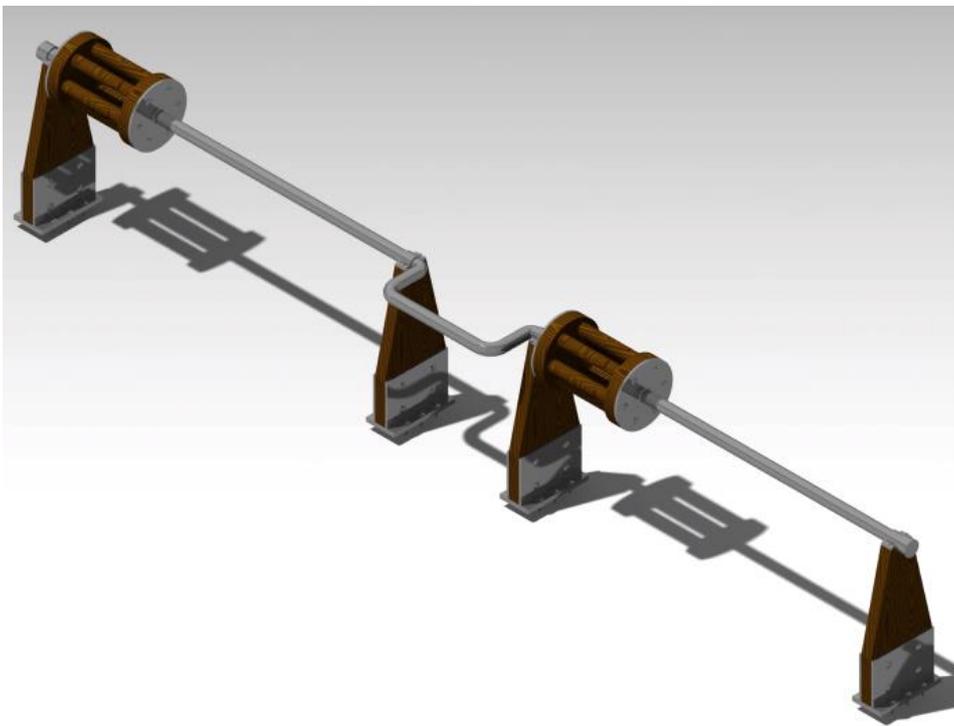


Figura 55: engranajes solidarios y sus soportes

Las espigas de la rueda y las espigas de los engranajes deben cumplir la siguiente igualdad:

$$\frac{2\pi R_{RUEDA}}{N_{RUEDA}} = \frac{2\pi R_{ENGRANAJE}}{N_{ENGRANAJE}}$$

Siendo R el radio de la circunferencia donde van alojados las espigas y N el número de espigas.

En la figura 56 podemos observar cómo el movimiento de las manivelas hace girar las ruedas. Según la combinación del sentido de rotación de las manivelas podemos hacer mover el carro de combate hacia delante o hacia atrás, o hacerlo girar a la izquierda o a la derecha.

