

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano

Autora: Patricia González Puertas

Tutor: Emilio Ramírez Juidías

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, junio 2018



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Industrial

Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano

Autora:

Patricia González Puertas

Tutor:

Emilio Ramírez Juidías

Profesor doctor

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, junio 2018

Proyecto Fin de Carrera: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano

Autora: Patricia González Puertas

Tutor: Emilio Ramírez Juidías

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, junio 2018

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

En primer lugar, he de agradecer a mi tutor, Emilio Ramírez, el haberme dado la oportunidad de desarrollar y defender este proyecto, así como la dedicación y la atención que me ha brindado en el transcurso de su realización.

En segundo lugar, a mi madre y mi hermana. A mi madre por su paciencia y su lucha incansable, por apoyarme a lo largo de mi vida estudiantil y por enseñarme a tener constancia en lo que uno se propone. A mi hermana por introducirme en el mundo de la ingeniería. Sin ella posiblemente no estaría escribiendo estas líneas, quizá hubiera hecho Física o Psicología.

En tercer lugar, a mis amigos, con los que he compartido tanto tiempo y momentos. En especial mencionar a Carlos Martínez, “el tito ío”, por todo el apoyo que me ha brindado fuera y dentro de la carrera; a Carlos Guzmán porque, aunque vivamos en ciudades distintas, nuestra amistad ha perdurado durante todos estos años; a Emilio Izquierdo, por sus ideas extrañas, por las fiestas de baile y por ser como es; a Manuel Herrero, por su paciencia y las ganas que siempre le pone a todo para alegrarte el día; a Lola Calero, por esas ganas de superarse a sí misma todos y cada uno de los días y por sus audios de catorce minutos. Gracias a ellos y a todos los que no he mencionado aquí, que no por ello son menos importantes. Tienen un pedazo de mí y me ayudan a formar a la persona que soy hoy en día.

Durante mi trayectoria universitaria, por la presión y por el esfuerzo a veces no recompensado, en algún momento he pensado que quizá nunca acabaría la carrera, como lo piensan muchos compañeros alguna vez también, alumnos de nuestra escuela. Sin embargo, soy terca. Me gusta y disfruto la ingeniería, y quería terminar el mismo plan de estudios que empecé. Así que, aquí estoy. Este es el resultado de no haber cambiado de parecer en ningún momento, si lo hice se ve que me duró poco, y de haberme mantenido hasta el final. Aquí estoy porque a pesar de todas las dificultades no me cambié de plan de estudios.

En definitiva, infinitas gracias a todo aquel que se ha cruzado en mi vida, para bien y mal. Si fue para bien fue un regalo y si fue para mal una lección.

Patricia González Puertas

Sevilla, 2018

A lo largo de la historia del ser humano, las armas de fuego han sido parte inseparable de su evolución socio-cultural, dando lugar a una interconexión del conocimientos industrial entre diferentes culturas y civilizaciones. Esto, unido tanto a las necesidades particulares de cada zona geográfica, debido a la defensa de sus fronteras, como al conocimiento de la tecnología, tuvo como consecuencia la aparición, y desarrollo, de una gran variedad de armas de combate, cada una de las cuales estaba perfectamente diseñada para desempeñar la función para la que había fabricada. En el presente proyecto fin de carrera se ha analizado un antiguo lanzacohetes múltiple coreano (siglo XVI), llamado Hwacha, pieza de artillería básica que influyó notablemente en los desarrollos posteriores de armas similares en la industria armamentística, con el fin de averiguar la evolución existente en el desarrollo tecnológico de la época. Los resultados muestran que el Hwacha mantiene como base el diseño de los antiguos carros de combate, tirados por caballos, de los egipcios. La inclusión de diferentes tipos de materiales de alta resistencia, para la época, así como la evolución de instrumentos como el arco, tuvieron como resultado esta magnífica arma de artillería. El uso de software de diseño 3D ha sido muy importante para la elaboración de este trabajo, ya que ha permitido averiguar no solo el tipo de material propio del arma, sino también el sistema de uniones fijas, y desmontables, que creemos se inició en el siglo XVI, o incluso antes. A este respecto es conveniente especificar que dichas uniones, en su mayoría, eran de tipo apriete.

Índice

| | |
|--|-------------|
| Agradecimientos | ix |
| Resumen | xi |
| Índice | xiii |
| Índice de Figuras | xv |
| Notación | xix |
| 1 Introducción. Antecedentes Históricos | 13 |
| 2 Materiales y métodos | 27 |
| 2.1. <i>Software utilizado para la elaboración del modelo virtual 3D</i> | 27 |
| 2.1.1 Página de inicio | 28 |
| 2.1.2 Entorno de trabajo | 29 |
| 2.1.3 Operaciones principales | 30 |
| 3 Resultados y discusión | 45 |
| 3.1 <i>Modelado en 3D en Solidworks del lanzacohetes Hwacha</i> | 45 |
| 3.2 <i>Especificaciones del modelo</i> | 57 |
| 4 Conclusiones | 63 |
| Referencias | 67 |
| Planos | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1. Ejemplos de instrumentos líticos representativos del modo 1, Arsuaga et al. (2001). | 14 |
| Figura 1-2. Tipo de bifaz, fragmento lítico obteniendo mediante el modo 2, Sánchez-Cervera et al. (2015) | 14 |
| Figura 1-3. Dibujo esquemático de la Cacería de ciervos de la cueva de los Caballos (Tírig, Castellón), Obermaier et al. (1919). | 15 |
| Figura 1-4. Puntas de sílex del periodo neolítico. 4.000-6.000 años - Níger occidental, Anónimo (2017). | 16 |
| Figura 1-5. Inicio de la agricultura en diferentes regiones del planeta, e.p. a partir de Ramírez-Juidías et al. (2014) | 17 |
| Figura 1-6. Arco encontrado en Holmegård, Dinamarca. (Museo Nacional de Dinamarca) | 18 |
| Figura 1-7. Pintura rupestre de un combate de arqueros, Morella la Vella (Castellón). Hernández Pacheco, (1924) | 18 |
| Figura 1-8. Arcos compuestos encontrados en la tumba de Tutankamon. Anónimo (2017) | 19 |
| Figura 1-9. Mapa del imperio mongol en el momento de la muerte de Genghis Kan, e.p. | 19 |
| Figura 1-10. Ejército mongol en una batalla. (Biblioteca nacional de Francia) | 20 |
| Figura 1-11. Gakung sin tensar, Historiographer (2004) | 21 |
| Figura 1-12. Ejemplos de ballestas con mecanismos que permiten facilitar la carga de estas, Grayson et al. (2007) | 23 |
| Figura 1-13. Ejemplo de arco con una flecha de fuego, Yuanyi, Mao (1621) | 25 |
| Figura 1-14. Lanzatormentas, Yu, Jiao et al., (1368-1683) | 25 |
| Figura 1-15. Nido de abejas o “Yi wo feng as”, Yuanyi, Mao (1621) | 26 |
| Figura 2-1. Ventana de bienvenida de Solidworks 2017, e.p. | 28 |
| Figura 2-2. Opciones al abrir un nuevo documento en Solidworks 2017, e.p. | 29 |
| Figura 2-3. Pestaña de operaciones con las distintas herramientas de Solidworks 2017, e.p. | 29 |
| Figura 2-4. Árbol y zona de trabajo de Solidworks 2017, e.p. | 30 |
| Figura 2-5. Croquis inicial del mango del Hwacha, e.p. | 30 |
| Figura 2-6. Croquis 3D de la mecha del cohete, e.p. | 31 |
| Figura 2-7. Extrusión de la lama inferior de la caja del Hwacha, e.p. | 32 |
| Figura 2-8. Extrusión por revolución del tubo de bambú del Hwacha, e.p. | 32 |
| Figura 2-9. Croquis del perfil para la extrusión por barrido, e.p. | 33 |
| Figura 2-10. Croquis de la ruta seguida para la extrusión por barrido, e.p. | 33 |
| Figura 2-11. Resultado de la extrusión por barrido por perfil y ruta, e.p. | 34 |
| Figura 2-12. Resultado por ruta de la extrusión por barrido, e.p. | 35 |
| Figura 2-13. Chaflán en pieza perteneciente a la rueda, e.p. | 36 |
| Figura 2-14. Vista detalle del corte lateral del radio de la rueda, e.p. | 37 |
| Figura 2-15. Vista detalle de ejemplo de vaciado en el mango del Hwacha, e.p. | 38 |
| Figura 2-16. Vista detalle de un plano auxiliar creado en el mango, e.p. | 39 |

| | |
|---|----|
| Figura 2-17. Vista detalle de un punto auxiliar en el mango, e.p. | 40 |
| Figura 2-18. Vista detalle de un eje auxiliar en la rueda, e.p. | 41 |
| Figura 2-19. Matriz lineal del bambú en la caja, e.p. | 42 |
| Figura 2-20. Matriz circular de la parte exterior de la rueda, e.p. | 42 |
| Figura 2-21. Simetría en 3D a partir de plano en el tubo de bambú, e.p. | 43 |
| Figura 3-1. Pieza del aro, e.p. | 46 |
| Figura 3-2. Pieza del radio, e.p. | 46 |
| Figura 3-3. Pieza de la calabaza con un corte visual en su alzado, e.p. | 46 |
| Figura 3-4. Ensamble calabaza - radio, e.p. | 46 |
| Figura 3-5. Ensamble radios - parte del aro, e.p. | 46 |
| Figura 3-6. Rueda del Hwacha, e.p. | 47 |
| Figura 3-7. Mástil, pieza central de la parte baja del carro, e.p. | 48 |
| Figura 3-8. Madero exterior de la parte baja del carro, e.p. | 48 |
| Figura 3-9. Lama del bajo del carro, e.p. | 48 |
| Figura 3-10. Madero superior, enlaza mástil con maderos exteriores, e.p. | 48 |
| Figura 3-11. Eje con pernos en laterales, e.p. | 49 |
| Figura 3-12. Detalle del montaje sin acabar de la parte baja del carro del Hwacha, e.p. | 49 |
| Figura 3-13. Parte baja del carro del Hwacha, e.p. | 50 |
| Figura 3-14. Unión de la parte inferior del carro con los mangos, e.p. | 51 |
| Figura 3-15. Detalle de una unión típica asiática del siglo XVI, e.p. | 51 |
| Figura 3-16. Tablón superior que une la caja con los mangos, e.p. | 52 |
| Figura 3-17. Lama que une los dos mangos, e.p. | 52 |
| Figura 3-18. Continuación del montaje del Hwacha, e.p. | 53 |
| Figura 3-19. Caja del lanzacohetes, e.p. | 53 |
| Figura 3-20. Continuación del montaje, añadida la caja, e.p. | 54 |
| Figura 3-21. Detalle de los pernos de la parte posterior del Hwacha, e.p. | 54 |
| Figura 3-22. Vista del frente del Hwacha, e.p. | 55 |
| Figura 3-23. Vista del posterior del Hwacha, e.p. | 55 |
| Figura 3-24. Vista lateral del lanzacohetes Hwacha, e.p. | 55 |
| Figura 3-25. Vista 1 del Hwacha parcialmente cargado, e.p. | 56 |
| Figura 3-26. Vista 2 del Hwacha parcialmente cargado, e.p. | 56 |
| Figura 3-27. Réplica del Hwacha, Hendry, Kay (2006) | 57 |
| Figura 3-28. El faraón Tutankamón montado en un carro de guerra. Museo Egipcio del Cairo. Dhwtly (2015) | 58 |
| Figura 3-29. Réplicas de los cohetes usados por el Hwacha, Hendry, Kai (2006) | 59 |
| Figura 3-30. Detalle del cohete en el modelo 3D, e.p. | 59 |
| Figura 3-31. Estructura de la parte interior del cartucho de bambú del cohete, e.p. | 60 |
| Figura 3-32. Página del libro Yingzao Fashi dedicada al ensamblaje, Li Jie (1103). | 60 |
| Figura 3-33. Trayectoria de un movimiento parabólico, e.p. | 61 |

| | |
|------|--------------------|
| e.p. | Elaboración propia |
| 3D | Tres dimensiones |
| a.C. | Antes de Cristo |
| m | Metros |

1 INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

No sé cómo será la tercera guerra mundial, solo sé que la cuarta será con piedras y lanzas.

- Albert Einstein (1879-1955)-

Durante la prehistoria, nuestros ancestros, animales previamente frugívoros, tuvieron que adaptarse a estrategias de caza para alimentarse y sobrevivir. Sin embargo, no estaban preparados para la caza como otros animales, ya que carecían de garras, colmillos, fuerza física o la velocidad necesaria para abatir otros animales. Por ello, tuvieron que servirse de su ingenio para, empleando los elementos disponibles en su entorno, fabricar armas que les permitieran tanto cazar como defenderse de amenazas.

Afortunadamente, habían desarrollado dos características únicas que le distinguían del resto de los animales. La primera de ellas era un cerebro más evolucionado, y la segunda, su habilidad con las manos. Ambas características permitirían desarrollar utensilios que facilitarían la alimentación y la caza (Arsuaga et al., 2001: 69-70).

Inicialmente estos utensilios eran sencillos, hechos a partir de huesos, dientes, o ramas, relativamente fáciles de tallar, aunque con una utilidad limitada, debido a su vida útil y escasa funcionalidad (Ramírez-Juidías et al., 2014). Fue con los años, y el desarrollo de la inteligencia, cuando los homínidos desarrollaron los primeros instrumentos de piedra denominados Olduvayenses, que eran elaborados por un método de fabricación denominado modo 1 (Figura 1-1), que permitía la elaboración de herramientas sencillas para cortar o triturar (Arsuaga et al., 2001: 104).

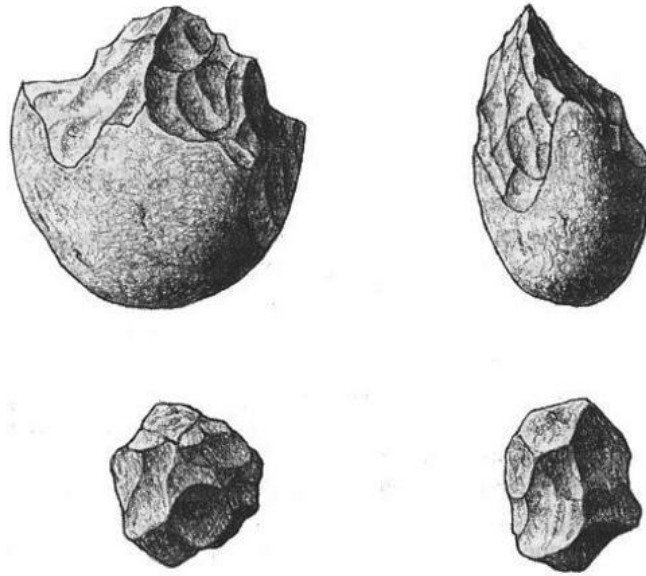


Figura 1-1. Ejemplos de instrumentos líticos representativos del modo 1, Arsuaga et al. (2001).

Posteriormente, se desarrolla la industria de tipo Achelense, también llamada modo 2, que permitía la fabricación de herramientas más complejas y avanzadas, como los bifaces (Figura 1-2). Las herramientas elaboradas por esta industria tenían generalmente filos mucho más largos, que permitían la fabricación de hachas de mano, que eran herramientas con diversas utilidades, desde extraer la carne de los animales hasta trabajar la madera (Arsuaga et al., 2001: 113-114).

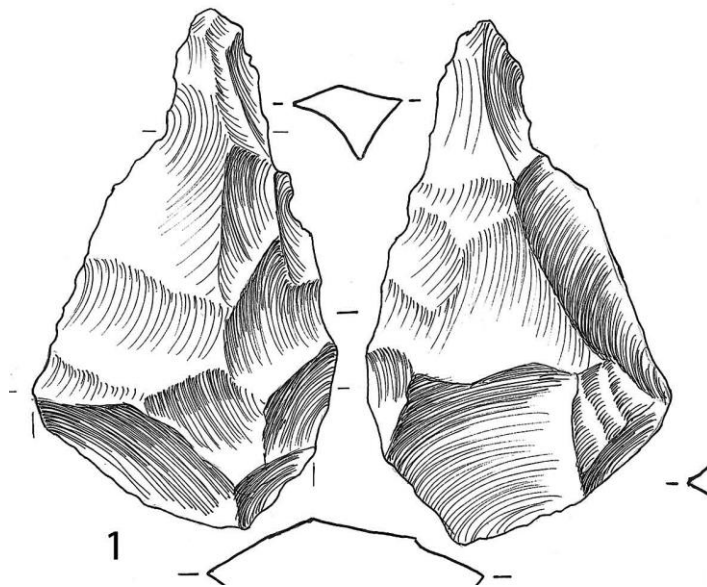


Figura 1-2. Tipo de bifaz, fragmento lítico obteniendo mediante el modo 2, Sánchez-Cervera et al. (2015)

A pesar de que estos avances aumentaron la eficiencia de los utensilios empleados en la caza, estas armas requerían mucha más fuerza que destreza en un combate cuerpo a cuerpo con el animal. Es innegable que existen

en la naturaleza animales más fuertes que el ser humano. Por este motivo, las herramientas que se usaban necesitaban una evolución que permitiera, sobre todo para el caso de caza mayor, no comprometer la integridad física del cazador.

Por ello, el ser humano buscó la forma de propulsar estos fragmentos de roca, llamados puntas líticas, desarrollando para ello armas arrojadas, como lanzas, jabalinas, o flechas.

Sin embargo, tanto lanzas como jabalinas presentan una serie de problemas, ya que la distancia de propulsión es menor que la de una flecha, ofrecen una precisión más baja y requieren mayor habilidad para su lanzamiento.

Frente a estas limitaciones surgiría el arco, que es un arma capaz de almacenar la fuerza de tensión y liberarla en un proyectil de pequeño tamaño, denominado flecha, obteniendo con ello una gran velocidad en el disparo, mayor precisión y, desde luego, un poder de penetración mucho más elevado. Además, cargar con una gran cantidad de flechas supone un problema menor que cargar con varias lanzas o jabalinas (Grayson et al., 2007).

Debido al carácter biodegradable de los materiales, como la madera, el hueso o los tendones que confeccionan un arco, los restos arqueológicos de los mismos son escasos y en la mayor parte de los casos incompletos. Sin embargo, sí que se han conservado pinturas rupestres en las que aparecen representaciones de estos (Figura 1-3).

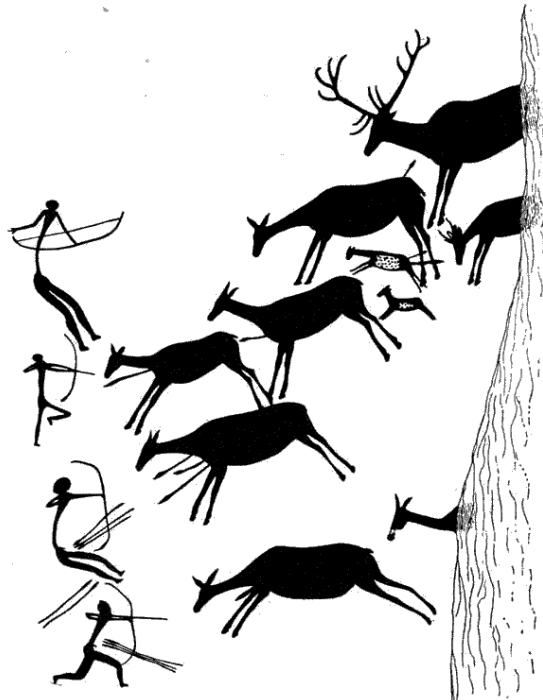


Figura 1-3. Dibujo esquemático de la Cacería de ciervos de la cueva de los Caballos (Tírig, Castellón), Obermaier et al. (1919).

En cambio, las puntas de las flechas, al estar fabricadas de materiales mucho más resistentes al paso del tiempo,

como diferentes tipos de piedra e incluso metales cuando la técnica lo permitió, han sido encontradas con mayor facilidad en las excavaciones arqueológicas (Figura 1-4).



Figura 1-4. Puntas de sílex del periodo neolítico. 4.000-6.000 años - Níger occidental, Anónimo (2017).

En otro orden de temas, y de acuerdo con Ramírez-Juidías et al. (2014), se puede observar que la experiencia en la fabricación de armas está relacionada con la elaboración de herramientas utilizadas para la recolección. Fue así como gracias al dominio de la fabricación metalúrgica la agricultura empezó a desarrollarse en distintas zonas geográficas relativamente grandes totalmente independientes entre sí y en distintos años (Figura 1-5). Con ello, provocó el asentamiento de las sociedades nómadas en poblados ricos en recursos naturales que a su vez dieron pie a la rápida evolución social e ingenieril.

Por otro lado, mientras que el diseño de algunas herramientas más sencillas, como la hoz, pudieron haber aparecido varias veces en distintos asentamientos ubicados en diferentes zonas geográficas, utensilios más complejos como los aperos de labranza son claro indicativo de la interacción entre diferentes poblaciones. Por tanto, se deduce que a parte de comerciar con bienes y servicios, las poblaciones intercambiarían conceptos tecnológicos, favoreciendo la evolución e innovación y la introducción de nuevas herramientas en las distintas sociedades que surgieron (Ramírez-Juidías et al., 2014).

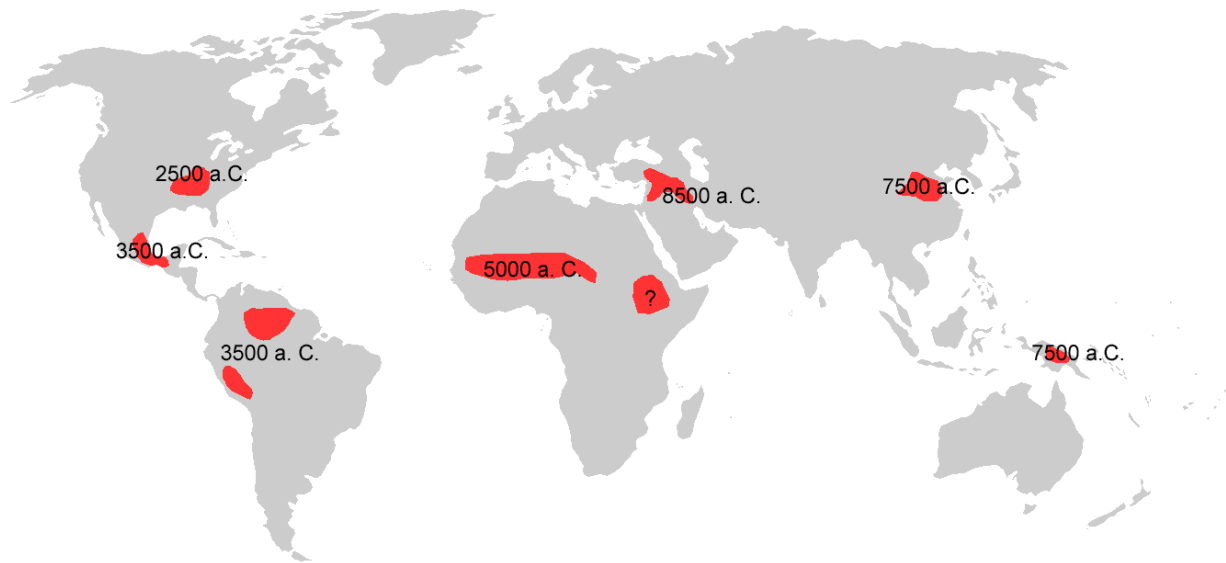


Figura 1-5. Inicio de la agricultura en diferentes regiones del planeta, e.p. a partir de Ramírez-Juidías et al. (2014)

Como ya se comentaba líneas arriba, pero enfocado en el área militar, la evolución del arco pasa por propulsores de lanzas y, eventualmente, lanzadores de flechas que se asemejan más a la forma de un tirachinas que de un arco. Así mismo, el lenguaje asociado a los arcos identifica diversos orígenes de este, es decir, la evolución del diseño del arco ha sido una analogía que ha ocurrido en varios lugares simultáneamente (Hamilton Cushing, 1895).

Las flechas del arco requerían un complejo proceso de elaboración, ya que debían de estar lo más rectas posibles para facilitar un vuelo horizontal. Aunque ha habido varios modelos de arco, desde algunos muy sencillos, a los complejos arcos compuestos, y con una enorme fuerza de tensión, el diseño básico del arco siempre ha sido el mismo, basado en almacenar una gran fuerza de tensión y liberarla de golpe. La cuerda, a su vez, podría ser de fibras vegetales o tendón, dado que estos restos no suelen aparecer conservados, y no existe una gran bibliografía al respecto.

Sin embargo, la importancia de la cuerda es menor comparada con la del arco en sí, ya que es el cuerpo de este el que almacena la tensión. Algunos de los restos fósiles más antiguos, del 7.000 a.C., son de un arco de olmo, árbol que posee una madera que tiene las características adecuadas para fabricar arcos (Museo Nacional de Dinamarca) como se puede observar en la Figura 1-6.



Figura 1-6. Arco encontrado en Holmegård, Dinamarca. (Museo Nacional de Dinamarca)

Debido a la enorme eficiencia del arco como herramienta de caza, este comenzó a usarse en luchas entre humanos. Ya desde la prehistoria, existen pinturas rupestres que parecen indicar conflictos en los que el arco era usado (Figura 1-7).



