



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en
entornos de realidad virtual*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Andrés Cabrera García-Valdés

DIRECTORES: Pablo Falcón Oubiña
Xavier Núñez Nieto

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en
entornos de realidad virtual*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

El empleo de simuladores de realidad virtual en el ámbito de defensa se ha incrementado en los últimos años, adhiriéndose a los programas de formación y perfeccionamiento de nuestras FAS, complementando de forma activa el adiestramiento de las unidades.

Concretamente los simuladores de tipo constructivo, diseñados para adiestrar al mando en la toma de decisiones en todos los niveles son cada vez más relevantes. Permiten al usuario recrear entornos operativos con fidelidad y ponerle en situaciones donde debe decidir la ejecución de una acción u otra. Estos simuladores normalmente emplean dispositivos de RV comerciales como mandos y gafas de realidad virtual.

El presente trabajo expone el diseño, fabricación e implementación de un dispositivo configurable para simulación de tiro que actúe como plataforma estabilizadora de los mandos. Este pretende eliminar de la ecuación el factor de oscilación y precisión que venía asociado a los mandos al ser portados en la mano del usuario, aportando una plataforma estable que además recree los puntos de agarre del fusil HK G36E de nuestras FAS.

Cumpliendo con especificaciones mínimas de diseño como los puntos de agarre de un fusil (pistoleta y guardamanos) aporta una solución viable para emplear el simulador de la forma más efectiva y centrarse en el objetivo principal del mismo.

PALABRAS CLAVE

Diseño Proyectivo, Fusil HK G36E, Impresión 3D, Realidad Virtual, Simulación de combate

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer a mis dos directores de trabajo la implicación y comprensión mostrada hacia el alumno durante toda la realización de este. La mentorización durante el desarrollo ha sido magnífica y no podría estar más contento con el acompañamiento que se me ha dado, intentando sacar lo mejor de uno mismo sin darme el trabajo hecho. Gracias.

Continuando agradecer también a mi familia todo el apoyo mostrado durante estos largos 5 años, en los que me he visto algunas veces superado y sin ellos no habría seguido adelante. Mi apoyo incondicional a lo largo de mi corta pero intensa carrera militar y que tanto consuelo me ha dado. Gracias.

Agradecer también a mi pareja, Judit, todo el cariño, apoyo, palabras de ánimo y motivación necesarias para proseguir en los momentos más duros y cuando no había luz al final del túnel o solo se hacía cuesta arriba. También reseñar el aspecto crítico y corrector que me ha ayudado a no conformarme con lo mediocre y siempre buscar lo mejor. Gracias.

Agradecer a la promoción 423-153 de oficiales de armada todos estos años juntos de momentos y experiencias inolvidables. A los amigos que me llevo para toda la vida y a todo el apoyo que he recibido de ellos junto con lo que he podido aprender.

Agradecer también a Erika, que todos los días nos recibe en el comedor con la mejor de sus sonrisas haga el día que haga y pase lo que pase. Que siempre nos ha puesto un cacito más de comida cuando había mucha hambre y que tanto nos cuida. Gracias.

Agradecer al departamento número 4 de Infantería de Marina el haber templado mi carácter y haber forjado mi espíritu de sacrificio durante 5 años en los que he aprendido los valores que predica el cuerpo. Gracias.

CONTENIDO

Contenido	5
Índice de Figuras	8
Índice de Tablas.....	11
Índice de planos	12
1 Introducción y objetivos	13
1.1 Descripción del apartado.....	13
1.2 Antecedentes	13
1.3 Motivación	14
1.4 Objetivos	14
1.5 Estructura del trabajo	14
2 Estado del arte	16
2.1 Descripción del apartado.....	16
2.2 La simulación y sus aplicaciones	16
2.2.1 Simuladores de vuelo.....	17
2.2.2 Simuladores en la industria.....	17
2.2.3 Simuladores en el ámbito de defensa.....	18
2.3 Gamificación y simuladores de realidad virtual	19
2.3.1 Software de simulación y gamificación.....	19
2.3.2 Simuladores de realidad virtual	20
2.3.3 HTC Vive Pro	20
2.4 Diseño, Ingeniería y Fabricación asistida por ordenador.....	21
2.4.1 Proceso clásico de diseño	21
2.4.2 CAD.....	23
2.4.3 CAE	24
2.4.3.1 FEM	24
2.4.4 CAM	24
2.5 Autodesk Inventor.....	25
2.5.1 Plataforma.....	25
2.5.2 Interfaz	25
2.5.3 Aplicaciones	26
2.6 Impresión 3D.....	26
2.6.1 Origen e Historia.....	26
2.6.2 Tipos	27
2.6.2.1 SLA (Stereolithography)	27

2.6.2.2 SLS (Selective Laser Sintering).....	28
2.6.2.3 FDM (Fused Deposition Modeling)	28
2.6.2.4 Otras tecnologías	29
3 Desarrollo del TFG.....	31
3.1 Descripción del apartado.....	31
3.2 Diseño	31
3.2.1 Inventor.....	31
3.2.2 Especificaciones	32
3.2.3 Modelado	33
3.2.3.1 Cuerpo del dispositivo	33
3.2.3.2 Uniones del cuerpo del dispositivo.....	34
3.2.3.3 Culata.....	37
3.2.3.4 Sujeción del mando.....	40
3.2.3.5 Adaptador fijo.....	40
3.2.3.6 Abrazadera del adaptador fijo.....	43
3.2.3.7 Adaptador de zafado rápido.....	45
3.2.3.8 Abrazadera del adaptador de zafado rápido.....	47
3.2.3.9 Tapón de tope de tubo.....	50
3.2.4 Ensamblaje final	50
3.2.5 Alternativas.....	51
3.2.5.1 Culata alternativa	51
3.2.5.2 Dispositivo con 2 tubos	52
3.3 Fabricación.....	54
3.3.1 Ultimaker Cura	54
3.3.2 Impresión 3D	55
3.3.3 Ensamblaje.....	58
3.4 Pruebas de campo.....	58
4 Resultados	60
4.1 Descripción del apartado.....	60
4.2 Fase de diseño y modelado	60
4.2.1 Resultados.....	60
4.2.2 Errores y correcciones	61
4.2.3 Planos proyectivos	62
4.3 Fase de fabricación.....	84
4.3.1 Resultados.....	84
4.3.2 Errores y correcciones	85

4.4 Fase de pruebas de campo.....	86
4.4.1 Resultados.....	86
4.4.2 Errores y correcciones	87
5 Conclusiones y líneas futuras	88
5.1 Descripción del apartado.....	88
5.2 Conclusiones de los objetivos iniciales.....	88
5.2.1 Diseño y modelado 3D	88
5.2.2 Configurabilidad	88
5.2.3 Estabilización.....	88
5.3 Objetivos adicionales	89
5.3.1 Fabricación	89
5.4 Líneas futuras	89
6 Bibliografía.....	90
Anexo I: Implicaciones Sociales, Económicas y Ambientales	92
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	93
Anexo III: Presupuesto detallado	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Simulador de vuelo del Ejército del Aire y del Espacio [2]	17
Figura 2-2 Simulador de navegación en la ENM [6]	18
Figura 2-3 Sistema de entrenamiento Duelo [8]	19
Figura 2-4 Sistema HTC Vive Pro [11].....	21
Figura 2-5 Proceso clásico de diseño [12].....	22
Figura 2-6 Proceso de diseño asistido por ordenador. Autoría propia basada en [12]	23
Figura 2-7 CAD / CAM / CAE [15].....	24
Figura 2-8 Interfaz Inventor. Autoría propia.....	25
Figura 2-9 Chuck Hull, creador de la primera patente de SLA [17]	26
Figura 2-10 Impresora de SLA [13]	27
Figura 2-11 Impresora de SLS [13].....	28
Figura 2-12 Impresora FDM [13].....	29
Figura 2-13 Impresora SGC [13].....	29
Figura 2-14 Impresora BPM [13]	30
Figura 3-1 Fases del trabajo	31
Figura 3-2 Esquema del dispositivo sobre HK G36 E. Autoría propia basada en [19].....	32
Figura 3-3 Vista de sección de uno de los tubos	33
Figura 3-4 Estructura diseñada con tubo de aluminio de 30 mm	33
Figura 3-5 Unión hembra para tubo de 30 mm	35
Figura 3-6 Unión macho para tubo de 30 mm.....	35
Figura 3-7 Vista lateral de la unión macho	35
Figura 3-8 Palometa para apriete de uniones	36
Figura 3-9 Vista seccionada de la palometa	36
Figura 3-10 Ensamblaje de las uniones con tornillo y tuerca M6 y palometa	36
Figura 3-11 Culata con interfaz.....	37
Figura 3-12 Posiciones posibles para la culata.....	38
Figura 3-13 Vista isométrica de la culata con interfaz	38
Figura 3-14 Detalle de los empalmes de la culata.....	39
Figura 3-15 Vistas isométricas de la unión de la culata al cuerpo	39
Figura 3-16 Empuñe HK G36 E [20]	40
Figura 3-17 Esquema de agarre del dispositivo con mandos	40
Figura 3-18 Medidas tomadas al mando en su base	41
Figura 3-19 Operaciones de elevación sobre sujeción del mando.....	42
Figura 3-20 Vaciado de la sujeción mediante elevación	42
Figura 3-21 Detalle del relieve para mejora de agarre	43

Figura 3-22 Vistas isométricas de la sujeción fija del mando	43
Figura 3-23 Vista lateral y corte de sección transversal de la abrazadera.....	43
Figura 3-24 Abrazadera mando fija vista isométrica	44
Figura 3-25 Detalles del alojamiento de la tuerca M6 y de la cola	44
Figura 3-26 Ensamblaje del adaptador fijo al cuerpo vista isométrica	45
Figura 3-27 Vista frontal del ensamblaje anterior Figura 3-26	45
Figura 3-28 Detalle del alojamiento del imán (vista lateral).....	46
Figura 3-29 Detalle del alojamiento del imán (vista isométrica)	46
Figura 3-30 Abrazadera mando zafado rápido vista isométrica.....	47
Figura 3-31 Vista isométrica inferior de Figura 3-30.....	47
Figura 3-32 Vista de lateral con el raíl resaltado en verde	48
Figura 3-33 Vista en detalle de los raíles	48
Figura 3-34 Ensamblaje del adaptador al cuerpo	49
Figura 3-35 Vista de corte de la unión	49
Figura 3-36 Vistas isométricas del tapón	50
Figura 3-37 Detalle del tapón instalado en el extremo del dispositivo	50
Figura 3-38 Ensamblaje de todas las piezas del dispositivo.....	51
Figura 3-39 Vista lateral de la culata alternativa.....	52
Figura 3-40 Comparativa de la culata alternativa y la del HK.....	52
Figura 3-41 Vista isométrica del dispositivo de 2 tubos con culata alternativa	53
Figura 3-42 Vista lateral del dispositivo de 2 tubos con culata alternativa.....	53
Figura 3-43 Interfaz Ultimaker Cura	54
Figura 3-44 Detalle del proceso de slice y capas	54
Figura 3-45 Impresora Creality Ender-5 Pro.....	55
Figura 3-46 Características de impresión en Cura	56
Figura 3-47 Detalle apoyo de árbol (estructura de color azul).....	56
Figura 3-48 Impresión vertical y horizontal de uniones.....	57
Figura 3-49 Culata impresa con apoyo de árbol.....	57
Figura 3-50 Detalle de una unión atornillada	58
Figura 3-51 Detalle del agarre por imán	58
Figura 3-52 Prueba en el simulador de combate del laboratorio del CUD-ENM	59
Figura 4-1 Imagen renderizada del sistema ensamblado.....	60
Figura 4-2 Ensamblaje con vista alámbrica y aristas ocultas	61
Figura 4-3 Ensamblaje con vista alámbrica de perfil	61
Figura 4-4 Ensamblaje final del sistema	84
Figura 4-5 Montaje con correa portafusil y colocación.....	84

Figura 4-6 Comparativa de la posición de la pieza al imprimir 85

Figura 4-7 Usuario ejecutando simulación de tiro con el sistema estabilizador 86

Figura 4-8 Código QR para video demostración.....87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Numeración de piezas diseñadas.....	33
Tabla 3-2 Comparativa Aluminio-Acero inoxidable.....	34
Tabla 4-1 Presupuesto del trabajo	85
Tabla A3-1 Presupuesto gasto material.....	94
Tabla A3-2 Presupuesto gasto luz	95
Tabla A3-3 Presupuesto de materiales de montaje	96

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 01 Conjunto a color isométrico.....	63
Plano 02 Conjunto blanco y negro isométrico.....	64
Plano 03 Configuraciones posibles del sistema.....	65
Plano 04 Vistas del sistema.....	66
Plano 05 Explosionado con listado de piezas	67
Plano 06 Subconjunto culata.....	68
Plano 07 Subconjunto unión	69
Plano 08 Subconjunto adaptador fijo	70
Plano 09 Subconjunto adaptador imán	71
Plano 10 Culata	72
Plano 11 Unión culata al cuerpo	73
Plano 12 Tubo corto.....	74
Plano 13 Piecerío 1	75
Plano 14 Unión hembra tubos.....	76
Plano 15 Unión macho tubos con argolla	77
Plano 16 Piecerío 2	78
Plano 17 Tubo largo.....	79
Plano 18 Abrazadera adaptador mando fijo.....	80
Plano 19 Adaptador mando fijo	81
Plano 20 Abrazadera adaptador mando imán	82
Plano 21 Adaptador mando imán.....	83

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Descripción del apartado

En este apartado se explica cuáles son los precedentes del ámbito de aplicación y como se ha llegado hasta este trabajo. Se expondrá razonadamente el por qué se ha decidido continuando con los objetivos planteados para su desarrollo. Por último, se expone la estructura que va a tener el trabajo con sus apartados.

1.2 Antecedentes

Durante la historia reciente se han dado numerosas revoluciones industriales siendo, la última de estas, la llamada 4.0, en la que nos encontramos inmersos ahora mismo. Esta revolución ha cambiado por completo la forma en la que se concibe la industria y la fabricación. Los procesos y formas de comunicación han evolucionado y nos hemos especializado en nuevas tecnologías como pueden ser: la robótica colaborativa, el *Big Data*, la visión artificial, el IoT (*Internet of Things*), los sistemas Cíber-físicos, la impresión 3D o la realidad aumentada.

Esta última es de especial relevancia no sólo en el ámbito industrial, pudiendo llegar a implementarse en otros como medicina y salud (por ejemplo, para simulaciones de intervenciones quirúrgicas o asistencia de emergencias), el transporte (simuladores de vuelo, conducción o de navegación) o la educación.

A su vez, esta nueva tecnología permite la recreación de supuestos o ensayos de procesos que anteriormente eran inconcebibles, o que, por el contrario, se debían de realizar de forma física. Al poder realizarlos ahora de forma virtual se abaratan costes, optimizando los procesos y mejorando de forma global en todos los aspectos.

La implementación de esta tecnología no ha pasado inadvertida en materia de Seguridad y Defensa. La capacidad que otorga la realidad aumentada o un simulador de entornos virtuales es cada vez mayor, mejorando con cada año sus posibilidades de implementación y uso como forma de enseñanza y adiestramiento. Los entornos en los que operan nuestra Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y Fuerzas Armadas son cada vez más complejos siendo difícil la recreación física de estos para su adiestramiento, por lo que la alternativa de la simulación de RV es una opción cada vez más viable no solo permitiendo al combatiente complementar su preparación si no abaratar costes en la misma.

Conforme a todo esto la motivación para el uso de simuladores y entornos inmersivos en Defensa es algo realista, siendo necesaria la investigación y desarrollo para su total implementación de forma complementaria en el programa de formación y adiestramiento de nuestras FAS.

1.3 Motivación

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, y viendo que cada vez es más patente que el uso de simuladores para complementar el entrenamiento de nuestras Fuerzas Armadas es algo necesario, nos encontramos en la encrucijada de decidir en qué ámbito concreto se va a implementar este entorno de realidad virtual.

Si bien es importante el adiestrar al personal en el manejo de equipos y plataformas específicas y que estos simuladores puedan recrearlos de forma fidedigna, también es de vital trascendencia la mejora de la toma de decisiones por parte de los mandos intermedios. El ejercicio del mando en situaciones de combate, ya sea de baja o alta intensidad es crucial y determinante, ya que de estas dependen la vida y la integridad física de los integrantes de una unidad.

Para paliar estas situaciones existen los simuladores constructivos, que a diferencia de los de plataforma o duelo, estos se centran en generar entornos en los que el mando debe decidir sobre una situación específica. En estos no es de crucial importancia la recreación de sensaciones y realismo de los equipos portados, si no que el usuario sea capaz de reaccionar y tomar la decisión pertinente y adecuada. Por ello estos simuladores usan dispositivos de inmersión más comerciales como el uso de unas gafas de RV y mandos estándar.

Una buena forma de que el personal haga uso de estos simuladores no tenga que estar pendiente de la estabilidad de la simulación, es que los dispositivos empleados para la misma no sean un incordio o una molestia que dificulte la experiencia inmersiva. Por ello se buscará en este trabajo aportar una plataforma estabilizadora para los dispositivos de inmersión que facilite al usuario su correcto uso y se llegue al fin para el que se está empleando el simulador.

1.4 Objetivos

Con la finalidad de mejorar la posibilidad de implementación de los simuladores en el adiestramiento de las FAS y más concretamente el uso de estos en la Escuela Naval Militar el presente trabajo busca desarrollar un dispositivo configurable estabilizador para simulación de tiro en entornos de realidad virtual.

Por ello, el trabajo presenta los siguientes objetivos principales:

- Diseño y modelado 3D: buscando la creación de un dispositivo con las características requeridas mínimas el objetivo es la obtención un diseño CAD 3D que permita la realización de planimetría y la generación de archivos para su fabricación futura.
- Configurabilidad: que el dispositivo permita adaptarse no sólo al usuario si no que se pueda articular de tal manera que pueda simular diferentes posiciones de tiro o armamento empleado en las FAS.
- Estabilización: el dispositivo debe eliminar un factor clave que resta capacidad de inmersión al simulador, la estabilización de los mandos al ser portados en la mano por el usuario. Con esto se espera que el dispositivo pueda acometer tal tarea y hacer que la experiencia sea más realista.

A mayores se le ha sumado un objetivo adicional de poder ser completado:

- Fabricación: desarrollo de un prototipo funcional mediante impresión 3D para su implementación y prueba en el simulador.

1.5 Estructura del trabajo

La estructura del trabajo presentará el formato establecido por el Centro Universitario de la Defensa y será el siguiente:

- Introducción y Objetivos: antecedentes del entorno de aplicación, la motivación del trabajo y los objetivos planteados.
- Estado del arte: un contexto acerca de los ámbitos de aplicación del trabajo.
- Desarrollo del TFG: apartado donde figuran todas las fases del proyecto y su descripción detallada por pasos. Compendio de todos los trabajos necesarios para desarrollarlo y llegar a los resultados.
- Resultados: los resultados obtenidos por cada apartado del desarrollo del TFG.
- Conclusiones y líneas futuras: se hace un resumen global de los resultados obtenidos llegando a unas conclusiones que afectan o no a su posterior desarrollo. Resumen del alcance y consecución de los objetivos del trabajo.
- Bibliografía
- Anexos

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción del apartado

En el segundo apartado de este trabajo se expondrá toda una contextualización del ámbito en el que se va a trabajar, haciendo un breve repaso por los conceptos más relevantes para su mejor entendimiento.

Se tratarán conceptos como la simulación y la gamificación junto con los entornos de VR (realidad virtual) así como sus aplicaciones en materia de defensa. También se expondrá el uso de programas de diseño 3D y CAD e impresión 3D

2.2 La simulación y sus aplicaciones

Para explicar este concepto podemos remontarnos a su origen etimológico en el latín con dos partes diferenciadas que son “*similis*” y el sufijo “*ion*”. La primera nos hace referencia a que es semejante o parecido. Por otro lado, la terminación *ión* se usa para denotar una acción o condición. Podría entenderse entonces la simulación como acción de hacer algo parecido, entendiéndose por parecido recrear algo que existe mediante una actividad. Para la RAE, simulación se describe como *acción y efecto de simular* [1] significado genérico de la palabra pero que describe de forma breve el fin último del objetivo.

Para el ámbito del trabajo, la simulación es el acto de recrear un entorno que imite la realidad o aspectos de esta misma y utilizarlo para experimentar, trabajar o incluso con fines de adiestramiento y mejora. Con la simulación se busca una representación fidedigna de la realidad para poder tomar decisiones o realizar acciones lo más parecidas a las que nos encontraríamos de verdad.

Además de todo esto se busca realizar estas acciones en un entorno seguro para el usuario, eliminando las consecuencias y daños que podrían tener realizar estas mismas acciones en un entorno real. Esto nos permite realizar de forma continuada ensayos que de hacerlos de forma real conllevarían unos costes muy altos con la posibilidad incluida de lesiones graves o fatales para el usuario.

Aunque la simulación no es una representación exacta de la realidad sí que suele ser una reproducción fiel de la misma lo que permite un aprendizaje basado en dicha simulación, apareciendo entonces el concepto de gamificación del que se hablará más adelante.

Las aplicaciones de la simulación son prácticamente infinitas, dependiendo del ámbito de aplicación y de los recursos empleados. Algunos de los usos más extendidos de la simulación se encuentran en la aeronáutica, la industria, la medicina o simplemente en el entretenimiento. En algunos de estos usos y aplicaciones entraremos ahora en más detalle.

Por último, destacar la importancia de la investigación y el desarrollo en esta área de competencias, que poco a poco va ganando relevancia en el paradigma actual en que nos encontramos inmersos.

2.2.1 Simuladores de vuelo

Es conocido actualmente que los simuladores de vuelo son los más extendidos en cuanto a recreación y representación de un entorno casi real que permite el aprendizaje y la mejora de los usuarios con coste muy reducido. Este tipo de simuladores permite la práctica repetida del personal sin exponerse directamente a las condiciones de realizar dichas prácticas en un entorno real, reduciendo totalmente la probabilidad de accidente o daños sobre el usuario.

Además de esto también abarata los costes de entrenamiento de los pilotos debido a que se ahorra el combustible, mantenimiento y tiempo de preparación y empleo de una aeronave real, siendo una opción muy viable en la preparación de los pilotos. Por otro lado, hay ciertos aspectos de la realidad que en este caso un simulador no podría recrear tan bien como es la exposición a fuerzas G extremas si las hubiese o el efecto real de una situación de estrés en los pilotos.



Figura 2-1 Simulador de vuelo del Ejército del Aire y del Espacio [2]

Los simuladores de vuelo son ampliamente utilizados en la aviación civil pero también en la militar como es el ejemplo del Ejército del Aire y del Espacio Figura 2-1, que emplea en sus academias de vuelo simuladores específicos de sus aeronaves como puede ser los de *Eurofighter* diseñados por Indra [3].

Este tipo de simuladores son cada vez más accesibles para el público en general, llegando a poder ser adquiridos por particulares.

2.2.2 Simuladores en la industria

Con la llegada de la llamada 4ª Revolución industrial, y por tanto la Industria 4.0, aparece el uso extendido de los simuladores en la industria de fabricación. En ella aparecen conceptos y especializaciones como la realidad aumentada, el *IoT* o la impresión 3D, materia estudiada en la asignatura Oficina Técnica [4] [5]. Es aquí donde cobran importancia los simuladores de procesos.

En el auge de esta nueva revolución los simuladores de procesos evolucionan, que no aparecen por primera vez, y con ello su forma de implementarlos. Básicamente es un mapa virtual de un proceso industrial concreto que permite que sea más productivo, seguro y preciso, eliminando errores durante el mismo, optimizándolo y reduciendo los riesgos del personal implicado. Además, permite una previsión futura y realizar cálculos de forma rápida y fiable.

De las múltiples ventajas que se obtienen del empleo de simuladores de procesos tenemos:

- Optimización en tiempos y recursos del proceso
- Diseño y optimización de plantillas de trabajo
- Detección y predicción de errores, así como su modelización
- Modelización de equipos y maquinaria

2.2.3 Simuladores en el ámbito de defensa

Desde hace poco más de una década las Fuerzas Armadas Españolas han apostado por dotar a nuestros ejércitos con cada vez mejores equipos de simulación, no solo para el ambiente aéreo con simuladores de vuelo para pilotos si no también con marítimos Figura 2-2 e incluso terrestres (ejemplo de simulador de carro de combate *Leopard*).

El objetivo de estos sistemas es ser una herramienta más de adiestramiento para nuestras unidades, ayudando no solo en la preparación para el combate o instrucción a sistemas de combate si no también en la toma de decisiones y conducción de operaciones. Usando un entorno virtual seguro que recrea situaciones reales se consigue una mejora en los programas de formación de los centros docentes militares de formación y de perfeccionamiento, así como en unidades de destino, eliminando la parte de riesgo para el usuario que tendría el realizarlo de forma real.

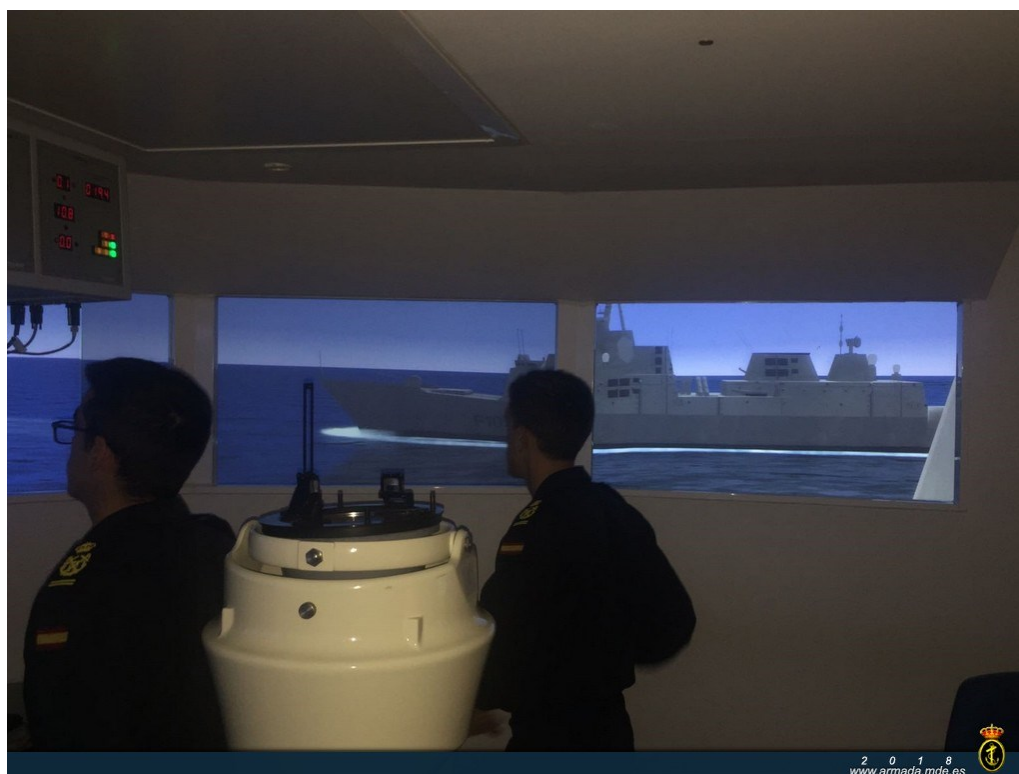


Figura 2-2 Simulador de navegación en la ENM [6]

La principal ventaja de los simuladores es la reducción en costes de consumo tanto de municiones como de combustible. Aunque estos equipos requieran una inversión inicial grande y un mantenimiento constante con el tiempo el ahorro a la larga es algo innegable como se menciona en la Revista Española de Defensa N°283 *“Los equipos de simulación no son baratos y tienden a incrementar el coste del programa del sistema de armas al que se asocian, aunque a medio y largo plazo son rentables. En este sentido, el ahorro en horas de vuelo reales del helicóptero de ataque Tigre supondrá la amortización de su simulador en apenas dos años”*. [7]

Dentro de los sistemas de simulación en el ámbito de defensa nos encontramos principalmente 3 tipos de simulador, de plataforma, constructivos y de enfrentamiento o duelo, que serán descritos más en detalle a continuación:

- De plataforma, usados para el adiestramiento de las dotaciones de distintos sistemas de combate tanto aéreos como marítimos y terrestres.
- Constructivos, empleados para adiestrar al mando en la toma de decisiones a todos los niveles (táctico, operacional y estratégico) simulando enfrentamientos en entornos variables con fuerzas enemigas, propias y neutrales. Son conocidos también como “Juegos de Guerra” o “*Wargaming*”.
- De enfrentamiento o de duelo, utilizan sistemas integrados en el armamento del combatiente y mediante iluminación marcan al adversario para indicar un impacto. Un ejemplo de esto es el simulador de tiro VICTRIX o también el Sistema Duelo Figura 2-3.