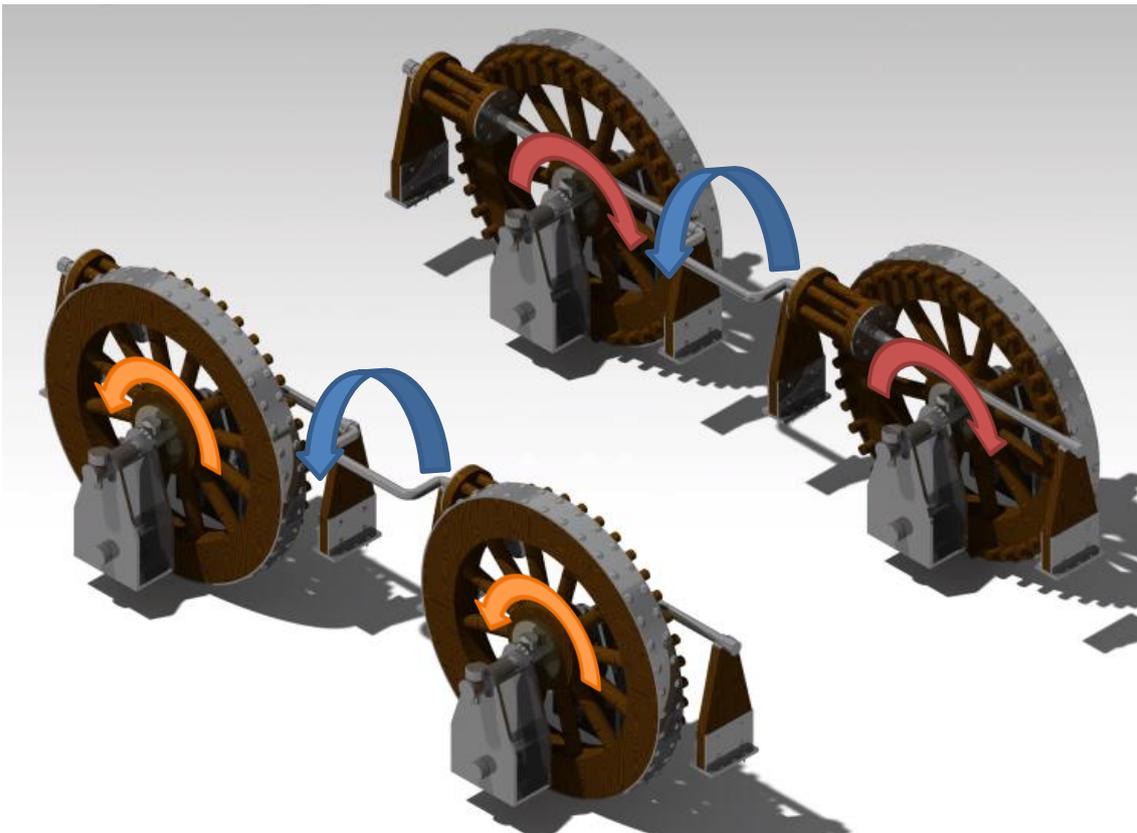


Figura 56: movimientos de los engranajes y las ruedas

En la figura 57 se puede apreciar cómo queda en contexto los engranajes respecto al resto de piezas del carro de combate.

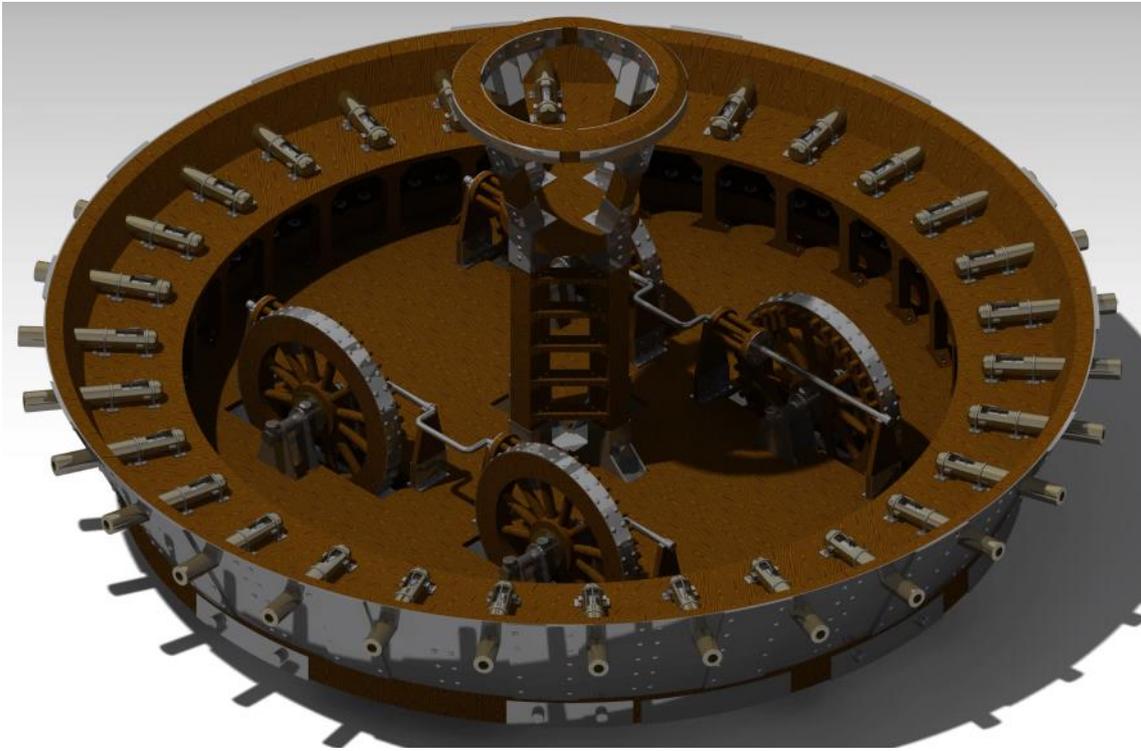


Figura 57: interior completo del carro de combate

4.3.9. ESCALERA

Se ha utilizado una escalera ordinaria (figura 58) para poder acceder al carro de combate desde fuera, ya que la puerta está ubicada a cierta altura (figura 59).



Figura 58: escalera



Figura 59: vista del carro de combate donde se puede apreciar la posición de la escalera respecto a la puerta

4.4. DIMENSIONES

En la figura 60 se muestra las dimensiones y medidas más representativas y significativas del conjunto de piezas. El carro de combate tiene, en su parte más ancha, un diámetro de 7,5 m. La altura desde el extremo de la cúpula hasta el suelo es de 4,5 m. Los cañones están ubicados a una altura de 1,2 m. Esta altura se ha considerado potencialmente mortal para los objetivos.