Figura 1-7. Pintura rupestre de un combate de arqueros, Morella la Vella (Castellón). Hernández Pacheco, (1924)

Así mismo, en Egipto aparece otro gran avance de la arquería, el arco compuesto (Figura 1-8), del que aparecen ejemplares excepcionalmente conservados en las tumbas de algunos faraones. Estos arcos estaban hechos de varias piezas de madera unidas con resinas y tendones y es posible que se conserven ensamblados por más tiempo sin que estos se deformen. Además, en Egipto también apareció un predecesor de la muy popular arquería a caballo, en forma de arqueros en carro. Los arqueros responsables de esta práctica blandían arcos modificados con características que facilitaban su manejo durante la marcha.



Figura 1-8. Arcos compuestos encontrados en la tumba de Tutankamon. Anónimo (2017)

Otra sociedad que destacar es la del imperio mongol liderado por Genghis Kan, ya que fue el imperio más extenso continuo de la historia de la humanidad. Durante los siglos XII y XIII gracias a su ejército llegó a abarcar desde la península de Corea hasta el río Danubio. A la muerte de Genghis Kan, el mapa conquistado era el que se representa en la Figura 1-9. Cabe destacar que la sociedad imperial mongola se basaba en una fuerte disciplina, tanto civiles como militares, habiendo pocas diferencias entre ambas.



Figura 1-9. Mapa del imperio mongol en el momento de la muerte de Genghis Kan, e.p.

El ejército mongol se basaba en dos pilares fundamentales. El primero de ellos eran los caballos. Los mongoles cuidaban una gran cantidad de caballos, con un promedio de 16 por individuo, lo que les permitía viajar sin agotarlos, y además, en tiempos en los que la comida no era abundante, alimentarse de una mezcla de leche de yegua y sangre de caballo. Si los mongoles añadían dos caballos más, se podían permitir alimentarse de la carne del animal. Para que la carne estuviera más tierna la envolvían en un hueco que había entre la silla del jinete y el lomo del caballo.

Por último, los caballos los usaban como montura durante las campañas militares. Haciendo una comparativa, los caballos mongoles, aunque no eran especialmente rápidos, sí que eran muy resistentes. Sin embargo, si se compara la velocidad del jinete mongol con la de samuráis o caballeros europeos que llevaban armaduras pesadas, la caballería mongola sí que era más rápida, debido a que los jinetes mongoles llevaban armadura ligera. El ejército del general Kan era mayoritariamente un ejército de caballería ligera, aunque también tenían unidades de caballería pesada, es el arco mongol, un arco que busca la comodidad en el uso sobre el caballo, el que proporcionaba una enorme ventaja táctica a los mongoles (Figura 1-10). Estos se entrenaban desde jóvenes en la equitación y en la arquería, llegando a ser muy hábiles disparando flechas desde el caballo. Es por ello por lo que sorprendían a sus enemigos, más lentos y con armaduras pesadas. Además, las puntas de flechas eran ocasionalmente envenenadas, de forma que, incluso pequeñas heridas causarían la muerte de los heridos.



Figura 1-10. Ejército mongol en una batalla. (Biblioteca nacional de Francia)

Este ejército se enfrentaría, a lo largo de los siglos, a ejércitos chinos, japoneses y de diversas potencias europeas, con lo que adaptaría algunas de las estrategias de los enemigos, consiguiendo con ello una gran superioridad estratégica que le permitía alcanzar la victoria en una gran cantidad de batallas.

A medida que combatieron, adquirieron tecnología de los enemigos derrotados, o de naciones con las que comerciaban, los mongoles formarían un gran ejército, con múltiples herramientas, que les permitirían alzarse victoriosos contra, entre otros enemigos, chinos, japoneses y coreanos. Algunas de las armas que adquiridas

fueron ballestas de asedio flechas de fuego, de las que se habla más adelante en este mismo documento.

El hecho de que el imperio mongol, con un ejército nómada, que requería de la captura de prisioneros para incorporar nueva tecnología a su ejército, pone de manifiesto la enorme eficacia del arco y la flecha como herramientas de guerra (Turnbull, 2003).

En otro orden de cosas, pero siguiendo en el mundo del arco, es muy característico el usado por los coreanos, el Gakgung, (Figura 1-11). Tenía como característica que, debido a los materiales de los que estaba elaborado, podía contener una fuerza tensión en un tamaño de arco muy corto. Esto lo hacía ideal en enfrentamientos con otros arqueros en zonas boscosas, pantanosas o, en general, zonas que limitaran la movilidad de los soldados, ya que no tenían que desplazarse con un arco de gran tamaño, ni tener que evitar ramas para poder dispararlo. Esto le proporcionaba al arquero un menor ruido en su desplazamiento y, debido a sus características, una longitud de disparo que podía llegar a los 400 m (López, M., 2017).



Figura 1-11. Gakgung sin tensar, Historiographer (2004)

Sin embargo, como todas las armas, el arco tenía sus limitaciones, había pocas personas que poseyeran tanto la habilidad como la fuerza necesaria para manejar con precisión y velocidad un arco que fuera corto a la vez que potente. Además, algunas armaduras pesadas y escudos podían evitar la penetración de la mayoría de las flechas (López, M., 2017).

Aunque coexistieron, los arcos dieron paso a las ballestas. De acuerdo con Payne-Gallwet (1995), en relación con la ballesta de aquí en adelante, surgieron en el sureste asiático entre el 221 y el 206 a.C. (Grayson et al. 2007). Intentan solucionar la mayoría de los problemas del arco teniendo como características:

- Permiten ser cargadas usando los pies como apoyo, por lo que alcanzan una tensión mayor y, por tanto, una mayor velocidad de vuelo. Cuando el enemigo estaba a menos de 20 m la ballesta no requería corrección del ángulo
- No se ha de mantener la tensión mientras se apunta. Es el propio mecanismo de la ballesta el que contiene la tensión.
- Su estructura permite apuntar con mayor facilidad.
- Tienen una mayor potencia y un alto poder de penetración, los proyectiles de la ballesta, denominados virotes o saetas, podían atravesar fácilmente armaduras.

Sin embargo, las ballestas, debido a su mayor potencia, causaban unas heridas tan extremas que fueron prohibidas en el segundo concilio de Letrán en 1139, aunque excepcionalmente se permitía el uso de esta contra los considerados infieles. Esta prohibición fue corroborada por el Papa Inocencio III. También fue prohibida por Conrad III de Alemania.

Es importante mencionar, que, aunque inicialmente las ballestas estaban fabricadas de madera, con el tiempo, se comenzaron a construir con un arco metálico. Esto requirió una serie de adaptaciones, la primera de ellas fortalecer el hilo de la ballesta e impermeabilizarlos, para permitir que soporte una mayor tensión sin deformación a causa del carácter higroscópico de las fibras.

Las primeras ballestas ya poseían suficiente fuerza de tensión como para aturdir a un hombre disparado, incluso si este no era penetrado por la ballesta. Eran por ello famosas las quejas de los caballeros cuando los soldados enemigos poseían ballestas de arco metálico.

No obstante, la ballesta no era un arma sin problemas:

- Eran más pesadas, además de más difíciles de llevar que un arco.
- El tiempo de carga era muchísimo más lento que el de un arco largo, resultando en una velocidad de descarga de flechas mucho menor.

Es muy importante la ya mencionada cadencia de disparo, ya que, en una longitud de unos 140 metros, los arqueros tendrían una enorme ventaja sobre los ballesteros, ya que, a igualdad numérica en el campo de batalla, se producirían 5 veces más bajas en el ejército de ballesteros.

Para solventar el problema de la cadencia de tiro de la ballesta, se ingenieron numerosos mecanismos de carga de la ballesta para acelerar dicho proceso, entre ellos se puede destacar la carga mediante palancas o la carga empleando una hebilla en el cinturón para poder empujar con los pies (Figura 1-12).



Figura 1-12. Ejemplos de ballestas con mecanismos que permiten facilitar la carga de estas, Grayson et al. (2007)

No obstante, dado que las ballestas del siglo XVI poseían un rango mayor que los arcos, posibilitó que la situación cambiase, adquiriendo con ella cierta ventaja sobre los arcos. Sin embargo, ya que habría más factores para tener en cuenta, como características del campo de batalla o número de enemigos, el arco podría resultar más ventajoso en algunas situaciones. Debido a la mejora tanto de ballestas como de armas de fuego, fue en este siglo cuando el parlamento inglés retiró la prohibición tanto de la posesión de las ballestas como de las armas de fuego (Grayson et al., 2007).

Del mismo orden de temas, una ballesta con características únicas es la ballesta china de repetición. Permitía disparar flechas a una velocidad mucho mayor gracias a su mecanismo de repetición. Sin embargo, debido a estas características tenía un bajo poder de penetración que se traducía en poca letalidad de sus flechas. Para mejorarla, en combate se añadía veneno en sus puntas (Payne-Gallwet, 1995: 242)

Aunque la ballesta ofrecía más potencia y comodidad, el arco aún ofrecía ventajas, por ello, se buscó un sistema que tuviera las ventajas de ambas armas. Por esta razón, con la aparición de la pólvora se empezaron a emplear cohetes y lanzacohetes como el Hwacha para evitar disparar flechas gracias a una liberación de tensión, sustituyendo este sistema por el de los cohetes, cuyo mecanismo de disparo era más rápido.

Según Azuela y Gobantes, A. (1879-1881), la pólvora está compuesta por carbón, salitre y azufre, con diferentes fórmulas que presentan los elementos en proporciones variables en función de la época y el lugar de fabricación. La fórmula original indicaba añadir una parte de cada uno, aunque no tardó en reconocerse el salitre y el carbón como los componentes que, al aumentar su proporción, permitían la producción de un explosivo de mayor

potencia. Sin embargo, al aumentar la concentración de azufre, se mejoraba el tiempo de conservación de la pólvora. Por ello, las proporciones de los diferentes elementos variarían en función de la finalidad de la mezcla.

La explosión de la pólvora se produce gracias a una reacción de deflagración, que está a su vez causada por una inflamación (aumento de temperatura debido a los gases desde el inicio de la reacción) y combustión (reacción química ocurrida entre los diversos elementos) de la carga.

Para iniciar la reacción de la pólvora, existen diversos mecanismos, como son el aumento de temperatura o diversos choques entre materiales, por ejemplo, hierro con hierro, destacando la imposibilidad de iniciar la reacción con un choque entre maderas.

Además, como menciona Andrade, Tonio (2016) no se conoce con precisión el origen de la pólvora, aunque existe consenso entre una gran cantidad de historiadores en que el origen fue en China, ya que existen restos arqueológicos, así como documentación histórica que es hasta dos siglos anterior a otras fuentes.

El proceso del descubrimiento de la pólvora fue accidental, mientras se buscaban fórmulas para alargar la vida. La primera confirmación de su existencia corresponde al año 808, en el *Taishang Shengzu Jindan Mijue*, pero hay que esperar 50 años más para poder ver la primera fórmula para la elaboración de pólvora en un texto conocido como el *Zhenyuan miaodao yaoliu*.

Además, en el manual militar *Wujing Zongyao*, denominado Clásicos militares básicos, se describen numerosas armas chinas tradicionales, entre las que destacan flechas, bombas y primitivas armas de fuego basadas en la pólvora.

El principal desarrollo de la pólvora como componente militar ocurre en China, bajo el dominio de la dinastía Song, puesto que el uso de la pólvora antes del año 1127 se limitaba a armas sencillas, como las flechas de fuego, mientras que en 1279 se podía ver armamento más sofisticado basado en este explosivo, como son lanzas de fuego y cañones.

La dinastía Song se encontraba presionada por todos sus frentes por varios imperios invasores, entre otros el imperio mongol, y esto promovió el desarrollo de los avances militares ocurridos en estos siglos. Por tanto, en este contexto se establecería una carrera de armamentos entre varias potencias.

La pólvora, en su forma más básica, se podía usar para hacer explosivos de diversos tipos. Una de las formas más básicas de militarizarla fueron las flechas de fuego (Figura 1-13): Son flechas con una carga de pólvora y una mecha, la cual, al completar la combustión, causaría una explosión. Para su lanzamiento se emplearían arcos o ballestas que disparasen el proyectil (Lethbridge, 2000).

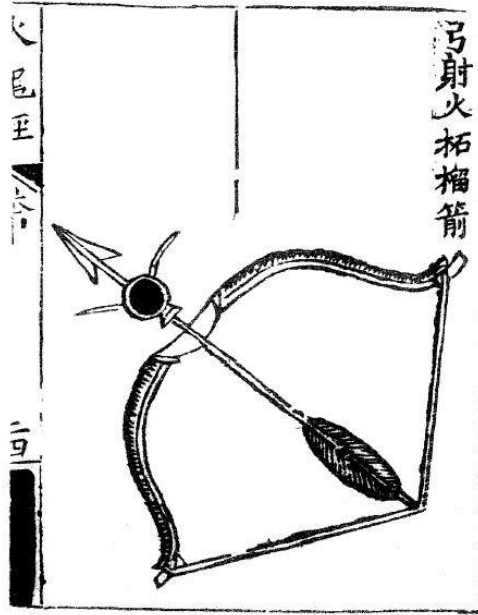


Figura 1-13. Ejemplo de arco con una flecha de fuego, Yuanyi, Mao (1621)

Además, se desarrollaron las flechas propulsadas o cohetes. Son flechas que poseían, además de la carga explosiva con intención nociva, una combinación de papel y pólvora que proporcionarían propulsión a la flecha. Este método de elaborar flechas de fuego aparece descrito en el ya mencionado *Wujing Zongyao*.

Estas flechas propulsadas permitían lanzar varias a la vez mediante lanzacohetes, como el Hwacha, pero anteriores a él como el Lanzatormentas (Figura 1-14) o el Nido de abeja (Figura 1-15), ambos de origen chino. Probablemente el Hwacha, arma de estudio en este proyecto, esté basado en los diseños de ambos.

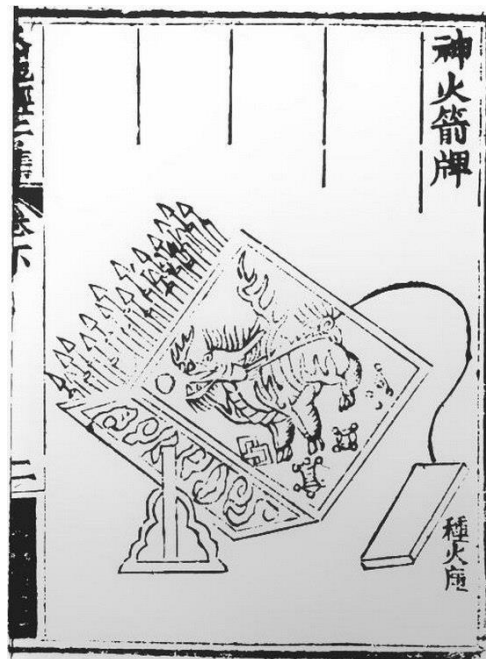


Figura 1-14. Lanzatormentas, Yu, Jiao et al., (1368-1683)

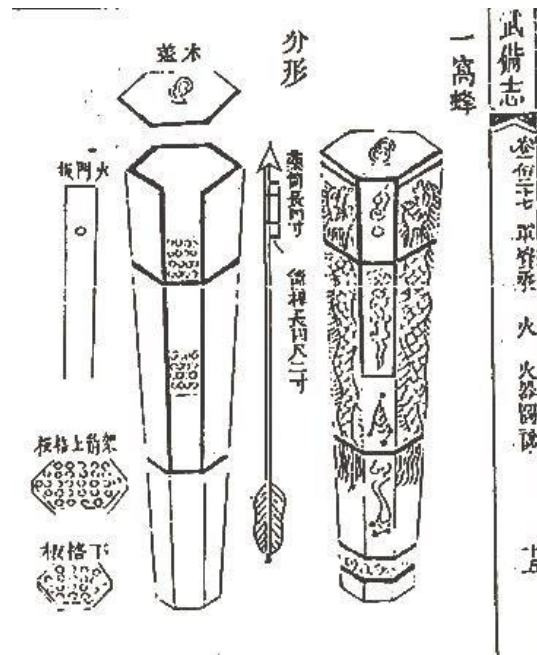


Figura 1-15. Nido de abejas o “Yi wo feng as”, Yuanyi, Mao (1621)

Por último, el Hwacha fue un lanzacohetes coreano que permitía disparar flechas a grandes distancias, de hasta 450 metros. Se usó en la época de invasiones japonesas de Corea (1592-1598) en la batalla de Haengju (1593). En ella, 30000 soldados japoneses fueron derrotados por 3000 efectivos coreanos y 40 Hwachas, acabando finalmente con 1000 bajas enemigas frente a 130 coreanas (Villamor, 2017). Se basa en un carro llevado por un caballo hacia el campo de batalla con una caja porta cohetes. Cuando se sitúa en el lugar que se estime, se suelta del animal y se le da una inclinación, ya sea mediante el uso de cuñas o aprovechando la inclinación natural del terreno. Esto permitiría modificar el ángulo de tiro y con ello el tiempo de vuelo de las flechas, para así determinar la distancia que alcanzan.

Este aparato es muy ventajoso para luchas contra grandes ejércitos, ya que poco personal es capaz de operarlo y disparar más flechas y más lejos que un ejército de gran tamaño. Aunque estas flechas no tendrían una gran precisión, permitiría impactar un gran número de soldados enemigos, reduciendo considerablemente su número e incluso sembrando el terror en ellos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La tecnología no es nada. Lo importante es que tengas fe en la gente, que sean básicamente buenas e inteligentes, y si les das herramientas, harán cosas maravillosas con ellas.

-Steve Jobs (1955-2011)-

2.1. Software utilizado para la elaboración del modelo virtual 3D

Solidworks es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) utilizado para el diseño de modelos de piezas y planos. Se modela directamente en 3D, lo que permite ver detalles por ejemplo en el ensamblaje que de manera física en la realidad no se verían a simple vista, pudiéndose esconder partes de la pieza para ver otras ocultas. El programa permite modelar piezas y conjuntos, multisólidos, y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción.

Además, dentro del diseño mecánico se pueden vincular las piezas con los ensamblajes y con los planos técnicos. Esta cualidad es tan importante porque si se hace una modificación en una pieza, el ensamblaje y los planos también se actualizan. Gracias a ello los costes de operación y tiempos de producción y de entrega se reducen considerablemente dado que las piezas encajan desde el primer momento, minimizando los desechos y repeticiones por errores en el diseño.

Aunque en este proyecto no se dará uso, otras de sus funciones son hacer un análisis de esfuerzos según cargas aplicadas, simulación de fluidos, diseño de cableado eléctrico, trabajo con distintos materiales como metales o plásticos e incluso, crear vídeos que expliquen el funcionamiento de la propia pieza.

La forma de trabajar en Solidworks es utilizando parámetros: cotas o relaciones geométricas. Las cotas son medidas lineales o angulares mientras que las relaciones geométricas se establecen en el croquis relacionando elementos de distintas maneras: paralelo, perpendicular, coincidente en un mismo punto, misma cota, etc.

En otro orden de cosas, Solidworks ayuda a vender el producto atrayendo a los clientes a través de experiencias de uso dinámicas de fácil comprensión, permitiendo visualizar detalles y dando una idea virtual en vez de dar una mera lista de características y por tanto, diferenciándose frente a otros competidores ante un mismo proyecto.

En posteriores apartados se describirán el entorno y las operaciones principales empleadas para la construcción del Hwacha.

2.1.1 Página de inicio

Al abrir el programa ofrece una ventana limpia lista para trabajar (Figura 2-1). Al seleccionar “Archivo – Nuevo...” da las distintas opciones para empezar: pieza, ensamble o plano (Figura 2-2).

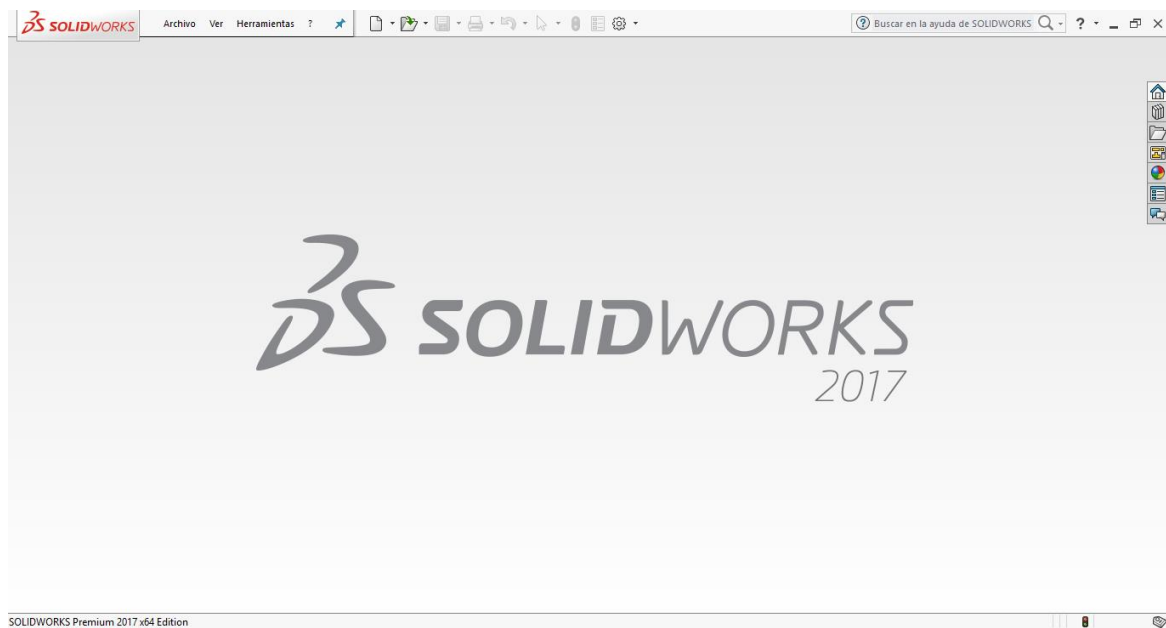


Figura 2-1. Ventana de bienvenida de Solidworks 2017, e.p.

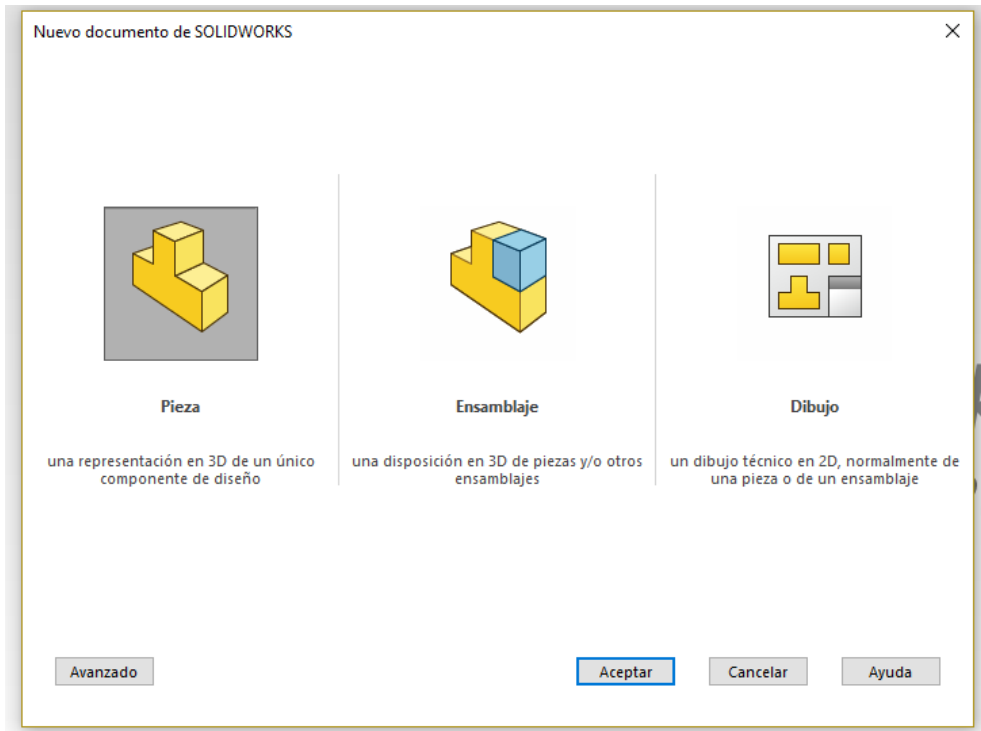


Figura 2-2. Opciones al abrir un nuevo documento en Solidworks 2017, e.p.

2.1.2 Entorno de trabajo

Para comenzar el modelado se elige la opción de nueva pieza. La extensión que genera es .SLDPRT. El programa enseña una nueva pantalla con las herramientas (Figura 2-3), el árbol de seguimiento en la parte izquierda y el área de trabajo en 3D de los ejes OX, OY y OZ en el resto, mostrando inicialmente el 2D OX y OY (Figura 2-4).