Figura 2-3 Sistema de entrenamiento Duelo [8]

El objetivo a largo plazo de los simuladores de defensa es que en un futuro consigan ser interoperables entre ellos. Se quiere buscar que participando en una red conjunta se permita la realización de ejercicios a gran escala combinando simuladores de plataforma y constructivos para que las decisiones tomadas por el mando sean ejecutadas por personas físicas desde otro simulador y no el propio sistema. Esto ayuda y mejora la interoperabilidad de las unidades facilitando una integración entre ejércitos para operaciones conjuntas.

A pesar de todo esto, un simulador nunca podrá suplantar a la realidad ni sustituir al completo el adiestramiento en el propio terreno y con la plataforma real si no complementarlo y ahorrar costes en ciertos aspectos.

2.3 Gamificación y simuladores de realidad virtual

2.3.1 Software de simulación y gamificación

Un software de simulación no es más que un programa que intenta representar mediante un ordenador un modelo de una situación real o hipotética. Mediante la introducción de variables en este modelo se pueden diseñar diferentes situaciones y acciones que afecten directamente al comportamiento del sistema o del propio usuario. Este puede ser empleado con múltiples fines desde el meramente lúdico y de entretenimiento al de enseñanza o entrenamiento. Es por eso que surge el término de gamificación: la gamificación es el uso de juegos, videojuegos o simuladores en contextos no lúdicos como metodología de motivación a los alumnos. [9]

Estos últimos son cada vez más utilizados en una gran variedad de ambientes de educación y enseñanza siendo implementados poco a poco como forma alternativa de aprendizaje al condicionamiento clásico.

2.3.2 Simuladores de realidad virtual

Hoy en día es una práctica cada vez más común el empleo de tecnologías móviles y ordenadores como herramientas didácticas. La implementación de la realidad virtual y la aumentada se ha convertido en una tendencia en la educación, así lo demuestran informes como *Horizon Report 2016* (Johnson, Adams, Cummins, Estrada, Freeman, & Hall, 2016). El Diccionario de Oxford (Oxford University Press, 2018) define la realidad virtual como “La simulación, generada por ordenador, de una imagen o un entorno tridimensional con el que una persona puede interactuar de forma aparentemente real o física utilizando un equipo electrónico especial, como un casco con una pantalla en su interior o unos guantes provistos de sensores” [10].

Aunque un entorno de realidad virtual (RV) puede ejecutarse desde un PC y visualizarse en un monitor (RV de sobremesa), el uso de dispositivos inmersivos como gafas o pantallas montadas en la cabeza (*Head-Mounted Displays* o HDM) hacen que esta experiencia sea mucho más inmersiva. De esta manera el usuario puede abstraerse del entorno que le rodea y sumergirse por completo en otro de aprendizaje virtual mucho más controlado y seguro.

Estas tecnologías se han vuelto cada vez más accesibles al público en general, como por ejemplo la aparición del *Google Cardboard*. Cualquier persona con un teléfono móvil *smartphone* y una pequeña inversión de dinero podía adquirir un dispositivo compatible con Google. Algunos ejemplos de dispositivos de VR que no necesitan de un PC para funcionar o son inalámbricos pueden ser el *Oculus Go*, el *Oculus Quest* o el *Lenovo Mirage Solo*, todos del año 2019.

Por otro lado, las tecnologías de VR de alto rendimiento y prestaciones suelen ser conectadas a un PC. Estas ofrecen una calidad inmersiva para sus aplicaciones mucho mayor que las versiones inalámbricas o que no requieren del uso de una computadora de sobremesa. Entre las más populares destacan el *Oculus Rift S* y el *HTC VIVE PRO*, que será el empleado en este trabajo en cuanto al diseño se refiere. Otra alternativa a estos es la propuesta de Sony con *Playstation VR* que es compatible con la plataforma *Playstation 4 Plus* [10].

2.3.3 HTC Vive Pro

Dentro de todos los dispositivos de inmersión en realidad virtual (VR) o de simulación que nos podemos encontrar a nivel comercial destaca el HTC Vive. Actualmente es usado en el laboratorio de investigación del CUD-ENM Marín, concretamente el modelo HTC Vive Pro 1 Figura 2-4. Con él se puede llevar a cabo multitud de simulaciones tanto de uso comercial y lúdico (para lo que ha sido pensado originalmente), como para aplicaciones de industria o creación propia de entornos de simulación.

Estos últimos son los que se intentarán implementar en el laboratorio del CUD-ENM y para los que se quiere crear el dispositivo del presente trabajo. Aplicaciones con fines militares con una base de tecnología para uso comercial.

Este sistema de sistema de VR fabricado por Vive es uno de los modelos más demandados en el mercado actual y de los más completos que ofrecen. Consta de un conjunto de elementos formado por:

- Gafas virtuales con acelerómetro y sensores de posición con una resolución de 2880 x 1600 píxeles, tasa de refresco de 90 Hz y un campo de visión de 110 grados.
- 2 mandos geolocalizados con sistema de seguimiento
- 2 sistemas de detección de movimiento y posicionamiento para mandos y gafas, adecuado para el tamaño de una habitación de 5 x 5 m y hasta 10 x 10 m usando 4 sensores.

Todos estos dispositivos mencionados anteriormente son parte del pack que se puede adquirir como comprador particular del simulador, requiriendo a mayores la compra de el resto del hardware necesario para la simulación. Esto también es aplicable al propio software de simulación que se va a ejecutar haciendo uso del sistema HTC Vive Pro.



Figura 2-4 Sistema HTC Vive Pro [11]

Este dispositivo funciona colocando los sistemas de detección de movimiento en esquinas opuestas de una habitación cerrada, preferiblemente en altura para facilitar la detección de los mandos y gafas del usuario. La precisión de estos detectores es de en torno a un milímetro e incluso menor, debido su tecnología denominada *Lighthouse*, que se basa en la emisión de haces que son captados por los sensores de los detectores. Al contar con mínimo dos bases se evitan problemas de obstrucción por lo que se puede captar casi de forma ininterrumpida la posición de los dispositivos. Esto es incluso mejorable si se amplía a 4 detectores en vez de 2, que sería el mínimo imprescindible para su uso, llegando a mejorar el rango de detección y uso al doble de distancia [11].

En general, el HTC Vive Pro es un dispositivo comercial completo en cuanto a simulación se refiere y que podría tener incluso aplicación en el ámbito de defensa.

2.4 Diseño, Ingeniería y Fabricación asistida por ordenador

2.4.1 Proceso clásico de diseño

Los sistemas CAD / CAM / CAE son parte del proceso de diseño y fabricación, pero asistido o ayudado por ordenador. Se basa en la adaptación del proceso clásico de diseño Figura 2-5 haciendo uso de las tecnologías y la capacidad de computación de los ordenadores facilitando el trabajo de los ingenieros.

Este proceso se define como: *“la actividad técnica y creativa encaminada a idear objetos útiles y/o estéticos que pueden llegar a producirse en serie”* [12]. Va desde la misma concepción de la idea hasta su posterior fabricación o implementación. Normalmente este proceso cuenta con una serie de pasos ordenados que deben ser completados secuencialmente antes de poder proceder con el siguiente. Estos pasos son:

- **Definición:** especificar las propiedades y características de lo que queremos diseñar
- **Modelado:** consiste en crear un modelo de lo que deseamos diseñar utilizando procedimientos estandarizados o métodos de modelado ya existentes. Es el paso clave de todo el proceso y debe cumplir con las exigencias y especificaciones que se requieran.
- **Dibujos de detalle:** en ingeniería es la realización de los planos constructivos. Para poder crear de forma posterior prototipos o la versión final deben existir planos que permitan su manufactura por un tercero. Esto incluye la acotación de los planos, las tolerancias y los detalles que se precisen, además no deben presentar ambigüedades que dificulten su lectura y posterior fabricación.

- Elaboración de prototipos: este paso no es obligatorio como tal ya que no constituye un hito imprescindible del diseño y la fabricación. Si bien no es de carácter obligatorio los prototipos previos a la fabricación en masa o en cadena de un elemento nos permiten detectar fallos de diseño que podrían pasarse por alto de no hacerlo. Facilitan el examen visual y la detección de posibles mejoras al propio diseño. Posibilitan también el someter los modelos a ensayos, poniendo a prueba algunas propiedades físicas como la resistencia o la flexibilidad entre otras.
- Pruebas: como se mencionaba en el paso anterior constituye la realización de pruebas y ensayos sobre el prototipo. Los resultados positivos de estos permiten la validación del prototipo, por el contrario de obtenerse resultados desfavorables o fallos requeriría de una revisión del modelado o incluso el llegar a tener que volver a la etapa de definición.
- Documentación: finalizadas las pruebas y validado el modelo se procede a la elaboración de toda la documentación, desde los planos detallados, así como una descripción de los componentes, esquemas de montaje etc.

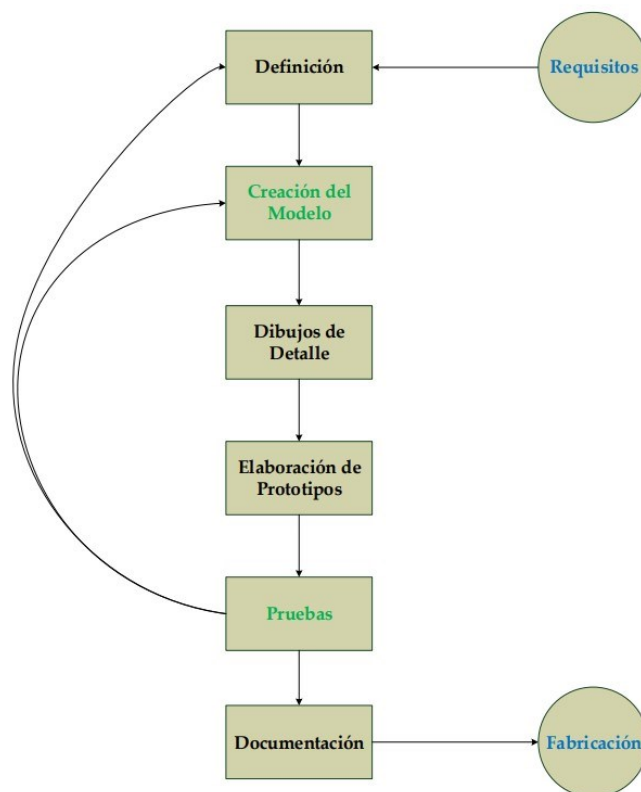


Figura 2-5 Proceso clásico de diseño [12]

Cuando este proceso es asistido por ordenador en cualquiera de los pasos hablamos de sistemas CAD (Computer Aided Design) como concepto global. Aunque este primero puede entenderse sólo para la fase de diseño ya que CAM (Computer Aided Manufacturing) comprendería la fase de fabricación y CAE (Computer Aided Engineering) los procesos de análisis del modelado [12].

Los sistemas de ayuda computarizada acompañan a todo el proceso de diseño siendo la columna vertebral el sistema CAD, presente en todas las fases. Como se puede apreciar en el siguiente esquema Figura 2-6 el proceso no varía demasiado si no que se le añaden fases intermedias que mejoran el resultado final. Una de estas es el análisis y simulación de pruebas y ensayos que evitaría la necesidad en algunos casos de realizar un prototipado del modelo.

El proceso asistido acompaña durante toda la aplicación de la ingeniería, desde su misma concepción hasta la implementación total para su fabricación en masa o no.

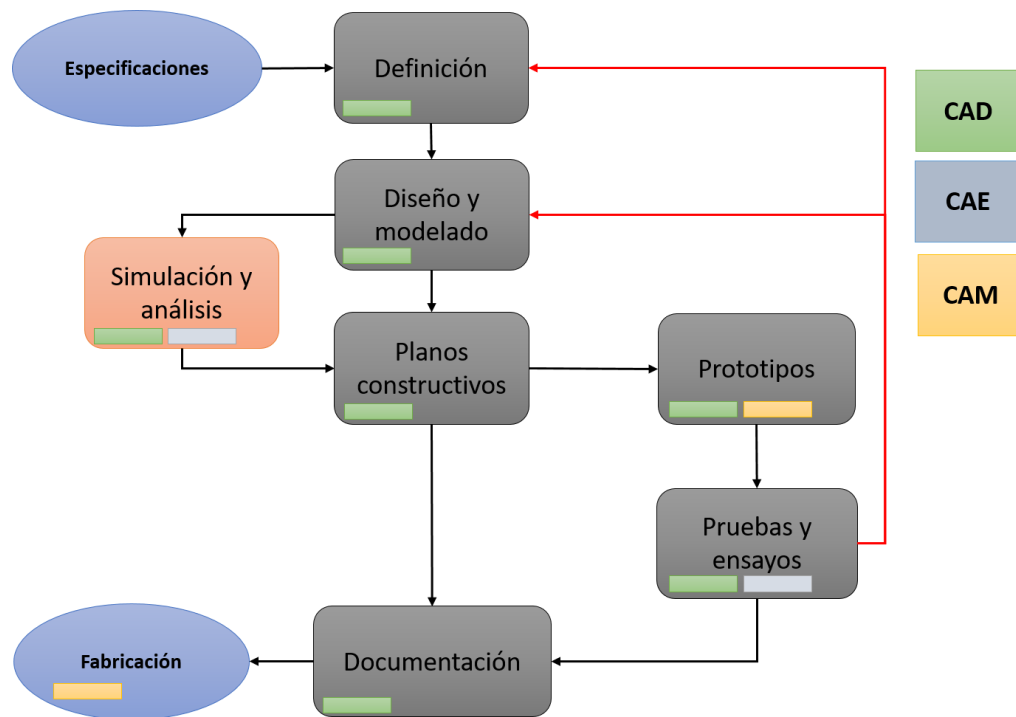


Figura 2-6 Proceso de diseño asistido por ordenador. Autoría propia basada en [12]

Una compañía dedicada a la creación y difusión de software de diseño 2D y 3D es Autodesk. Posee varios tipos de programas basados en sistemas CAD /CAM /CAE Figura 2-7 de uso comercial entre los que destaca AutoCAD e Inventor Professional. De este último hablaré más adelante.

2.4.2 CAD

El objetivo de todo sistema CAD es la simplificación del proceso de diseño, facilitando su ejecución y acortando los tiempos de trabajo empleados de forma notable. No sólo mejoramos en la concepción y modelado del mismo, que al ser realizada en un ordenador permite a personal no tan dotado para el dibujo representar la idea, si no que añaden fases intermedias a todo el proceso como la de análisis permitiendo detectar fallos con el consiguiente ahorro de costes.

De modo general un sistema CAD debe poseer las siguientes funciones [13] [12]:

- Definición interactiva de un modelo 2D o 3D
- Visualización múltiple
- Cálculo de propiedades y simulación (CAE)
- Modificación del modelo
- Generación de planos y documentación
- Conexión con CAM y CAE

Y por norma general, aunque no se pueda establecer de forma exacta contar con los siguientes componentes:

- Modelo
- Subsistema de edición
- Subsistema de visualización
- Subsistema de cálculo
- Subsistema de documentación
- Base de datos CAD

Los sistemas CAD pueden ser tanto en 2D como en 3D. Los primeros tienen su utilidad fundamental a la hora de realizar planos, pudiendo llegar a tener visualización 3D, pero de forma alámbrica y no

permitiendo aplicar sobre ellos programas de cálculo. Por otro lado, los 3D permiten la reconstrucción virtual del modelo y aplicarle propiedades físicas o materiales.

Algunos ejemplos de estos sistemas pueden ser software como *SIEMENS NX*, *CATIA*, *AutoCAD*, *SolidWorks*...

2.4.3 CAE

Los sistemas CAE nos permiten resolver problemas de ingeniería y de diseño del modelo. Es la combinación de la información geométrica del diseño con propiedades físicas atribuidas a este como puede ser el material, las condiciones y esfuerzos a las que está sometido. Mediante estos parámetros y junto a modelos matemáticos que matematizan el comportamiento del sistema se puede hacer un análisis efectivo desde el punto de vista de la ingeniería, detectando errores de diseño. Algunos de los aspectos que nos permite calcular un sistema CAE pueden ser deformaciones, resistencia a esfuerzos, vibraciones o características térmicas.

Además, permite redefinir el modelo en función del análisis realizado, siendo uno de los más comunes y ampliamente utilizados el de esfuerzos por el método FEM (*Finite Element Method*) [13].

2.4.3.1 FEM

Este método de análisis se basa en la resolución de ecuaciones diferenciales que modelan un sistema continuo. Resuelve de forma aproximada estas ecuaciones en función del tamaño del mallado o malla, consistente en la división del modelo en triángulos conformados por nodos y elementos, siendo más o menos preciso dependiendo de la cantidad de estos triángulos.

Un sistema FEM consta de 3 módulos: preprocesador, procesador y postprocesador.

2.4.4 CAM

Constituidos fundamentalmente por programas informáticos que generan instrucciones para el CNC (*Computer Numerical Control*), los sistemas CAM son herramientas fundamentales para el proceso de fabricación automatizado. El objetivo de estos es codificar instrucciones basadas en el diseño del sistema CAD para que posteriormente una máquina de CNC pueda mecanizarla y fabricarla. Este sistema requiere de unos datos de entrada para poder actuar y son [14]:

- Información de la geometría de la pieza
- Tipo de operación
- Herramienta a emplear
- Condiciones de corte



Figura 2-7 CAD / CAM / CAE [15]

2.5 Autodesk Inventor

2.5.1 Plataforma

Uno de los softwares de CAD más ampliamente utilizados a nivel mundial es Autodesk Inventor Professional. Actualmente, en su versión 2023, Inventor permite la creación de modelados 2D y 3D, la generación de planos y documentación de los modelos, el análisis estático y dinámico de estas, el ensamblaje de piezas e incluso la exportación a múltiples archivos de salida para su posterior manufactura y fabricación [16].

El software permite la edición y modificación en directo y de forma libre de los modelos, a los cuales se les puede añadir propiedades físicas para su posterior simulación y análisis.

Utilizado mayormente por ingenieros mecánicos proporciona las herramientas necesarias y especializadas para el diseño de cualquier pieza.

2.5.2 Interfaz

El software nos presenta una interfaz intuitiva y fácil de aprender a utilizar Figura 2-8. En la zona izquierda nos encontramos con el árbol, en él encontramos toda la información referente a las piezas o ensamblaje, los sistemas de referencia (planos y ejes) y las operaciones realizadas. En la zona superior tenemos la barra de tareas con los apartados de diseño y edición, desde el boceto en 2D, a la edición 3D, la acotación o los parámetros del documento.

Basado es un sistema de bocetos 2D, el software crea operaciones a partir de estos, consiguiendo estructuras 3D complejas que pueden interaccionar entre ellas. El sistema de referencia es el de los ejes cartesianos X, Y, Z y los planos que conforman estos (XY, XZ, YZ) incluyendo los ángulos de Euler asociados a los mismos ejes.

Las operaciones básicas incluyen algunas como la extrusión, la revolución, el taladro, el empalme de aristas u operaciones de corte, vaciado y unión. Juntando estas con algunas operaciones más complejas se consigue conformar sólidos con gran precisión que cumplen las especificaciones y requerimientos del diseño.

Gracias a herramientas como esta, cada día es más fácil realizar diseños constructivos de rápida aplicación e implementación comercial.

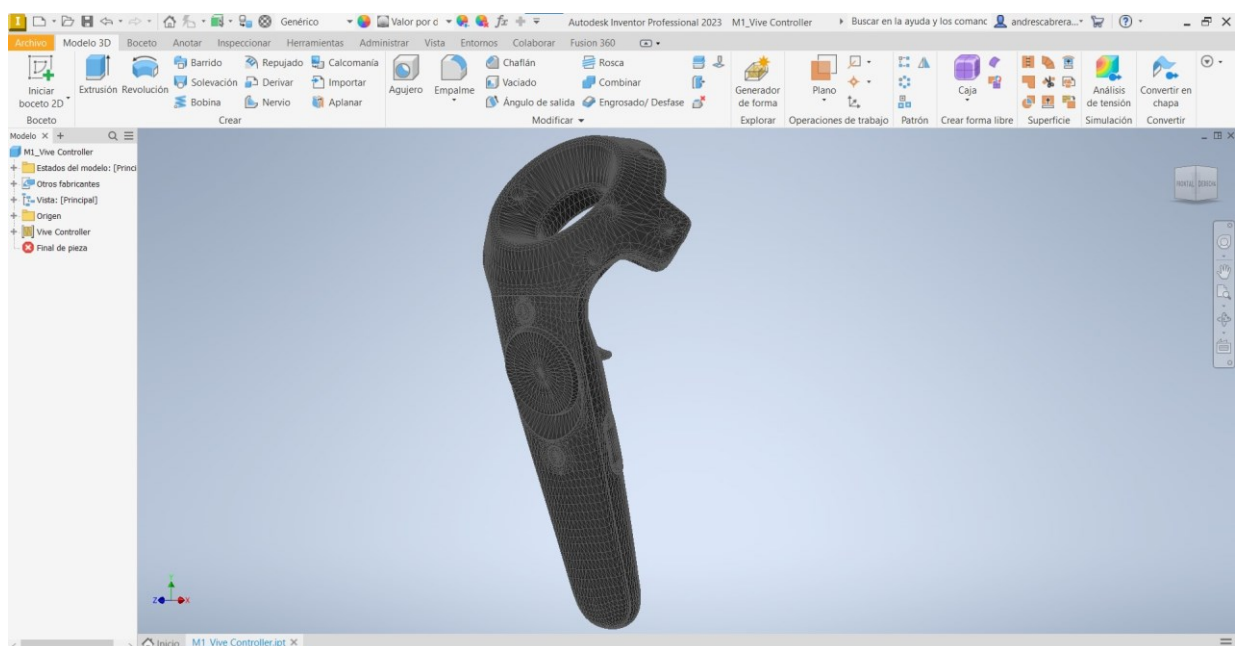


Figura 2-8 Interfaz Inventor. Autoría propia

2.5.3 Aplicaciones

Inventor tiene aplicaciones de ingeniería de múltiples tipos como:

- Diseño de piezas individuales, bien de forma estándar o aplicaciones concretas de chapa, facilitando las operaciones de estas últimas como puede ser el diseño de pliegues, punzones y plegados.
- Ensamblaje de piezas con movimiento.
- Diseño de cableado, para los cálculos de longitudes de los mismos y que se puedan encajar sin problemas. Compatible con *AutoCAD Electrical*.
- Diseño de tubos y tuberías, para adecuado cumplimiento de la normativa con elementos normalizados.
- Diseño de moldes y mecanizado, por ejemplo, para fundición o inyección, con características específicas de este método (*Autodesk Moldflow*).
- Diseño de estructuras con componentes de soldadura.
- Creación de dibujos y planos normalizados, siguiendo normativa como la ISO o ANSI.
- Cálculo y simulación FEM integrada.

Junto con todas estas aplicaciones Inventor posee una biblioteca de elementos y piezas normalizadas según las normas ANSI, ISO, DIN, BSI, GB, GOST y JIS que son fácilmente implementables en los diseños. A mayores pueden ser creadas nuevas bibliotecas que agilicen procesos posteriores.

2.6 Impresión 3D

2.6.1 Origen e Historia

La impresión 3D es una tecnología que permite crear objetos tridimensionales a partir de un diseño digital. La impresión 3D se originó en la década de 1980 como un método de prototipado rápido, y ha evolucionado desde entonces hasta ser una tecnología accesible para el hogar y la producción en masa.

Si bien tiene sus orígenes en la segunda mitad del S.XX podemos decir que el concepto o idea que más tarde la desarrollaría nace a mediados del siglo anterior. Es en 1859 cuando un fotógrafo y escultor francés llamado François Willème, realizando 24 fotografías alrededor de un modelo tomadas desde diferentes ángulos, lleva a cabo el primer escaneo en 3D de la historia. A este acontecimiento le sigue, unos años más tarde en 1892, la realización de un mapa topográfico con relieve 3D fabricado por Joseph E. Blather. Este método de fabricación se basaba en la estratificación o acumulación por capas de material, base de la tecnología de impresión 3D empleada hoy en día.

Así, casi 100 años más tarde comienzan los primeros intentos de impresión 3D moderna. En 1980 es el Dr. Hideo Kodama, del Instituto de Investigación Industrial Municipal de Nagoya, quien presenta la primera patente que habla de un “sistema de prototipado rápido de fotopolímeros”. Este se basa en el endurecimiento de una tinta de fotopolímero mediante la exposición a fuentes de luz ultravioleta.



Figura 2-9 Chuck Hull, creador de la primera patente de SLA [17]

Su patente nunca llega a materializarse y 6 años más tarde al otro lado del océano Pacífico, Chuck Hull Figura 2-9 desarrolla la impresora de estereolitografía o SLA por sus siglas en inglés. El proceso utiliza una resina líquida que mediante un láser provoca que las cadenas de moléculas de cada capa se unan conformando un polímero. Gracias a esto Chuck funda *3D Systems Corporation* lanzando la primera impresora 3D comercial del mundo, la SLA-1.

Solamente un año más tarde, en la Universidad de Texas, Carl Deckard encuentra un método alternativo al SLA, creando así el método de SLS. Con este nuevo método se emplea un polvo en vez de una resina y es un láser nuevamente el que lo convierte en un sólido unido. Podría llegar a recordar al proceso de conformado de la pulvimetalurgia, método en el que empleamos un polvo metálico para después calentarlo y crear un nuevo sólido.

Con el paso de los años se van abriendo camino nuevas tecnologías emergentes, como puede ser el caso del FDM (1989) que cambia por completo la manera de crear el sólido final respecto a los sistemas anteriores, dando lugar a un gran avance de la tecnología gracias al cual los costos han disminuido y la accesibilidad ha aumentado. Hoy en día, hay muchos tipos diferentes de impresoras 3D disponibles, desde las más simples y asequibles hasta las más avanzadas y costosas.

La impresión 3D se utiliza actualmente en una variedad de industrias, incluyendo la aeroespacial y la automotriz, para crear productos más rápidamente y con mayor precisión. También se utiliza en la educación, para que los estudiantes puedan aprender y experimentar con diseños tridimensionales.

Además de ser útil en la fabricación de productos, la impresión 3D también tiene un potencial significativo para resolver desafíos en otros campos, como la medicina. Por ejemplo, se están investigando formas de utilizar la impresión 3D para crear órganos artificiales, lo que podría tener un impacto significativo en la vida de las personas que necesitan trasplantes [17].

2.6.2 Tipos

En este apartado repasaremos los principales métodos de impresión 3D y de prototipado rápido.

2.6.2.1 SLA (Stereolithography)

Como se ha mencionado anteriormente este método se basa en la adición de finas capas una encima de otra, en el cuál una resina líquida es endurecida por la exposición directa de un láser. Este láser de luz ultravioleta de baja potencia y enfocado cura la resina que se endurece encima de la capa inmediatamente anterior. Cada capa es una sección transversal del objeto en cuestión Figura 2-10

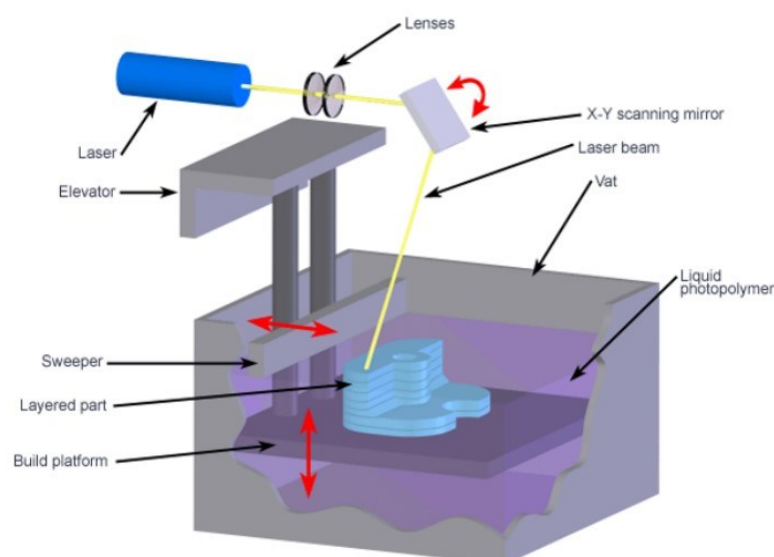


Figura 2-10 Impresora de SLA [13]

Con este método se permite la fabricación con un muy buen acabado, detalle y precisión. Además, se podría llegar a emplear para la creación de moldes debido a su solidez y dureza [13].