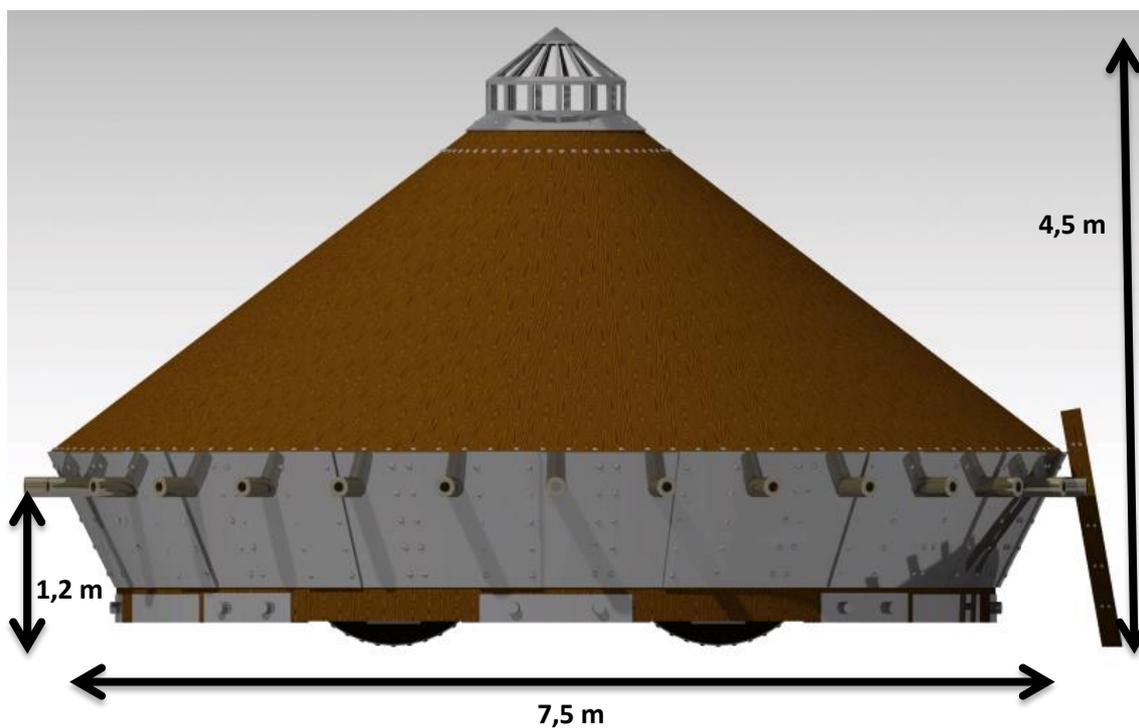


Figura 60: dimensiones del carro de combate

4.5. CONCLUSIÓN

La tripulación está compuesta por diecinueve hombres en total. Un hombre para ocupar el puesto de observación y llevar a cabo las acciones de mando, ocho hombres para mover el carro de combate (cuatro hombres por manivela, estando dispuestos dos frente a los otros dos) y diez artilleros. Considerando como peso medio 80 kg por persona tendremos como carga debido a la tripulación un total de 1520 kg.

Mediante CATIA se ha establecido el peso del carro de combate sin tripulación a bordo. Se ha concluido que éste pesa unos 22971 kg. Por lo tanto el carro de combate pesa en total, contando con la tripulación, aproximadamente 24,5 t. Éste resultado nos lleva a concluir que sería imposible mover el carro de combate por los hombres asignados, dando por inviable la recreación física y posterior puesta en funcionamiento del boceto propuesto por Leonardo da Vinci. Este resultado es coherente pues muchas de las máquinas diseñadas por Leonardo nunca fueron construidas, debido a que sus creaciones contaban con total libertad creativa pues no se limitaba a las restricciones de la técnica de su época. Además cabe señalar que fue durante su primera estancia en Florencia cuando diseñó el carro de combate y en este periodo no ostentaba el cargo de ingeniero militar.

5. BIBLIOGRAFÍA

Laurenza, D.; Taddei, M. y Zanon, E. *Atlas ilustrado de las máquinas de Leonardo*. Editorial Susaeta

Ribas Lagares, J. *Aprender CATIA V5 con ejercicios. Diseño en contexto*. Editorial Marcombo

Valencia Giraldo, A. *El ingeniero Leonardo da Vinci*. Medellín, Colombia, 2004.

<http://www.albaola.com>

<http://www.broncesval.com/productos/bronce/118-bronces-al-plomo>

<http://www.delmetal.com.ar/productos/bronce.html>

<https://didcticalpatrimonicultural.blogspot.com.es/2014/03/canones-de-hierro-objetos-para-la.html>

<https://www.guggenheim-bilbao.eus/>