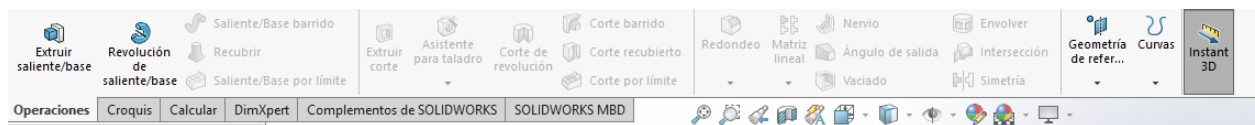


Figura 2-3. Pestaña de operaciones con las distintas herramientas de Solidworks 2017, e.p.

Tal y como se puede observar en la Figura 2-3 las herramientas se encuentran en la parte superior. Cuando son activadas el cuadro de operaciones ocupa el lugar del árbol y el árbol se mantiene plegado en la parte izquierda superior del área de trabajo.

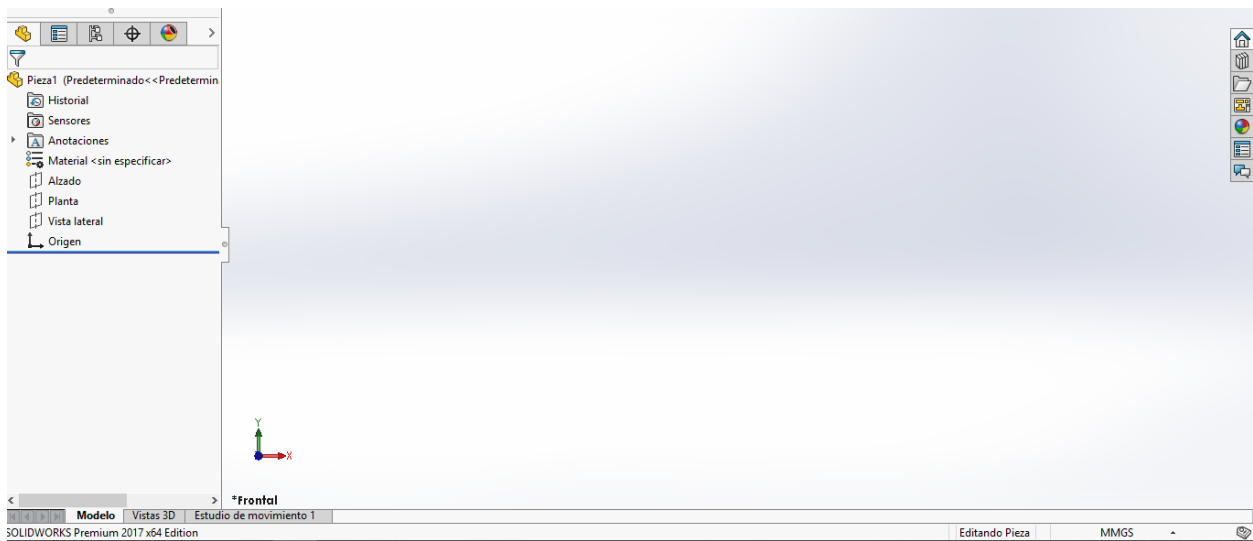


Figura 2-4. Árbol y zona de trabajo de Solidworks 2017, e.p.

Una vez llegado a este punto la forma de comenzar a trabajar es muy sencilla. Se selecciona uno de los planos que se estime más favorable. En él se realiza un croquis al que se le harán una serie de operaciones. En resumen, este proceso es el que se repite las veces que sean necesarias para la construcción parcial o total de la pieza.

2.1.3 Operaciones principales

2.1.3.1 Croquis

Crear un croquis es la operación inicial en la que se sustentan las demás. Son dibujos realizados en dos dimensiones parametrizados que representan uno o varios de los perfiles.

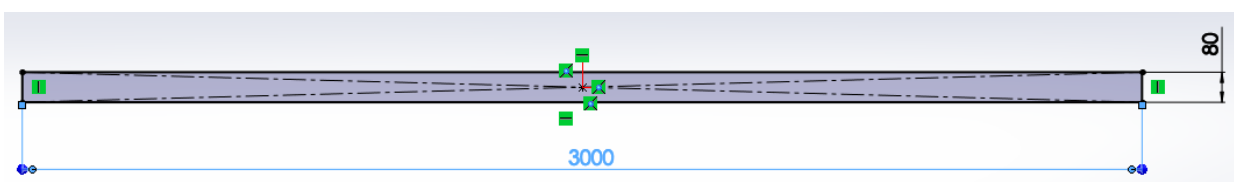


Figura 2-5. Croquis inicial del mango del Hwacha, e.p.

En la Figura 2-5 se pueden observar además del croquis bidimensional los tipos diferentes de parametrización existentes. Estos están representados en el dibujo con un recuadro verde y dentro su pictograma. En este caso se visualizan cotas lineales y las relaciones geométricas de líneas verticales, horizontales y coincidencia en un punto. Este último para cuadrar el centro de masas con el origen (0,0,0).

Además, Solidworks ofrece una herramienta de elaboración de un boceto en las tres dimensiones, “Croquis 3D”. Esta operación ofrece dibujar en el espacio líneas fijándolas e incluso agregando relaciones para que sean paralelas a alguno de los tres ejes del plano. Un ejemplo de este concepto es el que se presenta en la Figura 2-6 que se muestra a continuación.

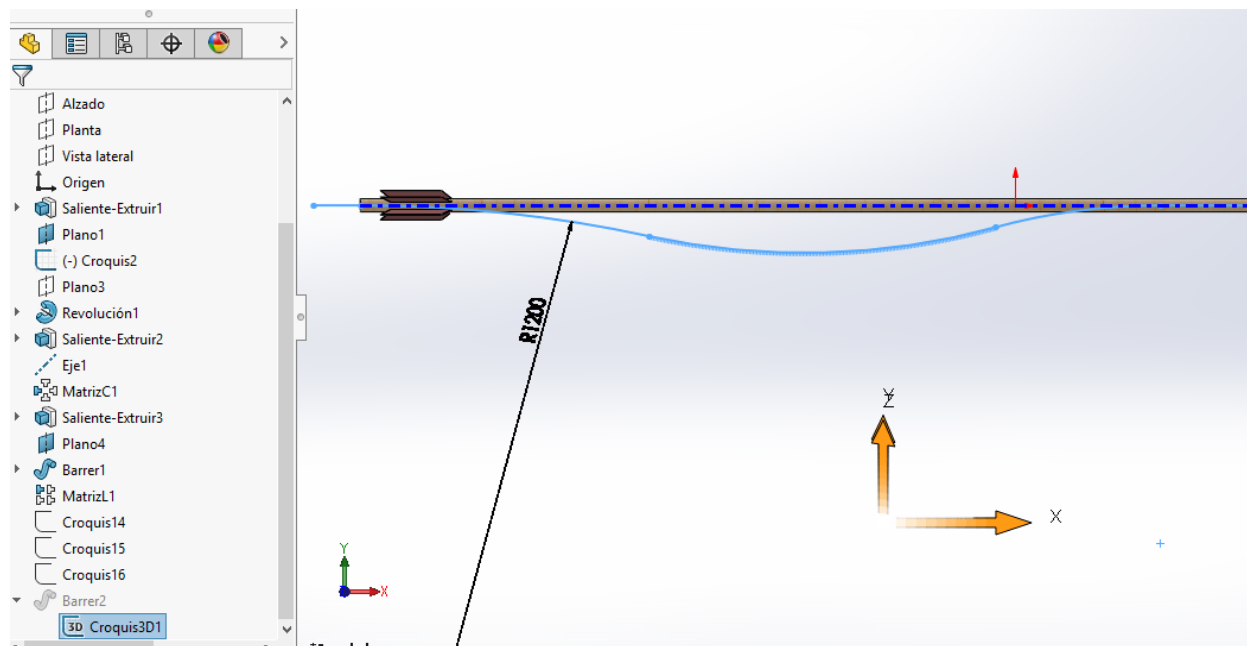


Figura 2-6. Croquis 3D de la mecha del cohete, e.p.

2.1.3.2 Extrusión

Esta operación consigue un cuerpo sólido a partir de un croquis. Según lo que se quiere recrear hay distintos tipos de extrusión: algunos ejemplos son extruir, revolución o barrido de saliente/base.

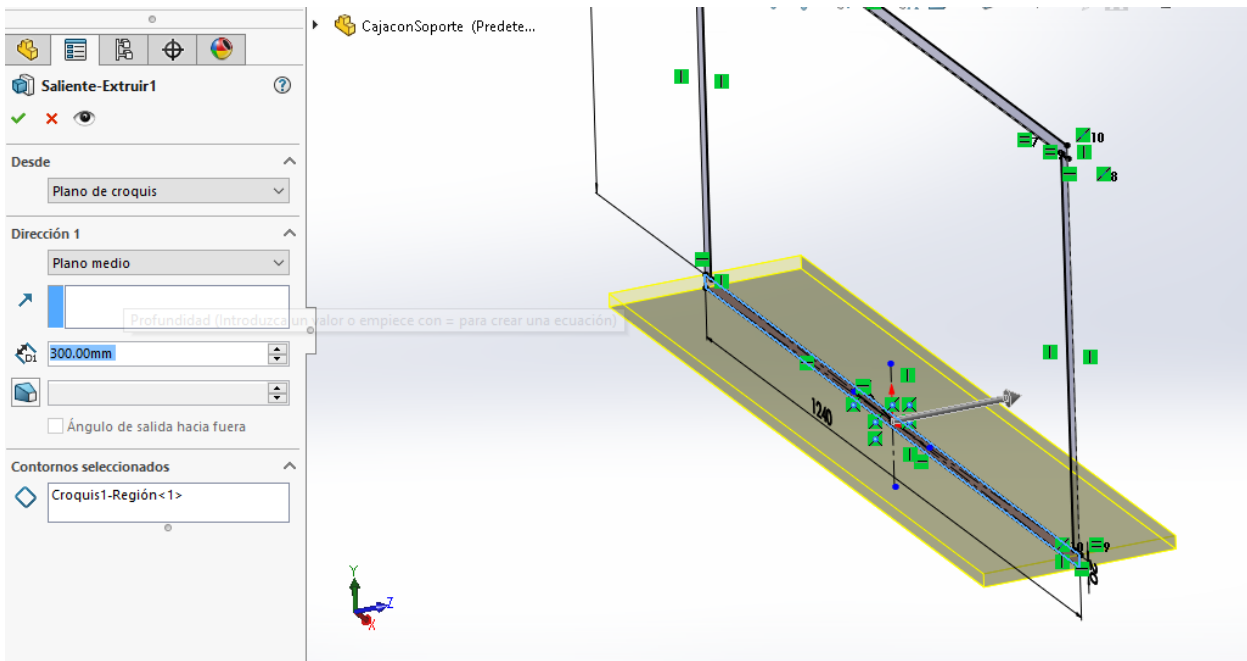


Figura 2-7. Extrusión de la lama inferior de la caja del Hwacha, e.p.

En la Figura 2-7 se observa la extrusión a partir de un boceto rectangular que da a lugar a la lama inferior de la caja que contendrá los lanzacohetes. Está hecho a partir del plano medio para conservar las simetrías con los planos principales: alzado, planta y perfil.

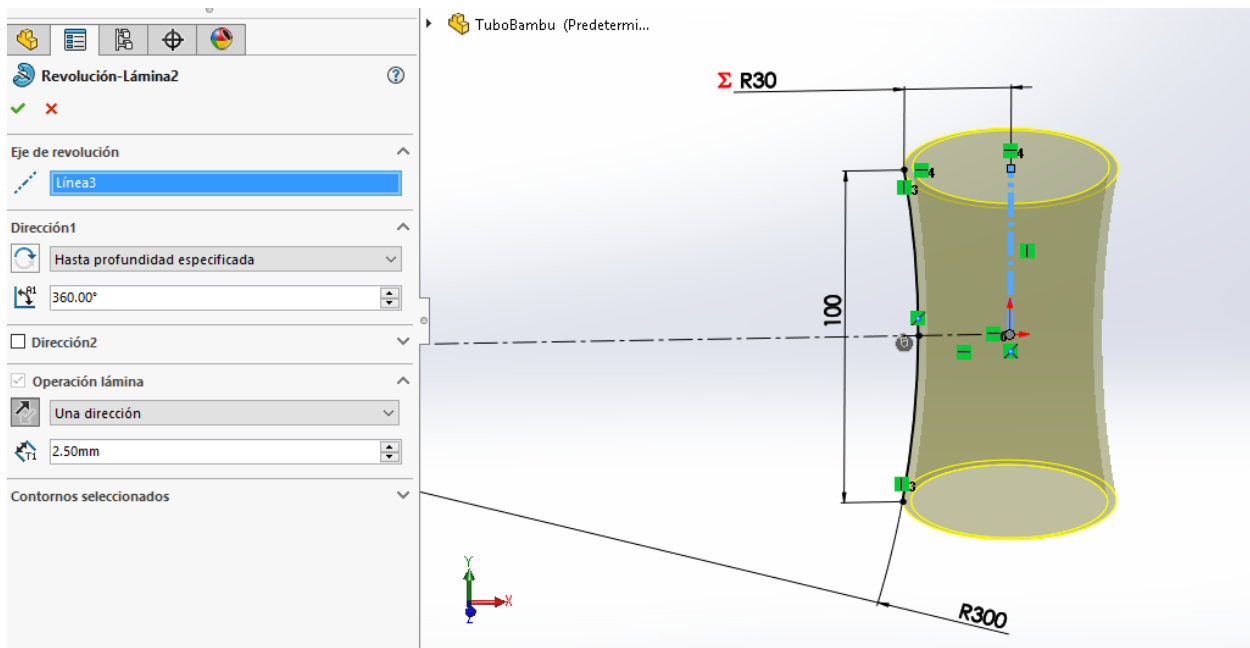


Figura 2-8. Extrusión por revolución del tubo de bambú del Hwacha, e.p.

Tal y como se detalla en la Figura 2-8 se visualiza la operación de extrusión por revolución empleada para la curvatura del tubo de bambú. Para su realización se ha creado un eje de referencia y se le ha dado el parámetro de grosor y los grados de revolución, en este caso se buscaba la vuelta completa.

Otro tipo de extrusión empleado es el de barrido. Se han usado dos formas para su ejecución. La primera de ellas es la que se presenta en la Figura 2-9 y en la Figura 2-10. En la ilustración de la izquierda se observa el boceto del perfil que se extruye a lo largo del boceto de la ruta que se enseña en la ilustración de la derecha a continuación.

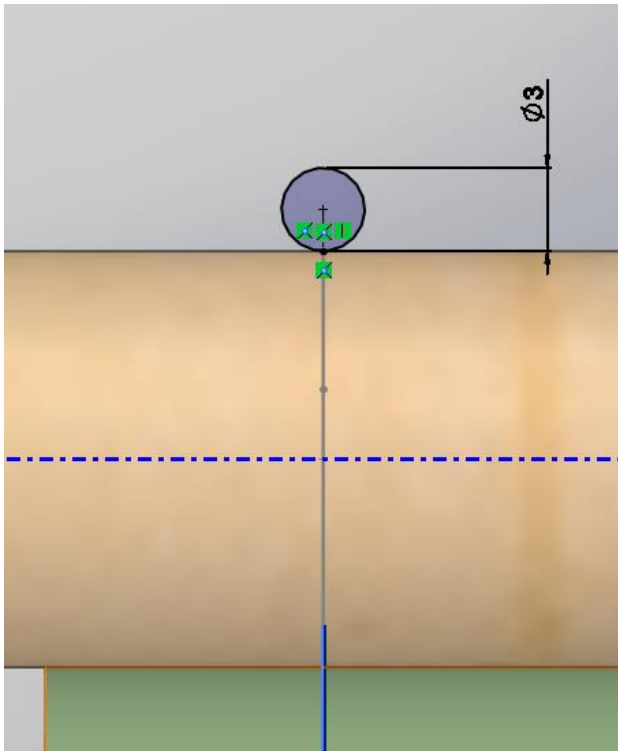


Figura 2-9. Croquis del perfil para la extrusión por barrido, e.p.

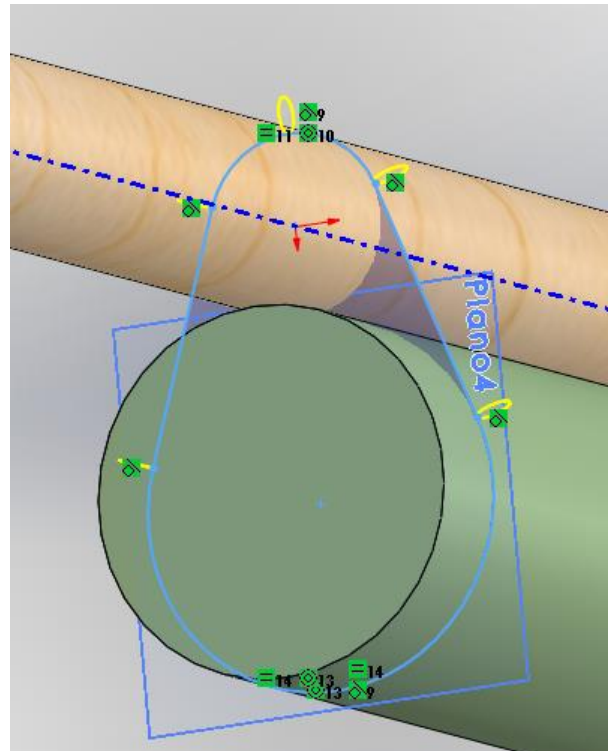


Figura 2-10. Croquis de la ruta seguida para la extrusión por barrido, e.p.

La unión del perfil y de la ruta crea el barrido de la Figura 2-11, el cual es tangente al cartucho y la parte de madera correspondiente al lanzacohetes.

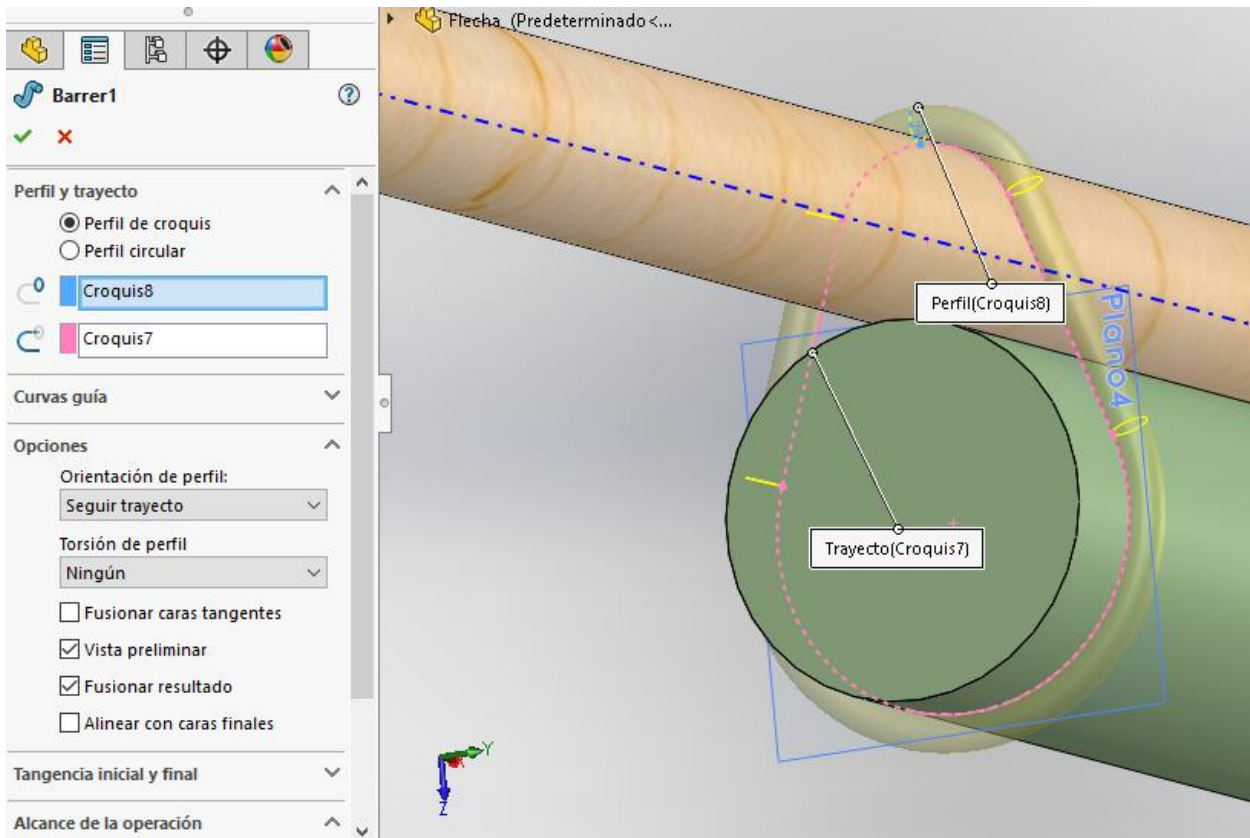


Figura 2-11. Resultado de la extrusión por barrido por perfil y ruta, e.p.

La segunda forma de ejecutar esta operación es especificando que se busca un perfil circular. Por tanto, en este caso solo pide el croquis de la ruta a seguir y el diámetro a lo largo del barrido. Como resultado, el producto creado es un cordón, que se presenta en la Figura 2-12.



Figura 2-12. Resultado por ruta de la extrusión por barrido, e.p.

2.1.3.3 Chablán

El chablán es la creación de una nueva cara plana que concibe dos aristas que son menos agudas que la inicial. Tiene propósitos diversos, como reducir riesgos por corte al manipular las piezas, mejorar la estética de las piezas o eliminar posibles rebabas después del corte previo a su realización.

En la Figura 2-13 se visualiza el chablán que se obtendría en esta pieza una vez dados como datos las aristas para achaflanar, la distancia y el ángulo deseado de la nueva cara plana.

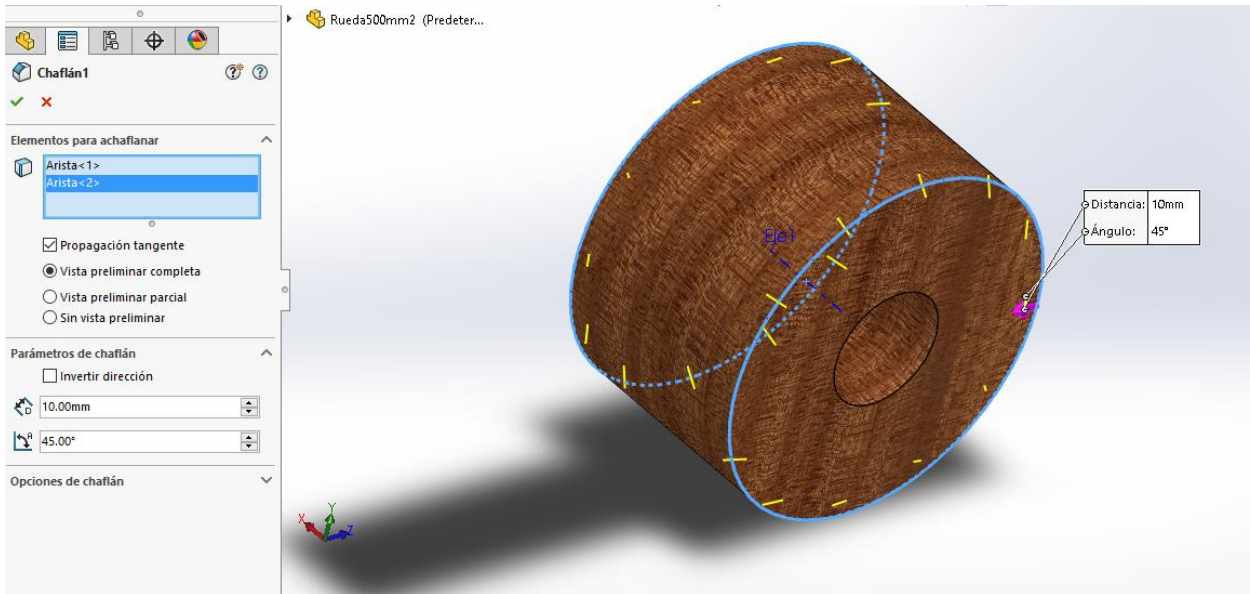


Figura 2-13. Chafilán en pieza perteneciente a la rueda, e.p.

2.1.3.4 Extruir corte o vaciado

Esta operación permite la eliminación de material en un sólido que ya está creado a partir de un croquis. Para ello necesita otro boceto sobre de la superficie que sea de interés o que tenga algún tipo de relación con ella. También hay varios tipos de corte: por extrusión, revolución, barrido, recubierto o por límite.