2.6.2.2 SLS (*Selective Laser Sintering*)

En este proceso análogo desarrollado uno años después que el SLA la principal diferencia radica en el material fungible (un polvo polimérico y no una resina) y en el láser.

En este caso el láser es de CO₂ de potencia media y une por sinterización las partículas del polvo. El polvo se va administrando con un rodillo que lo extiende por la base de la impresora y entonces el láser actúa, repitiéndose el proceso para cada capa Figura 2-11. Al emplear polvo en lugar de resina y aplicarlo de esta manera no son necesarias estructuras de soporte para las piezas a diferencia de otros métodos [13].

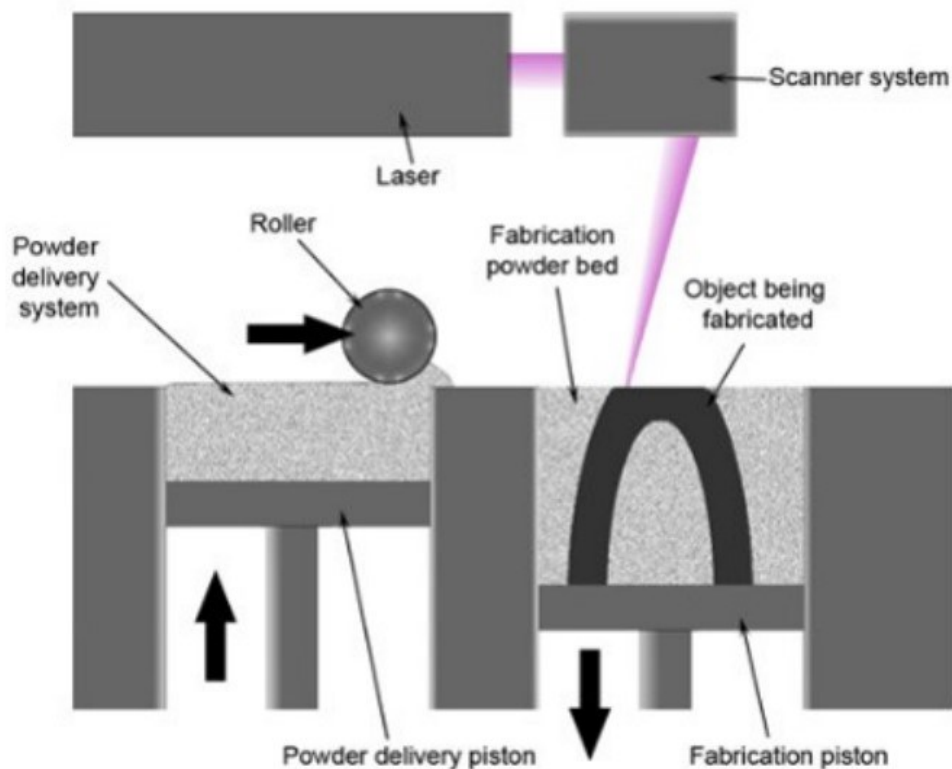


Figura 2-11 Impresora de SLS [13]

2.6.2.3 FDM (*Fused Deposition Modeling*)

Este método, posterior a los explicados anteriormente, basa su funcionamiento en la deposición de un material plástico fundido a través de un cabezal extrusor, que va trazando la geometría de la pieza moviéndose en coordenadas 2D (X e Y) Figura 2-12. Para esto el plástico se eleva a temperaturas superiores a la de fusión mediante unos calentadores del extrusor y se va apilando sobre la capa anterior, donde se enfría de nuevo y se endurece. A mayores, algunos modelos incluyen una base calefactada que evita errores de impresión como el *wrapping* (contracción del sólido por gradiente brusco de temperatura).

El material más empleado para este sistema es el PLA (Ácido poliláctico), siendo biodegradable y económico. Otro polímero empleado también es el ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) que presenta características físicas algo mejores, pero a mayor coste. Este último puede ser mecanizado a posteriori como por ejemplo la realización de taladros [13].

La tecnología FDM será la empleada en este trabajo para la fabricación de todas las piezas diseñadas con el software Autodesk Inventor Professional.

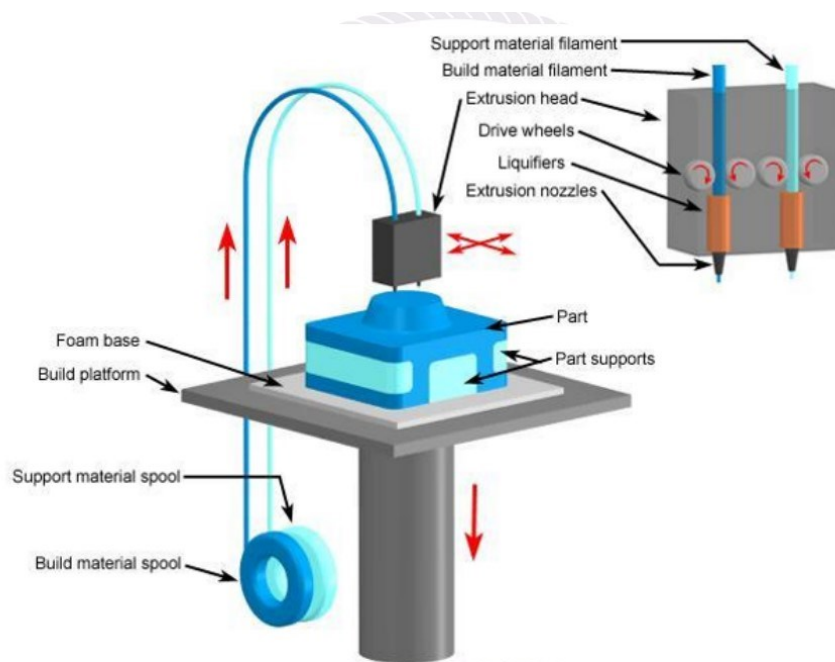


Figura 2-12 Impresora FDM [13]

2.6.2.4 Otras tecnologías

Un método basado en la estereolitografía es el fraguado sólido o SGC (*Solid Ground Curing*) Figura 2-13. En él una resina fotosensible es iluminada por un foco de luz UV de gran potencia que solidifica toda la superficie de la capa a la vez. Para poder hacer esto se emplea una máscara para cada capa, que solamente permite que la luz irradie a las zonas que se quieren endurecer.

Con este método se consigue mayor precisión y mejores propiedades mecánicas que en sus análogos. Puede generar piezas de gran complejidad y sin prácticamente necesidad de generar estructuras de soporte. Por otro lado, son equipos extremadamente caros y no accesibles para todo el mundo, requiriendo de personal cualificado para su uso y una supervisión constante.

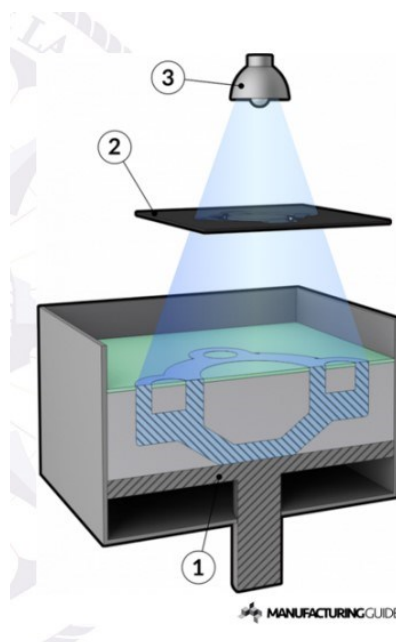


Figura 2-13 Impresora SGC [13]

Otra tecnología parecida al FDM es el BPM (*Ballistic Particle Manufacturing*) Figura 2-14 que mediante un cabezal proyecta millones de partículas microscópicas de un polímero caliente que solidifican al impactar. Gracias a que posee 4 grados de libertad (los 3 ejes cartesianos y un grado de libertad de rotación) se puede conseguir cualquier geometría y forma. Permite el empleo de múltiples polímeros [13].

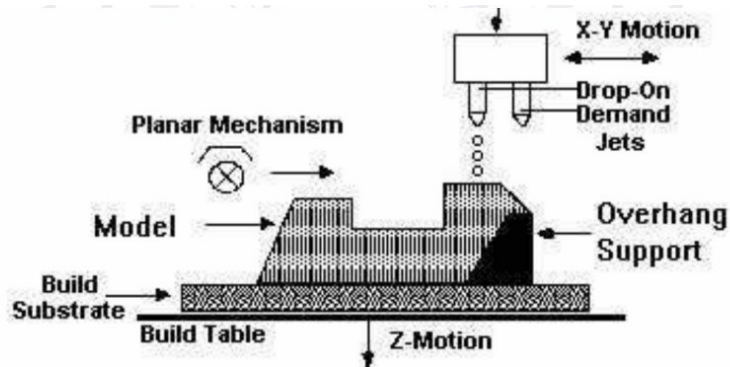


Figura 2-14 Impresora BPM [13]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Descripción del apartado

En este apartado se describirá el trabajo realizado en cuanto a diseño, fabricación y ensamblaje y junto con las pruebas de campo como se muestra en la Figura 3-1. De forma detallada se explicará paso a paso el desarrollo y las razones de diseño, mostrando alternativas descartadas durante el proceso.

El apartado de diseño se basará en la explicación de cómo se ha creado el dispositivo mediante software de edición 3D. En fabricación de como se ha implementado la tecnología de impresión 3D para la realización del trabajo. Por último, en pruebas de campo como se ha probado el prototipo en el simulador para el que se ha concebido.



Figura 3-1 Fases del trabajo

3.2 Diseño

Antes de comenzar el desarrollo se ha de indicar la fuente mediante la cual ha servido de inspiración a la hora de realizar el trabajo de diseño de las piezas. Se trata de la compañía comercial *ProtubeVR* [18]. Esta diseña y produce plataformas de sujeción de dispositivos empleados en simuladores de VR comerciales como el HTC VIVE PRO o el QUEST 2.

A mayores de esto se ha querido recrear el agarre de un fusil de asalto, base que también ha servido para diseñar algunas de las piezas de las que se compone el trabajo.

3.2.1 Inventor

Es necesario añadir antes de comenzar que el software empleado para el diseño ha sido la versión 2023 de Autodesk Inventor Professional. Con este se han podido diseñar todas las piezas y recrear su ensamblaje usando uniones normativizadas de su base de datos (por ejemplo, tornillos y tuercas de

métrica). También se han podido crear planos constructivos siguiendo las normas de estandarización pertinentes. Por último, el software permite la exportación de documentos a la extensión stl para su posterior impresión con un slicer como Ultimaker Cura.

3.2.2 Especificaciones

Se ha querido estructurar el diseño en diferentes partes o piezas. Esta es la idea principal a partir de la cual se ha organizado el diseño de todo el dispositivo estabilizador. Las piezas citadas serían las siguientes:

- Sujeciones para los 2 mandos.
- Soporte para estas sujeciones de los mandos que las unan a el cuerpo del dispositivo.
- Cuerpo del dispositivo conformado por tubos huecos.
- Uniones entre los tubos del cuerpo.
- Culata.

Para el diseño de esta plataforma estabilizadora se han buscado ciertas especificaciones o requerimientos que permitan su fácil manejo y empleo. Hay que destacar que no son factores impuestos por el trabajo si no que son características requeridas consideradas básicas. Estas especificaciones son:

- Una culata estable y con suficiente rigidez.
- El cuerpo estará conformado por 3 tubos articulables para la colocación de los mandos. Estos permitirán la configuración de las posiciones de los mandos y culata.
- Como los tubos tienen que poder articularse y cambiar su posición, deben estar unidos mediante un diseño que facilite esto, pero que a la vez aporte estabilidad suficiente a la plataforma entera.
- La sujeción de los mandos debe ser mínimamente ergonómica para el usuario, evitando partes toscas que empeoren la experiencia.
- Estas sujeciones deben ser también regulables y poder rotar respecto a un eje de cabeceo para su ajuste.
- Al menos una de las dos sujeciones debe poseer un sistema de zafado “rápido” del dispositivo, para permitir interaccionar con el entorno de simulación sin que entorpezca la experiencia.
- Argollas para poder enganchar una “correa de fusil” y poder colgarse el dispositivo con unas mínimas garantías de seguridad.
- Uniones atornilladas con pernos de métrica y tuercas.

A mayores de estos requerimientos de diseño se buscaba poder adaptarlo a un HK G36 E en cuanto a distancias de los puntos de agarre y ergonomía se refiere. Por ello y como se explicará más adelante el diseño consta de esas 3 barras articulables ya mencionadas Figura 3-2.

La disposición de ejes de referencia que se han escogido es la siguiente: el eje X recorre el dispositivo de forma longitudinal empezando en la culata y terminando en su extremo opuesto. El eje Y es el vertical y el eje Z el transversal.



Figura 3-2 Esquema del dispositivo sobre HK G36 E. Autoría propia basada en [19]

Finalmente, la composición del dispositivo queda de la siguiente manera conteniendo las siguientes piezas diseñadas con el software:

Pieza	Cantidad	Pieza	Cantidad
Tubos del cuerpo	3	Adaptador mando fija	1
Uniones tubo macho	2	Abrazadera adaptador fija	1
Uniones tubo hembra	2	Adaptador mando zafado rápido	1
Culata	1	Abrazadera adaptador zafado rápido	1
Unión culata cuerpo	1	Palometas apriete	6
Tapón tope tubo	1		

Tabla 3-1 Numeración de piezas diseñadas

Teniendo estos factores en cuenta se procederá a la explicación del diseño del dispositivo.

3.2.3 Modelado

3.2.3.1 Cuerpo del dispositivo

La estructura principal de la plataforma busca principalmente la estabilidad de los mandos. Esto recrea el cuerpo del arma (también llamado cajón de mecanismos) dándole la forma y estructura al conjunto. Paralelamente la estructura debe ser ligera pero resistente, por ello, aunque se hayan diseñado con el software los tubos se emplearán unos de aluminio estandarizado de diámetro 30 mm con paredes de 2 mm Figura 3-4. La longitud de estos será variable según su posición para conseguir recrear en este caso, el agarre de un HK G36 E del Ejército Español.

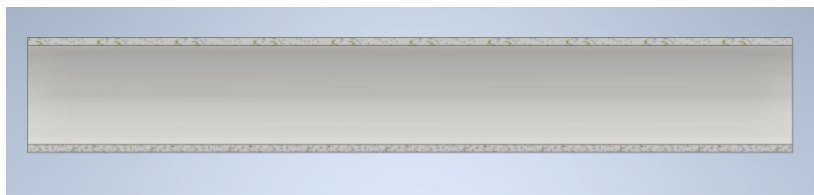


Figura 3-3 Vista de sección de uno de los tubos

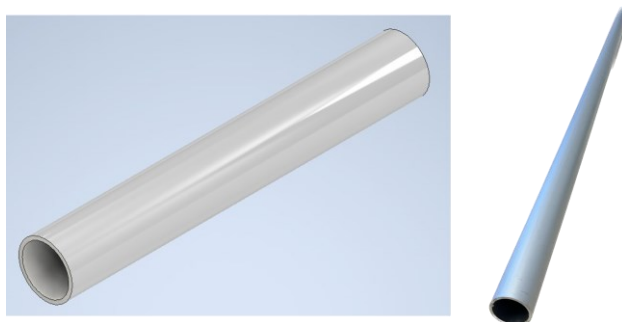


Figura 3-4 Estructura diseñada con tubo de aluminio de 30 mm

Es importante que los tubos aguanten sin problema la estructura, por ello se nos han presentado múltiples opciones para elegir los materiales. De las dos opciones finales escogidas están el acero inoxidable y el aluminio. De entre estos dos se han comparado múltiples características en las que se destacan las siguientes: densidad, resistencia a la tracción, límite elástico, módulo de Young, punto de fusión, si es magnético o no, la resistencia a la corrosión y un precio de mercado aproximado.

A continuación, se les expone la tabla comparativa de ambos metales:

Característica	Aluminio 6061	Acero Inoxidable 304L
Densidad	2,7 g/cm ³	8,0 g/cm ³
Resistencia a la tracción	290 MPa	485 MPa
Límite elástico	240 MPa	170 MPa
Módulo de Young	69 GPa	220 GPa
Punto de fusión	600°C	1450 °C
Magnético	No	Algunos
Resistencia a la corrosión	Alta	Depende del recubrimiento
Precio aproximado	46,63 €/m	19,20 €/m

Tabla 3-2 Comparativa Aluminio-Acero inoxidable

Debido a las características mostradas en la tabla anterior la decisión final Tabla 3-2 Comparativa Aluminio-Acero inoxidable

La comparación se decanta hacia el lado del aluminio. A pesar de tener claramente un precio de adquisición mayor que el acero el aluminio nos presenta las siguientes ventajas.

La primera es que es notablemente más liviano que el acero, casi 3 veces más. Este factor ya es claramente determinante si se le añade que las propiedades mecánicas de ambos son buenas, siendo superiores las del acero, pero para la aplicación del trabajo sobredimensionadas. Sumado a que el aluminio es más resistente de por sí a la corrosión y que de rayarse o ser expuesto al medio no va a tener tantos problemas como el acero ya es una clara ventaja. Si le sumamos que por último el aluminio no es magnético y que algunos aceros si, al implementar este dispositivo imanes de neodimio (de los que más adelante se hablará) hace que no vaya a tener problemas interactuando cerca de estos.

Por estas razones expuestas se ha escogido al aluminio como material para el conformado de los tubos del cuerpo del dispositivo.

3.2.3.2 Uniones del cuerpo del dispositivo

Los nexos de unión entre los elementos del cuerpo del dispositivo son parte clave del diseño configurable. Estos permiten regularlo a gusto del tirador y para este caso particular recrear el agarre del HK G36 E. Aunque en el fusil real la configuración sigue un eje lineal, debido a la naturaleza del diseño se ha de buscar una forma alternativa que dé más versatilidad y facilite su rápida configuración.

Para poder conseguir un sistema formado por 3 secciones se necesitan uniones articuladas entre los tubos. Para ello se han diseñado los siguientes elementos de unión con apriete por tornillo. Para los pernos que unen ambos elementos se han escogido tornillos de cabeza hexagonal M6 de longitud 40 mm y sus respectivas tuercas.

Estas uniones se han pensado como pareja macho-hembra debido a que tienen una zona con resalto y hendidura respectivamente para conseguir mayor rozamiento entre ellas y poder aguantar en la posición deseada una vez realizado el apriete del tornillo.

Posee un alojamiento de 25 mm de profundidad y 30,2 mm de diámetro para conseguir una apriete moderado a la hora de insertar el tubo y poder ser fijado con un adhesivo.

Para el diseño se han tenido en cuenta unos espesores mínimos de 4 mm debido a que en la impresión 3D no deberíamos de diseñar paredes que van a sujetar algún tipo de pieza de menos de 2 mm, dándole

así un margen de seguridad aceptable. El movimiento entre piezas está restringido al eje Z (de cabeceo o transversal) permitiendo un movimiento articulado vertical.

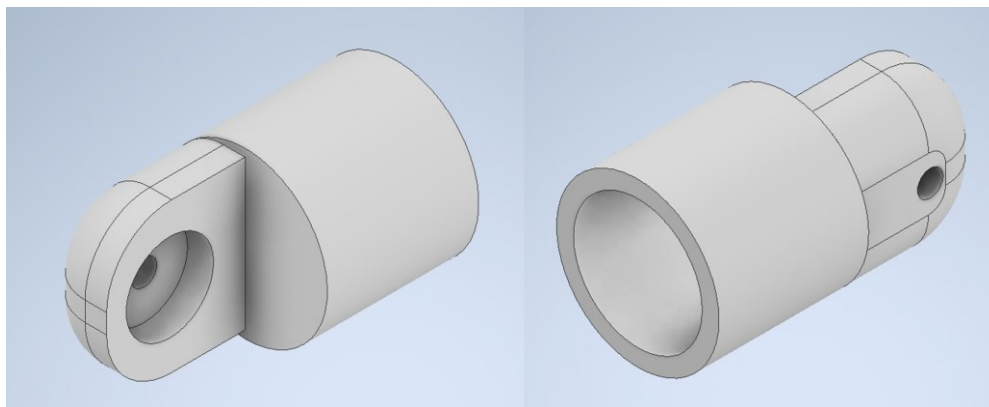


Figura 3-5 Unión hembra para tubo de 30 mm

La hendidura es de 6 mm de profundidad y 20.2 mm de diámetro para conseguir un efecto parecido al de los tubos encajando, un apriete fácil pero que no sea inamovible. Por el otro lado en la unión macho Figura 3-6 tiene un diámetro de 20 mm y una extrusión de 5 mm para dejar holgura mínima en cuanto a profundidad se refiere.

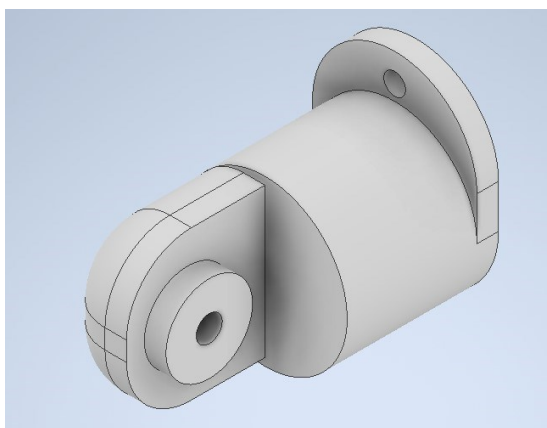


Figura 3-6 Unión macho para tubo de 30 mm

Destacar de esta pieza el saliente por encima del cilindro del cuerpo con un taladro. Este taladro actúa como argolla para poder colocar el mosquetón de una correa de fusil de dos puntos o incluso algo tan simple como un lanyard y poder llevar colgado el dispositivo sin tener que cargarlo a pulso constantemente. A mayores de todo esto se convierte en un sistema de seguridad anticaídas simple y que no requiere de partes sofisticadas o costosas.

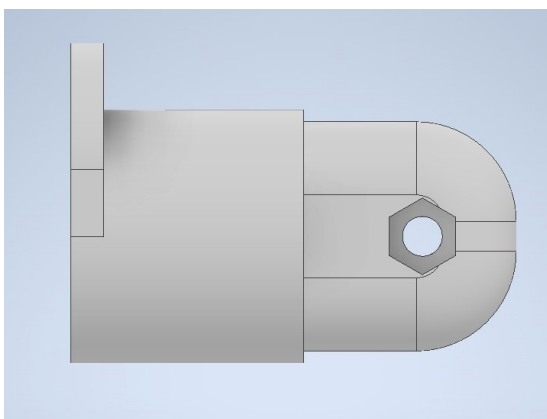


Figura 3-7 Vista lateral de la unión macho

Otro detalle a destacar es la cavidad realizada en la parte posterior de la pieza macho destinada a alojar la tuerca de M6 Figura 3-7. Se ha realizado proyectando la geometría de una tuerca incluida en la base de datos estandarizada del software y extruyendo la superficie. La idea principal es usar en todas las uniones roscadas del dispositivo palometas Figura 3-8 que permitan un apriete rápido y sencillo.

Para el diseño de estas palometas se ha extruido un cilindro y se le han añadidos bocetos de las aletas de las misma en su parte frontal extruyéndolas también para crear puntos de agarre.

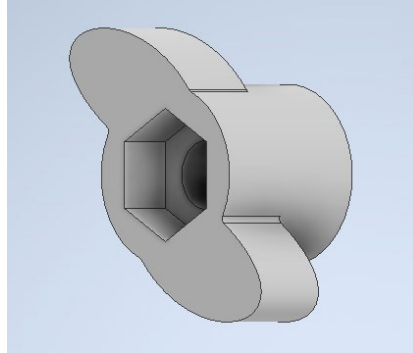


Figura 3-8 Palometa para apriete de uniones

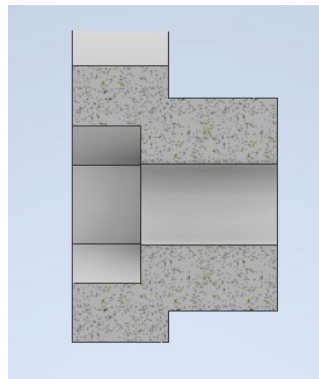


Figura 3-9 Vista seccionada de la palometa

A la palometa también se le ha diseñado una hendidura para alojar la cabeza del tornillo de M6 permitiendo así un fácil apriete del tornillo sin necesidad de herramientas específicas. Esto se puede ver en la Figura 3-9 y Figura 3-10 donde está representada la colocación de los elementos a la hora de ensamblarlos.

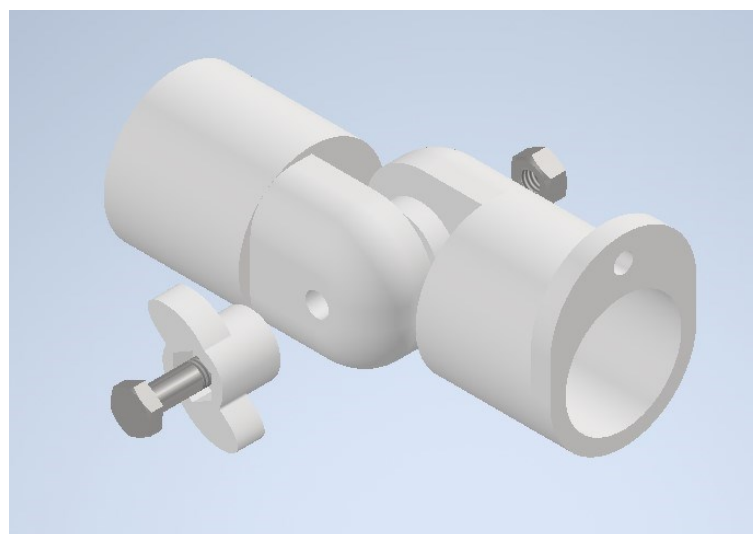


Figura 3-10 Ensamblaje de las uniones con tornillo y tuerca M6 y palometa

3.2.3.3 *Culata*

Otro elemento fundamental de la plataforma es la culata. Esta es la parte en la que el tirador apoya su hombro para, en un caso real, hacer frente al retroceso del arma y tener una estabilidad en el tiro efectiva que le permita abatir un blanco. Dicho elemento ha de tener una rigidez mínima que aporte una solución estable para el dispositivo en cuestión. En este caso particular no ha de soportar retrocesos ni esfuerzos grandes más allá del que pueda ejercer una persona oprimiendo su cara posterior contra su hombro.

El diseño se ha visto ligeramente inspirado en de la del HK en modelo alámbrico, pero sin llegar a ser como la versión alternativa mostrada más adelante. Esta utiliza una forma en “L” con cantonera para un mejor apoyo de la mejilla. Aunque no busca ser una representación fiel de la culata del fusil real, sí que tiene prestaciones superiores a una versión meramente basada en su forma Figura 3-11.

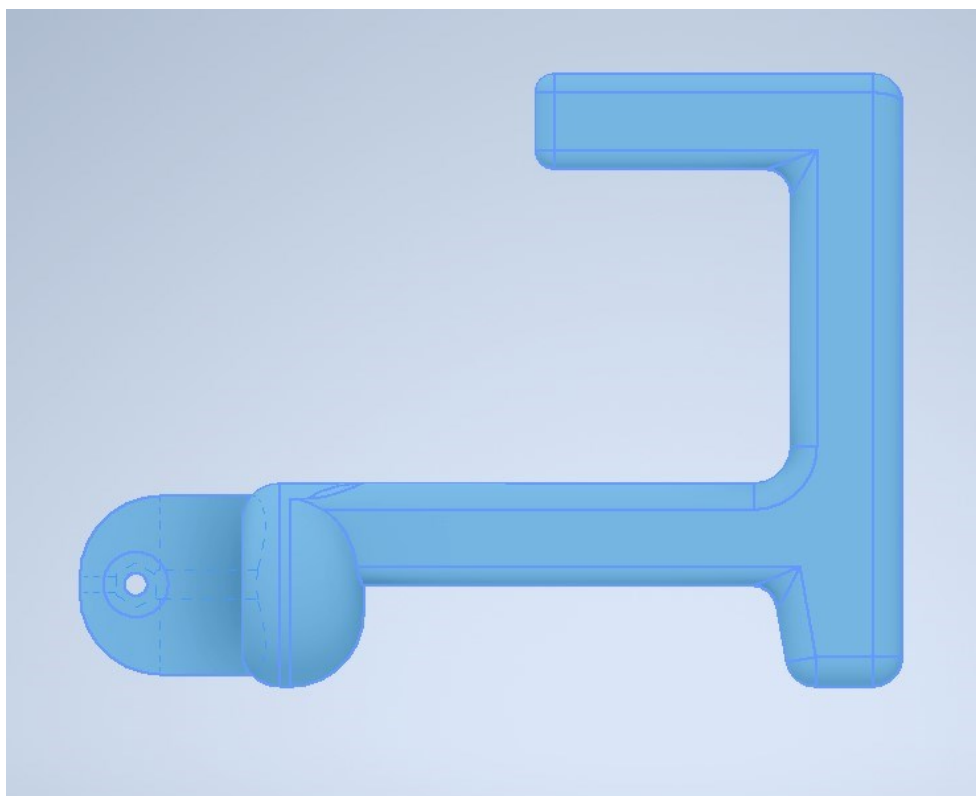


Figura 3-11 Culata con interfaz

El objetivo no era recrear la misma si no cambiar algunos aspectos como una cantonera extendida para facilitar en encare con el arma y poder apoyar la mejilla en la culata.