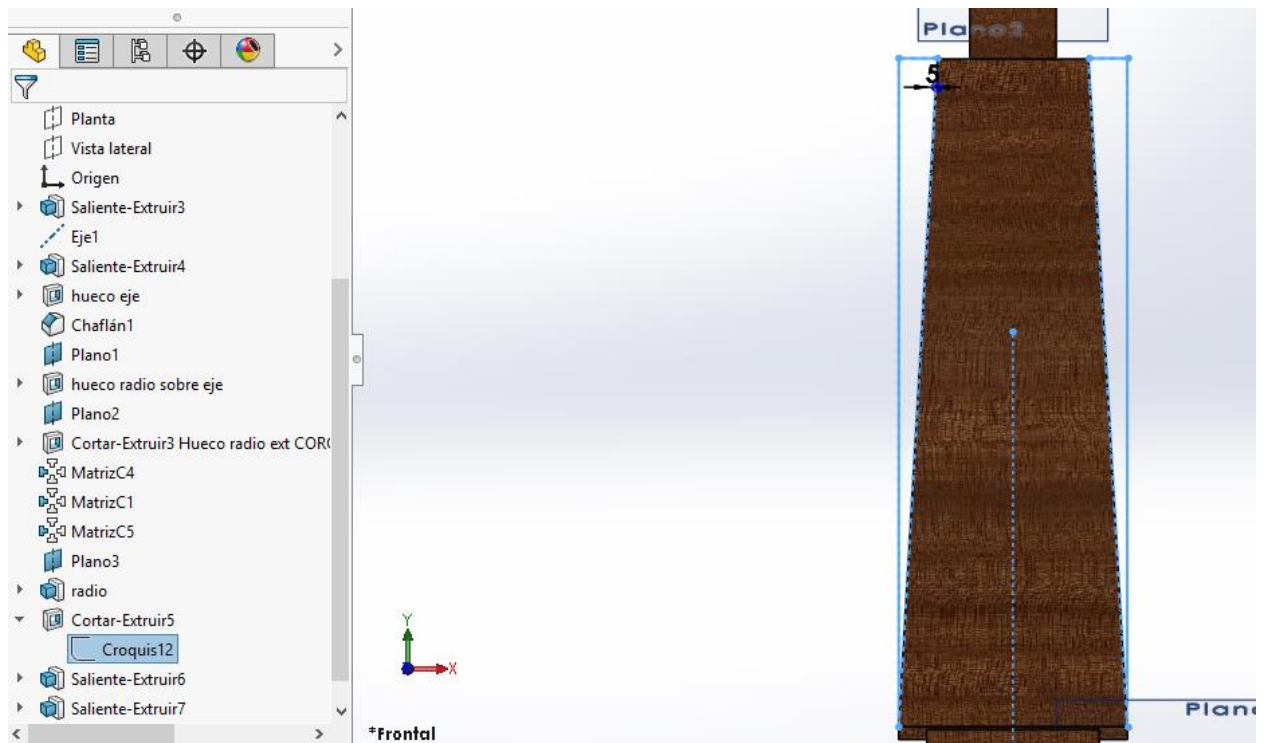


Figura 2-14. Vista detalle del corte lateral del radio de la rueda, e.p.

En la Figura 2-14 se observa la eliminación de los laterales del radio de la rueda a partir de un boceto de forma triangular en la superficie de interés, lo que permite que el ancho en su alzado se reduzca y estilice el acabado.

Otro tipo de corte es el que se muestra en la Figura 2-15. Se ha realizado un vaciado sin llegar a ser pasante. Del mismo modo, para hacer esta operación se ha creado con un boceto en la superficie indicada. En este caso su cometido es permitir el ensamble con otra pieza de la estructura.

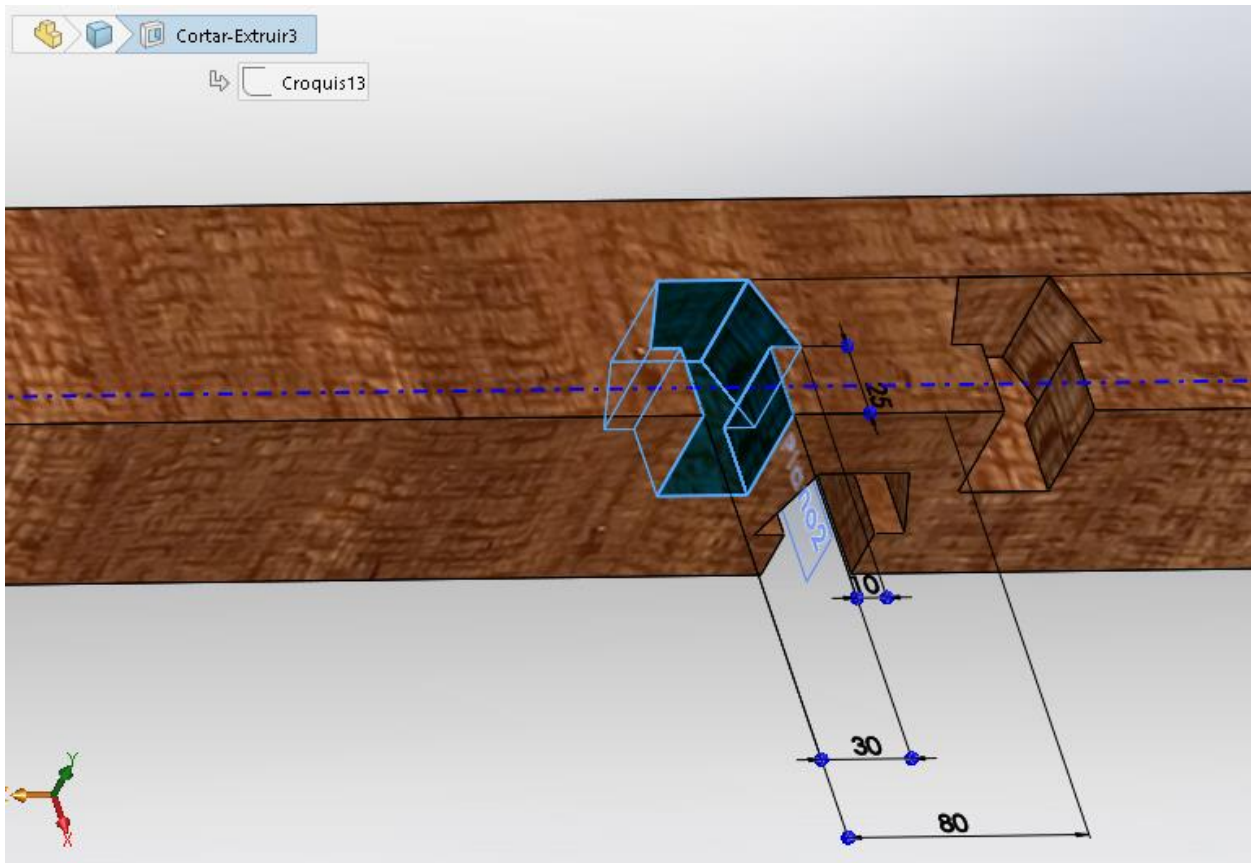


Figura 2-15. Vista detalle de ejemplo de vaciado en el mango del Hwacha, e.p.

2.1.3.5 Creación de planos, puntos y ejes auxiliares

Para otras operaciones a veces es necesario la utilización de una geometría de referencia. Esta tiene infinitas definiciones. Por ejemplo, para un plano paralelo basta con un plano que cumpla y un punto que sea perteneciente al que se quiere obtener. Sus aplicaciones son también infinitas ya que ayudan en el boceto o en el sólido ya creado a hacer otras operaciones como pueden ser una revolución, una simetría, la creación de un nuevo croquis, etc.

En la Figura 2-16 se ha creado un plano para ayudar a hacer una simetría de un vaciado en la zona superior del mango. En cambio, en la Figura 2-17 los puntos que se muestran dan una referencia para una superficie curva y otra plana sin más hincapié que la asistencia al ensamblaje y al boceto respectivamente.

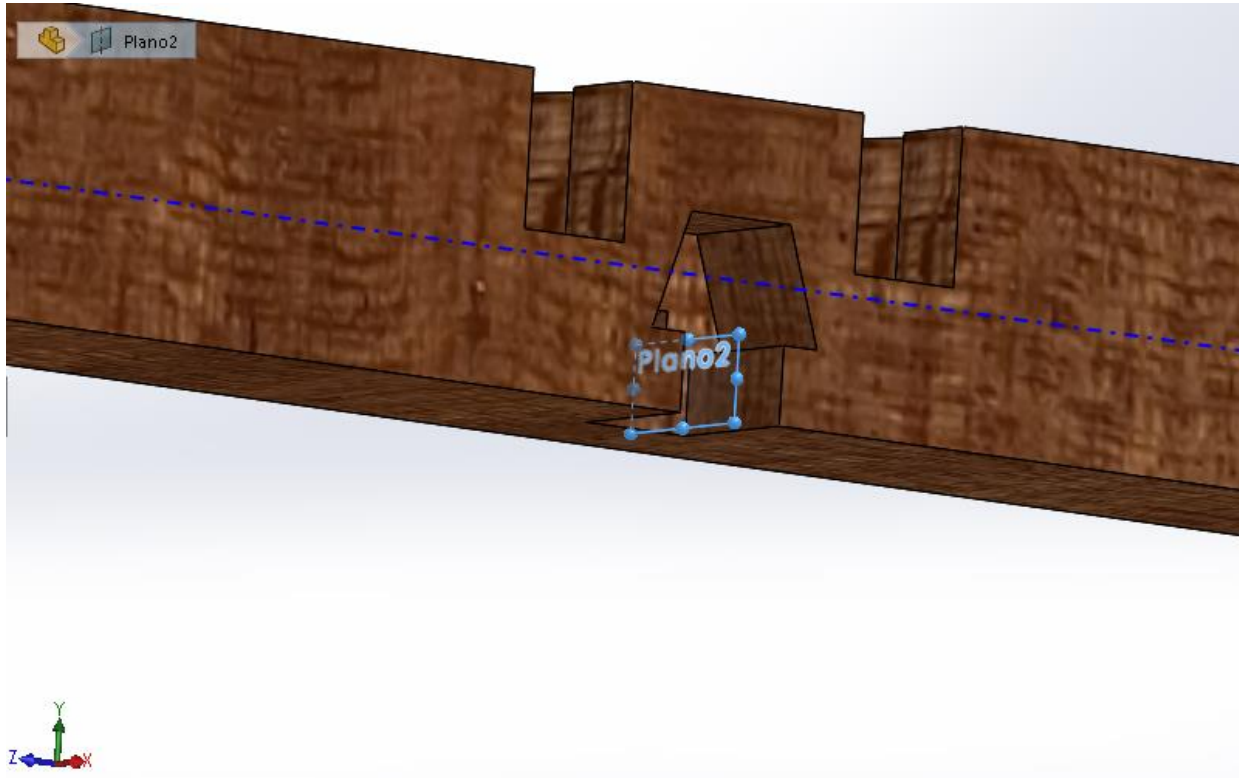


Figura 2-16. Vista detalle de un plano auxiliar creado en el mango, e.p.

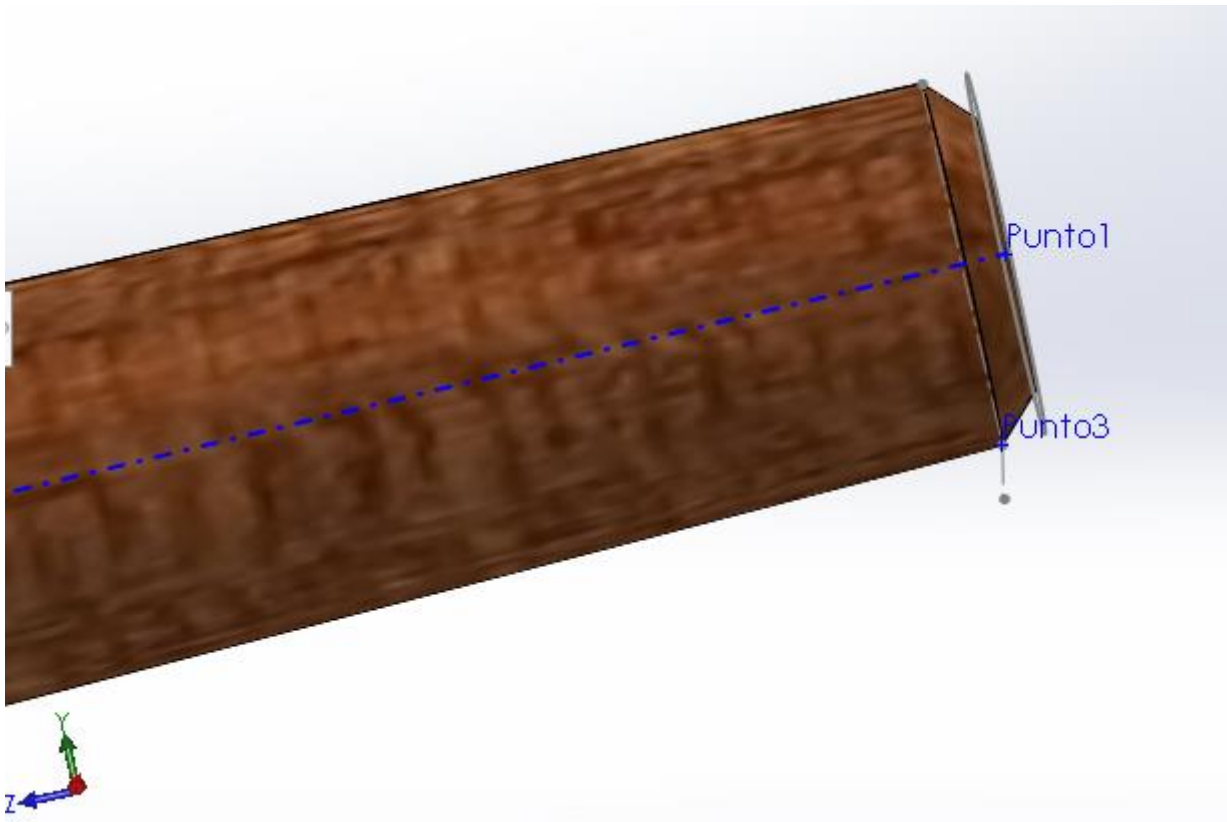


Figura 2-17. Vista detalle de un punto auxiliar en el mango, e.p.

Tal como se observa en la Figura 2-18, el eje creado por la geometría de referencia se ha usado para la revolución del radio de la rueda.

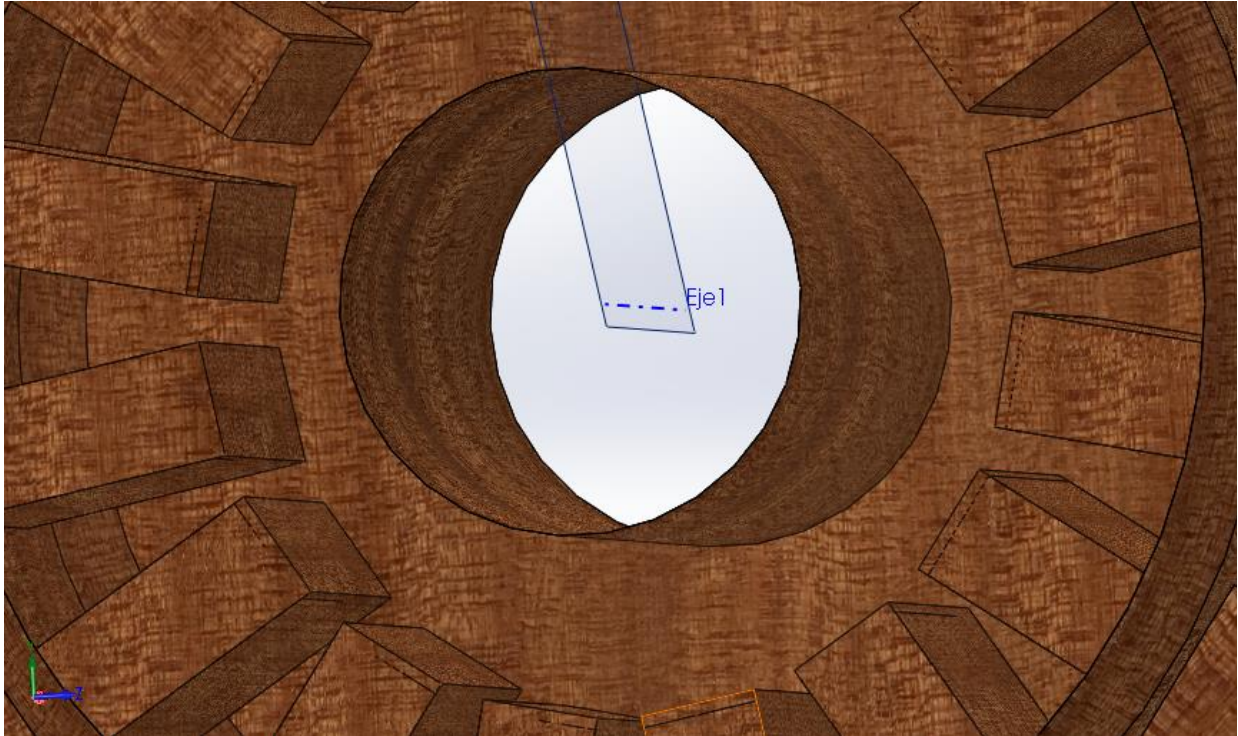


Figura 2-18. Vista detalle de un eje auxiliar en la rueda, e.p.

2.1.3.6 Matriz

Las matrices permiten la repetición de un sólido u operación en el espacio siguiendo un patrón. Esto da lugar a ahorrar tiempo de desarrollo y ejecución puesto que la matriz, una vez realizado el trabajo de interés, se encarga de modelar el resto.

En la Figura 2-19 se observa cómo, al darle las dos direcciones de repetición, la distancia entre cada uno y el número de sólidos a repetir, consigue llenar la caja del lanzacohetes de los tubos que los sostendrán.

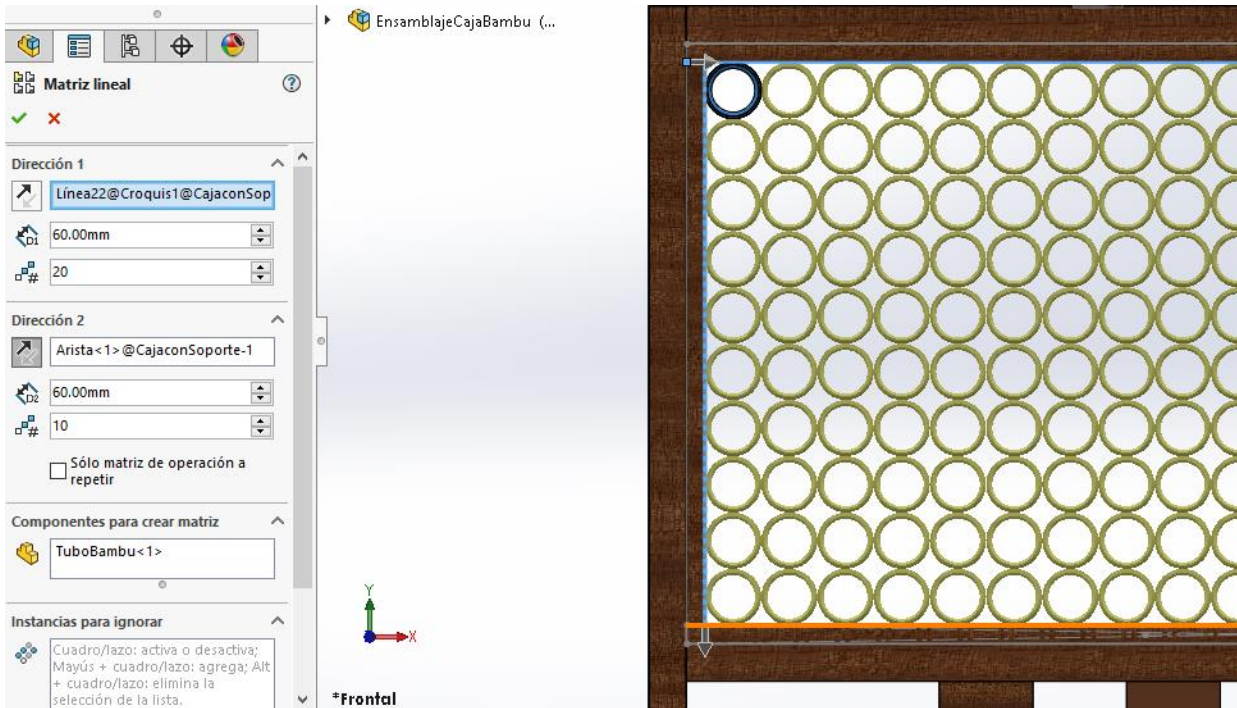


Figura 2-19. Matriz lineal del bambú en la caja, e.p.

Del mismo modo, Solidworks contempla también la matriz de revolución. En uno de los casos en los que se ha utilizado ha sido en la parte exterior de la rueda. Como se puede observar en la Figura 2-20, este patrón consigue acoplar en una vuelta completa siete repeticiones del mismo elemento.

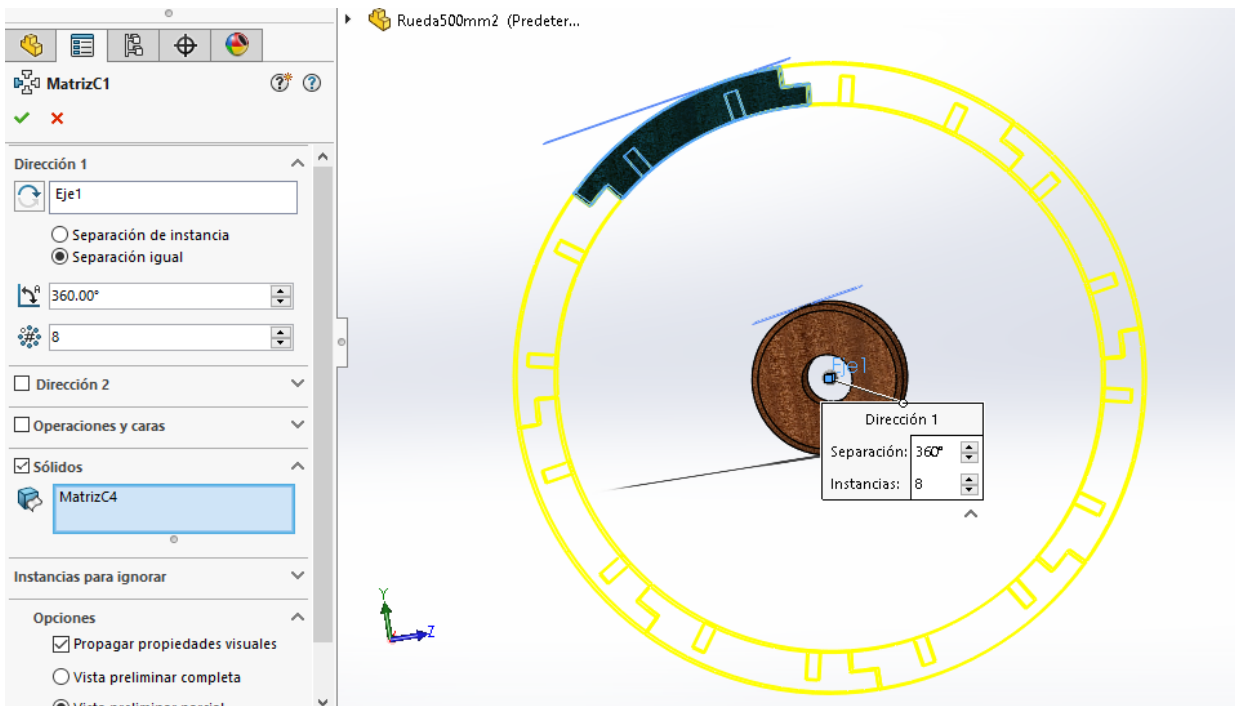


Figura 2-20. Matriz circular de la parte exterior de la rueda, e.p.

2.1.3.7 Simetría

Las simetrías son operaciones que copian a partir de un plano de referencia un boceto o un sólido. Este plano puede ser cualquier que se haya creado, el alzado, la planta o el perfil. En la Figura 2-21 se explica como ejemplo cómo funciona. En primer lugar el sólido creado es el que se presenta en verde. Al crear un plano paralelo a la planta y usar esta operación se consigue el sólido presentado en color azul. Para tener la parte inferior se repite la operación pero teniendo esta vez como sólido al azul y como plano el de la planta. Así se generaría esta parte de tubo que está en la ilustración delineada en amarillo.

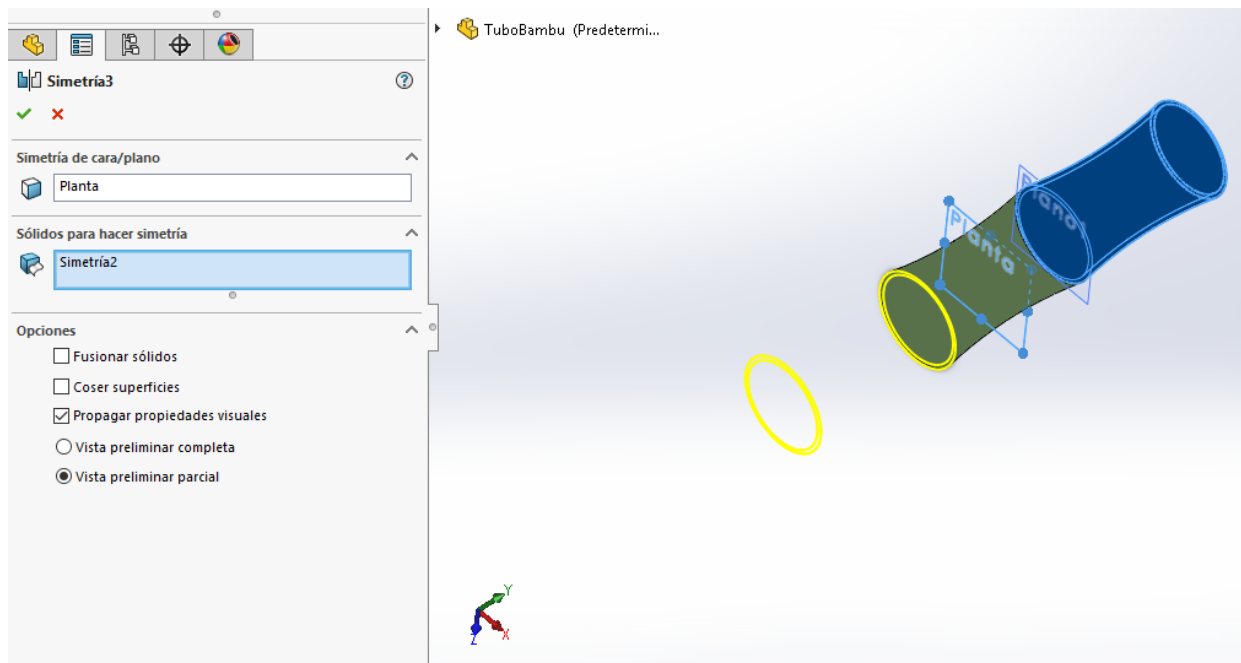


Figura 2-21. Simetría en 3D a partir de plano en el tubo de bambú, e.p.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tecnología es siempre un arma de doble filo. Traerá muchos beneficios, pero también muchos desastres.

- Alan Moore (1953 - ¿?) -

3.1 Modelado en 3D en Solidworks del lanzacohetes Hwacha

Llegado este apartado se procede a continuación a detallar las distintas piezas empleadas para la reconstrucción del lanzacohetes coreano Hwacha. El orden de aparición empleado es el que se estima que seguían los trabajadores que poseían la maestría de la madera. Se ha de tener en cuenta que todas las uniones se realizan con ajuste por apriete para su correcta sujeción, con una tolerancia de máximo 1 mm y que este ajuste se ejecutaba con un martillo (Sanhueza-Bravo-Rodrigo A.).

Además, aunque no se han encontrado referencias sobre la madera que se utilizaba para su construcción, sí que es sabido que la usada en aquella época para trabajos similares era la denominada gyeongmok, según la información personal suministrada por D. Emilio Ramírez Juidías, director de este PFC. De haberse utilizado este material, que tiene una densidad media, el Hwacha habría sido bastante ligero y fácil de llevar en las batallas, primordial para un rápido despliegue o la necesidad de una huida.

Con respecto a su transporte, esta arma de guerra era llevada por un caballo. Debido a la existencia de varias razas, se ha optado por una media en la altura desde el suelo hasta la parte superior del lomo y en el ancho del animal.

Para comenzar, la rueda consta de tres piezas principales: la parte exterior que se denominará aro (Figura 3-1), la interior calabaza (Figura 3-2) y la unión de ambas radio (Figura 3-3).



Figura 3-1. Pieza del aro, e.p.



Figura 3-2. Pieza del radio, e.p.



Figura 3-3. Pieza de la calabaza con un corte visual en su alzado, e.p.

El montaje de la rueda, representada en la Figura 3-6, consta de dos pasos para su ensamblado. En el primero se ha de acoplar la calabaza a sus 16 correspondientes radios por la unión más gruesa (Figura 3-4). Para completar el aro, en el segundo paso se unen las 8 piezas de la parte exterior. Como se puede observar en la Figura 3-5, estas piezas se acoplan cada una a dos de los radios por la unión más delgada. Hay que tener en cuenta que el Hwacha necesita dos ruedas, por lo que este proceso se ha de repetir otra vez más para la otra, siendo ambas las que sostendrán el eje.



Figura 3-4. Ensamble calabaza - radio, e.p.



Figura 3-5. Ensamble radios - parte del aro, e.p.



Figura 3-6. Rueda del Hwacha, e.p.

A continuación, se detalla el proceso de construcción de la parte baja del carro. Constituida por una pieza en su centro denominada mástil (Figura 3-7), dos maderos exteriores que son simétricos (Figura 3-8), 6 lamas, las cuales ayudan en la rigidez (Figura 3-9), un madero superior (Figura 3-10) y el eje (Figura 3-11), siendo estos dos últimos los que unen y cierran el conjunto. Cabe destacar que, aunque en la Figura 3-11 están montados los pernos de las ruedas, este hecho es meramente ilustrativo, ya que para su colocación deben estar antes las ruedas colocadas.

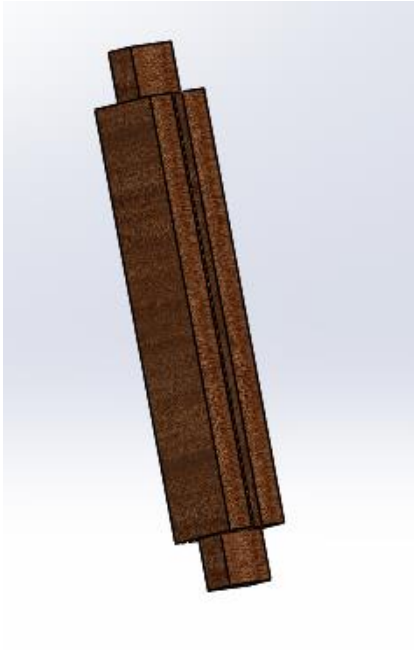


Figura 3-7. Mástil, pieza central de la parte baja del carro, e.p.

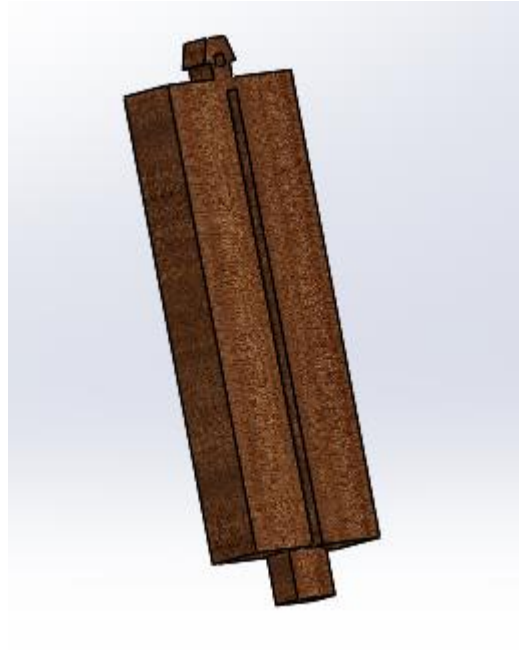


Figura 3-8. Madero exterior de la parte baja del carro, e.p.



Figura 3-9. Lama del bajo del carro, e.p.



Figura 3-10. Madero superior, enlaza mástil con maderos exteriores, e.p.



Figura 3-11. Eje con pernos en laterales, e.p.

Para su construcción se empieza con la unión de las guías del mástil con las 6 lamas. Una vez hecho, se acopla el perno del mástil en el madero superior (Figura 3-12). A continuación, se añaden los maderos exteriores y se acopla el eje, finalizando así esta parte (Figura 3-13).



Figura 3-12. Detalle del montaje sin acabar de la parte baja del carro del Hwacha, e.p.

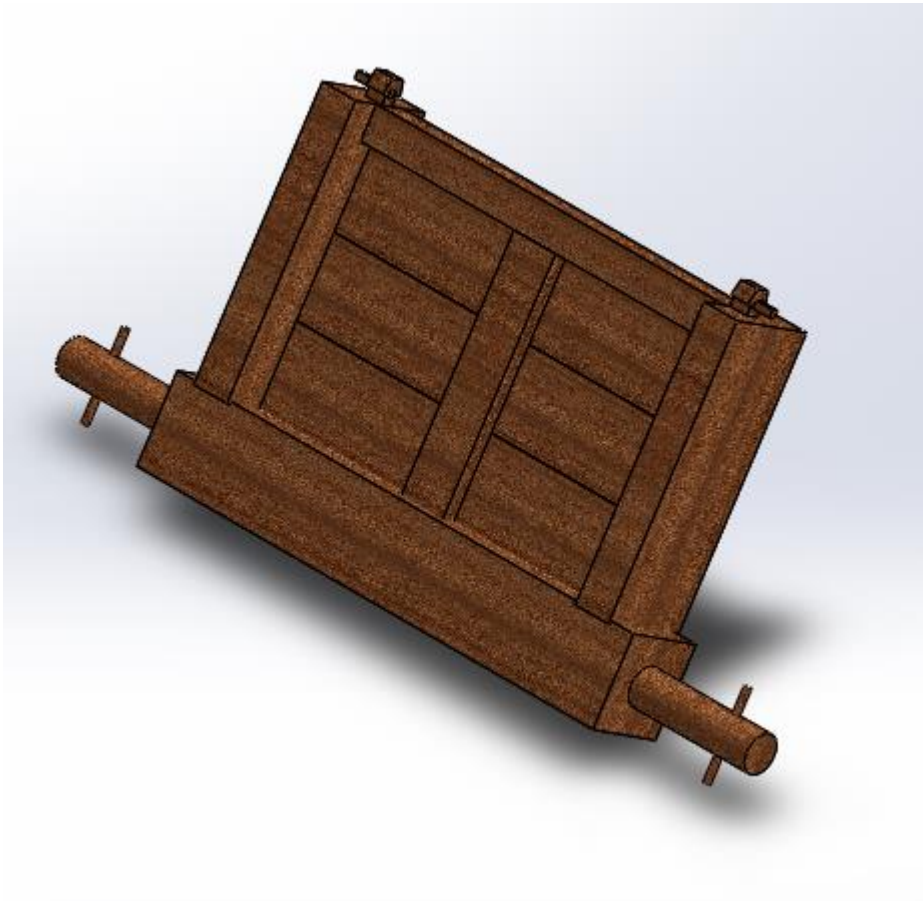


Figura 3-13. Parte baja del carro del Hwachha, e.p.

Se prosigue con los mangos, los cuales están acoplados con los maderos exteriores (Figura 3-14) mediante una unión de la época con un agujero ciego y rematada para dar una mayor sujeción por un perno pasante (Figura 3-15).

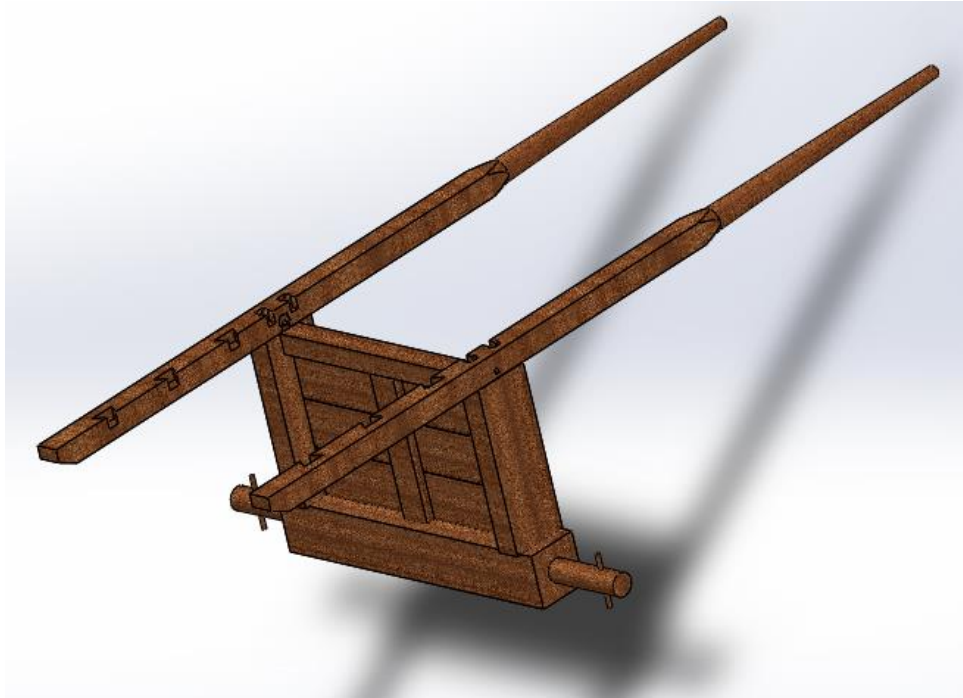


Figura 3-14. Unión de la parte inferior del carro con los mangos, e.p.

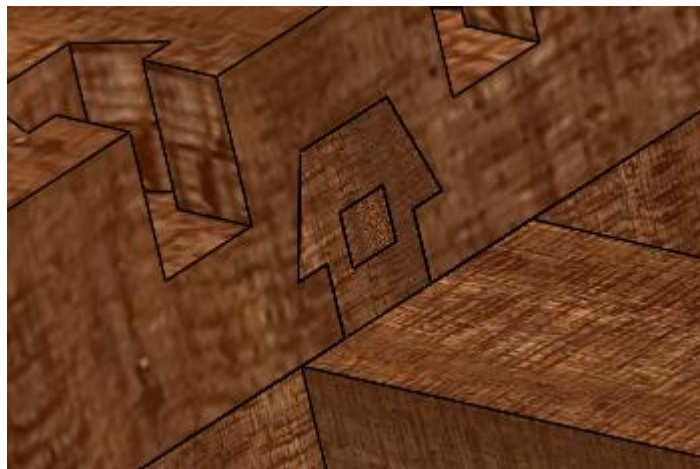


Figura 3-15. Detalle de una unión típica asiática del siglo XVI, e.p.

Llegado a este punto se coloca la tabla superior que va a sostener la caja del lanzacohetes (Figura 3-16) y las lamas que dan rigidez a la estructura del mango (Figura 3-17). El resultado es el que se muestra en la Figura 3-18.

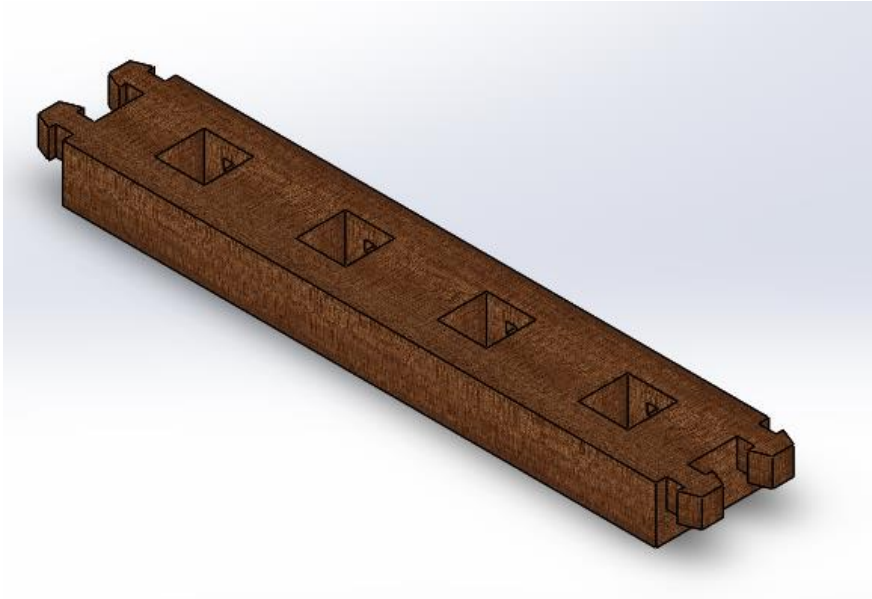


Figura 3-16. Tablón superior que une la caja con los mangos, e.p.

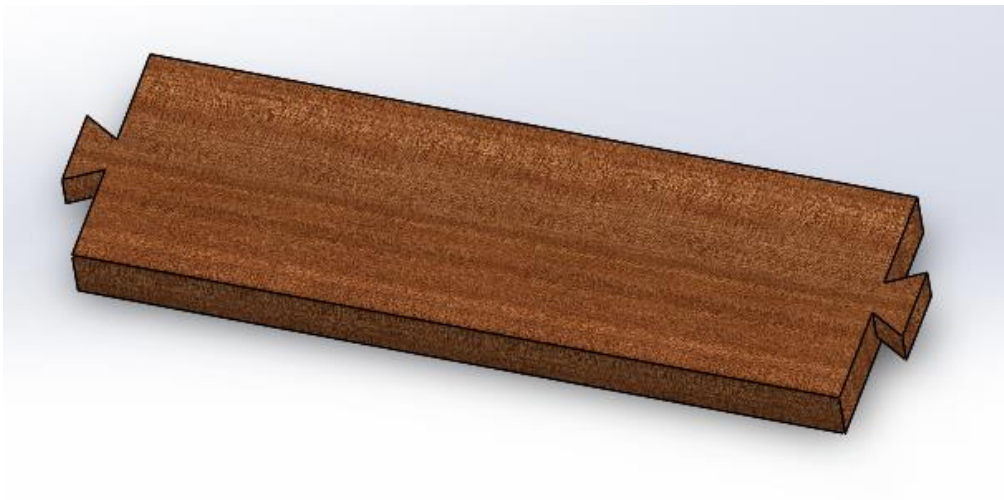


Figura 3-17. Lama que une los dos mangos, e.p.

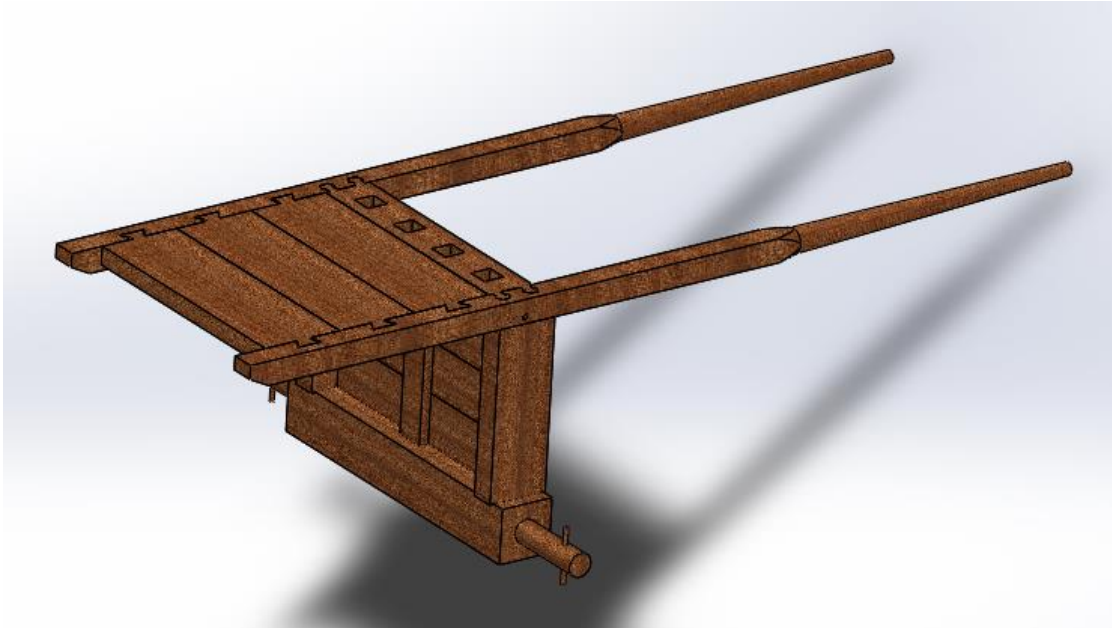


Figura 3-18. Continuación del montaje del Hwacha, e.p.

Es necesario, antes de continuar con el carro, montar la caja que contiene los 200 tubos de bambú. Las uniones entre las distintas lamas se realizan mediante pernos cilíndricos con ajuste de apriete. El resultado es una caja como se muestra a continuación en la Figura 3-19, con un ancho un poco mayor al comprendido entre los mangos.

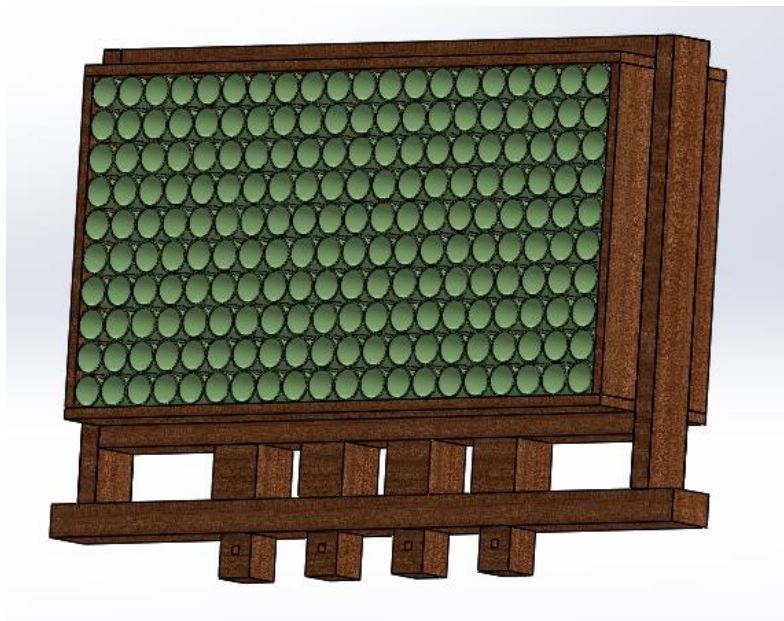


Figura 3-19. Caja del lanzacohetes, e.p.

El siguiente paso es montar la caja acoplando sus cuatro patas al tablón superior (Figura 3-20) y reforzar esta unión con cuatro pernos que se insertan por la parte posterior (Figura 3-21).

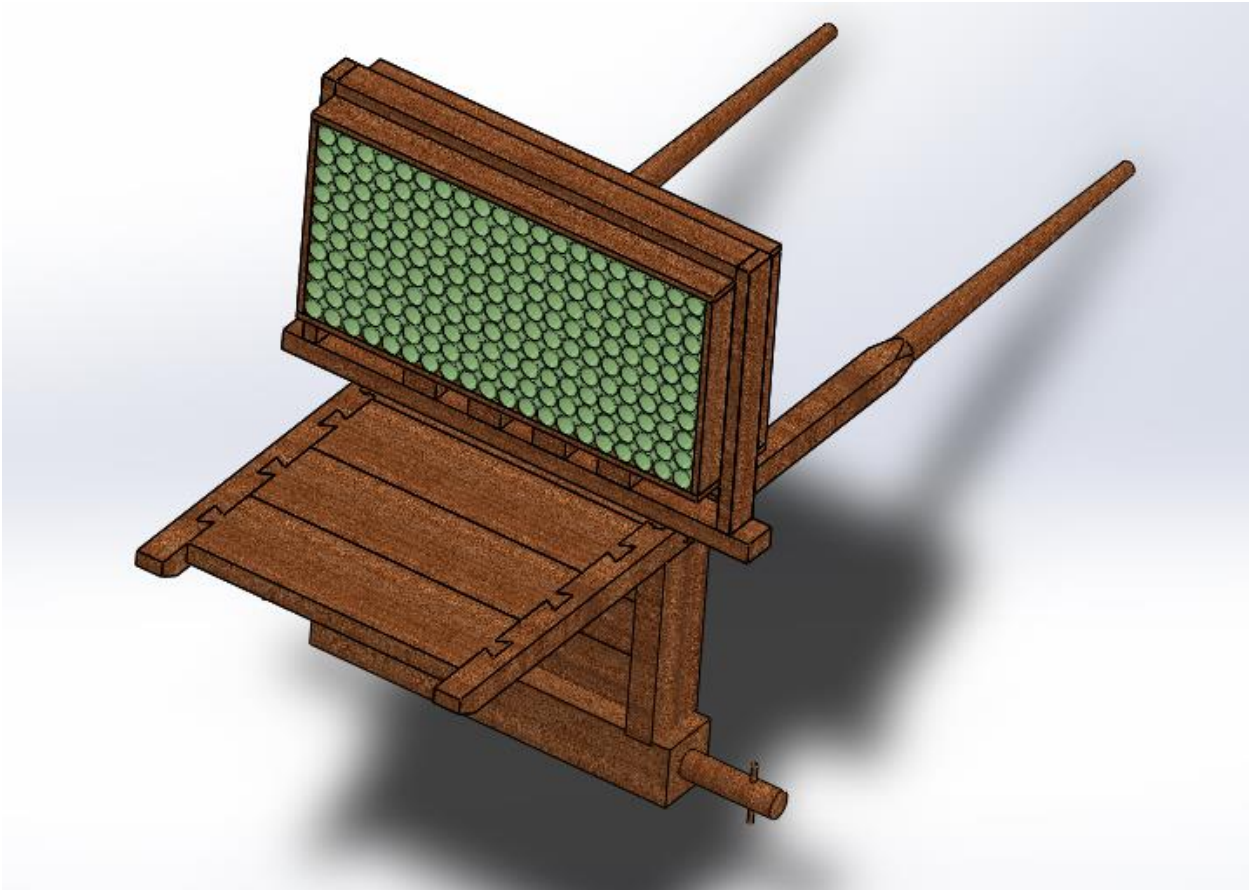


Figura 3-20. Continuación del montaje, añadida la caja, e.p.