Entre las prestaciones mencionadas anteriormente está la posibilidad de usarla con 2 posiciones diferentes como se puede observar en la Figura 3-12, usando la base de la L o la barra más larga introduciendo el hombro en el hueco creado por ese largo y el pie de la culata.

Manteniendo la forma cilíndrica que presentan el resto de uniones del cuerpo le da una rigidez mayor que si estuviera hueca permitiendo que el uso de los polímeros de impresión 3D sean adecuados. Para su diseño como se ha comentado anteriormente se parte de la base de una pieza de unión mostrada anteriormente Figura 3-5.

A partir de ahí se realizó un boceto con la forma deseada para posteriormente ser extruido por ambos lados del eje X (dirección eje Z). Por último, se realizaron operaciones de empalme en todos los bordes de la pieza Figura 3-14 para conseguir un acabado más suave y obtener una mejor sensación en las zonas de contacto con el usuario (parte posterior y cantonera), aportando ergonomía a todo el conjunto y evitando crear tensiones residuales en esquinas.

El resultado final es el de una culata estable y suficientemente rígida para permitir su uso sin que perjudique a la experiencia completa de simulación Figura 3-13.

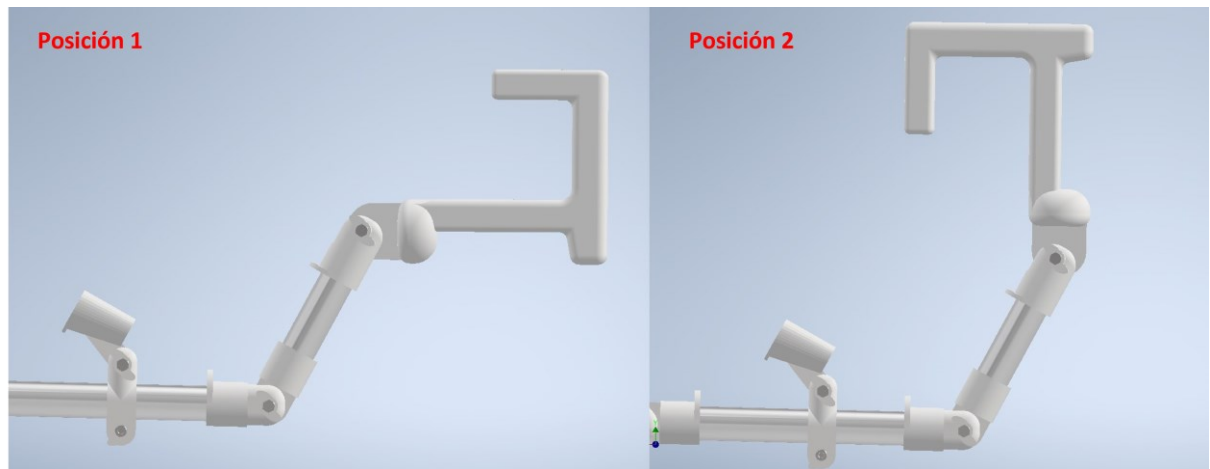


Figura 3-12 Posiciones posibles para la culata

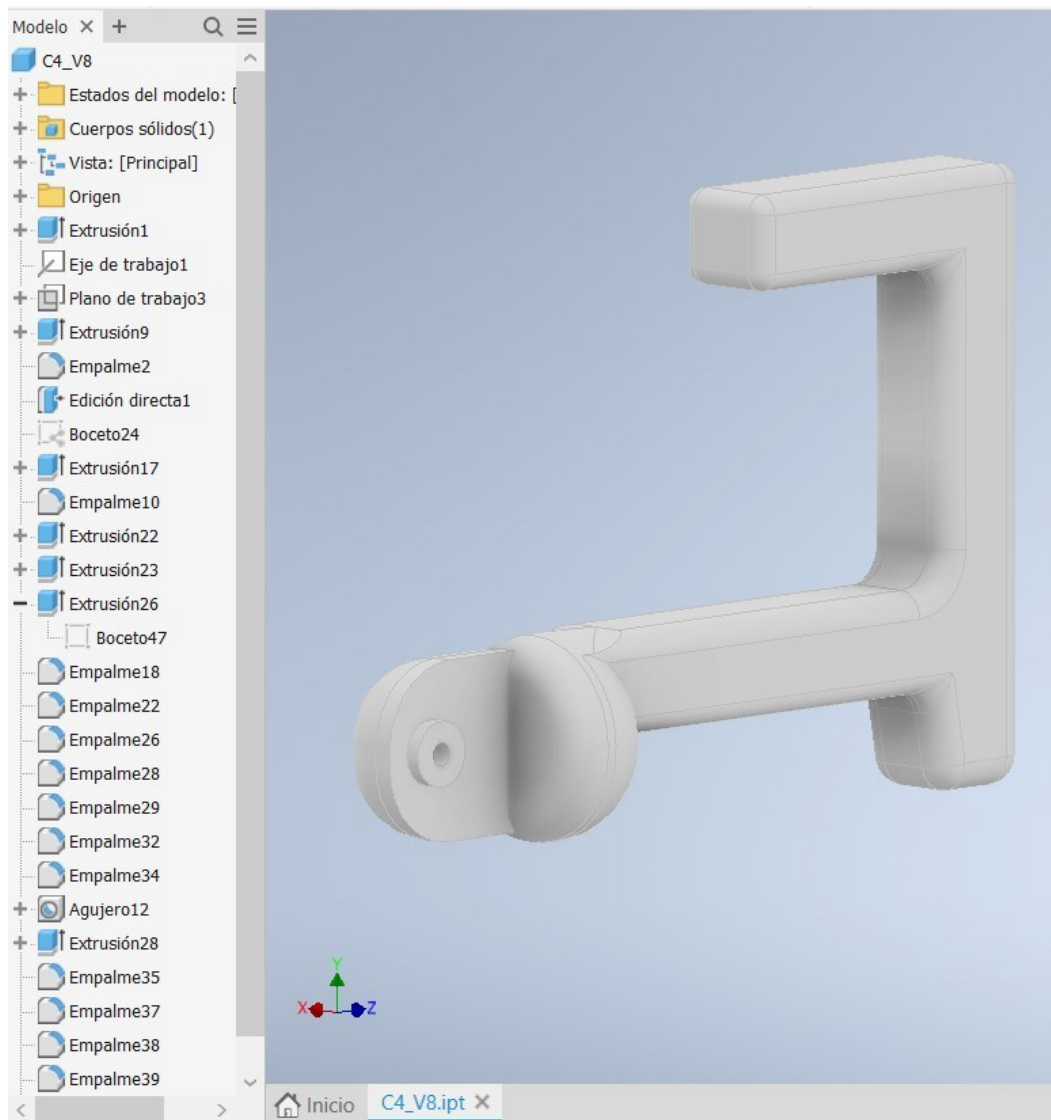


Figura 3-13 Vista isométrica de la culata con interfaz

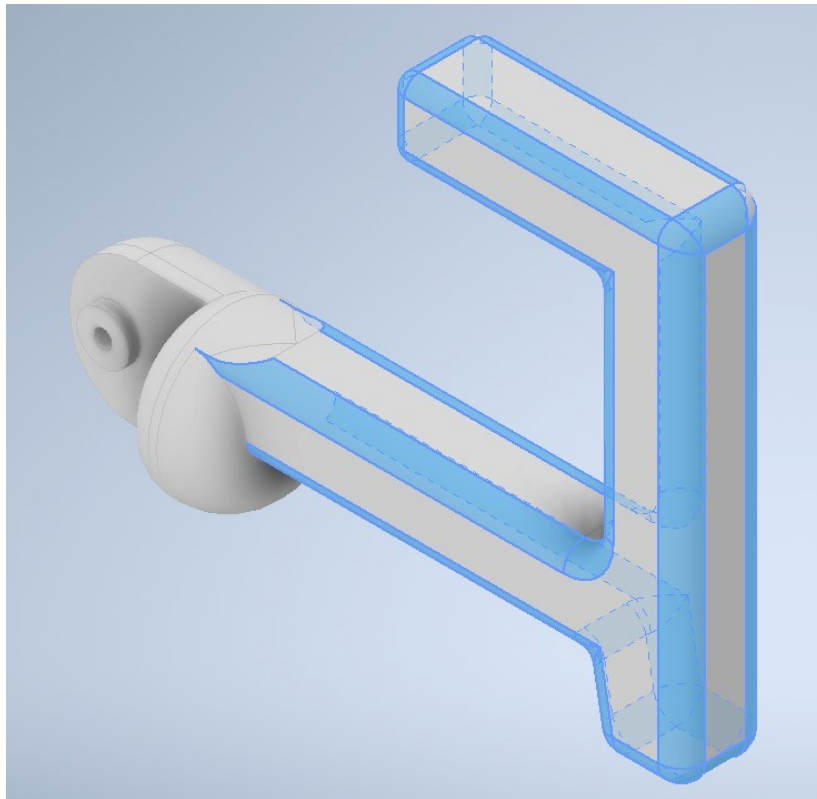


Figura 3-14 Detalle de los empalmes de la culata

Es necesario mencionar que a diferencia de las uniones entre tubos para este caso se ha decidido colocar la unión macho en la culata para no restarle material en dicha zona. Debido a sus mayores dimensiones y por lo tanto peso se ha querido mantener esa mayor rigidez aplicando la extrusión de unión a la pieza que iría colocada en el tubo, complementaria a la culata. Si se ha mantenido el alojamiento para las tuercas de M6.

Para su pieza complementaria Figura 3-15, que permite su unión con el resto del cuerpo del dispositivo se ha diseñado a partir de las uniones anteriormente explicadas Figura 3-6, en este caso la unión hembra. A partir de ahí se ha recortado mediante extrusión el hueco para convertirlo en una unión hembra (debido al criterio de diseño de la culata explicado en el párrafo anterior) y se ha eliminado la cavidad para tuerca M6 por lo que ahora posee la superficie para apoyar la palometa de apriete Figura 3-8. Se ha querido mantener la argolla para un posible punto de anclaje de la correa permitiendo su ajuste al tirador, similar al HK donde se presentan numerosos puntos de anclaje. También se ha adaptado el tamaño y forma a la culata consiguiendo el giro en un arco de 180° respecto a esta.

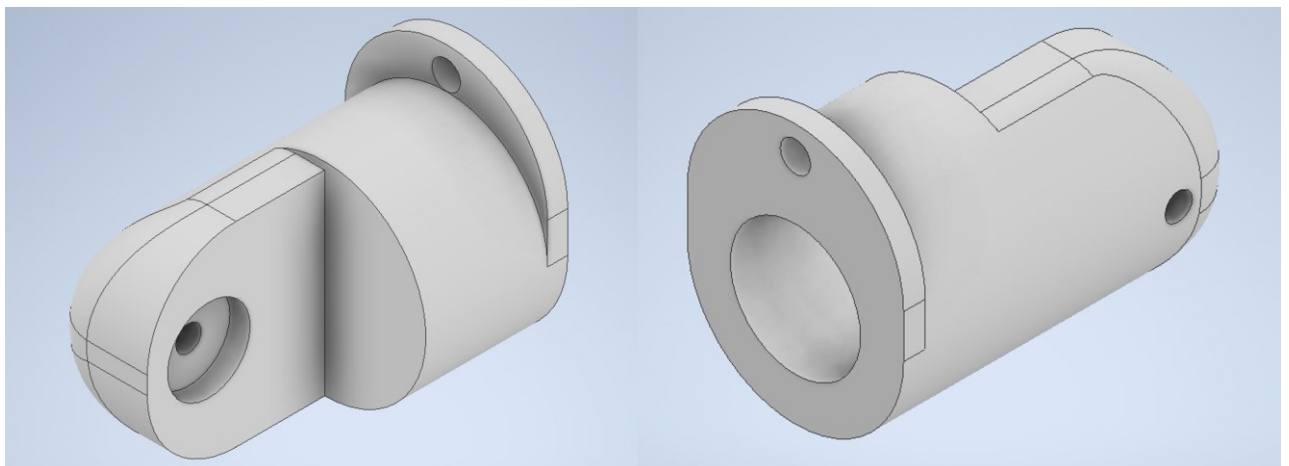


Figura 3-15 Vistas isométricas de la unión de la culata al cuerpo

3.2.3.4 Sujeción del mando

Esta es la pieza del diseño más importante y alrededor de la cuál giran el resto de piezas debido a que se trata del adaptador de los mandos del HTC VIVE PRO para que estos puedan ser empleados en este dispositivo. Su diseño se divide en 2 partes principales, el adaptador o sujeción del mando en sí y la abrazadera que lo une a los tubos del cuerpo. A su vez este diseño posee 2 variantes, una fija por unión atornillada con pernos de M6, pero regulable y otra de “zafado rápido” diseñada con imanes que permita su separación del cuerpo del dispositivo de manera ágil durante la simulación.

La idea principal es que se adapten a la ergonomía de un HK G36 E, buscando las distancias a las que agarraría una persona el pistolete y guardamanos Figura 3-2 y Figura 3-17 recreando de forma similar su empuñe. La mano buena del tirador iría en la parte posterior, en el pistolete, y la de apoyo en la anterior, en el guardamanos Figura 3-16. Igualmente debido a su naturaleza configurable mediante tubos articulados la disposición puede variar para adaptarlo a otro tipo de armamento como puede ser un fusil M4 o un HK 416.



Figura 3-16 Empuñe HK G36 E [20]



Figura 3-17 Esquema de agarre del dispositivo con mandos

3.2.3.5 Adaptador fijo

El adaptador fijo cumple en el conjunto el rol del pistolete, siendo la parte más posterior por donde nuestras manos agarran un fusil (Figura 3-2 el mando más cercano a la culata). Es importante que cumpla correctamente su función y llegado el momento sea capaz de sujetar todo el dispositivo solo sin la asistencia del otro adaptador de mando. Esto se debe a que, durante la simulación es posible que se tenga que desenganchar el mando delantero (la mano que iría al guardamanos del fusil) para interactuar con el entorno o realizar alguna acción durante la simulación, como abrir una puerta o coger algún objeto. Por

todo lo mencionado debe de estar dimensionado para aguantar el peso de toda la estructura sin problema y ser fiable.

Para esta primera versión del adaptador o sujeción se han utilizado como bien se comentaba antes tornillería de M6. El apriete es similar al de las uniones entre tubos con una forma circular extruida macho/hembra que permite regular la posición sin limitación de ángulos. Permite el movimiento en el eje Z (de cabeceo) pero no en el resto.

El diseño se ha basado en la forma aproximada del mando. Tomándole medidas a este en su parte más posterior con un pie de rey electrónico de 0.1 mm de precisión Figura 3-18, se han extrapolado los datos obtenidos al boceto de Inventor para poder generar el perfil y la distancia adecuados.

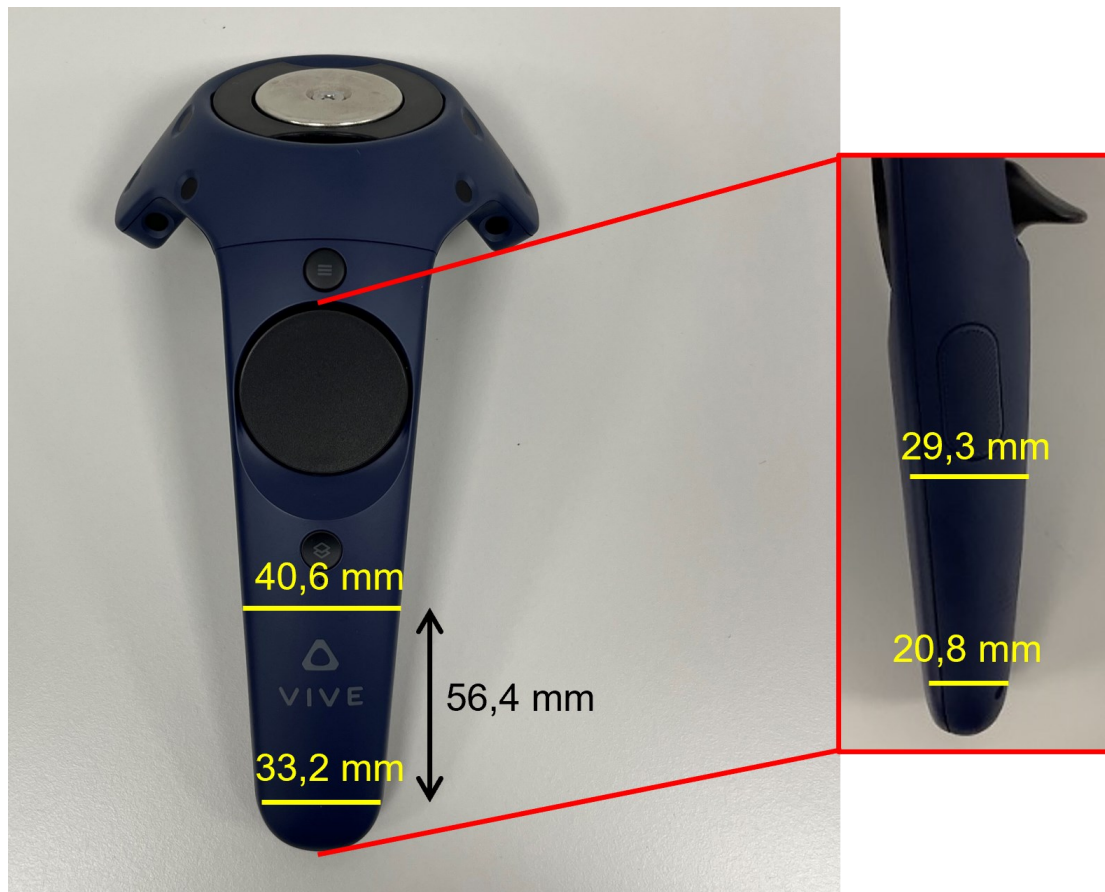


Figura 3-18 Medidas tomadas al mando en su base

Destacar que la longitud elegida para la sujeción es de 50 mm en inventor y no de 56,4 mm como se midió. Con este cambio se ha evitado alcanzar el botón lateral que posee el mando en dicha zona para no causar problemas a la hora de ejecutar una simulación.

La pieza se ha desarrollado ejecutando operaciones de solevación Figura 3-19 entre 2 bocetos con un tercero como guía entre estos. El vaciado se ha hecho de forma análoga con otra operación de solevación quitando el material sobrante Figura 3-20.

El perfil solevado se ha conseguido gracias a las medidas tomadas en el mando del laboratorio de realidad virtual del CUD-ENM. El perfil al no ser un polígono regular posee muchos lados como se puede apreciar en las aristas de las imágenes anteriormente mencionadas.

Esta fue la parte más crítica del trabajo ya que gira alrededor de esta pieza en concreto. Conseguir unas medidas precisas era necesario para obtener el perfil deseado. Se obtuvo un perfil aproximado con medidas tomadas in situ al propio mando y se realizó un perfil que poco a poco se fue aproximando al deseado, de ahí todas esas caras y aristas que posee la pieza.

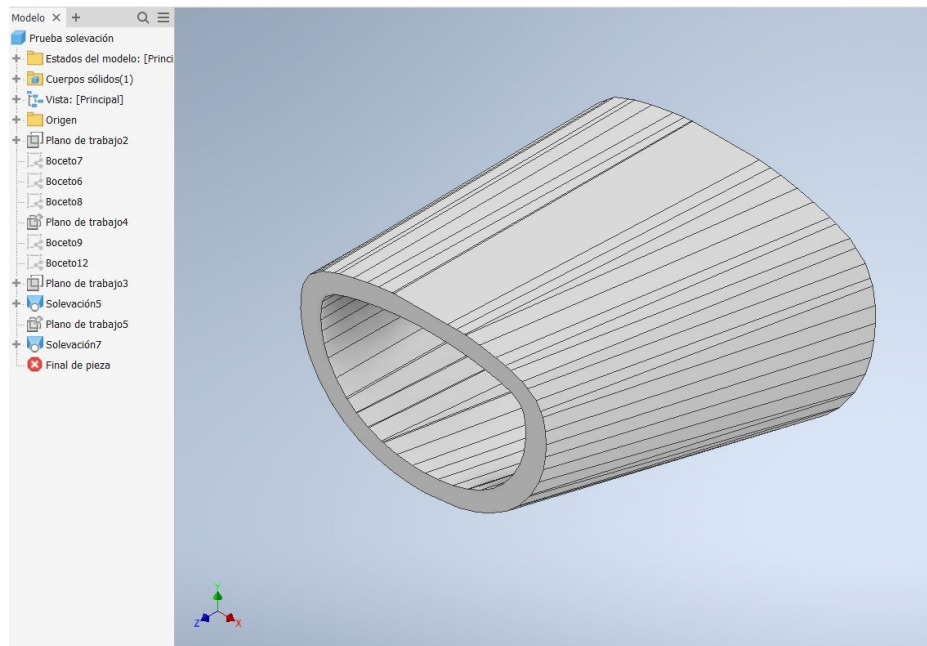


Figura 3-19 Operaciones de solevación sobre sujeción del mando

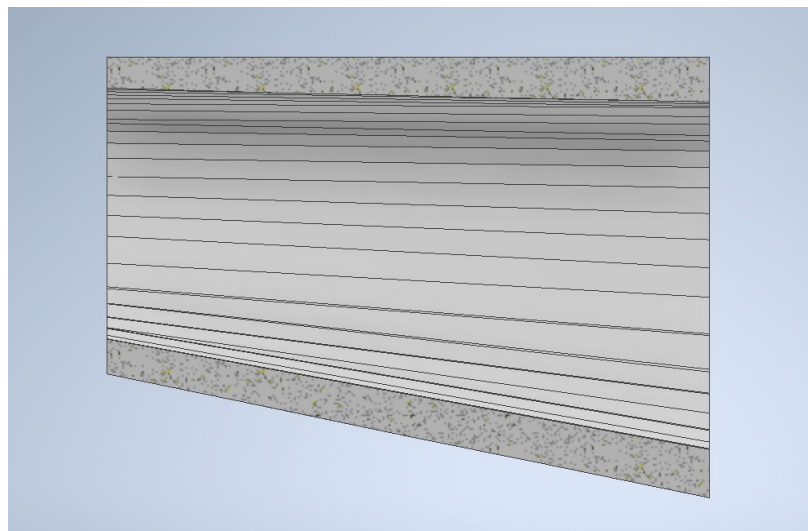


Figura 3-20 Vaciado de la sujeción mediante solevación

A la pieza se le ha añadido una cola para poder alojar el taladro para los tornillos de M6 que lo sujetarán a la abrazadera que a su vez harán de nexo con el cuerpo del dispositivo. Para ello se ha buscado un sistema parecido al anteriormente mencionado en las uniones entre tubos. Mediante la extrusión o corte de cilindros de diámetros casi iguales se consigue un apriete por rozamiento que permite el giro sin restricción de ángulos. La diferencia de diámetros para todos los sistemas elegidos en el dispositivo es de 0.4 mm. Este apriete permite encajar ambas piezas y conseguir un rozamiento óptimo como para que las piezas aguanten en posición y no deslicen.

El adaptador del mando sería en este caso la pieza macho y la abrazadera la hembra. También se ha incluido el sistema de apriete por palometa como en los sistemas anteriores por lo que se ha realizado una cavidad con la forma de la tuerca de M6 en el adaptador Figura 3-22.

Por último, se ha realizado un pequeño relieve en su parte anterior (círculo rojo de la Figura 3-21) destinada al agarre del adaptador por el dedo meñique mientras se empuña. Este relieve evita que el sistema se escurra de las manos del usuario o que de agarrar solamente el mando por peso o mal ajuste se pudiera llegar a caer todo el sistema.

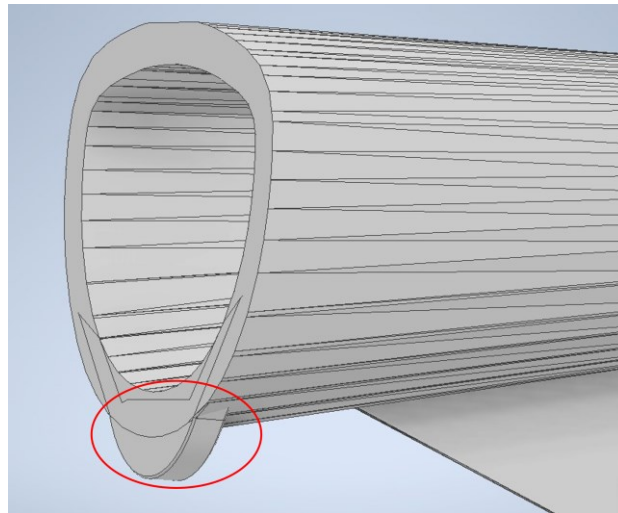


Figura 3-21 Detalle del relieve para mejora de agarre

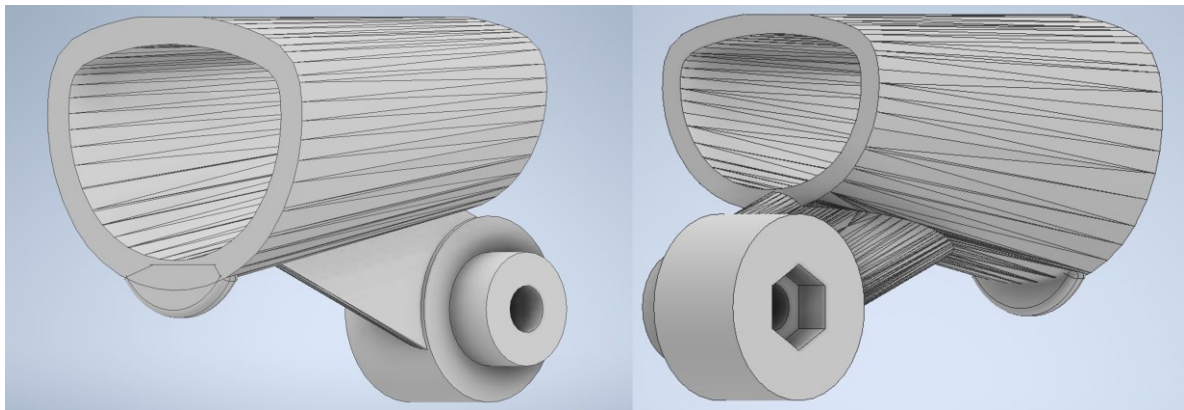


Figura 3-22 Vistas isométricas de la sujeción fija del mando

3.2.3.6 Abrazadera del adaptador fijo

La abrazadera es la pieza que conecta el adaptador o sujeción del mando al cuerpo principal del dispositivo. Hace de nexo entre ambas permitiendo la rotación del adaptador en el eje Z (de cabeceo) y la rotación y traslación de ella misma sobre el eje X (de balanceo o alabeo) el cual sigue el cuerpo. El objetivo principal de esta parte es poder recorrer la longitud del tubo del cuerpo ajustando la distancia de agarre del tirador. Dado que no todos los usuarios tienen la misma longitud de los brazos ni agarran de la misma manera un fusil, el hacerla regulable a lo largo del eje X, permite su configuración personal para cada tirador.