Figura 3-21. Detalle de los pernos de la parte posterior del Hwacha, e.p.

Por último, para que el Hwacha pueda ser transportado con mayor facilidad, se le han de añadir las dos ruedas y añadir dos pernos pasantes en la parte exterior del eje para evitar que la rueda pueda salir. A continuación, en

la Figura 3-22, la Figura 3-23 y la Figura 3-24 se observa con más detalle el Hwacha una vez terminado

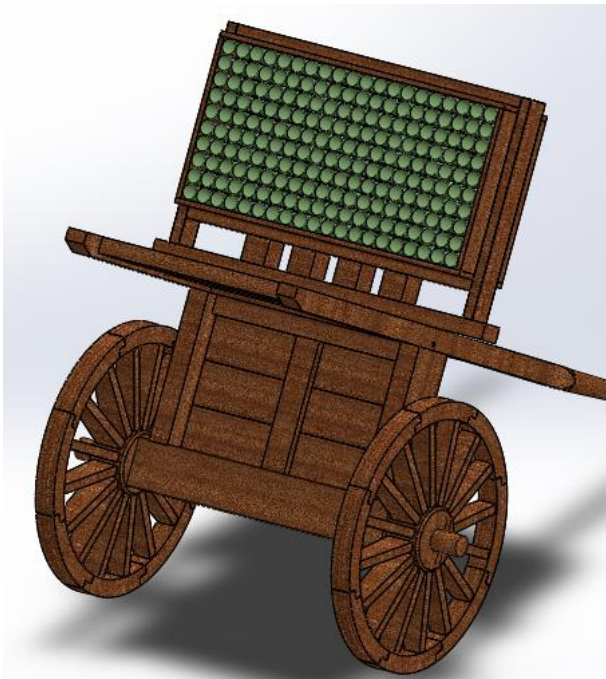


Figura 3-22. Vista del frente del Hwachha, e.p.

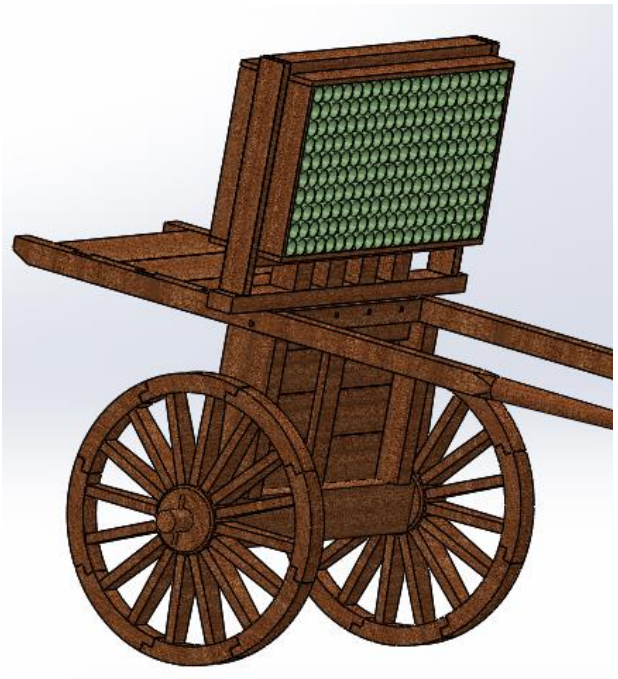


Figura 3-23. Vista del posterior del Hwachha, e.p.

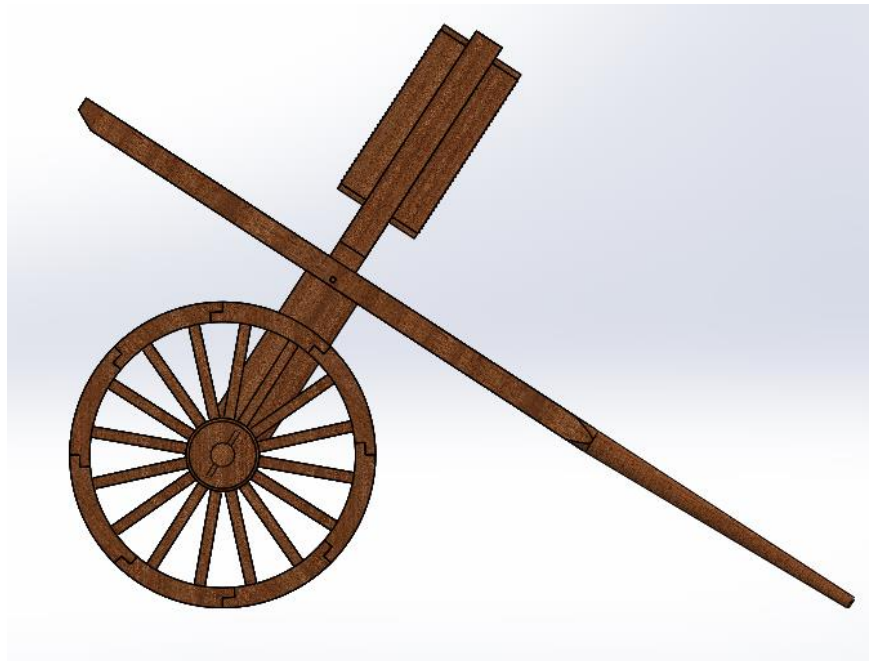


Figura 3-24. Vista lateral del lanzacohetes Hwachha, e.p.

Para concluir, el elemento más importante es el cohete, la flecha con el cartucho de pólvora. El bambú es lo

suficientemente holgado para que quepa la flecha y se pueda depositar en él dejándola caer, sin riesgo de que caiga al terreno sin haber sido encendida la mecha. Aunque puede albergar hasta 200 flechas, en esta representación se ha optado por cargarlo de munición parcialmente (Figura 3-25 y Figura 3-26).

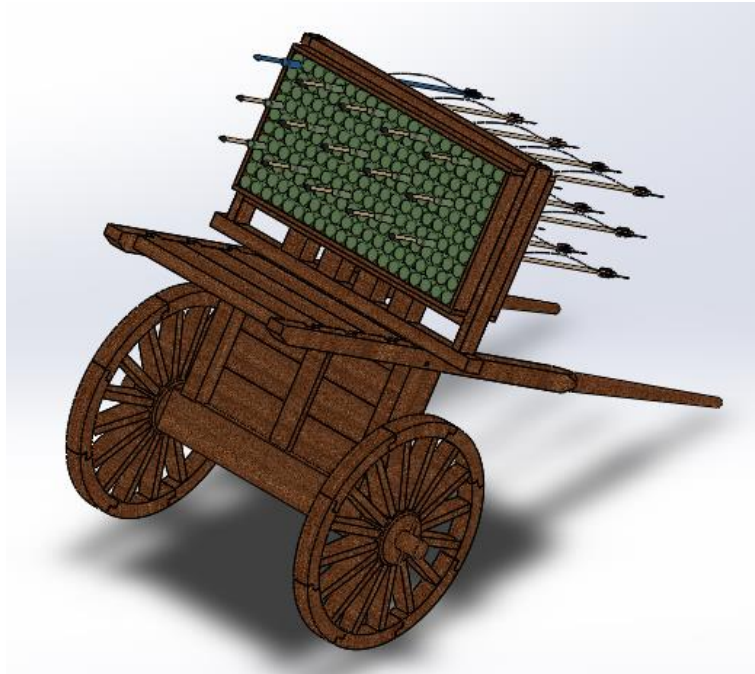


Figura 3-25. Vista 1 del Hwachha parcialmente cargado, e.p.

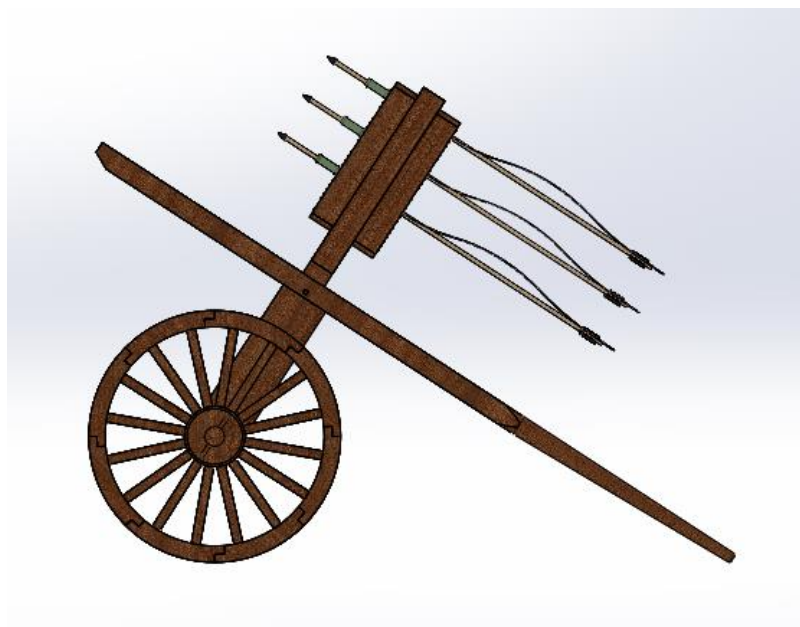


Figura 3-26. Vista 2 del Hwachha parcialmente cargado, e.p.

3.2 Especificaciones del modelo

En la realización del modelo se ha buscado recrear fielmente el Hwacha típico de la época. Sin embargo no existe una gran documentación relacionada con los mismos. Por tanto, el expuesto en este trabajo es una concatenación de imágenes de réplicas tipo sobre esta herramienta (Figura 3-27) y búsquedas sobre la tecnología de la época que permitieran explicar las razones de la construcción final.



Figura 3-27. Réplica del Hwachha, Hendry, Kay (2006)

A continuación se detallan las especificaciones del Hwachha modelado que se han tenido presentes.

- Gran parte de las ruedas empleadas a lo largo de la historia en maquinaria pesada ya sea militar o uso civil, están construidas con radios. Ya en el antiguo Egipto se hacía uso de este tipo de rueda, en contra de las macizas, debido a la rebaja en el peso sin perder la rigidez de la estructura y la mejora en la amortiguación. Estas ruedas las utilizaban por ejemplo en sus carros de combate llevados a caballo, como se puede observar en la Figura 3-28.



Figura 3-28. El faraón Tutankamón montado en un carro de guerra. Museo Egipcio del Cairo. Dhwtj (2015)

A partir de este hecho y de que todas las réplicas encontradas se han elaborado con este tipo de rueda, como la ya mencionada Figura 3-27, han servido como evidencia para su utilización en el modelo 3D.

- Como se ha visto en la Figura 3-27, la caja porta cohetes de la réplica tiene menos de 200 agujeros. Este hecho puede ser por las siguientes causas: el Hwacha que está referenciado no ha sido fabricado para ser cargado con 200 cohetes o cada agujero puede ser cargado con más de una flecha.

Al ser un arma que contiene pólvora puede ser bastante peligrosa para la persona encargada de cargar la munición en el lanzacohetes y todos aquellos que estén alrededor del arma. Este peligro será aún mayor cuando se enciendan las mechas. Por esta razón, para que el lanzacohetes sea lo más seguro posible, se ha optado que el Hwacha tenga 200 agujeros, uno por proyectil.

Así mismo, y tal y como describe en el artículo de Martín (2012), el tubo de bambú es más resistente al fuego que la madera. Por tanto, se ha modificado el modelo 3D con respecto al modelo de la réplica para que tenga 200 tubos de bambú, todos ellos de un tamaño similar, en vez del tablón con agujeros.

Por lo que respecta a la forma en la que se consigue unir los tubos de bambú entre sí en el marco de la caja, se espera el uso de una cola natural fabricada a partir de plantas, como la higuera o la yuca. Alternativamente, se pueden unir mediante fibras y encajarlos a presión en el marco de la caja.

Por otro lado, para el ensamblaje, en especial el de la caja, se requeriría la misma cola natural para emplearla como pegamento entre los diferentes elementos, o, alternativamente, el empleo de clavos, pernos u otro elemento de cohesión física para evitar que alguna pieza del Hwacha se desmontara cuando este era desplazado de un lugar a otro.

Además, no ha sido necesaria la incorporación de cuerdas u otros elementos de sostén para la sujeción de los cohetes en el momento de la carga de munición del Hwacha, ya que, aparte de que corre el riesgo

de prender, el diseño del bambú es lo suficientemente ancho como para permitir sostener las flechas con el cartucho en su extremo sin que tengan que tocarse y sin que caigan al terreno, como se podía ver en la Figura 3-25.

Sin embargo, para poder albergar esta cantidad de tubos y dar un espacio entre los cohetes en la carga, el ancho de la caja es un poco mayor al del Hwacha replicado.

- Los cohetes lanzados por el Hwacha fueron los primeros que albergaban dos etapas, la propulsión y la explosión respectivamente, que se producían en tiempos distintos empleando solo la pólvora. Su diseño era el ensamble de una flecha con un cartucho cerrado que contenía la pólvora con una mecha de una determinada longitud en el exterior. Los materiales que se empleaban para la elaboración de la flecha eran la madera y el metal, mientras que para el cartucho se usaba bambú. Además, para dar más estabilidad al vuelo se podrían añadir plumas u otro elemento que causase el mismo efecto a la cola de la flecha. Estas características se pueden observar en la Figura 3-29 y en la Figura 3-30.



Figura 3-29. Réplicas de los cohetes usados por el Hwacha, Hendry, Kai (2006)

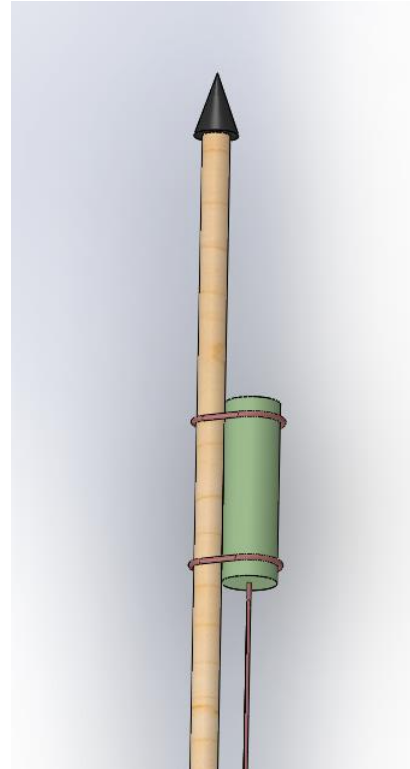


Figura 3-30. Detalle del cohete en el modelo 3D, e.p.

Se ha estimado que el mecanismo que permitía las dos etapas poseía una estructura similar al croquis que se puede observar en la Figura 3-31. Este se basaba en una mecha que conectaba las dos etapas. Una vez encendida, cuando llegaba a la parte de propulsión, el cohete salía despedido del Hwacha. Estando en el aire la flecha, la mecha seguía consumiéndose. En el momento en el que el proyectil llega al terreno, la mecha ha llegado a la segunda etapa, en la cual explota.

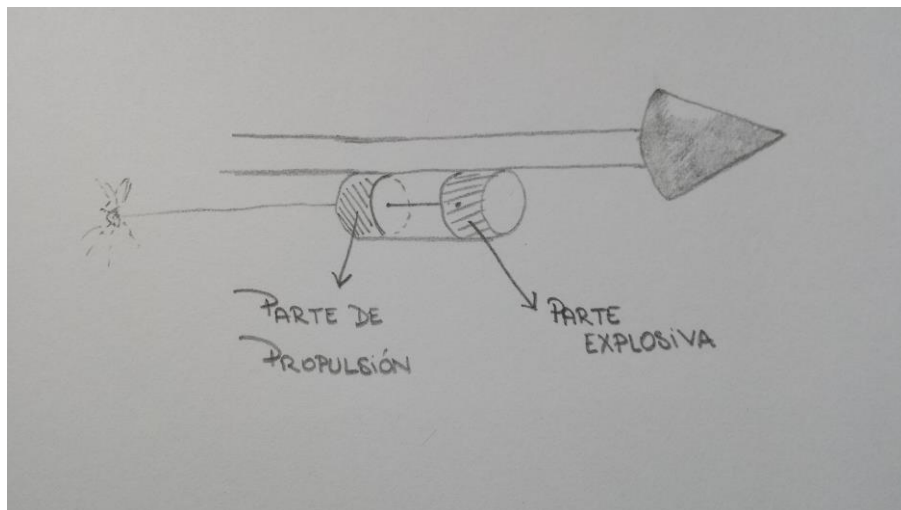


Figura 3-31. Estructura de la parte interior del cartucho de bambú del cohete, e.p.

Además, los cartuchos tenían que estar debidamente cerrados para que en la segunda etapa la explosión fuera más virulenta y, por tanto, el daño infringido al enemigo fuera mayor (Disney Channel, 2015).

- Debido a que la madera puede arder cuando es sometida al calor, es factible que el Hwacha recibiera algún tipo de barniz o tratamiento natural, probablemente de un extracto de planta, para protegerlo del fuego.
- Algunas de las uniones empleadas en los maderos se han basado en las de la época. Si se observan los machos de la Figura 3-16 se puede comprobar que son bastante similares al segundo que aparece en la Figura 3-32.

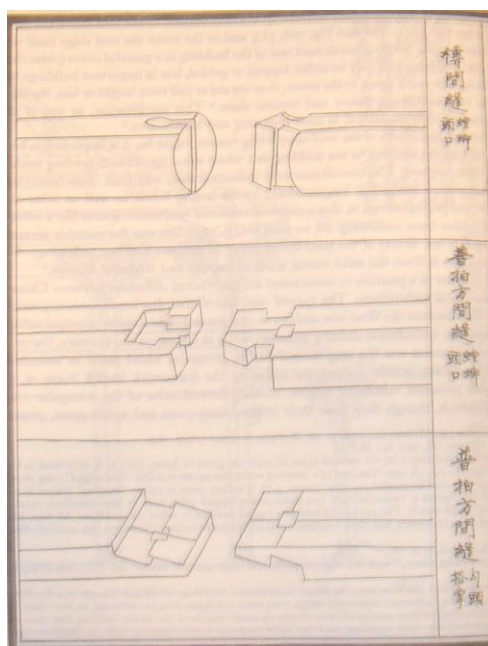


Figura 3-32. Página del libro Yingzao Fashi dedicada al ensamblaje, Li Jie (1103).

Otro de los tipos de ensamblajes empleados es la cola de milano que ya se ha visto en la Figura 3-17, que, aunque

guarda relación con el tipo de geometría que se describe en el libro de Li Jie (1103) y que probablemente se usase ya en esa época, no se han encontrado evidencias que lo documenten.

- Existen una gran cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de calcular el tiempo de ignición de la pólvora y el tiempo de vuelo de las flechas. Una flecha de fuego que explotase en el aire causaría unos daños mucho menores que una que explotara clavada en el cuerpo del enemigo y en caso de que la flecha explotara una vez clavada en el suelo permitiría a los soldados enemigos retirarse o apagarla. Dado que las flechas del Hwacha se propulsan con una cantidad de pólvora de una composición preestablecida, se podría calcular el tiempo de vuelo de una flecha, y, en función del mismo, dado que todas las flechas tendrán el mismo tiempo de vuelo, ajustar la longitud de la mecha que causa la explosión del cohete (Disney Channel, 2015).

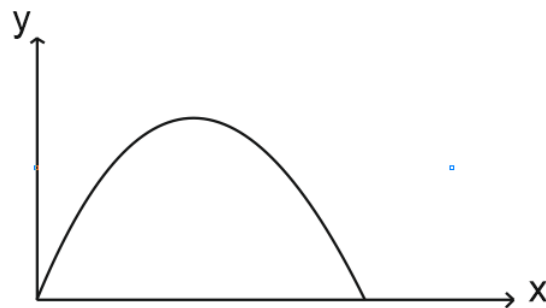


Figura 3-33. Trayectoria de un movimiento parabólico, e.p.

La trayectoria que dibuja la flecha al ser propulsada es un movimiento parabólico tipo de la Figura 3-33, teniendo por ecuaciones las siguientes:

$$v_{ox} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{oy} = v_0 \operatorname{sen} \alpha$$

Eje x:

$$v_x = v_{0x}$$

$$x = x_0 + v_{0x}t$$

Eje y:

$$v_y = v_{0y} + gt$$

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$$

Siendo v_0 la velocidad inicial, v la velocidad en un tiempo determinado, x e y la posición en cada eje, α el ángulo de salida y $g = -9,81 \text{ m/s}^2$ la gravedad.

- Con respecto a la posibilidad de intercambio de piezas, aunque no se dispone de información exacta sobre el método a utilizar para hacer el cambio de la caja porta cohetes, en el caso de que fuera dañada se supone que dicho cambio se efectuaría mediante un sistema de piezas fácilmente intercambiables sustentado a través de un ajuste que sería probablemente de apriete para facilitar la escasa vibración de la caja durante el transporte. Así mismo, la rueda del Hwacha, mostrada en la figura tal, está compuesta por diferentes piezas intercambiables que facilitan su buen funcionamiento. Como especifica García Ricart (2009), esto puede indicar que la aparición de las primeras normas de intercambiabilidad de piezas, no fuera a finales del siglo XIX o principios del XX, cuando Alemania tuvo la necesidad de normalizar el diseño industrial, sino siglos antes, quedando constancia de esto en antiguos planos japoneses, chinos y coreanos que han llegado hasta nuestros días, aunque sin referencia ni de autor ni de fecha.

4 CONCLUSIONES

Especialmente en la tecnología, necesitamos cambios revolucionarios, no cambios incrementales.

-Larry Page (1973-¿?)-

Una vez analizado el contexto socio-cultural y armamentístico del lanzacohetes del siglo XVI y haciendo una comparación con la actualidad, se llega a las siguientes conclusiones:

- El Hwacha surge a partir del intento de invasión japonesa en el monte Haengju en 1593. Por ello, su diseño, probablemente basado en el arma china *Yi wo feng as*, o Nido de abejas, y/o otros lanzacohetes de la época, construcción y despliegue militar debió ocurrir en un breve periodo de tiempo.
- Poseía la misma función que cañones u otras armas de fuego posteriores a su creación, pero su utilidad era menor que la de las armas de fuego, con lo que, eventualmente, sería descartado como componente militar a favor de las armas más modernas y poderosas o se usaría solo como arma disuasoria.
- El Hwacha se basaba en el disparo de un gran número de flechas simultáneas en un periodo de tiempo muy breve. En caso de que el cálculo de la trayectoria y las condiciones fueran adecuados, estas flechas tendrían una trayectoria conocida, que con una gran probabilidad alcanzarían parte del área donde se encontrase el ejército contrario. Este lanzamiento de cientos (o miles si se emplean varios Hwachas) de flechas tendría dos efectos sobre el ejército enemigo:
 - La combinación de la perforación de la flecha con la explosión de esta causaría un gran número de bajas enemigas, ya que, además de marchar en formación, el ejército enemigo ni conocía ni estaba preparado para defenderse ante este tipo de arma.
 - Ante un disparo de Hwacha se produciría confusión, miedo, y en caso de que la carga de pólvora negra del cohete fuera suficientemente alta, una nube de humo que limitaría la

visibilidad del enemigo.

- El uso de software de diseño 3D ha sido muy importante para la elaboración de este trabajo, ya que ha permitido averiguar no solo el tipo de material propio del arma, sino también el sistema de uniones fijas, y desmontables, que creemos se inició en el siglo XVI, o incluso antes. A este respecto es conveniente especificar que dichas uniones, en su mayoría, eran de tipo apriete.
- El hwacha, sin embargo, no es un arma sin desventajas, entre ellas las siguientes son las más destacables:
 - Debido al ángulo de lanzamiento fijo del mismo, la necesidad de desplazarlo, el elevado tiempo de recarga y la escasa dispersión de las flechas disparadas, es un arma cuyo uso es muy situacional.
 - Aunque la fabricación del arma es sencilla, elaborar las 200 flechas necesarias para cada recarga es un proceso largo y laborioso, que se puede evitar disparando una gran cantidad de flechas de fuego sin cohete con un gran número de arqueros.
 - El tiempo de recarga del arma es muy alto. Durante este tiempo, debido a la gran cantidad de flechas explosivas, cualquier accidente causaría una gran explosión entre las filas aliadas.
 - Aunque estaba calculado el tiempo exacto de vuelo desde el inicio de la propulsión hasta el momento de impacto de las flechas, así como su explosión, este podía sufrir distintos problemas hasta que esto ocurría: desde un golpe de viento, un cálculo erróneo en las cantidades de los ingredientes de la pólvora o la calidad de estos ingredientes. Todos estos problemas podrían ocasionar una baja eficiencia del arma, cosa que no sucedió, pues la bibliografía consultada especifica lo contrario.
 - Los cañones, armas de fuegos y armas posteriores tienen mayor alcance que el Hwacha, con lo que su utilidad en combate se ve seriamente reducida al enfrentarse a un ejército que tenga armas con mayor alcance, que puedan eliminar las tropas aliadas sin exponerse al rango de esta arma. Sin embargo, este hecho no sucedió en el momento en el que se utilizó el Hwacha.

REFERENCIAS

- Andrade, Tonio (2016), *The Gunpowder Age: China, Military Innovation, and the Rise of the West in World History*. Princeton University Press (ed).
- Anónimo (2017): “Egipto 3500 a.C”, [online] <http://www.lograrco.es/egipto-3-500-a-c/> [Consult: 06-2018]
- Anónimo (2017): “Un collar egipcio, diente del “primer tiburón blanco” y mucho más, esta semana en Catawiki”, [online] <https://redhistoria.com/collar-egipcio-diente-primer-tiburon-blanco-y-mas-esta-semana-catawiki/>. [Consult: 06-2018]
- Arsuaga, J.L. y Martínez, I. (2001): *La especie elegida. La larga marcha de la evolución humana*. Temas de hoy (ed).
- Azuela y Gobantes, A. (1879-1881): *Tratado de balística*. Imprenta de Pedro Ondero (ed).
- Biblioteca nacional de Francia: “Mongol Cavalrymen Engage the Enemy”, Ilustración de principios del siglo XIV.
- Dhwty (2015): “Un Arma Poderosa del Mundo Antiguo: Historia del Carro de Guerra - 1ª Parte”, [online] <http://www.ancient-origins.es/artefactos-tecnolog%C3%AD-antigua/un-arma-poderosa-mundo-antiguo-historia-carro-guerra-%E2%80%941%C2%AA-parte-002671> [Consult: 06-2018]
- Discovery Channel (2015): Cazadores de mitos. [online] <https://www.dailymotion.com/video/x2hd1yf>. [Consult: 06-2018]
- García Ricart (2009). “Apuntes de normalización”. Edita Universitat Politècnica de València.
- Grayson, Charles E., French, M. y O’Brien, Michael J. (2007): *Traditional archery from six continents: the Charles E. Grayson Collection*. Everbest Printing Company through Four Colour Imports, Louisville, Ky.
- Hamilton Cushing, Frank (1895): “The Arrow” in *American Anthropologist*, Vol. 8, No. 4, pp. 307-349.
- Hendry, Kay (2006): “Back of Arrow rocket battery”, [online] <https://www.flickr.com/photos/hendry/189880458/> [Consult: 06-2018]
- Hendry, Kay (2006): “Rocket arrows”, [online] <https://www.flickr.com/photos/hendry/189880488/in/photostream/> [Consult: 06-2018]
- Hernández Pacheco, Eduardo (1924): *Estudios de arte prehistórico. Prospección de las pinturas rupestres de Morella la Vella*, C. de I. P. y P., Madrid
- Historiographer (2004): “Gakgung”, <https://howlingpixel.com/wiki/Gakgung> [Consult: 06-2018]
- Jie, Li (1103): *Yingzao Fashi (manual de construcción)*
- Martín, Ana B. (2012): “Pavimento de bambú” [online] <https://www.yarquitectura.com/pavimento-de-bambu/> [Consult: 06-2018]
- Lethbridge, C., (2000): “History of Rocketry Chapter 1. Ancient Times Through the 17th Century” [online] <http://www.spaceline.org/history/1.html> [Consult: 06-2018]
- López, M. (2017): “Arco coreano”, [online] <https://www.youtube.com/watch?v=ZXr0PAILwXM>. [Consult: 06-2018]
- Museo Nacional de Dinamarca: “The world's oldest bows”, [online] <https://en.natmus.dk/historical-knowledge/denmark/prehistoric-period-until-1050-ad/the-mesolithic-period/the-stone-age-hunters-bow-and-arrow/the-worlds-oldest-bows/> [Consult: 06-2018]
- Obermaier, H. y Wernert, P. (1919): *Las pinturas rupestres del barranco de la Valltorta (Castellón)*. Comisión

de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas. Madrid (23).

Payne-Gallwet, R. (1995): *The book of the crossbow*. Dover publications, INC. (ed). New York

Ramírez-Juidías, E., Ramos Sánchez, F., Noguero Hernández, M., Martínez Palacios, J., Castillo García, M y Salmerón Medina, F. (2018). “Normalización de dibujos técnicos”. Tema 2 de la asignatura Expresión Gráfica del Grado en Ingeniería de Organización Industrial. Universidad de Sevilla.

Ramírez-Juidías, E., Yanes-Figueroa, J., Hazman-Hendi, L. y Noguero-Hernández, M. (2014): “Reconstrucción virtual de aperos antiguos mediante renderización y modelado 3D: Estudio ergonómico” in *Virtual Archaeology Review*, Vol. 5, No. 11, pp. 65-72.

Sánchez-Cervera, B., Santoja Gómez, M., Pérez-González, A., Domínguez-Rodrigo, M. y Sánchez-Romero, L. (2015): “La industria lítica del yacimiento achelense de Torralba (Soria, España). Colecciones marqués de Cerralbo y Howell” in *Trabajos de Prehistoria* 72, No. 1, pp. 41-63.

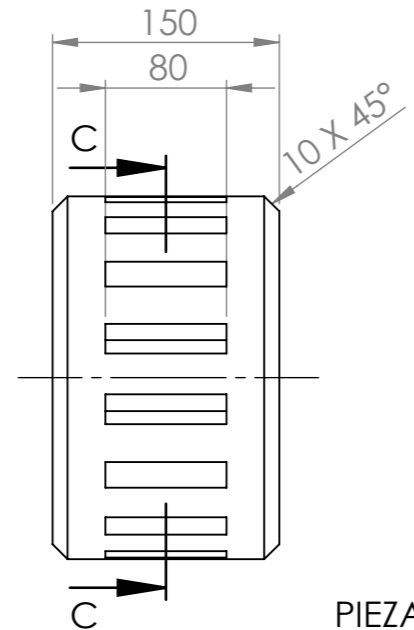
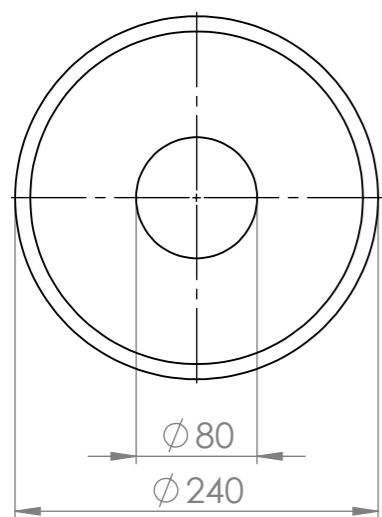
Sanhueza-Bravo-Rodrigo A. “Anexo”. Universidad del Bio-Bio. Sistema de Bibliotecas. Chile.

Turnbull, S. (2003): *Genghis Khan & the Mongol Conquests 1190-1400*. Osprey Publishing (ed.), Great Britain.

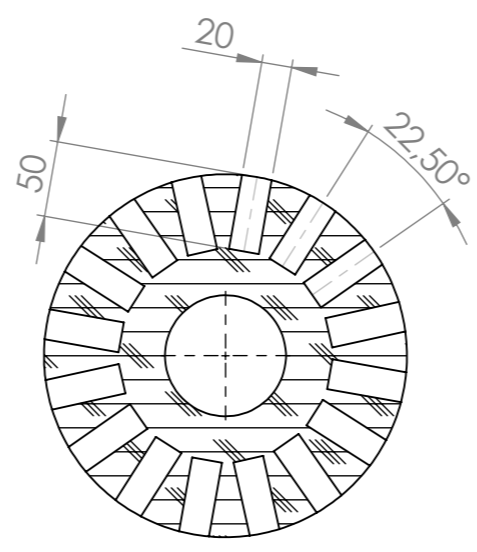
Villamor, R. (2017): *La guerra Imjin. Invasión Samurái de Corea (1592-1598) y Ryûkyû (1609)*, HRM editorial (ed).

Yu, Jiao y Bowen, Liu (1368-1683): *The Huolongjing (Fire Dragon Manual)*

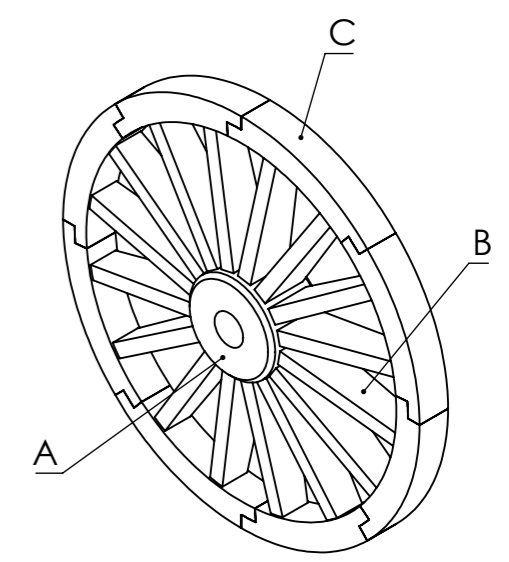
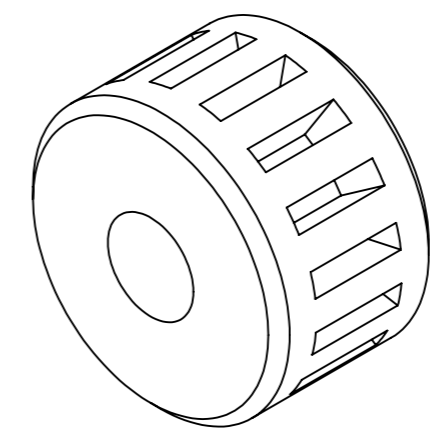
Yuanyi, Mao (1621): *The Wubei Zhi (Treatise on Armament Technology or Records of Armaments and Military Provisions)*



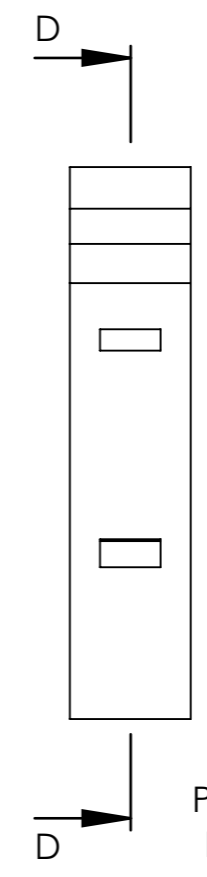
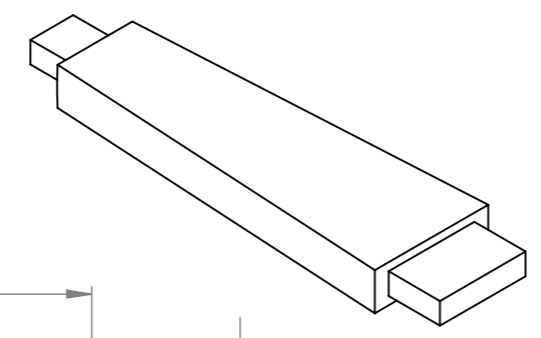
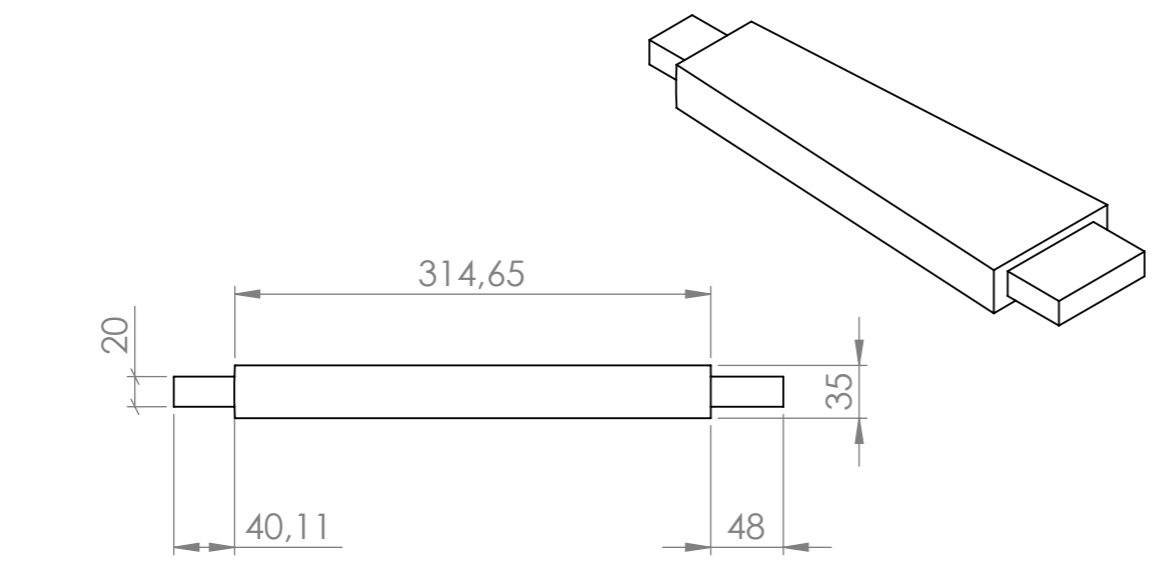
PIEZA A
ESCALA 1 : 5



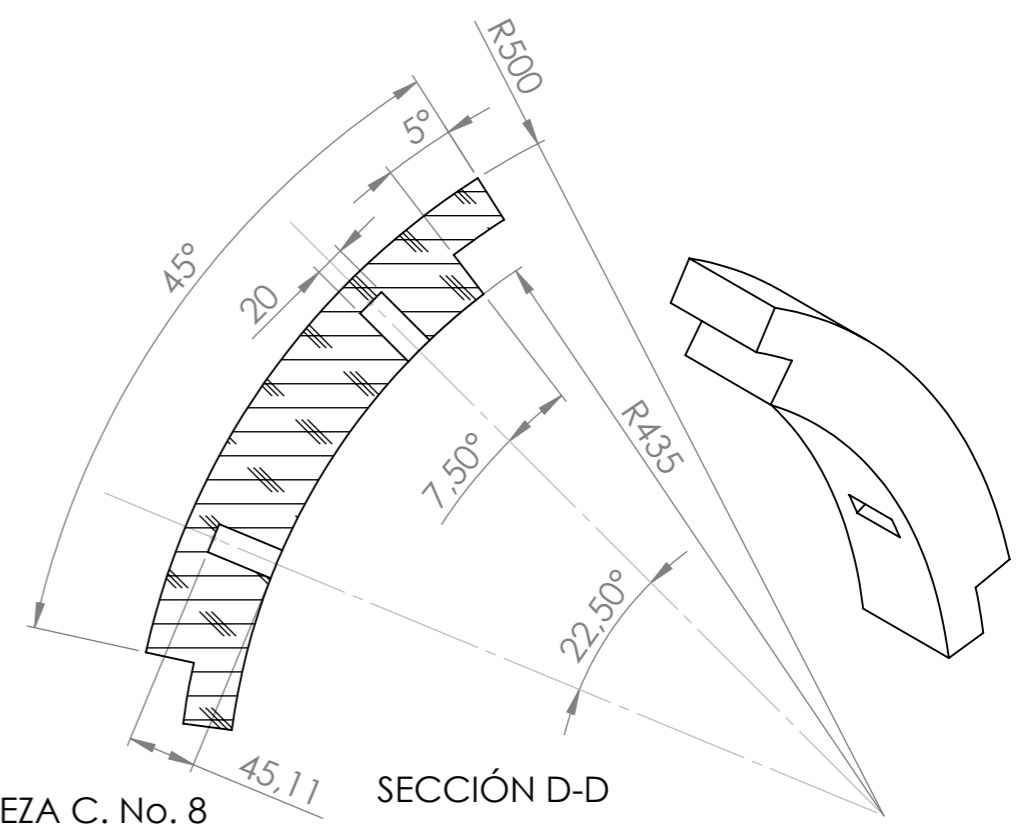
SECCIÓN C-C



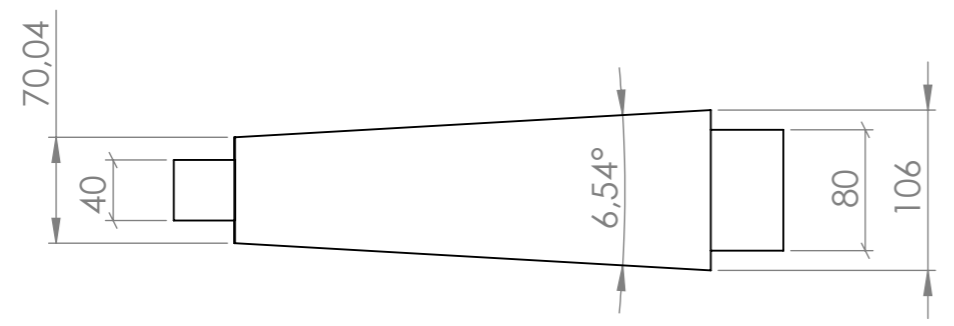
No. 2
ESCALA 1 : 15



PIEZA C. No. 8
ESCALA 1 : 5

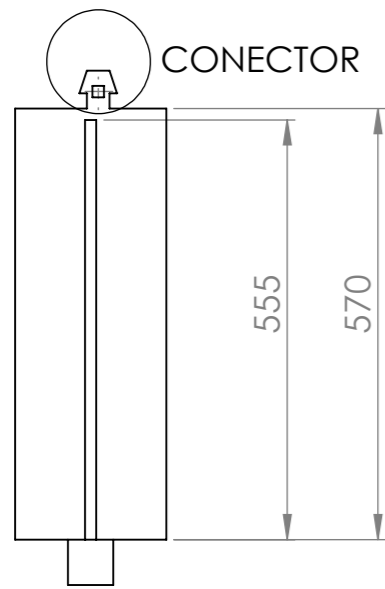


SECCIÓN D-D

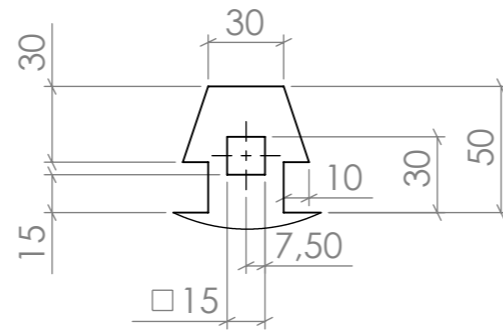


PIEZA B. No. 16
ESCALA 1 : 5

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA | | | | | | TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL | |
| DIBUJ. Patricia Glez. FIRMA FECHA 06/18 | | | | TÍTULO PROYECTO: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano | | | |
| VERIF. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | N.º DE DIBUJO Rueda | | | |
| APROB. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | MATERIAL: MADERA | | ESCALA: E.V. HOJA 1 DE 7 | |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM | | | | | | | |

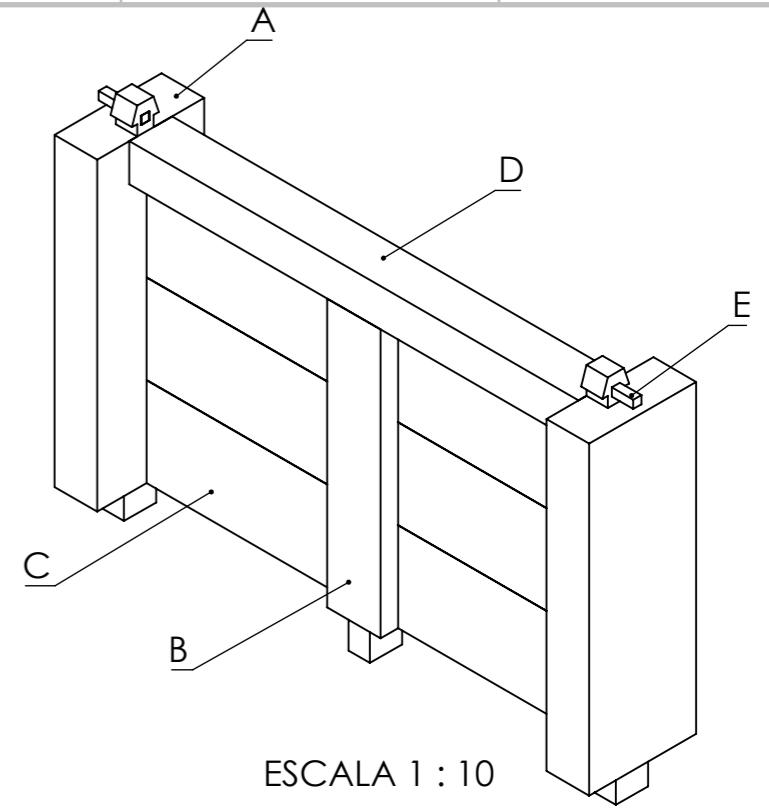


CONECTOR

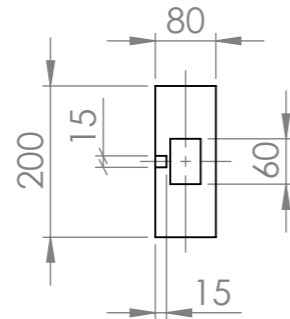
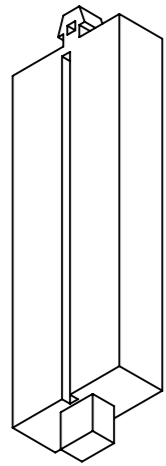


DETALLE CONECTOR
ESCALA 1 : 3

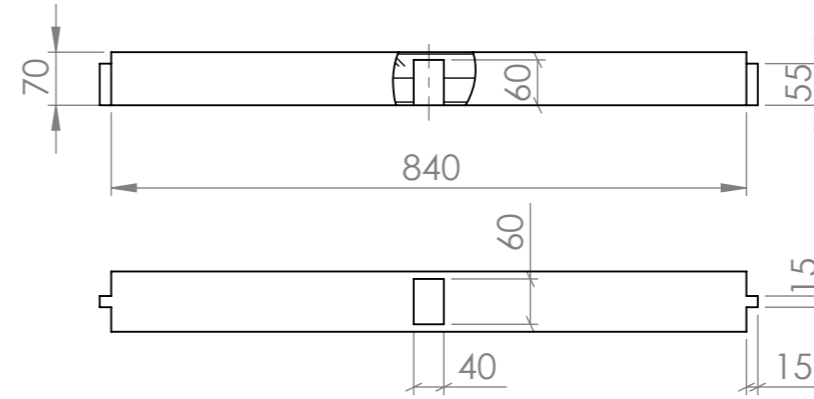
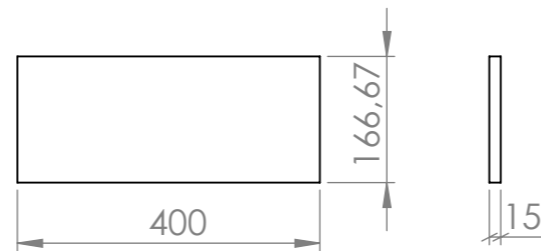
PIEZA A. No. 2
ESCALA 1 : 10



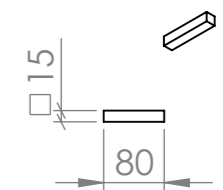
ESCALA 1 : 10



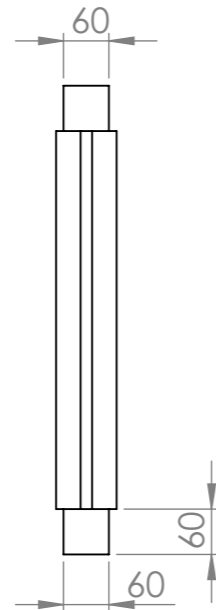
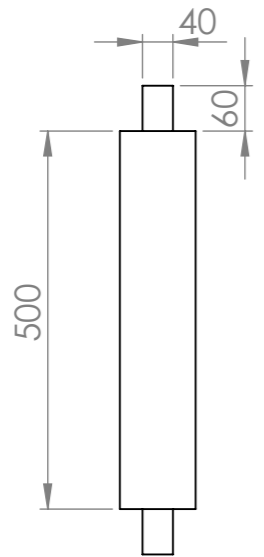
PIEZA C. No. 6
ESCALA 1 : 10