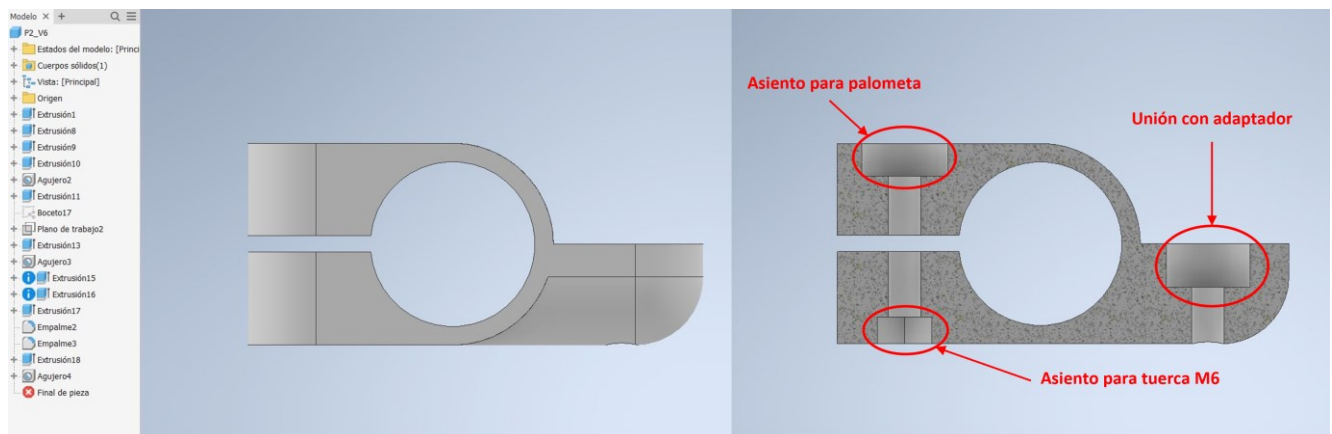


Figura 3-23 Vista lateral y corte de sección transversal de la abrazadera

Pasando ahora a las características propias de la pieza, el diámetro del cilindro pensado para alojar el tubo del cuerpo es de 15.1 mm. En este caso a diferencia de otros aprietes de 0.2 mm se ha rebajado este debido a que se trata de una abrazadera y ya existe un juego de 3 mm para su ajuste.

Se han añadido al diseño alojamiento para la tuerca de M6 Figura 3-25 al igual que en el resto de piezas de unión y a mayores en esta pieza una cavidad para la palometa Figura 3-24. Como se puede observar en la Figura 3-23 donde se muestran resaltadas dichas características. Para la conformación de la pieza se ha extruido el perfil lateral hasta alcanzar el ancho deseado y más tarde se le ha añadido la cola Figura 3-25 que aloja la unión con el adaptador.

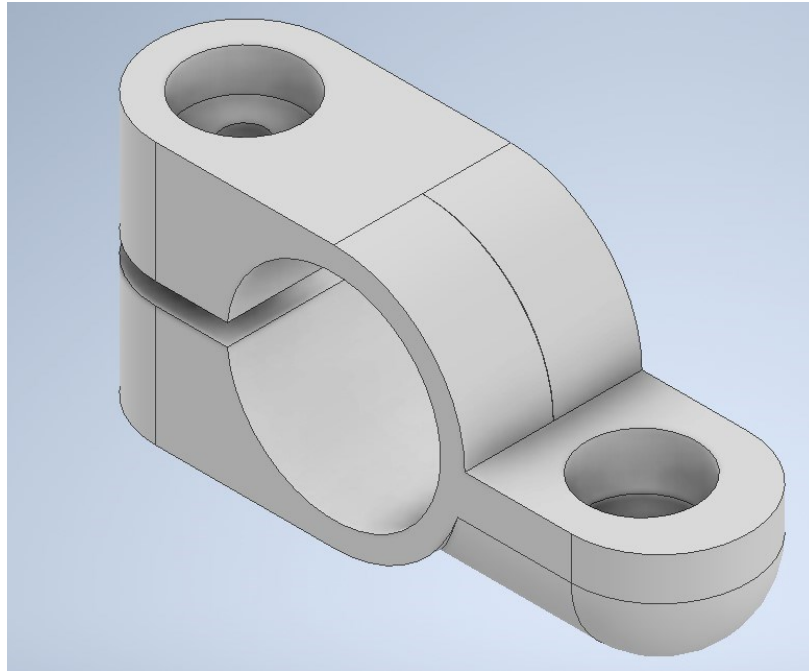


Figura 3-24 Abrazadera mando fija vista isométrica

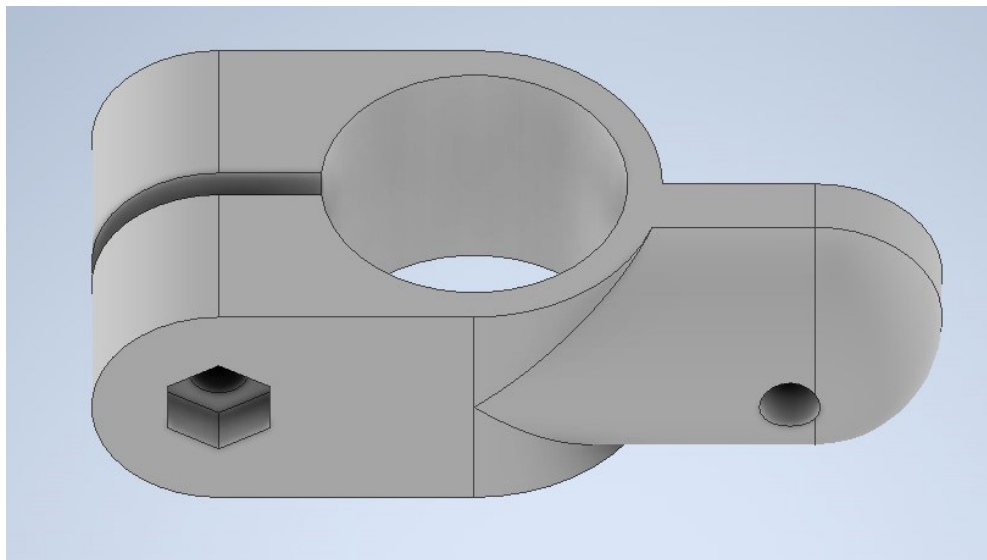


Figura 3-25 Detalles del alojamiento de la tuerca M6 y de la cola

Con todas las piezas mostradas anteriormente para la sujeción del mando, se puede ver en la Figura 3-26 como quedaría el acople de estas al cuerpo del dispositivo. Nótese como puede deslizarse la abrazadera a lo largo del cuerpo del dispositivo. Gracias a la Figura 3-27 se aprecia de frente el despiece de este subconjunto y donde se colocarían los tornillos de apriete de ambos elementos: uno para ajustar la abrazadera al cuerpo y otro para fijar la posición del adaptador del mando.

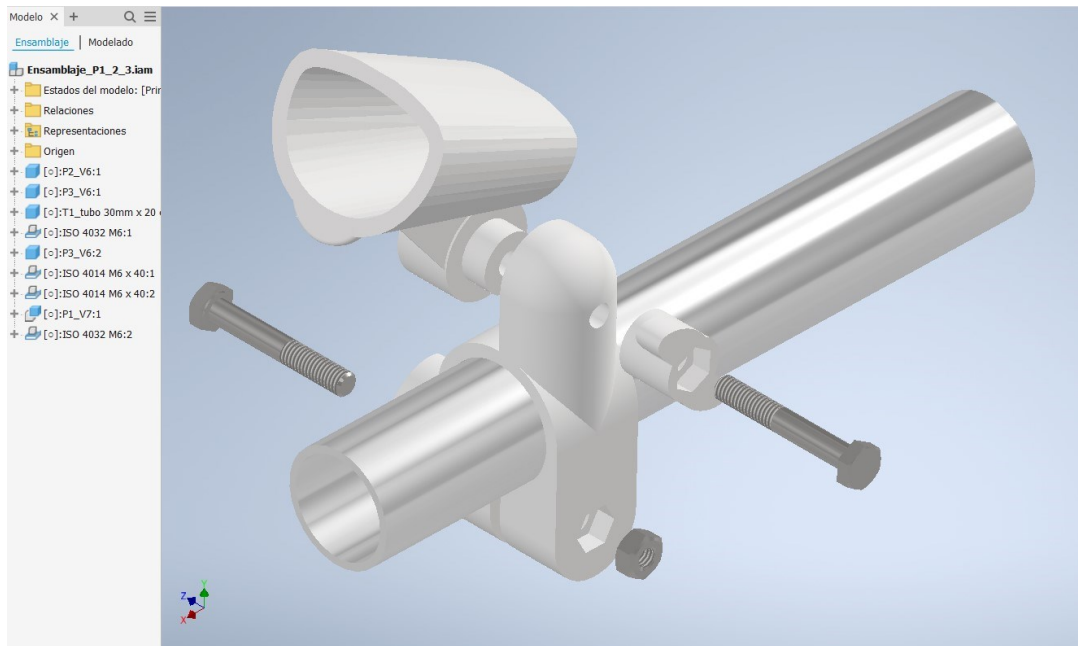


Figura 3-26 Ensamblaje del adaptador fijo al cuerpo vista isométrica

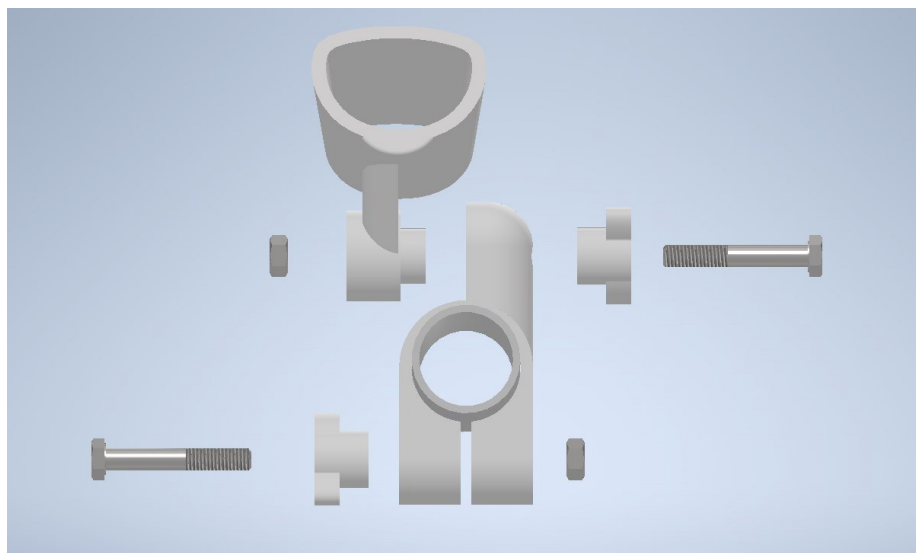


Figura 3-27 Vista frontal del ensamblaje anterior Figura 3-26

3.2.3.7 Adaptador de zafado rápido

En este caso, el adaptador de zafado rápido actúa como la parte más anterior por donde agarramos el fusil, el guardamanos (Figura 3-2 y Figura 3-17). Esta pieza, o al menos su colocación es importante para cada tirador ya que depende de la longitud de brazos que tengamos y de cómo agarramos el fusil. Al igual que el agarre posterior se tiene que poder regular en el eje X y, en este caso también en el eje Z, facilitando un agarre de la mano auxiliar más horizontal o más vertical. Un requisito de diseño de esta pieza es que tenga una “rápida extracción” o al menos que sea sencilla y que además, siga aportando estabilidad y no sea endeble.

En cuanto al diseño se refiere eminentemente es la misma pieza con algunas salvedades. La primera de ellas es que posee un sistema de apriete por tornillo M6 menos que su homólogo el adaptador fijo. Ya esto elimina tornillería en exceso y más piezas necesarias para imprimir. La otra y más notable es que dispone de un sistema de imanes para su suelta rápida. Se ha pensado para un juego de imanes de neodimio en forma de cilindro, el primero de 16,8 mm de diámetro y 9 mm de espesor y el segundo del mismo diámetro, pero de 4 mm de espesor. Según el fabricante soporta hasta 3 kg el mayor y hasta 1.5

kg el menor de los dos, peso suficiente para repartir con la otra sujeción fija de M6. En las imágenes (Figura 3-28 y Figura 3-29) se puede observar el alojamiento donde iría el primer imán anteriormente mencionado.

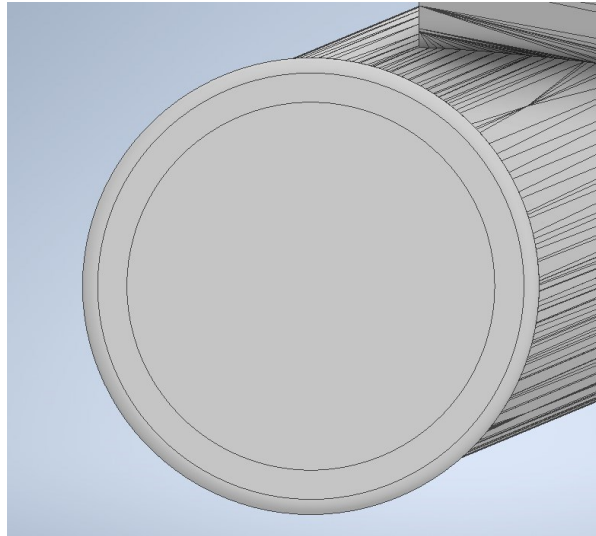


Figura 3-28 Detalle del alojamiento del imán (vista lateral)

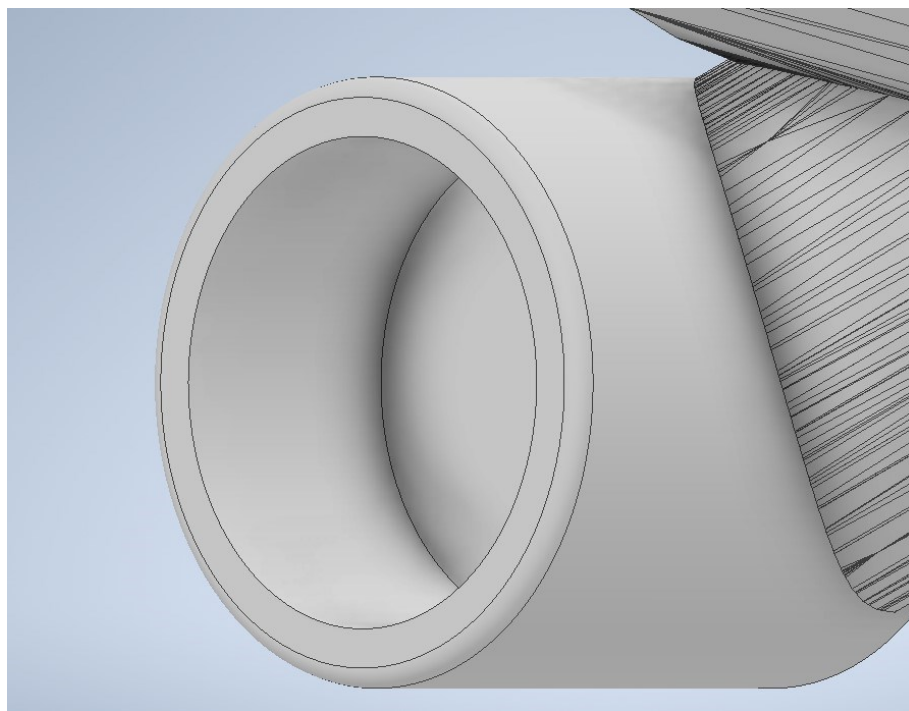


Figura 3-29 Detalle del alojamiento del imán (vista isométrica)

Para que este sistema tenga mejor sujeción y no oscile o sea endeble en torno al eje Z (que se pueda separar con demasiada facilidad o que pueda llegar a caerse) originalmente se diseñó un sistema de “raíles” que bloquea el movimiento de traslación a lo largo del mencionado eje. Actúa como si fuese una sujeción de tornillo en cuanto a bloqueo del movimiento de traslación se refiere, permitiendo además el de rotación en torno a este eje Z con un arco de 180° (90° hacia cada lado desde el punto de inserción donde tiene la ranura). Esto se puede ver mejor en su pieza complementaria, la abrazadera para el cuerpo del dispositivo adaptada. Para esta pieza, la muesca que ha de circular por los raíles se ha pensado de forma semicircular Figura 3-29, con un radio de 2 mm y dejando una tolerancia sustancial (en este caso de 0.25 mm) para poder permitir su movimiento sin grandes dificultades. Esta idea finalmente ha sido relegada a una versión opcional de diseño si se desea más seguridad a la hora de sujetar el adaptador del

mando al cuerpo. Como dicho sistema aumentaba la dificultad de extracción de este a costa de una mayor seguridad se ha decidido implementar un sistema si esta muesca-raíl para facilitar su uso. A continuación, se explicarán en su pieza complementaria el resto de los detalles de diseño de este sistema de zafado rápido.

3.2.3.8 Abrazadera del adaptador de zafado rápido

La pieza complementaria es otra abrazadera para tubos al igual que la del adaptador fijo Figura 3-24. Esta debe facilitar la ágil extracción del mando junto con su adaptador para permitir durante la simulación ejecutar otro tipo de acciones que se harían utilizando nuestra mano auxiliar.

En este caso la pieza Figura 3-30 también comparte la base de diseño reutilizando el sistema de unión al cuerpo del dispositivo, una abrazadera de apriete por tornillo M6.

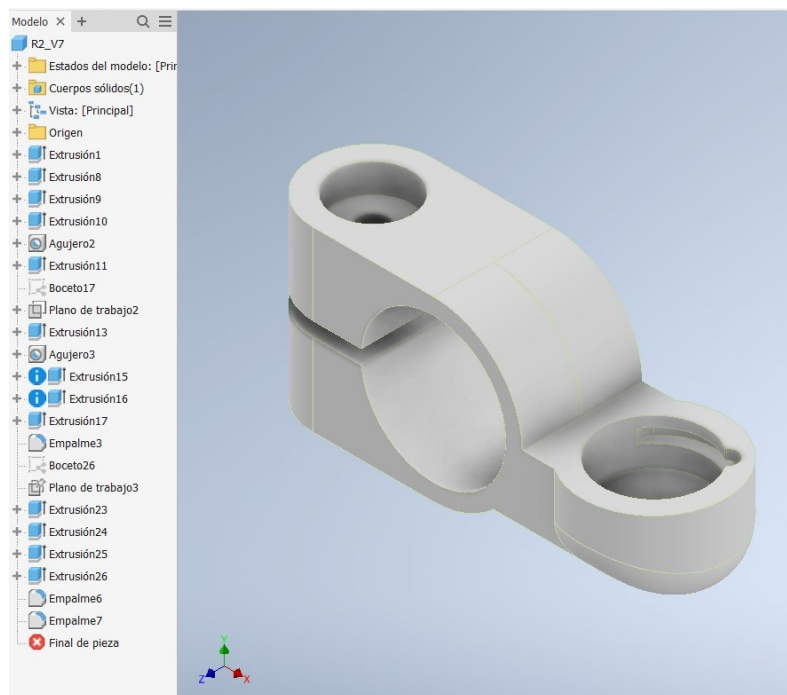


Figura 3-30 Abrazadera mando zafado rápido vista isométrica

La sujeción por tornillo M6 mencionada anteriormente es una réplica de la anterior, compartiendo el alojamiento tanto para la palometa de apriete como para la tuerca Figura 3-31. El acabado de la zona donde une con el adaptador del mando se ha buscado lo más redondeado posible debido a que el tamaño del imán es superior al del extremo y por lo tanto sobresale de este Figura 3-31.

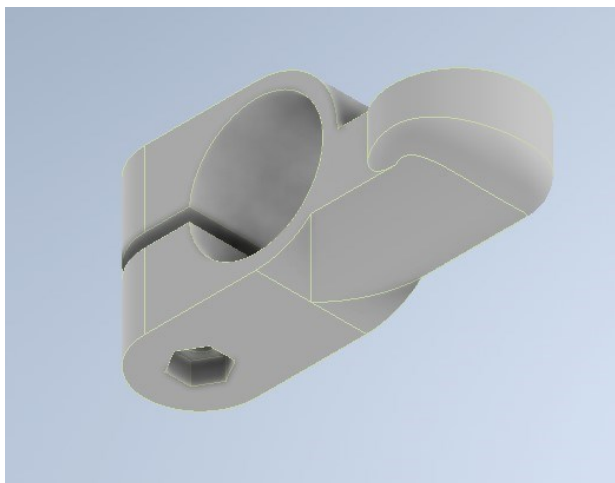


Figura 3-31 Vista isométrica inferior de Figura 3-30

Para el diseño de los raíles o ranuras por donde deberá circular la muesca de la pieza complementaria Figura 3-29 se ha buscado como se mencionó anteriormente una tolerancia mayor que la de otras uniones. De lo contrario el ajuste sería muy apretado y no estaríamos ante un mecanismo de “zafado rápido”. Como se puede apreciar en la Figura 3-32, se ha buscado un recorrido para la muesca amplio (resaltado en verde), permitiendo el giro del adaptador en torno al eje Z de $\pm 90^\circ$ desde el punto de entrada de la muesca sumando en total un arco de 180° .

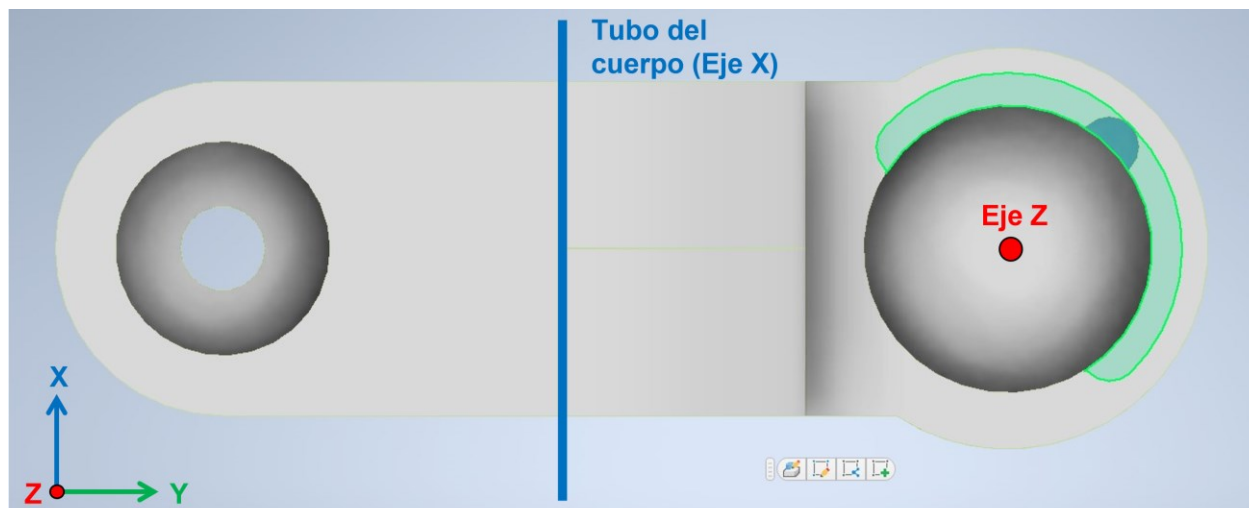


Figura 3-32 Vista de lateral con el rail resaltado en verde

El alto del rail es de 3 mm y el de la muesca de 2,5 mm teniendo una tolerancia de 0.5 mm y como se comentaba favoreciendo esa rápida extracción. A mayores se han rebordeado las esquinas de estas ranuras con operaciones de empalme para incrementar aún más la facilidad de manejo del adaptador a través de los raíles.

En la Figura 3-33 se pueden observar más en detalle los raíles del sistema, resaltando en azul el arco de giro que permite. El espesor de las paredes superiores es de 2,1 mm siendo este suficiente para aguantar las pocas solicitaciones a las que estará sometido durante su uso.

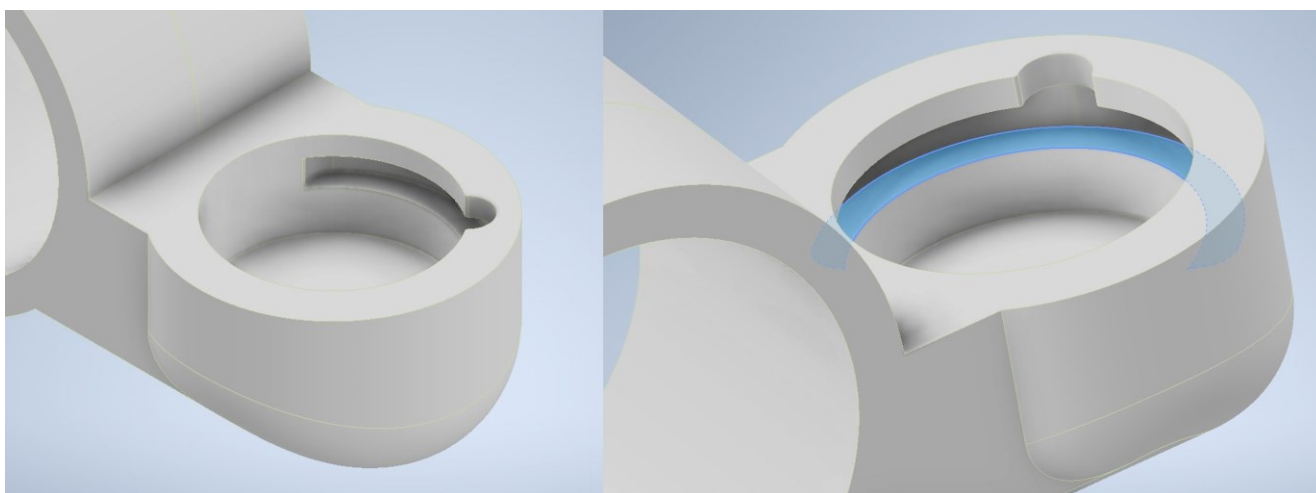


Figura 3-33 Vista en detalle de los raíles

La unión de ambas piezas debe ser relativamente sencilla y a la par dar estabilidad al mando que sujeta. Como se puede apreciar en la Figura 3-34 vemos el ensamblaje de todo el sistema al cuerpo del dispositivo con la abrazadera resaltada en azul para mejor visualización. Está pensada principalmente para usuarios diestros ya que se extrae realizando un movimiento lateral hacia la izquierda. Aun así, la pieza es fácilmente modificable para convertirla para tiradores zurdos invirtiendo la geometría respecto al eje de simetría axial.

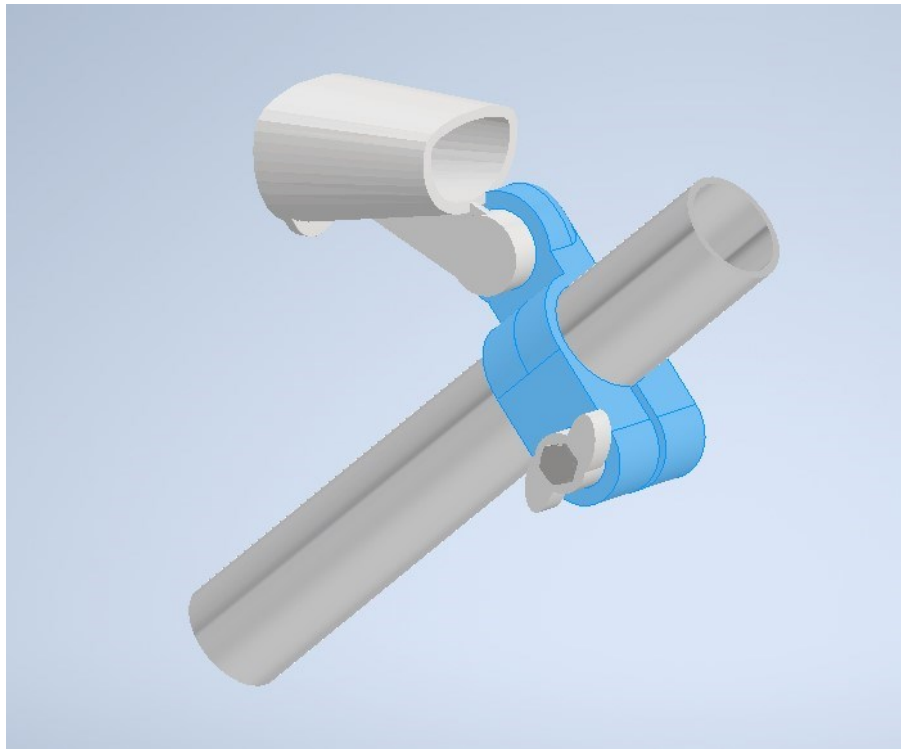


Figura 3-34 Ensamblaje del adaptador al cuerpo

Haciendo *zoom* a la unión como se ve en la Figura 3-35, se ha realizado un corte de media vista a la zona donde se aloja la muesca para mostrar cómo sería la disposición tanto de los imanes como de la propia muesca por dentro de su carril aun siendo esta una versión opcional del mismo.

Como se ha comentado anteriormente se ha elegido para facilitar su uso la no implementación de una muesca para el raíl, pero si se ha querido dejar este último por si criterio del usuario se desea implementar tal medida.

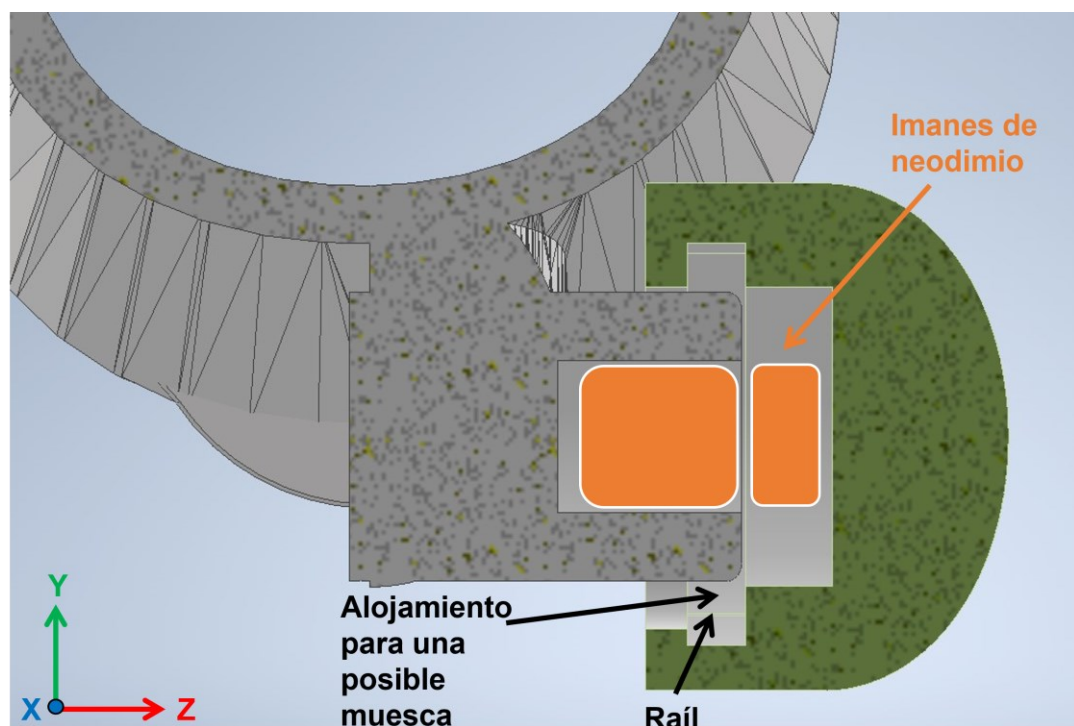


Figura 3-35 Vista de corte de la unión

3.2.3.9 Tapón de tope de tubo

Por último, se ha diseñado una pieza que mecánicamente no es vital para el sistema pero que le da un acabado más limpio y estético. Se trata de un tapón Figura 3-36 que actúa como tope para el extremo del tubo final que queda al descubierto Figura 3-37. Se ha buscado sencillamente acabar el dispositivo de una manera más minimalista pero estética a la vez en lugar de dejar el extremo abierto con el tubo de aluminio.

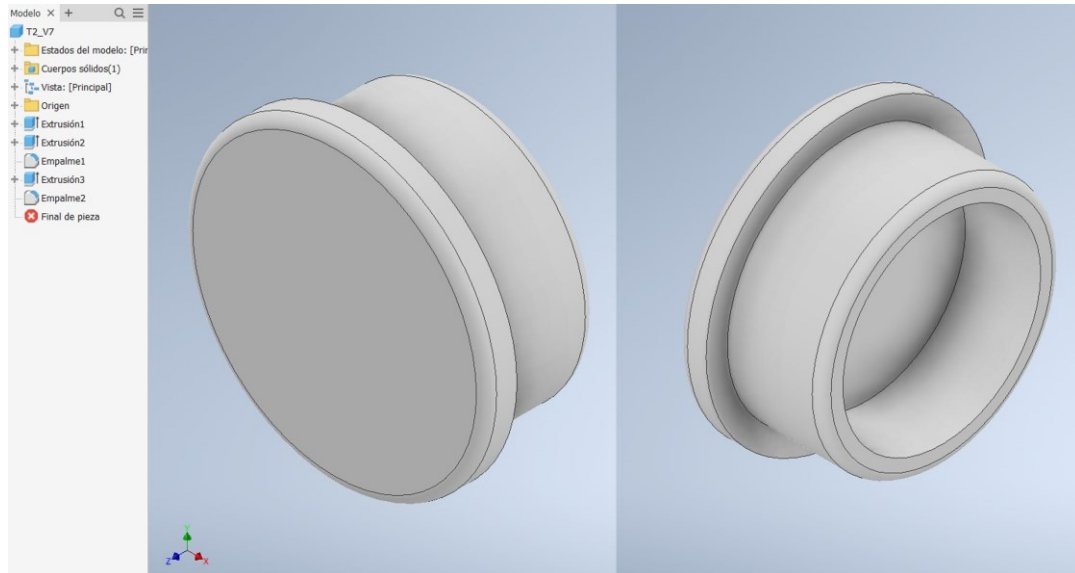


Figura 3-36 Vistas isométricas del tapón

Para ello la idea era el ahorro de material de impresión sin hacer la pieza demasiado débil por su espesor inadecuado. Mediante sencillas operaciones de extrusión y empalme se ha llegado a este resultado sencillo pero eficiente.

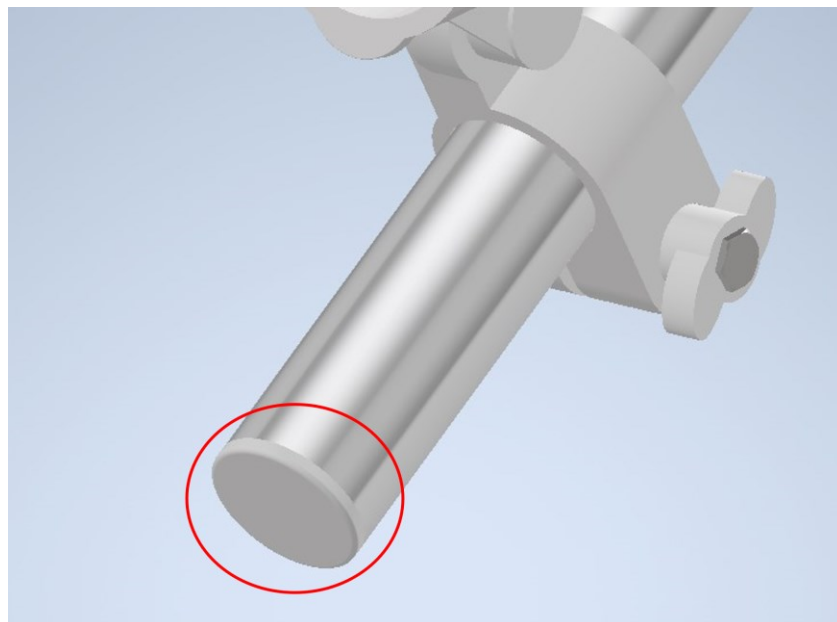


Figura 3-37 Detalle del tapón instalado en el extremo del dispositivo

3.2.4 Ensamblaje final

Utilizando también el software Inventor se ha realizado un ensamblaje Figura 3-38 de todas las piezas para comprobar su montaje previo a la impresión. Con esto se han podido detectar fallos de diseño

como zonas donde las piezas puedan conectar mal o rozar impidiendo realizar su cometido correctamente.

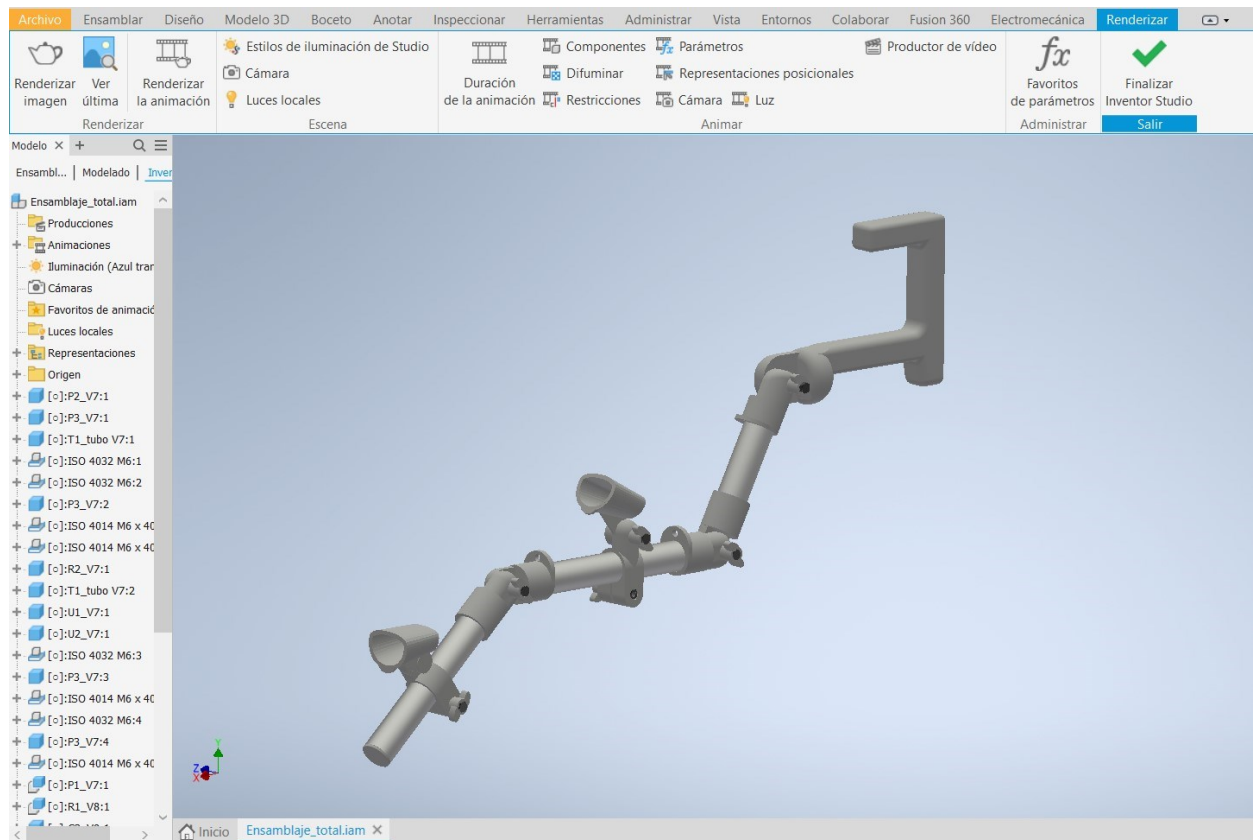


Figura 3-38 Ensamblaje de todas las piezas del dispositivo

Además, este ensamblaje ya incluye también las uniones roscadas por pernos y tuercas de M6 proporcionadas por la base de datos normalizada del software.

3.2.5 Alternativas

Durante el diseño de todas las piezas que componen el dispositivo se han ido desarrollando diferentes versiones de las mismas, en las que se iban corrigiendo errores detectados mayormente. Por otro lado, se han realizado cambios significativos de diseño tales como la concepción del dispositivo tal y como es, pero no sin sopesar alternativas, también viables, a la plataforma estabilizadora escogida.

Por ello se presentarán alternativas de diseño que se han escogido durante la fase de desarrollo del proyecto para tenerlas en cuenta en caso de querer aplicarse en un futuro.

3.2.5.1 Culata alternativa

Un punto clave del dispositivo era la culata, escogida la actual por sus características en cuanto a diseño y ergonomía y por suponer un soporte estable y rígido para la plataforma. Además, esta incorporaba una cantonera para apoyar la mejilla adecuada para su uso de forma cómoda.

Alternativamente se ha diseñado una culata que cambia esto por completo Figura 3-39, siendo menor la cantidad empleada de material de impresión. Esta culata se ha pensado como alternativa más bien estética, pero sin sacrificar la rigidez y resistencia mínima exigida.

Un aspecto a destacar de esta culata es que se puede implementar en multitud de diseños del dispositivo, junto con sus configuraciones posibles. También se ha diseñado para que pueda usar la unión de la culata principal al cuerpo sin requerir de otra pieza específica.

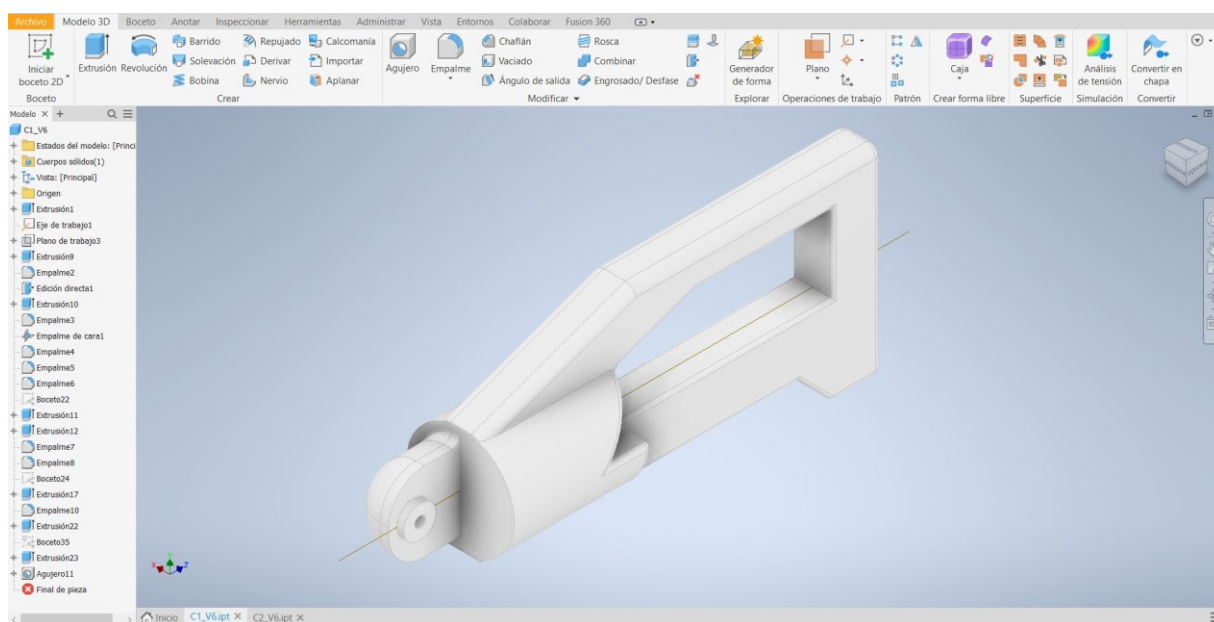


Figura 3-39 Vista lateral de la culata alternativa

La característica principal de ella es su forma que recuerda más a la del HK en comparación con la elegida como se puede apreciar en la Figura 3-40. Hay que reseñar también que el diseño está realizado a partir de la unión de la culata con el resto del cuerpo por lo que en dicha zona se ensancha hasta conformar la zona pensada para ensamblarla mediante tornillería M6.



Figura 3-40 Comparativa de la culata alternativa y la del HK

Se ha buscado en ella el ahorro de material y un acabado puramente estético que nos recuerde al fusil en el que se basa, pero sin aportar todas las características que consigue la versión elegida. El diseño de esta culata también es inferior en cuanto a medidas se refiere midiendo esta 21 cm contra los 28 cm que mide la del fusil. Es una alternativa a gusto del usuario que permite un cambio estético del sistema a la vez que aporta la suficiente rigidez para que sea funcional.

3.2.5.2 Dispositivo con 2 tubos

Una de las opciones que se planteó al principio del proyecto fue la de implementar la idea con un número diferente de tubos para conformar el cuerpo del dispositivo. Entre ellas estaba la posibilidad de usar 1, 2 o hasta 3 tubos.

La idea de usar un solo tubo era la más sencilla ya que requería de una cantidad muy inferior de piezas tanto de fabricación como de diseño al no incluir las uniones entre tubos. Por otro lado, esta alternativa desechaba la posibilidad de regular la configuración del fusil en todos los ejes, limitándolo solamente al longitudinal o eje X.

La versión adaptada de 2 tubos ya hacía posible el modificar la plataforma en el eje X y el eje Y, dándole esa capacidad de mayor configurabilidad respecto a la versión monotubo. Como se puede

apreciar en la Figura 3-41 tenemos un dispositivo más compacto que en la versión de 3 tubos Figura 3-38 aun mostrándose con la culata alternativa.

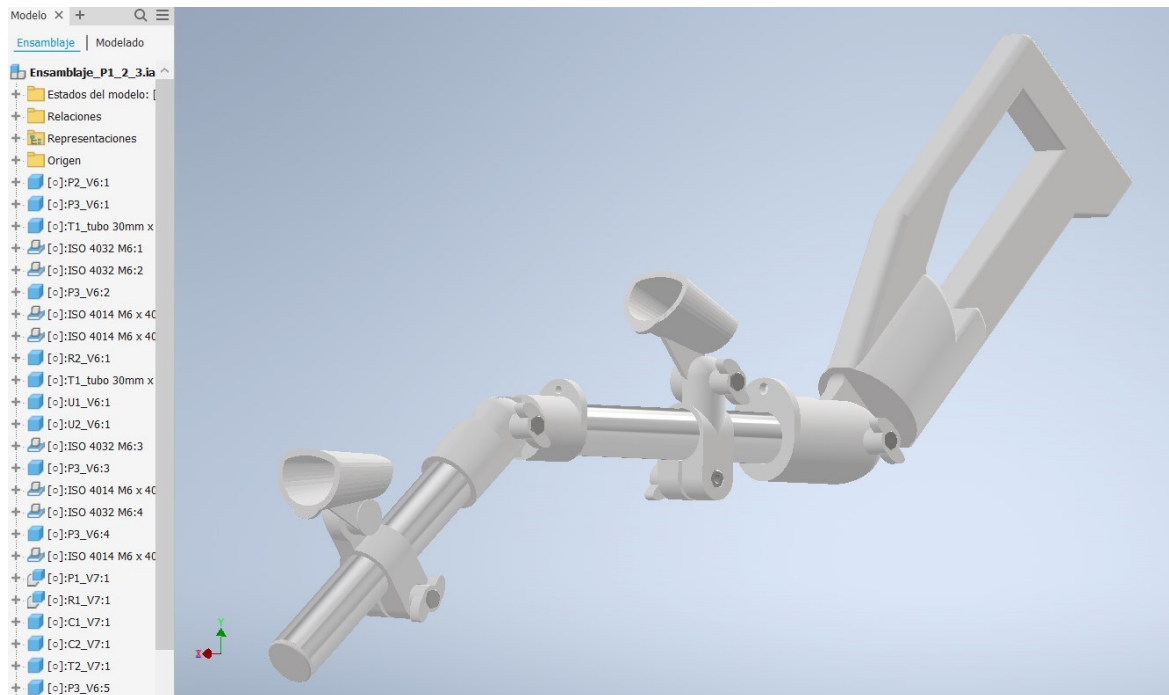


Figura 3-41 Vista isométrica del dispositivo de 2 tubos con culata alternativa

Al igual que en el modelo anterior ahorramos en cuanto a piezas se refiere, pero sacrificamos nuevamente algunas características. Como se ve en la Figura 3-42 en esta configuración el agarre de ambos mandos (pistolete y guardamanos) queda por encima del punto de apoyo de la culata, algo que en el fusil HK G36 E no ocurre.

Teniendo en cuenta que la motivación de este trabajo ha sido la búsqueda de una ayuda para la simulación de ejercicios de adiestramiento que complementen la formación de los militares, la versión elegida ha sido la de 3 tubos. Si queremos una mayor configuración del dispositivo, incluso adaptándolo a las preferencias personales del usuario, una opción con más tubos era necesaria.

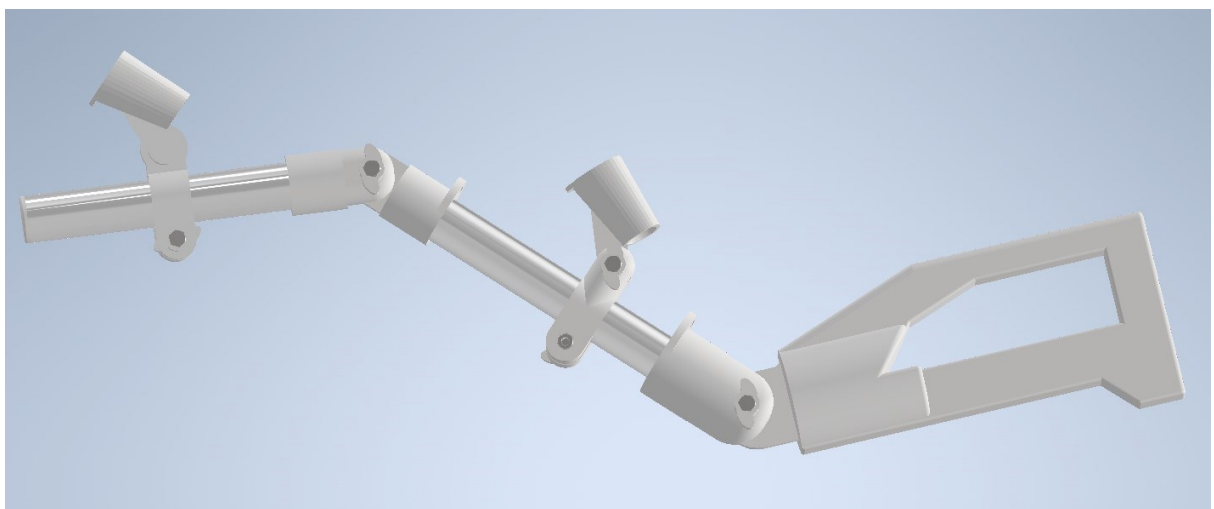


Figura 3-42 Vista lateral del dispositivo de 2 tubos con culata alternativa

Por último, mencionar que, aun habiendo sido concebido para usarse con la versión de 3 tubos, ambos modelos de 1 y 2 son aptos también para su uso, al igual que la culata alternativa, siendo la preferencia personal del usuario la decisión final a la hora de fabricarlo e implementarlo.

3.3 Fabricación

En este apartado se explicará cuál ha sido el proceso de impresión 3D de las piezas, el software empleado para ello, el dispositivo de impresión y la tecnología y por último el montaje y ensamblaje de todas las piezas.

3.3.1 Ultimaker Cura

Para poder realizar la impresión en 3D es necesario la implementación de un software adicional, en este caso Ultimaker Cura en su versión 2.5.1 como se puede apreciar en la Figura 3-43.

Para poder usar este software deben de emplearse archivos con extensión stl, siendo estos archivos los adoptados mundialmente en la industria del *Rapid Prototyping/ Manufacturing* para la transmisión de datos (geometrías 3D) [14]. Estos archivos convierten la superficie 3D del objeto en una malla conformada por pequeños triángulos que se identifican de forma única e inequívoca.

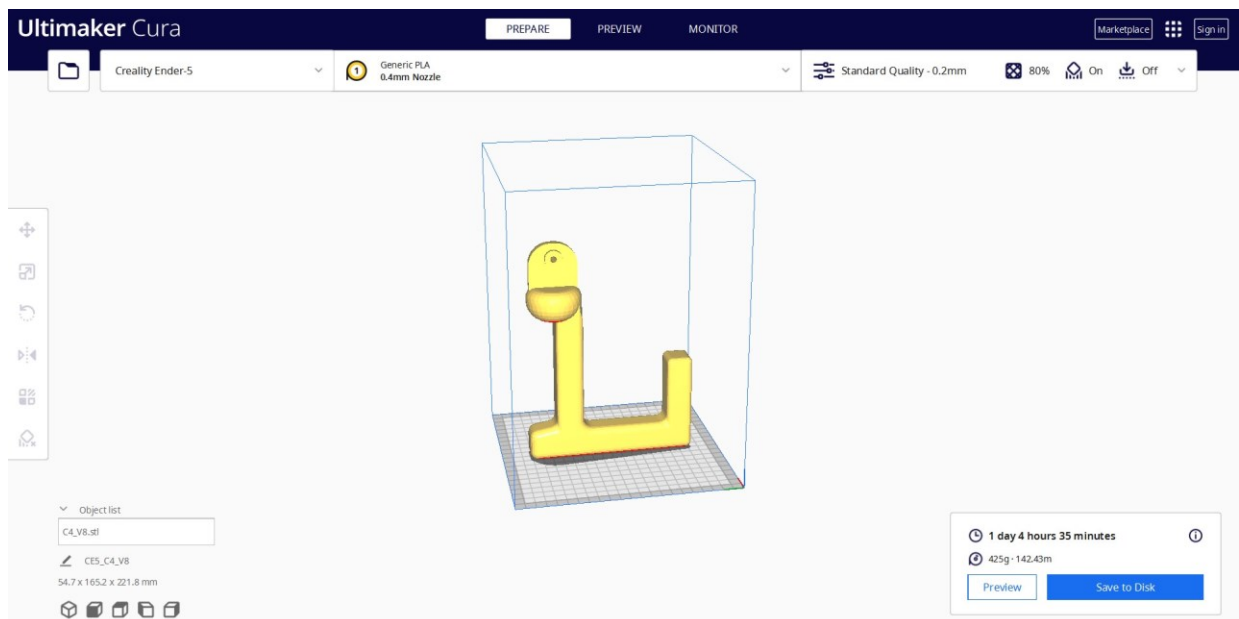


Figura 3-43 Interfaz Ultimaker Cura

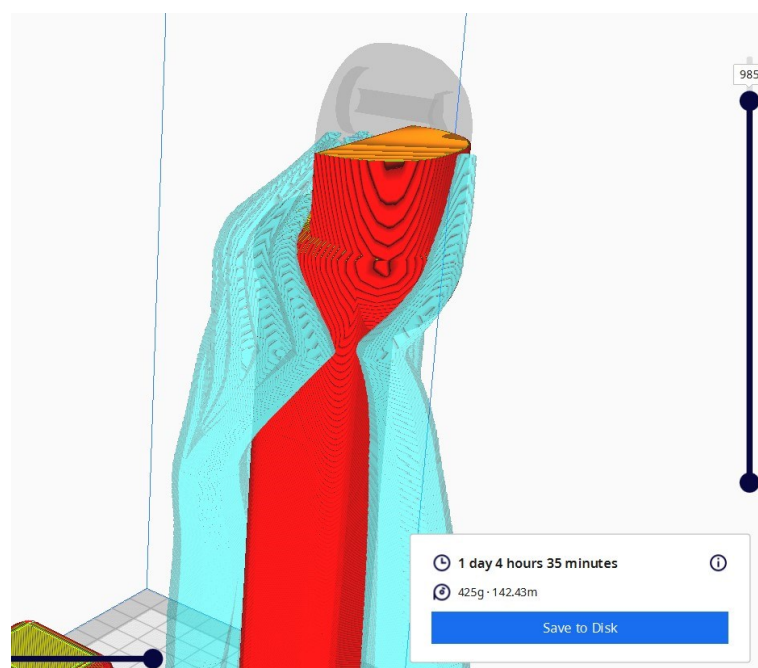


Figura 3-44 Detalle del proceso de slice y capas

El software Autodesk Inventor Professional permite exportar sus archivos ipt a archivos stl facilitando el empleo de terceros como Cura para su implementación en impresoras 3D. Al pasar las piezas por el software se realiza un proceso de slice Figura 3-44 que “divide” la pieza en capas que más tarde se traducirán en órdenes a la impresora que vaya a llevar a cabo la fabricación. A mayores de esto se le pueden dar especificaciones concretas como el porcentaje de relleno, la estructura de apoyo que va a llevar o el espesor de las paredes. Estas especificaciones de fabricación se mostrarán más adelante en la explicación del proceso.

3.3.2 Impresión 3D

Para la impresión de este trabajo se ha empleado principalmente la impresora *Creality Ender-5 Pro* Figura 3-45 que posee un extrusor a diferencia de otros modelos. Esta impresora utiliza la tecnología FDM, mencionada anteriormente, en la que un cabezal extrusor calienta el polímero y lo va depositando capa por capa en una superficie bidimensional. Por otro lado, su amplio espacio de trabajo ha permitido imprimir las piezas más grandes como puede ser la culata de 21,5 cm de largo.