PIEZA D
ESCALA 1 : 10




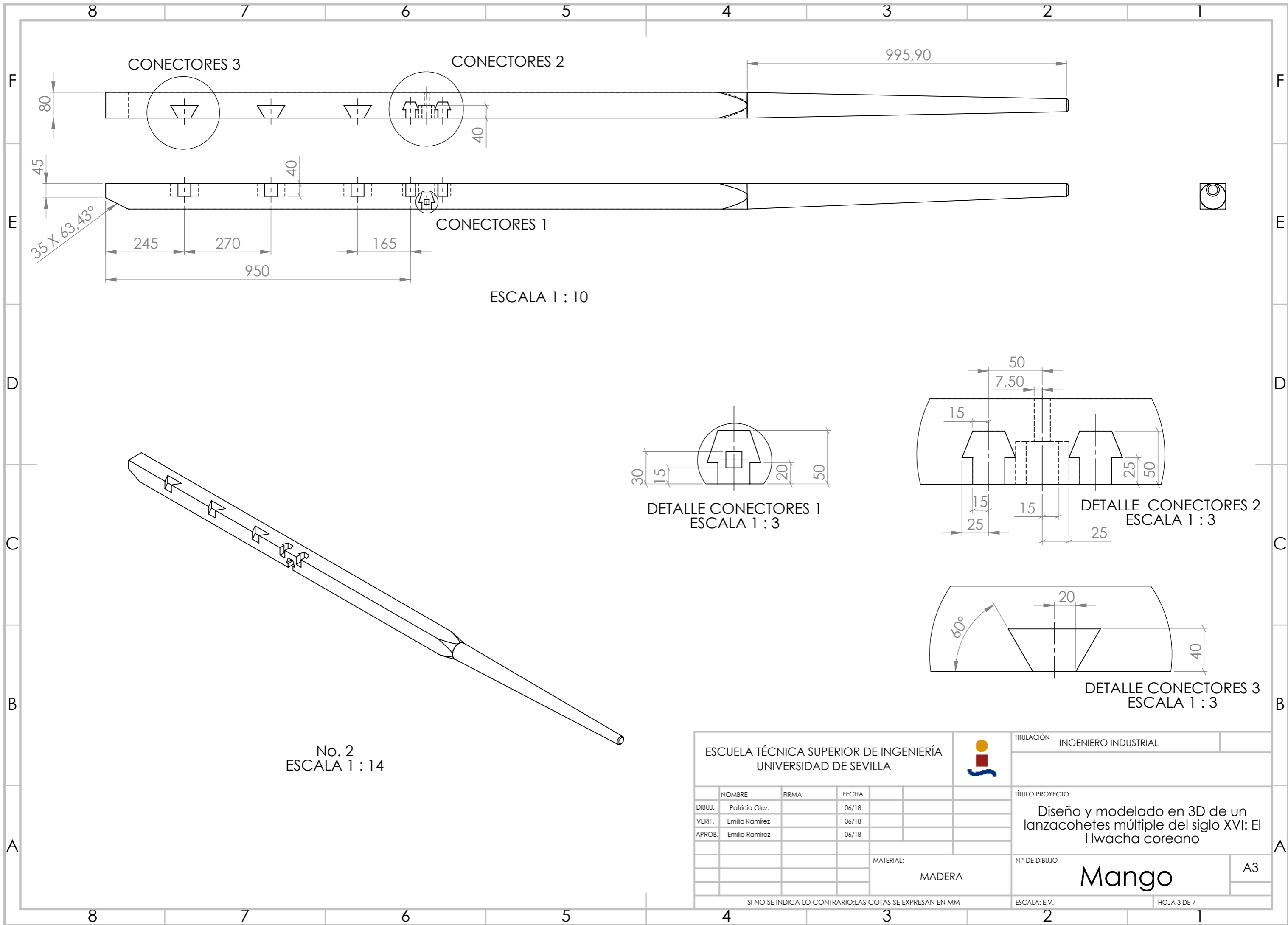
PIEZA E. No. 2
ESCALA 1 : 10



PIEZA B
ESCALA 1 : 10



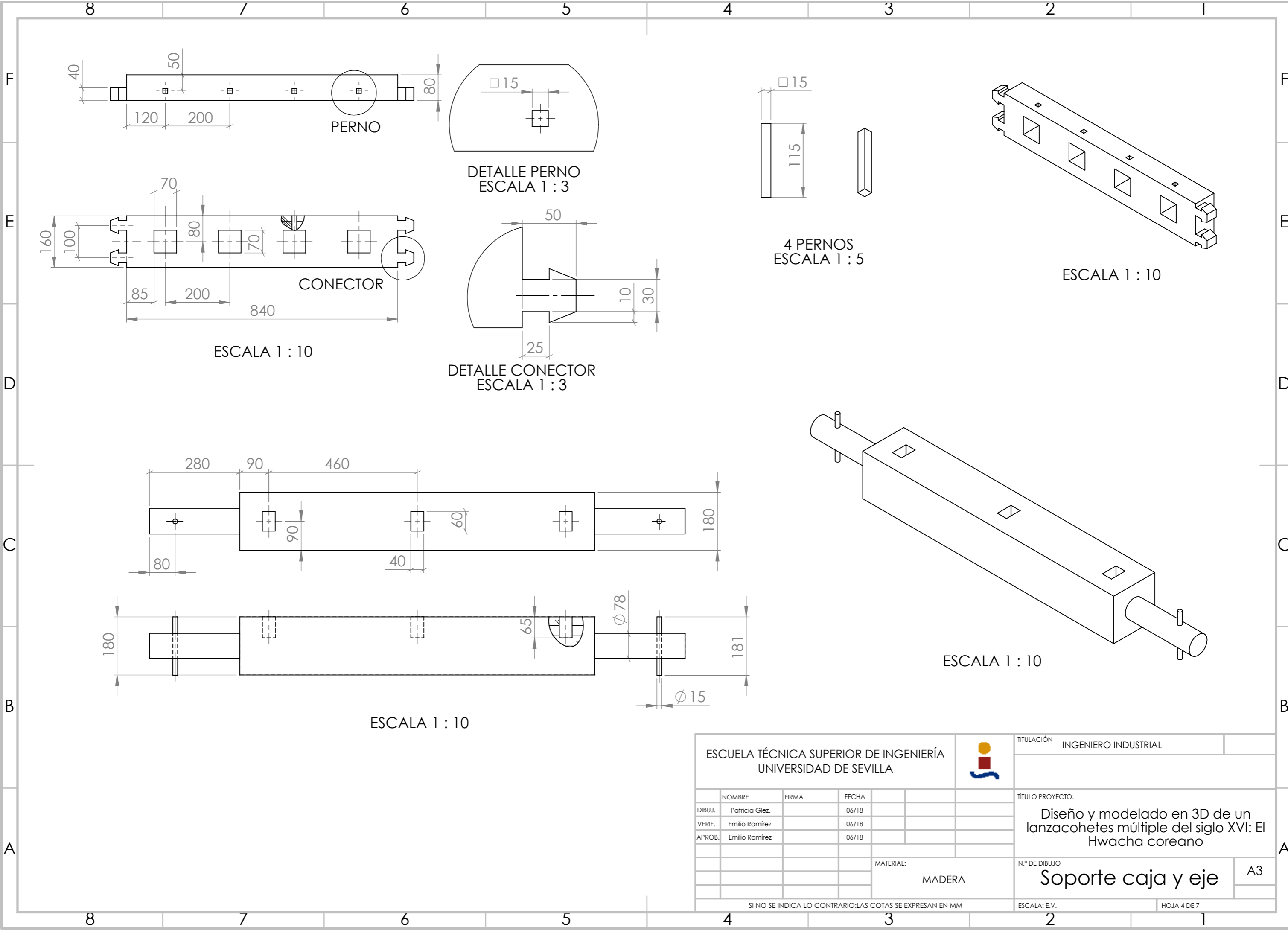
| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA | | | |  | | TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL | |
| DIBUJ. Patricia Glez. FIRMA FECHA 06/18 | | | | TÍTULO PROYECTO: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano | | | |
| VERIF. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | MATERIAL: MADERA | | N.º DE DIBUJO Bajo del carro | |
| APROB. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | ESCALA: E.V. | | A3 HOJA 2 DE 7 | |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM | | | | | | | |



| | | | | | | |
|--|--|--|--|------------------|--|--|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA | | | | | TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL | |
| DIBUJ. Patricia Glez. FIRMA FECHA 06/18 | | | | | TÍTULO PROYECTO: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano | |
| VERIF. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | N.º DE DIBUJO | | |
| APROB. Emilio Ramírez FECHA 06/18 | | | | MATERIAL: MADERA | | |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM | | | | ESCALA: E.V. | | |
| | | | | HOJA 3 DE 7 | | |

Mango

A3



PERNO

DETALLE PERNO
ESCALA 1 : 3

4 PERNOS
ESCALA 1 : 5

ESCALA 1 : 10

CONECTOR

DETALLE CONECTOR
ESCALA 1 : 3

ESCALA 1 : 10

ESCALA 1 : 10

ESCALA 1 : 10

| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA | | | | | | TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|--|--|--|--|-------|-------|--|--|--|-----------------------|--|-------|--|--|--|-----------------------|--|-------|--|--|--|-----------------------|--|-------|--|--|--|--|--|
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ. Patricia Glez.</td> <td></td> <td>06/18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>VERIF. Emilio Ramírez</td> <td></td> <td>06/18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APROB. Emilio Ramírez</td> <td></td> <td>06/18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | | | | | NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | DIBUJ. Patricia Glez. | | 06/18 | | | | VERIF. Emilio Ramírez | | 06/18 | | | | APROB. Emilio Ramírez | | 06/18 | | | | TÍTULO PROYECTO: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano | |
| NOMBRE | FIRMA | FECHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIBUJ. Patricia Glez. | | 06/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VERIF. Emilio Ramírez | | 06/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| APROB. Emilio Ramírez | | 06/18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL: MADERA | | | | | | N.º DE DIBUJO Soporte caja y eje | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM | | | | | | ESCALA: E.V. HOJA 4 DE 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

A3

4 3 2 1

F

F

E

E

D

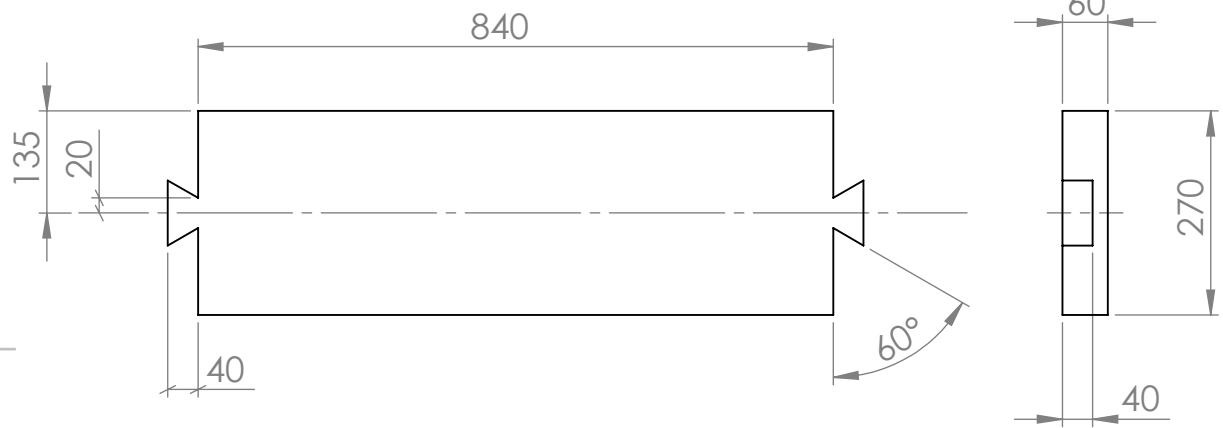
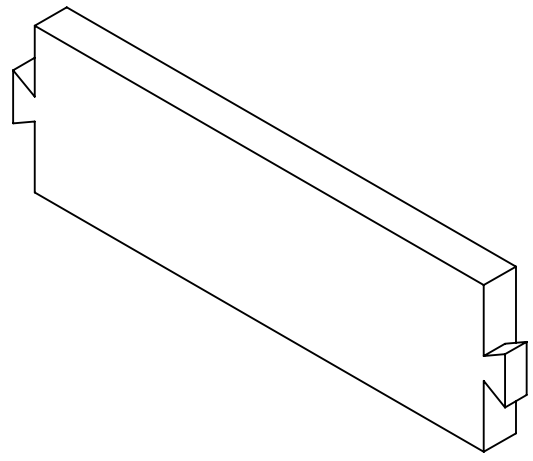
D

C

C

B

B



No. 3

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



TITULACIÓN: INGENIERO INDUSTRIAL

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|----------------|-------|-------|
| DIBUJ. | Patricia Glez. | | 06/18 |
| VERIF. | Emilio Ramirez | | 06/18 |
| APROB. | Emilio Ramirez | | 06/18 |
| FABR. | | | |
| CALID. | | | |

TÍTULO:
Diseño y modelado en 3D de un
lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El
Hwacha coreano

MATERIAL:
MADERA

N.º DE DIBUJO
Lamas del mango

A4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

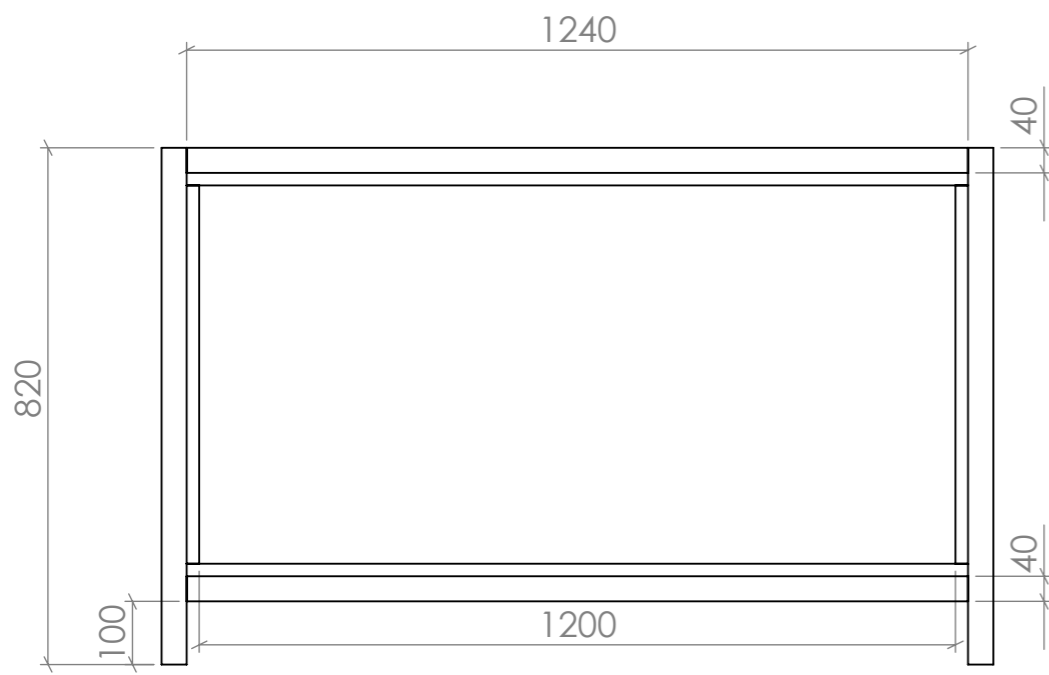
ESCALA:1:10

HOJA 5 DE 7

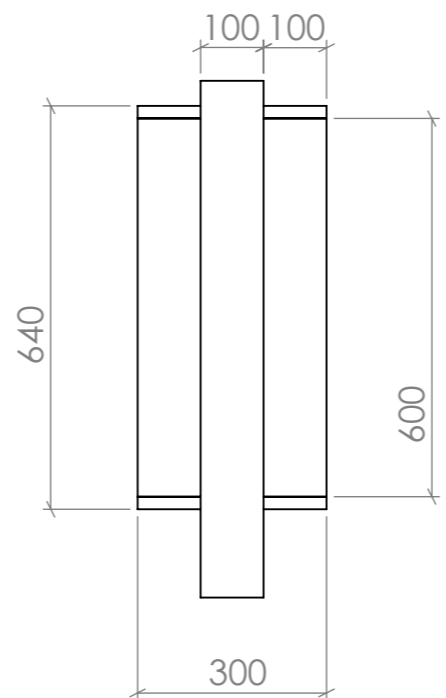
4 3 2 1

A

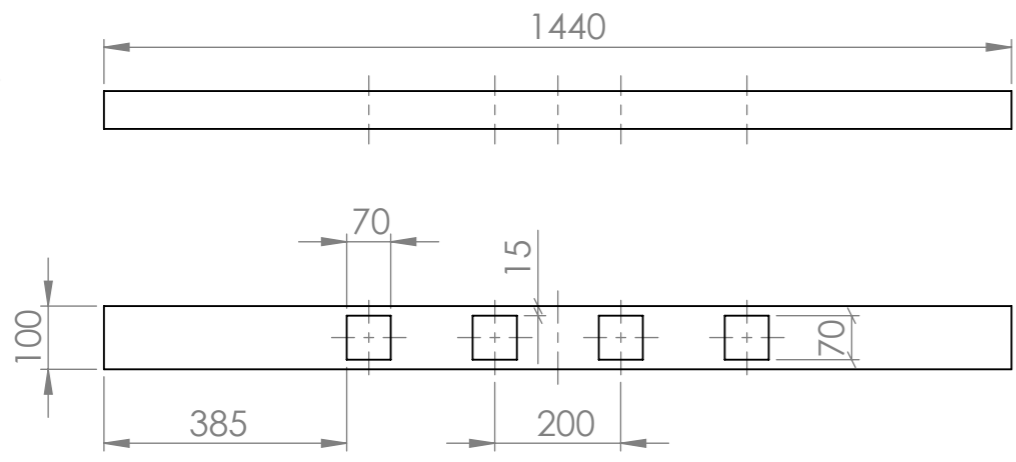
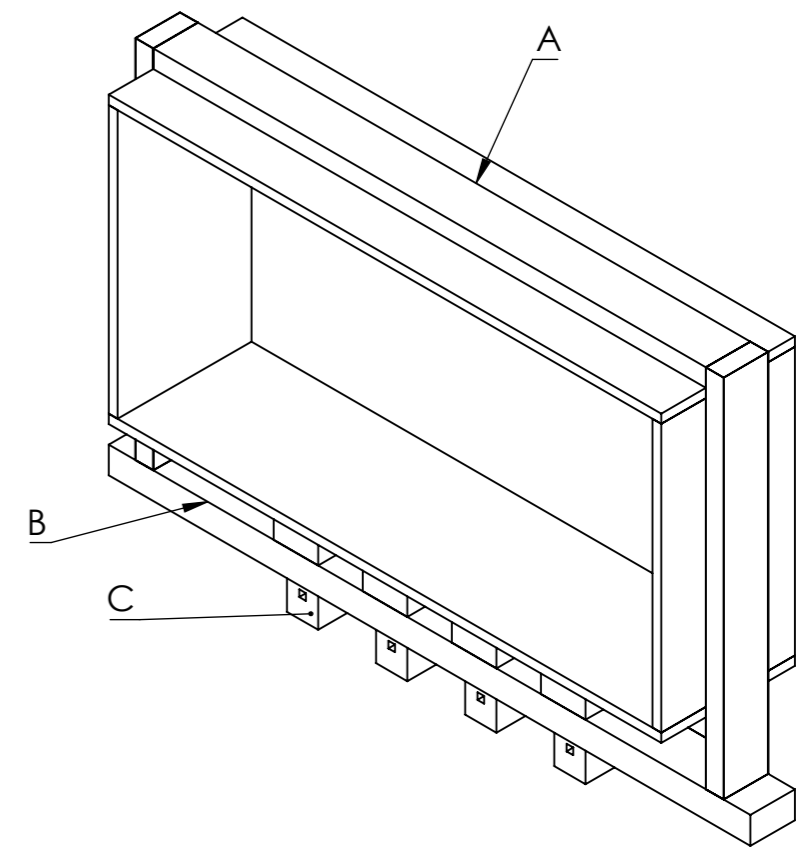
A



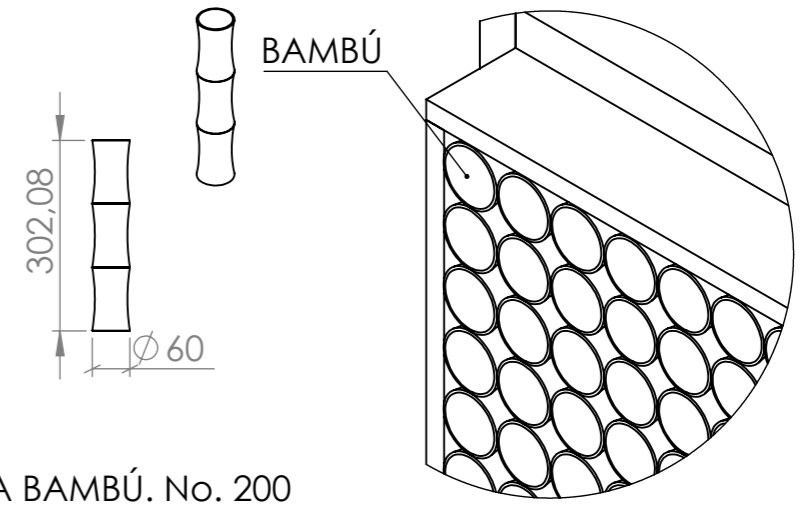
PIEZA A
ESCALA 1 : 12



PIEZA B
ESCALA 1 : 12

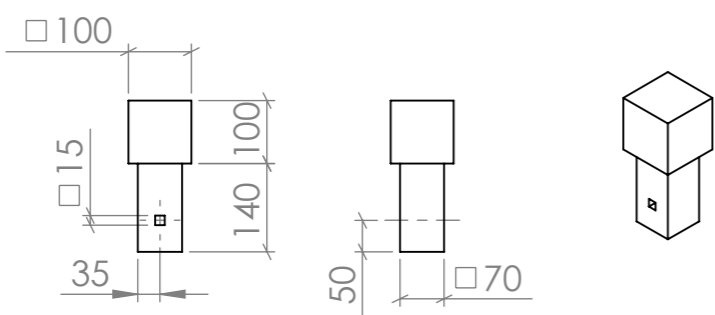


PIEZA C. No. 4
ESCALA 1 : 12

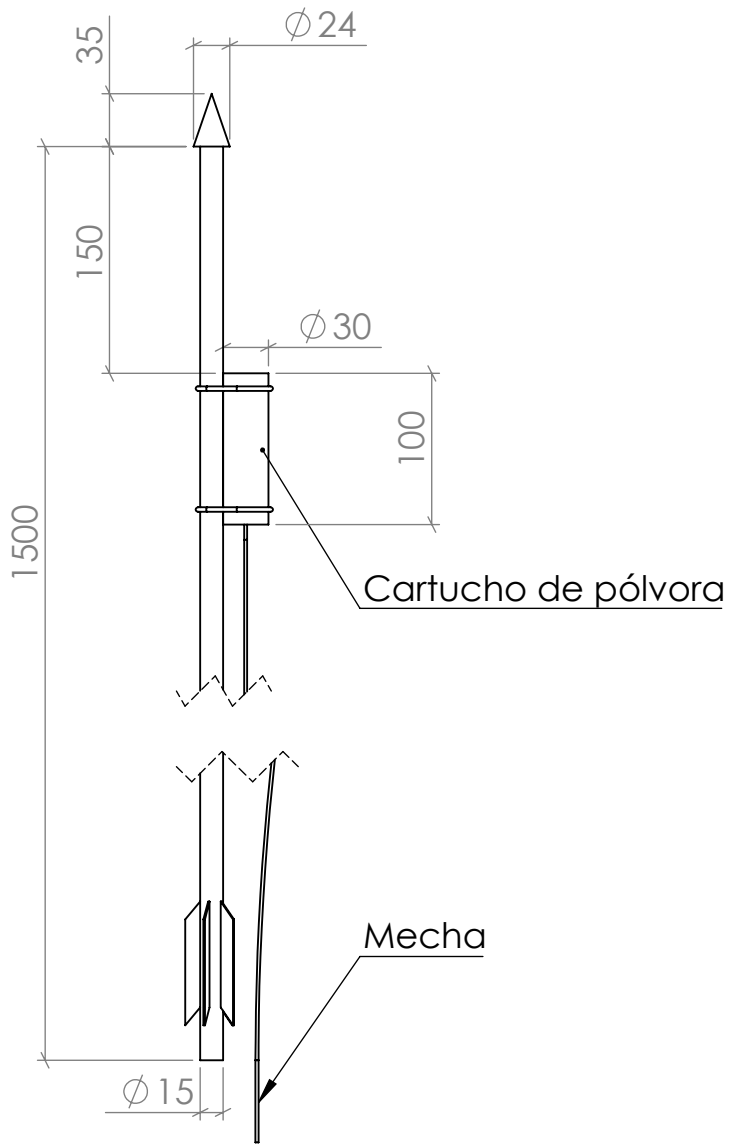


PIEZA BAMBÚ. No. 200
ESCALA 1 : 12

DETALLE BAMBÚ EN CAJA
ESCALA 1 : 6



| | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|------------------------------------|--|
| ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SEVILLA | | | | | | TITULACIÓN INGENIERO INDUSTRIAL | |
| DIBUJ. Patricia Glez. 06/18 VERIF. Emilio Ramírez 06/18 APROB. Emilio Ramírez 06/18 | | | | TÍTULO PROYECTO: Diseño y modelado en 3D de un lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El Hwacha coreano | | | |
| MATERIAL: MADERA | | | | N.º DE DIBUJO Caja | | A3 | |
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM | | | | | | ESCALA: E.V. | |
| | | | | | | HOJA 6 DE 7 | |



No. 200

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



TITULACIÓN: INGENIERO INDUSTRIAL

| | NOMBRE | FIRMA | FECHA |
|--------|----------------|-------|-------|
| DIBUJ. | Patricia Glez. | | 06/18 |
| VERIF. | Emilio Ramirez | | 06/18 |
| APROB. | Emilio Ramirez | | 06/18 |
| FABR. | | | |
| CALID. | | | |

TÍTULO:
Diseño y modelado en 3D de un
lanzacohetes múltiple del siglo XVI: El
Hwacha coreano

MATERIAL:
MADERA, METAL Y BAMBÚ

N.º DE DIBUJO

Flecha

A4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

ESCALA:1:5

HOJA 7 DE 7