Figura 3-45 Impresora Creality Ender-5 Pro

El material principal empleado es el PLA, polímero ampliamente usado en la impresión 3D de buenas características para la impresión de piezas que requieran de unas propiedades mecánicas aceptables. Además, es el adecuado para su implementación con la tecnología FDM, que es la elegida para el proyecto.

Las características de impresión empleadas en la fabricación de las piezas son las siguientes Figura 3-46:

- Porcentaje de relleno del 80%: aunque este se empieza a considerar completamente sólido a partir de un 50-60% de relleno se le ha decidido dar más para tener piezas aún más compactas y resistentes a las solicitaciones.
- Espesor de las paredes de XX mm: se ha buscado un espesor mínimo que cumpla con los requisitos de diseño y que permita que en las zonas de desgaste y roce no se rompan fácilmente.
- Estructura de apoyo tipo árbol: este software nos ofrece generar diferentes estructuras de apoyo para la impresión debido a que no es posible generar algunas partes de las piezas sin estas. Se ha escogido la forma de árbol Figura 3-47 (opción generada por Cura) frente a la

clásica debido a que el software calcula la mejor estructura para su creación en vez de realizar una forma homogénea simple que cubra toda la base de la pieza (evitando así ningún tipo de voladizo). Con esto se consigue un ahorro de material de apoyo considerable ya que evitamos el empleo de material en exceso.

- Calidad de extrusión/ tolerancia: se emplea la estándar de 0.2 mm que es la que permite el cabezal extrusor de la impresora. Para ello se ha tenido en cuenta durante el diseño dándole ese margen de tolerancia a las cotas de las piezas.

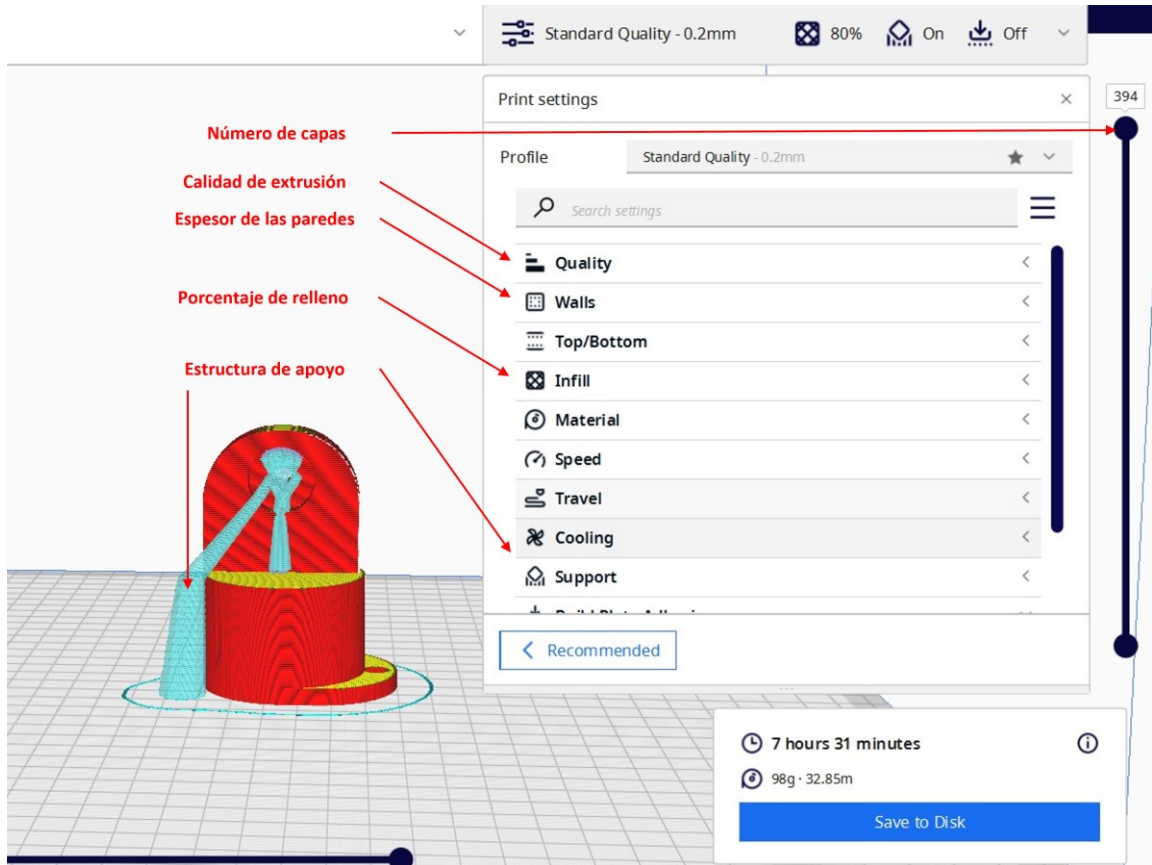


Figura 3-46 Características de impresión en Cura

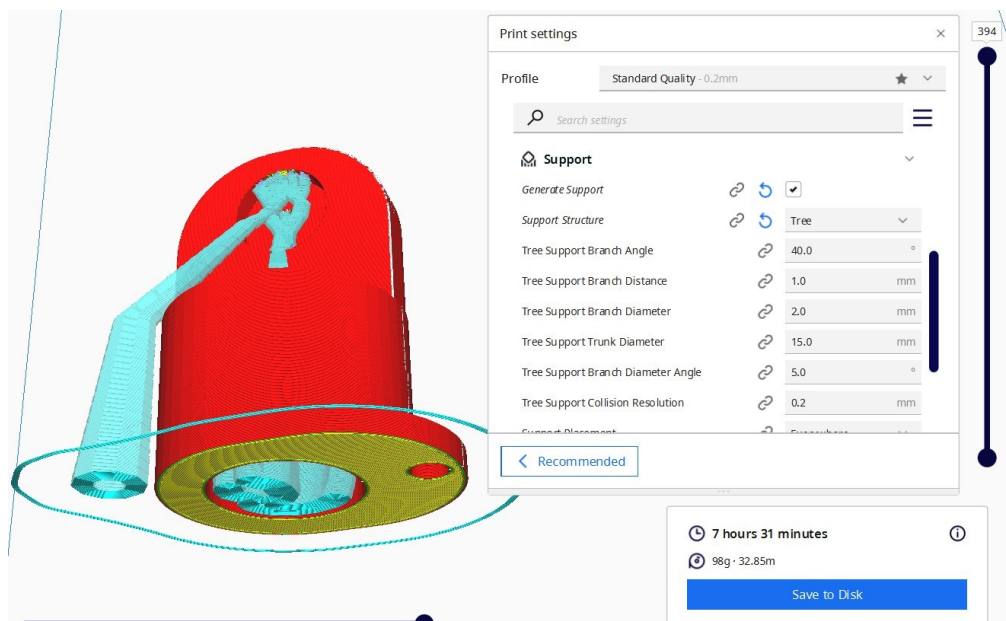


Figura 3-47 Detalle apoyo de árbol (estructura de color azul)

Durante todo el proceso de impresión se han ido probando diferentes versiones de las piezas, encontrándose errores de diseño y de impresión. Estos últimos han sido de muchos tipos debido a que también se ha experimentado con diferentes posiciones de las piezas durante la fabricación. Al depositar el material capa a capa no es lo mismo si se imprime una pieza de forma vertical u horizontal ya que las capas ya no son las mismas y se consiguen resultados diferentes. Como se puede observar en la Figura 3-48 donde la pieza de arriba ha sido imprimida apoyando en su base plana y más ancha y la de abajo usando como base un lateral. Esto no solo afecta a la estructura en general, ya que las capas se apilan de forma diferente, si no a las tolerancias y a los acabados superficiales.



Figura 3-48 Impresión vertical y horizontal de uniones

Se han obtenido resultados varios con respecto a la colocación de las piezas y se ha llegado a la conclusión de que se consiguen mejores acabados y, por lo tanto, tolerancias para una posición concreta. Si se imprimen empleando como base las partes planas obtenemos de resultado la pieza de la Figura 3-49 donde vemos la culata alternativa del sistema.

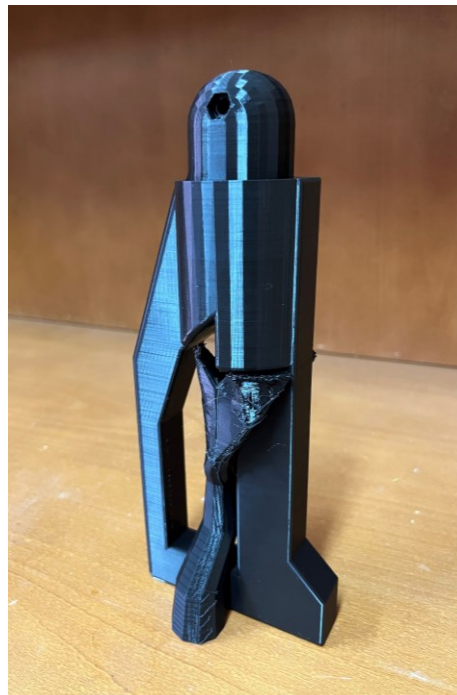


Figura 3-49 Culata impresa con apoyo de árbol

3.3.3 Ensamblaje

En el ensamblaje final de las piezas se ha empleado como se comentó en la fase de diseño tornillería de M6 de diferentes longitudes, desde los 40 mm hasta los 55 mm. Además, se le han añadido sus respectivas tuercas de cabeza hexagonal para terminar las uniones atornilladas. Como por ejemplo en la Figura 3-50 donde vemos una unión entre partes del cuerpo atornillada, compuesta por un tornillo de cabeza hexagonal de M6 de 55 mm de longitud una tuerca de M6 de cabeza hexagonal también y una palometa para el apriete rápido.

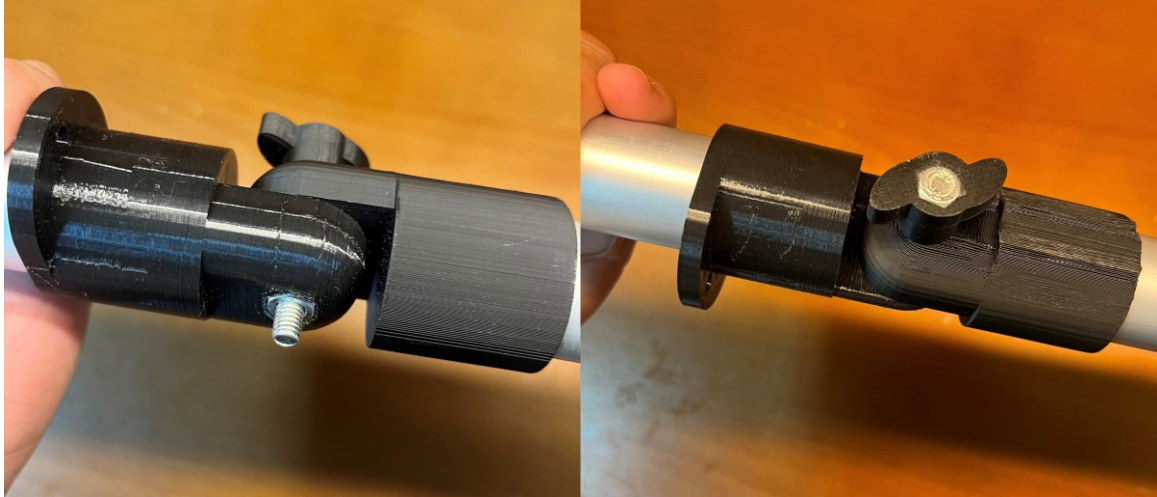


Figura 3-50 Detalle de una unión atornillada

En agarre del adaptador de mando de zafado rápido se ha instalado con un imán diferente en cada parte como se comentó en el apartado de diseño. En la Figura 3-51 vemos este engarce donde se aprecia que la abrazadera cuenta con los raíles en caso de querer implementar un extra de seguridad con la muesca como se comentó. El resultado final se mostrará en el apartado de Resultados.



Figura 3-51 Detalle del agarre por imán

3.4 Pruebas de campo

En este apartado se comentará brevemente como ha sido la implementación de este prototipo funcional en el simulador in situ, en las instalaciones del centro de investigación del Centro Universitario

para la Defensa de Marín. Se mostrarán algunas imágenes del mismo y como ha sido dicha implementación.

Esta prueba se basa en la realización de una simulación de VR en la que los mandos son colocados en el dispositivo y se ejecutan una serie de movimientos y acciones básicas. Con ello se pretende comprobar si el sistema es adecuado finalmente para su uso como soporte de los sensores (mandos) y no presenta disfuncionalidad ninguna a mayores de las existentes con el uso aislado de estos últimos.

Además, debe aportar una solución estable para la calibración de los sensores y eliminar la oscilación inherente a los sensores debido a su sensibilidad. Los resultados se comentarán en el siguiente apartado del trabajo.

Se hizo uso de un simulador de combate disponible en el laboratorio de realidad virtual para poder llevar a cabo las pruebas de campo. Una vez se hubo encendido y calibrado todo el aparataje necesario al respecto (iluminadores, mandos y gafas) se procedió a colocar los mandos en sus adaptadores e iniciar el programa. Este programa se basa en la galería de tiro de Figueirido del acuartelamiento General Morillo de la BRILAT. En esta simulación podemos realizar los ejercicios de tiro básicos de precisión (BP1 a BP7) recogidos en el plan de tiro de infantería de marina.

En la Figura 3-52, donde aparece el usuario portando todos los sensores del simulador, se puede apreciar bien todo el conjunto. Ahí se estaba realizando una prueba de calibración para poder implementar de forma correcta la simulación con los mandos y el nuevo soporte de estos.



Figura 3-52 Prueba en el simulador de combate del laboratorio del CUD-ENM

A mayores se han realizado vídeos demostrativos empleando dicho sistema en el laboratorio, que se les podrán mostrar si así se requiriera. En la imagen anterior se ve al usuario realizando un ejercicio de los mencionados en el video. Dicho vídeo será incluido en forma de código QR único que podrán encontrar en el siguiente apartado de resultados de pruebas de campo.

Por último, resaltar que se pudieron realizar estos ejercicios con los mandos solamente sin ayuda del sistema para comprobar la diferencia entre ambos modos. Se practicaron los mismos ejercicios que con el dispositivo fabricado para una mejor comparación y una valoración objetiva de las pruebas realizadas en el laboratorio. Los resultados y conclusiones de esta comparativa se expondrán en el siguiente apartado.

4 RESULTADOS

4.1 Descripción del apartado

En este apartado del trabajo se expondrán los resultados obtenidos por fases del mismo, tanto para el diseño, fabricación y pruebas de campo en el laboratorio. Además, se añadirán los planos proyectivos del trabajo.

4.2 Fase de diseño y modelado

4.2.1 Resultados

Respecto a la fase de diseño y modelado del sistema con el software de Autodesk Inventor Professional 2023 se han podido sacar algunas conclusiones sobre todo en lo que a practicidad se refiere. Se ha diseñado satisfactoriamente con los requisitos establecidos por el autor bajo supervisión de los directores, incluyendo también algunos requerimientos establecidos por estos últimos.

El resultado final de diseño quedaría de tal manera como se ve en la Figura 4-1, donde se aprecia el ensamblaje ya articulado para simular el fusil.



Figura 4-1 Imagen renderizada del sistema ensamblado

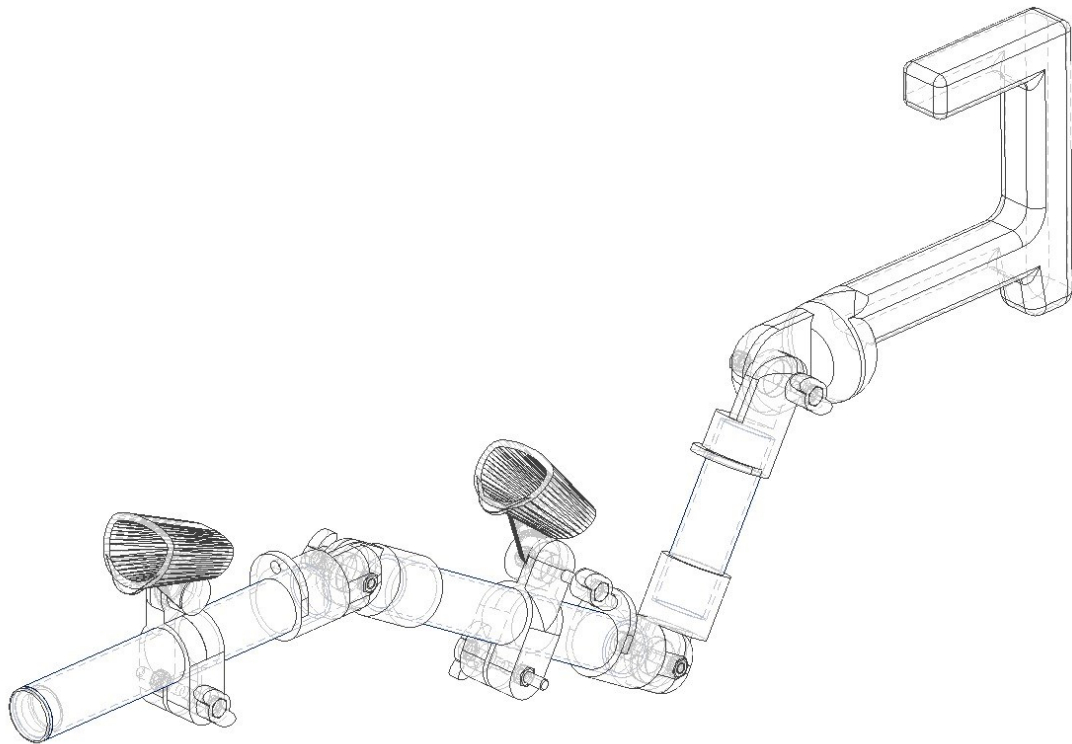


Figura 4-2 Ensamblaje con vista alámbrica y aristas ocultas

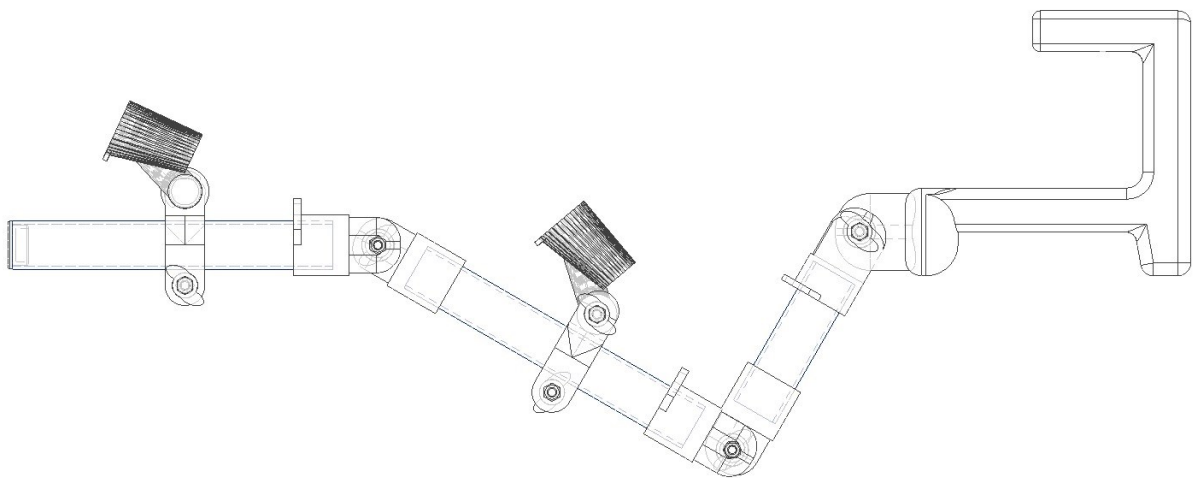


Figura 4-3 Ensamblaje con vista alámbrica de perfil

4.2.2 Errores y correcciones

Durante esta fase se han detectado algunos errores de diseño que han sido subsanados durante esta fase. El primero, por ejemplo, referido al diámetro de los tubos que articulan el cuerpo que se pensó de media pulgada, pero se terminó por corregir a uno de 30 mm de diámetro nominal.

Por otro lado, la culata del sistema se pensó con una inclinación de 100° respecto a la vertical inclinada hacia el usuario, pero esto daba problemas por lo que terminó creándose una recta.

Gracias al software también se pudieron detectar fallos en el ensamblaje de las piezas que no estaban previstos cuando se diseñaron por separado. Con esto, aprendemos que es importante tener en cuenta el ensamblaje por subconjuntos y a la vez el de todo el sistema. Este fue el caso de las uniones articuladas

del cuerpo y la culata, que en algunos casos no permitían un giro correcto ya que las piezas colisionaban entre si antes de girar.

4.2.3 Planos proyectivos

En este subapartado se expondrán los planos proyectivos del trabajo. Mencionar que son planos solamente proyectivos con detalles y secciones y no constructivos acotados. Esto se debe a motivos personales de propiedad intelectual, por lo que se ha decidido no incluir la acotación de estos. Del mismo modo se podrá disponer de los archivos ipt originales del trabajo si así se requiriera, así como los stl para la fabricación de futuros prototipos o ejemplares mediante tecnología de impresión 3D.

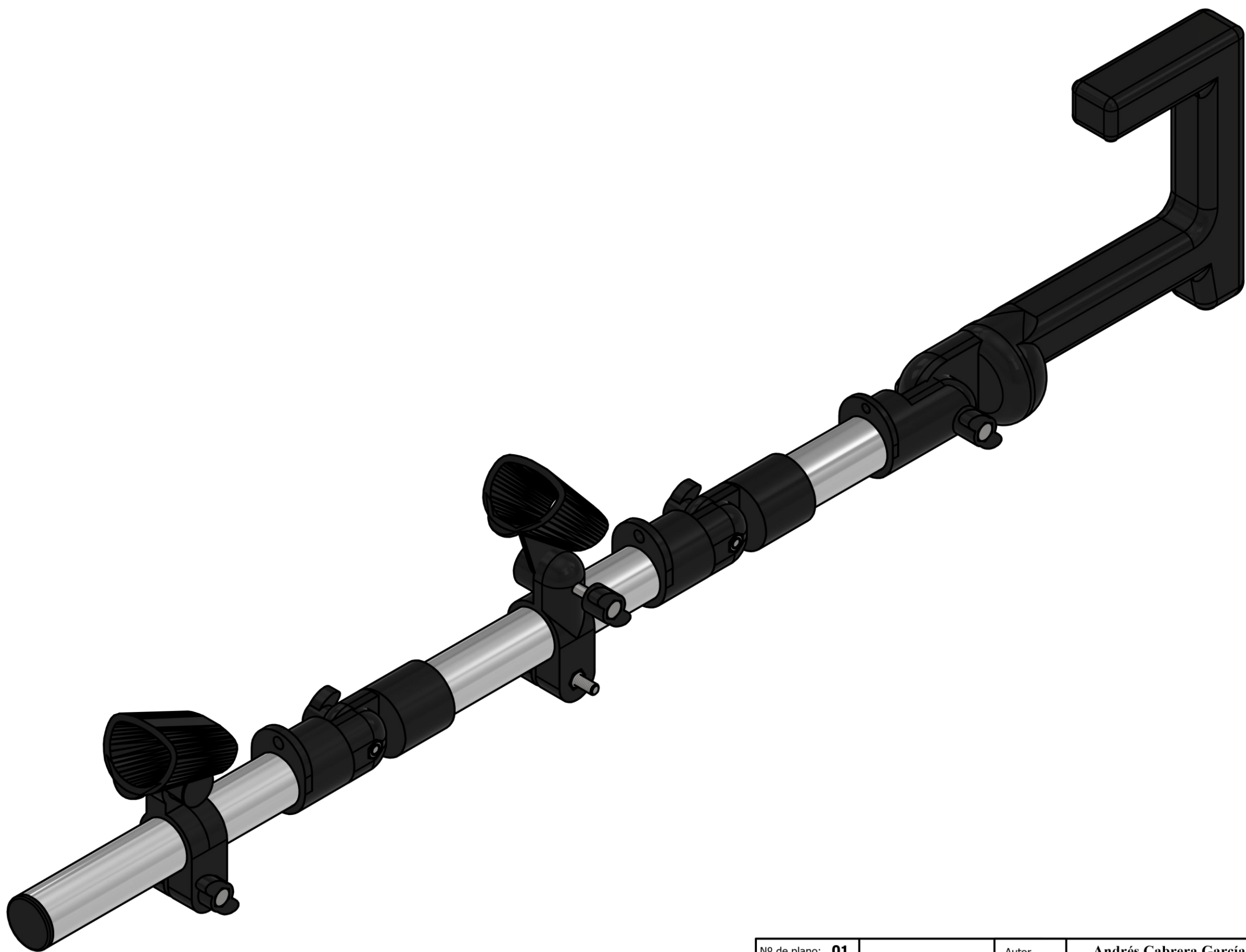
Para los planos de conjuntos, subconjuntos y explosionados se ha elegido el formato A3 siguiendo la normativa ISO. Por otro lado, para los planos de piezas individuales se ha elegido el formato A4. A continuación se expone el siguiente índice de planos seguido de los mencionados planos proyectivos del trabajo.

El índice de planos quedaría entonces de la siguiente manera, ya habiendo sido mencionado al principio junto con el resto de índices del trabajo:

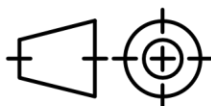
01. Conjunto a color isométrico: en este plano se muestra una vista isométrica a color de todo el sistema.
02. Conjunto blanco y negro isométrico: como el plano anterior, pero en blanco y negro
03. Configuraciones posibles del sistema: se muestran algunas de las posibles configuraciones predeterminadas para simular diferentes sistemas de armas.
04. Vistas del sistema: plano con vistas de planta, alzado y perfiles del sistema
05. Explosionado con listado de piezas: conjunto total del sistema con explosionado de todas las piezas enumerado y listado por cantidades.
06. Subconjunto culata: uno de los subconjuntos en los que se divide el sistema. Los siguientes planos de subconjunto representan cada uno una parte.
07. Subconjunto unión
08. Subconjunto adaptador fijo
09. Subconjunto adaptador imán
10. Culata: culata en isométrico con vistas. Los planos de las piezas individuales que empiezan a partir de este tienen toda representación de vistas (alzado, planta y perfiles) además de secciones y cortes para su mejor comprensión
11. Unión culata al cuerpo
12. Tubo corto
13. Piecerío 1: representación de la palometa, el tornillo M6x55 y de la tuerca M6
14. Unión hembra tubos
15. Unión macho tubos con argolla
16. Piecerío 2: representación de la palometa, el tornillo de M6x40, la tuerca de M6 y el tapón que hace de tope
17. Tubo largo
18. Abrazadera adaptador mando fijo
19. Adaptador mando fijo
20. Abrazadera adaptador mando imán
21. Adaptador mando imán

El orden de los planos individuales de piezas sigue el mostrado en los subconjuntos. (Ej: el primer plano de subconjunto es el 06, de la culata, y el orden de las piezas es, 10 culata, 11 unión culata al cuerpo...) con esto se consigue un orden mejor a la hora de mostrar los planos.

Para el de los subconjuntos se ha optado por mostrar el orden desde la culata hasta el tope siguiendo la línea del dispositivo en el eje X, de forma que quede ordenado y fácil para la comprensión del lector de este trabajo.

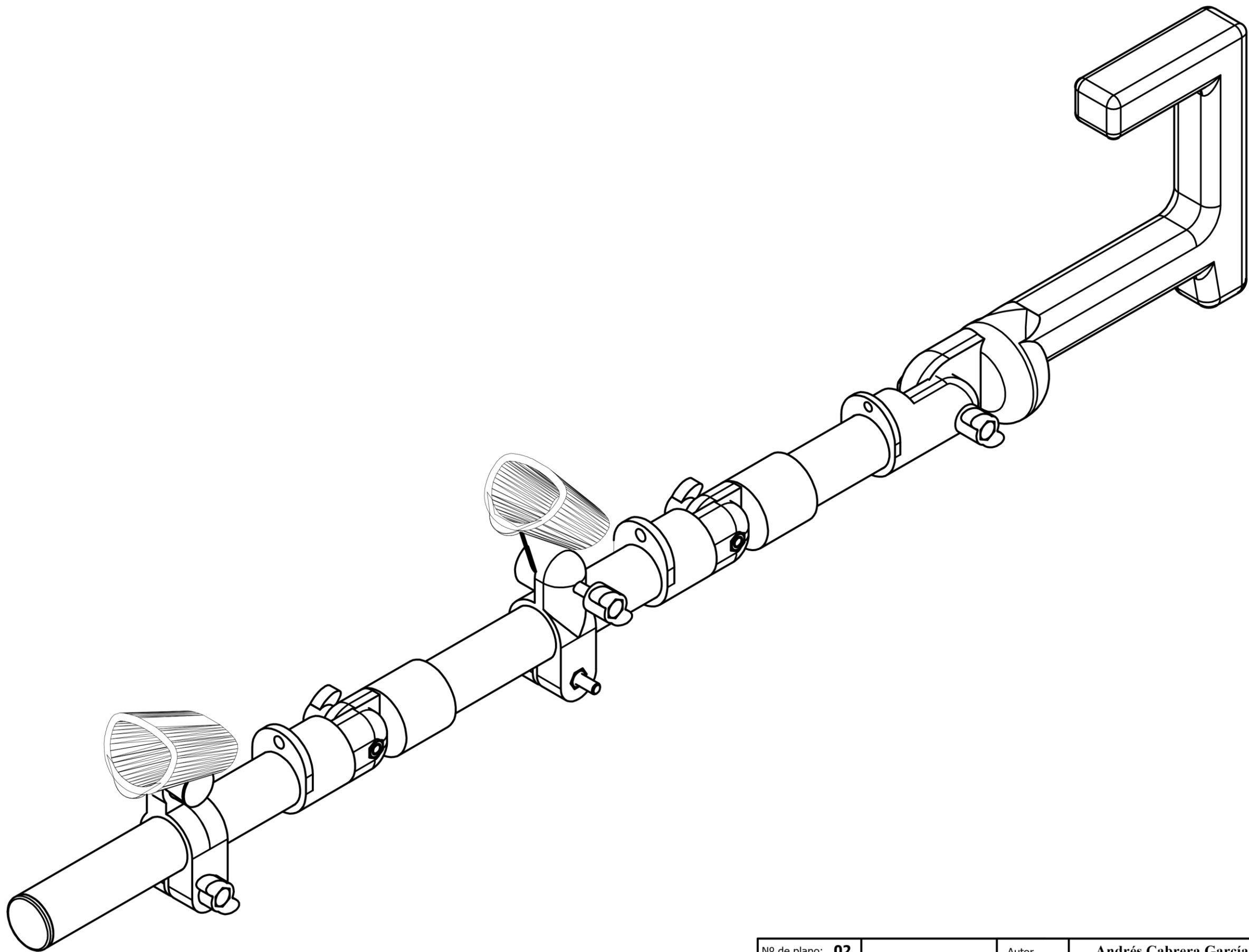


Nº de plano: 01
Formato A3
Escala 1:2



Autor	Andrés Cabrera García-Valdés
Designación	Conjunto a color isométrico
Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual





Nº de plano: 02		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato		Designación	Conjunto blanco y negro isométrico	
Escala		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

HK MP5

(Posibilidad e 2 tubos)

Fusil de
precisión

HK G36 E

FN Minimi

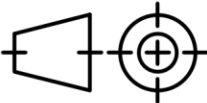
Nº de plano: 03

Formato

A3

Escala

1:4



Autor

Andrés Cabrera García-Valdés

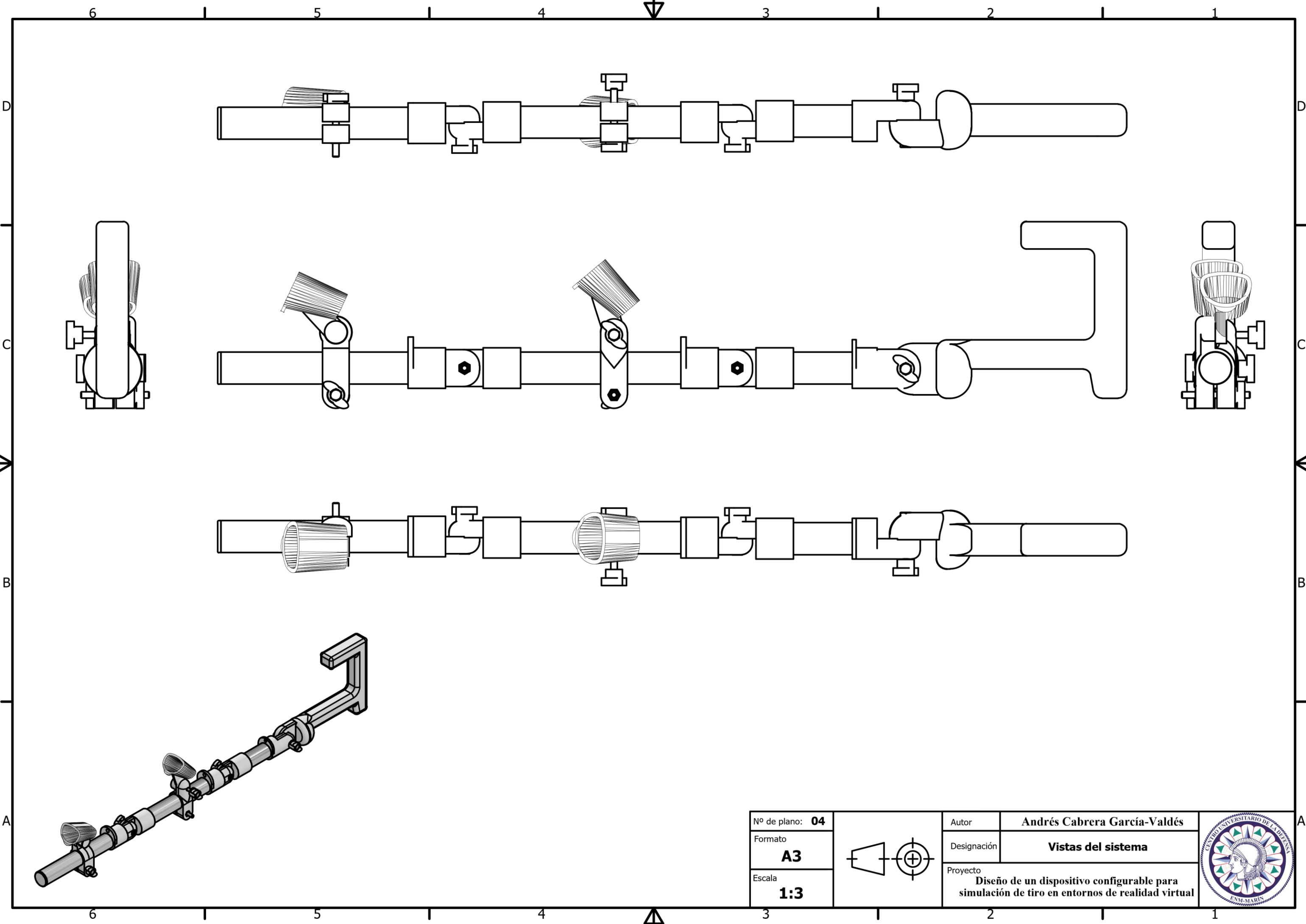
Designación

Configuraciones posibles del
sistema

Proyecto

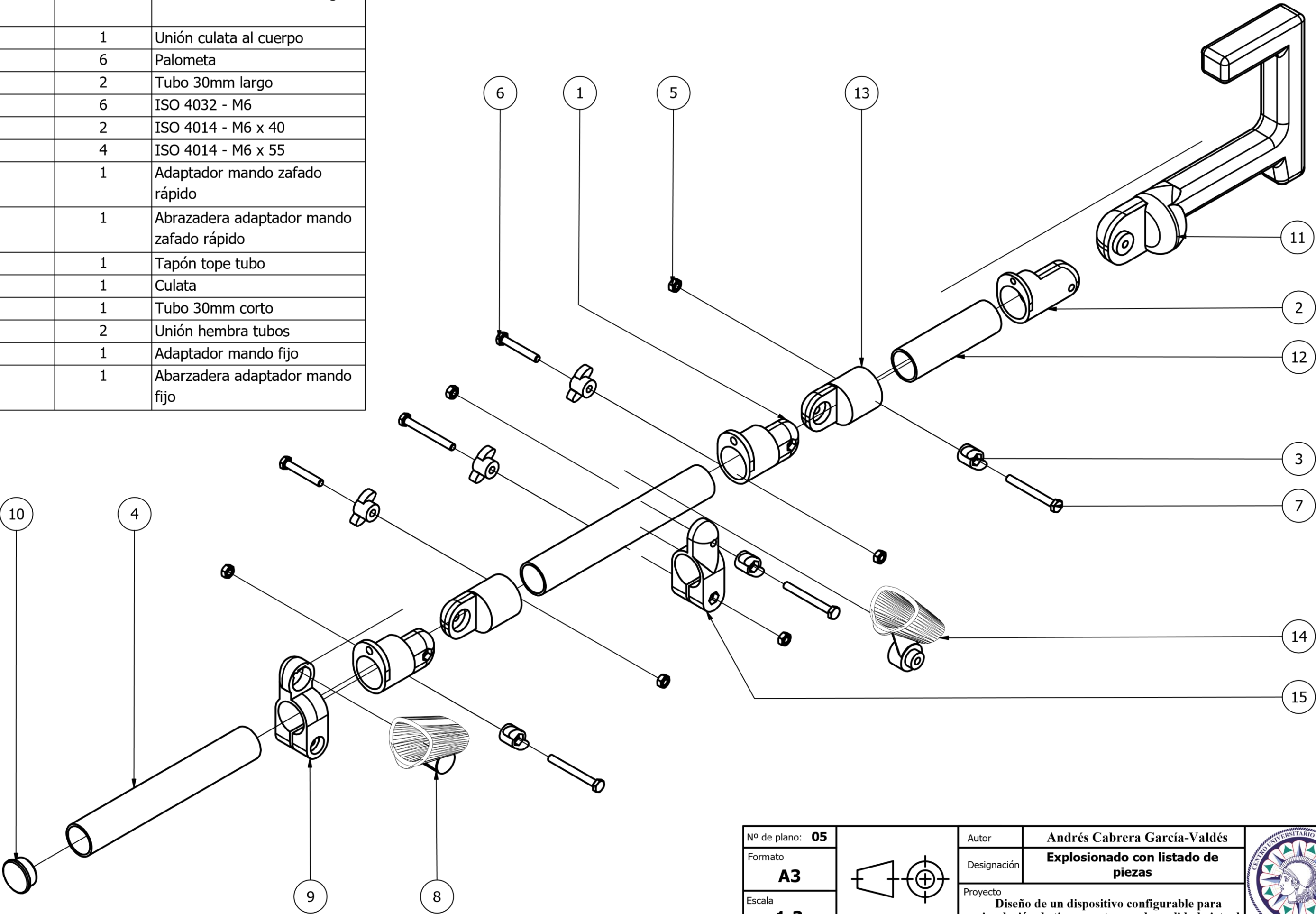
Diseño de un dispositivo configurable para
simulación de tiro en entornos de realidad virtual





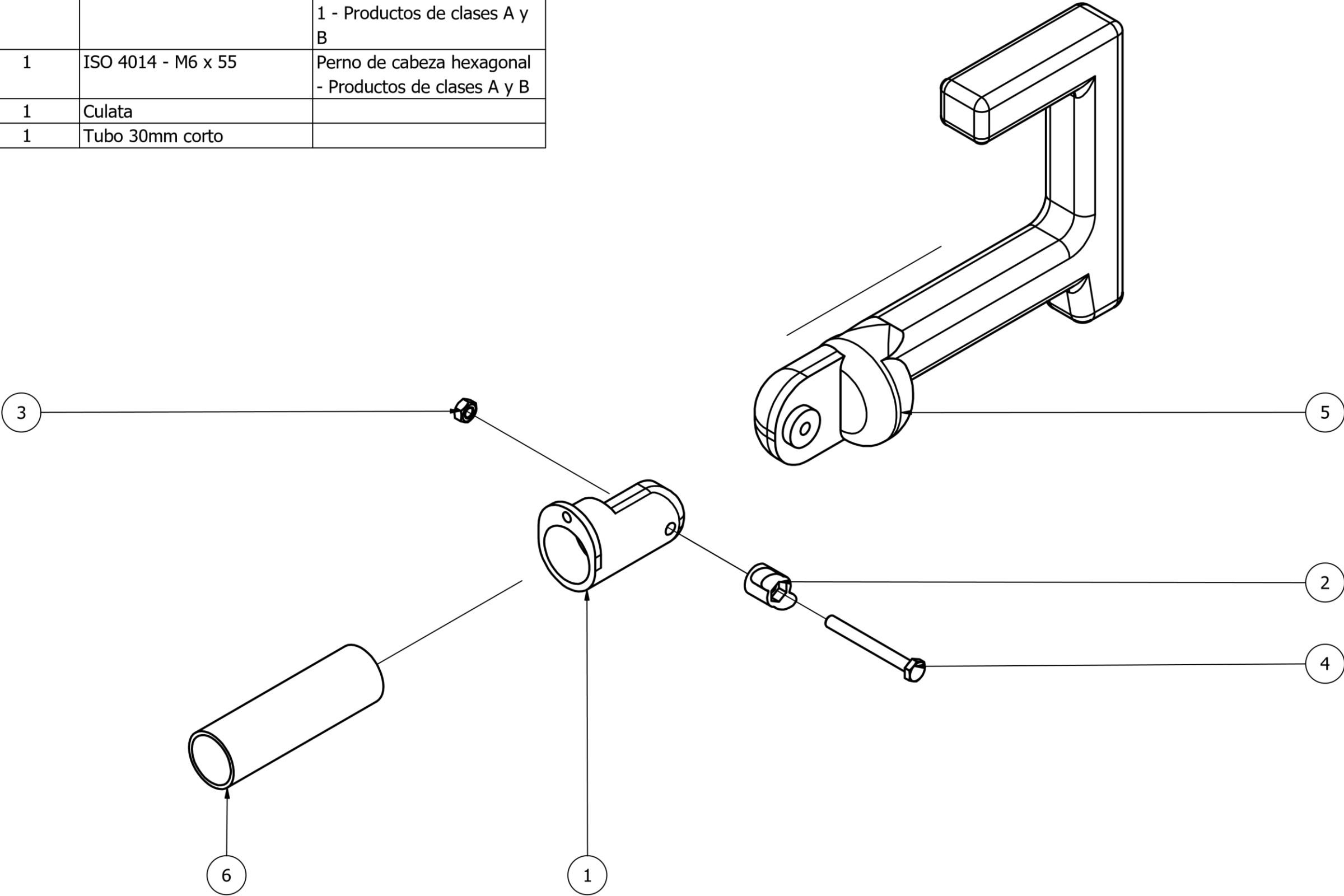
Nº de plano: 04		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato		Designación	Vistas del sistema	
Escala		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	
A3				
1:3				

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Unión macho tubos con argolla
2	1	Unión culata al cuerpo
3	6	Palometa
4	2	Tubo 30mm largo
5	6	ISO 4032 - M6
6	2	ISO 4014 - M6 x 40
7	4	ISO 4014 - M6 x 55
8	1	Adaptador mando zafado rápido
9	1	Abrazadera adaptador mando zafado rápido
10	1	Tapón tope tubo
11	1	Culata
12	1	Tubo 30mm corto
13	2	Unión hembra tubos
14	1	Adaptador mando fijo
15	1	Abarzadera adaptador mando fijo



Nº de plano: 05		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés		
Formato		A3	Designación		Explosionado con listado de piezas
Escala		1:3	Proyecto		Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual

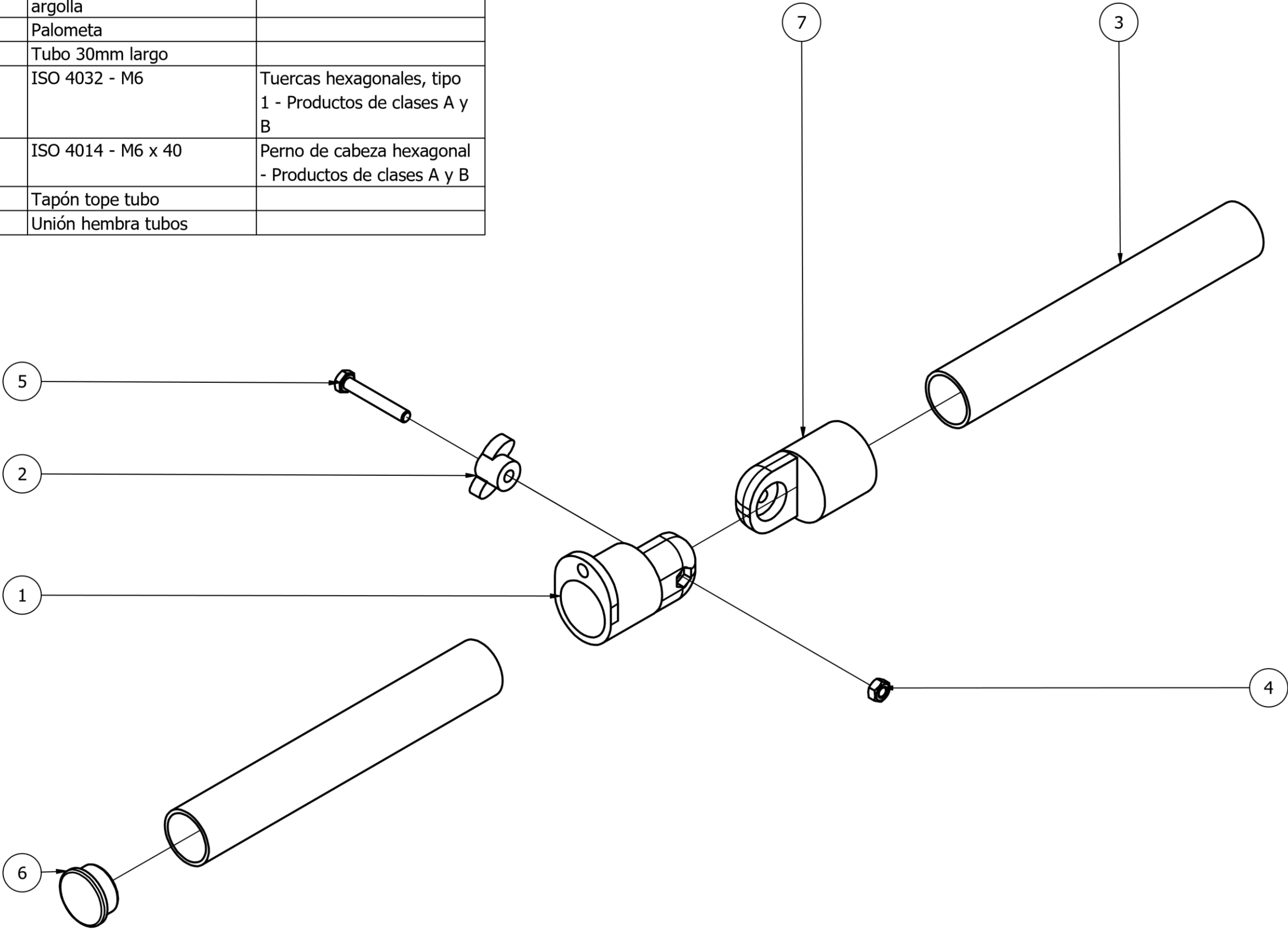
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Unión culata al cuerpo	
2	1	Palometa	
3	1	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
4	1	ISO 4014 - M6 x 55	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
5	1	Culata	
6	1	Tubo 30mm corto	



Nº de plano: 06		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés
Formato A3		Designación	Subconjunto culata
Escala 1:2		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual

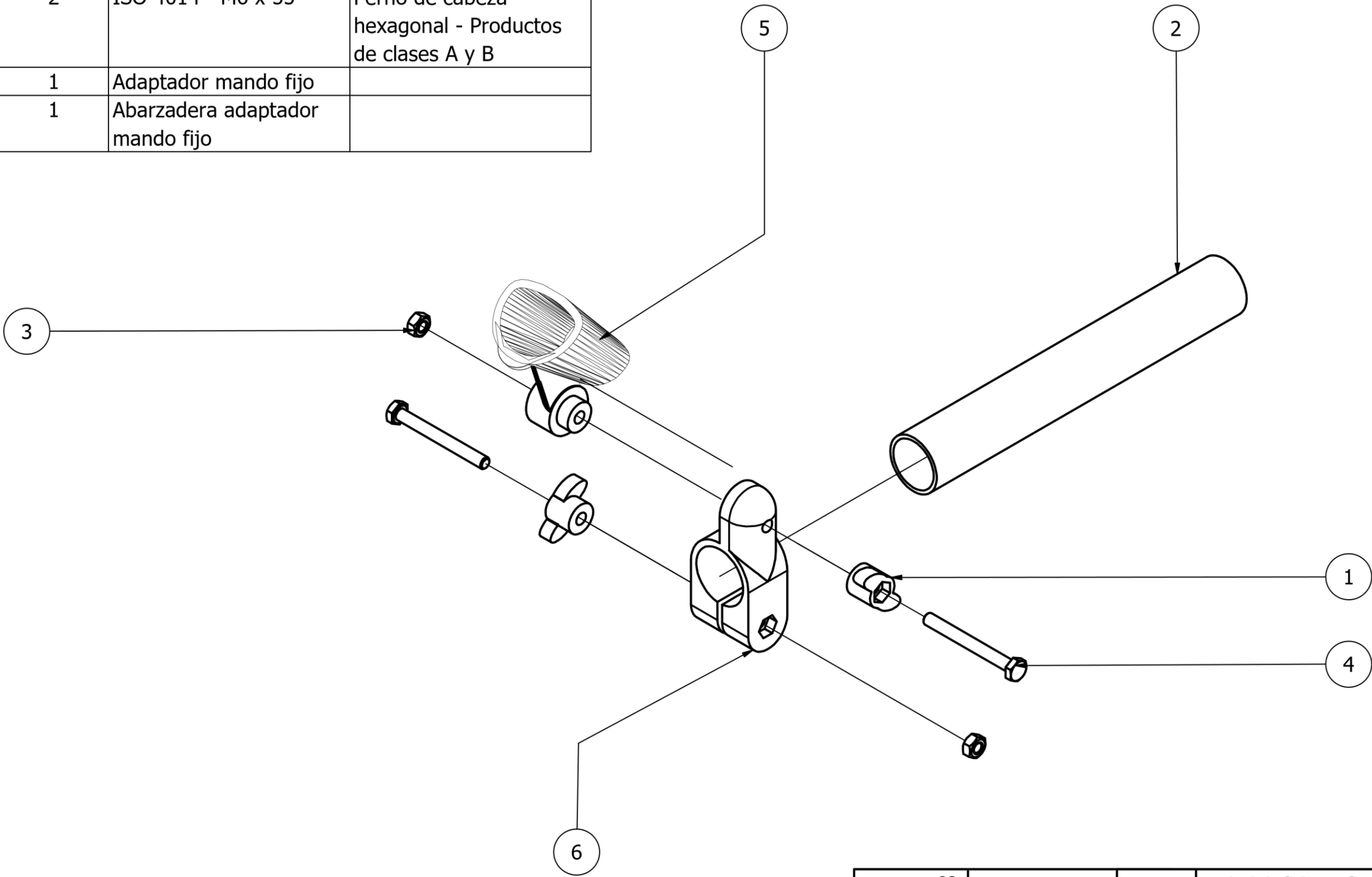


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Unión macho tubos con argolla	
2	1	Palometa	
3	2	Tubo 30mm largo	
4	1	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
5	1	ISO 4014 - M6 x 40	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
6	1	Tapón tope tubo	
7	1	Unión hembra tubos	



Nº de plano: 07		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A3		Designación	Subconjunto unión	
Escala 1:2		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

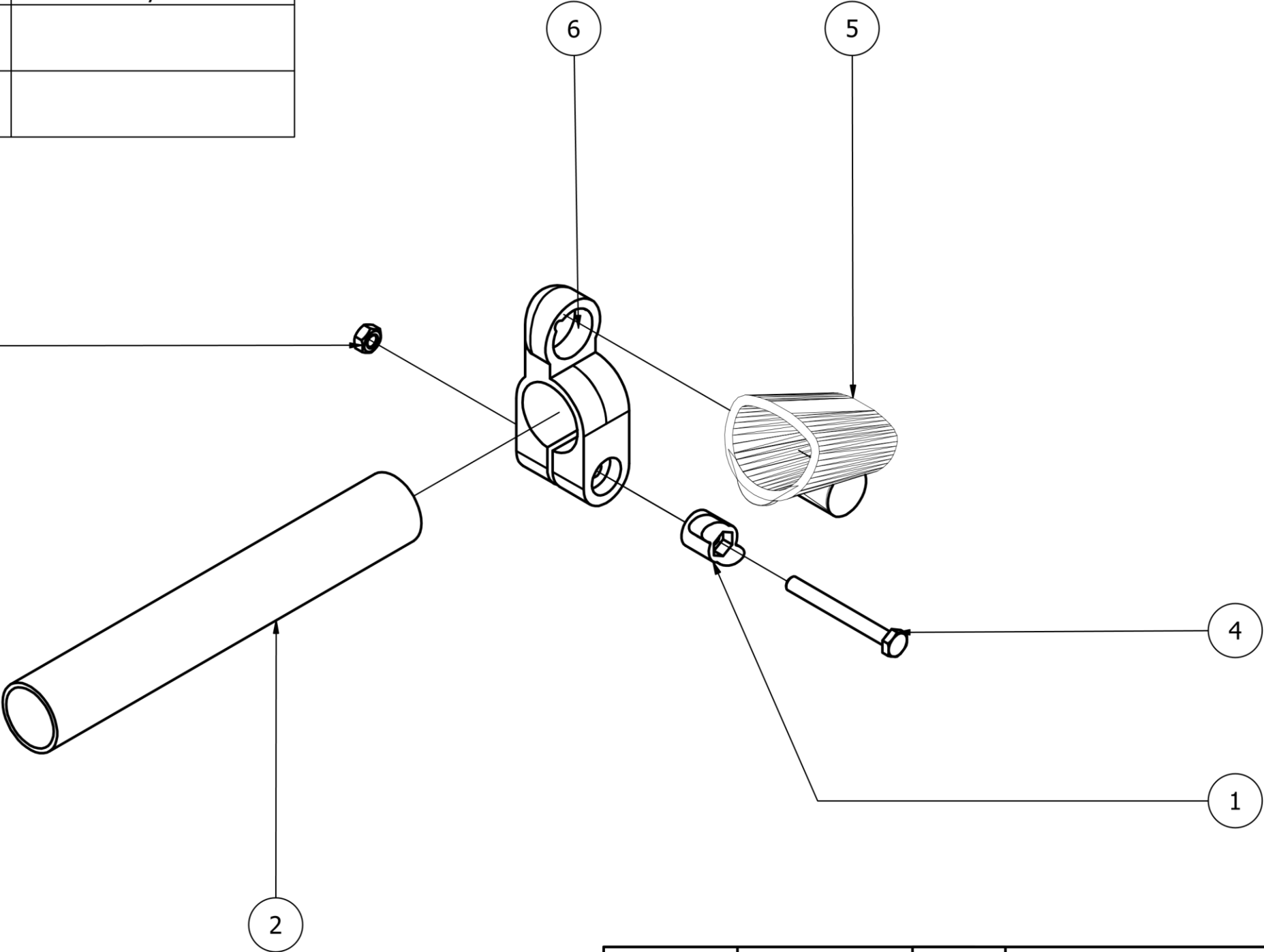
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	Palometa	
2	1	Tubo 30mm largo	
3	2	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
4	2	ISO 4014 - M6 x 55	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
5	1	Adaptador mando fijo	
6	1	Abarzadera adaptador mando fijo	



Nº de plano: 08		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés
Formato A3		Designación	Subconjunto adaptador fijo
Escala 1:2		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual

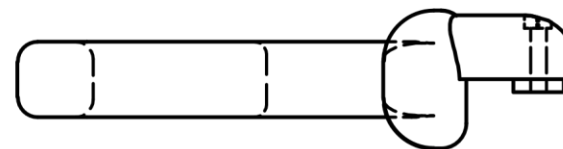
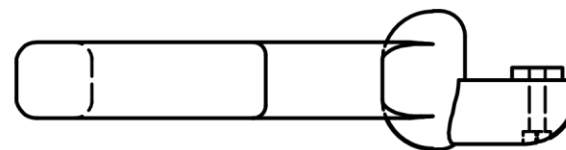
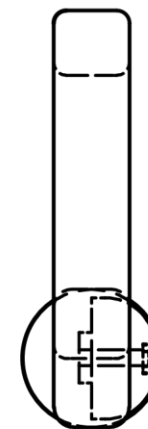
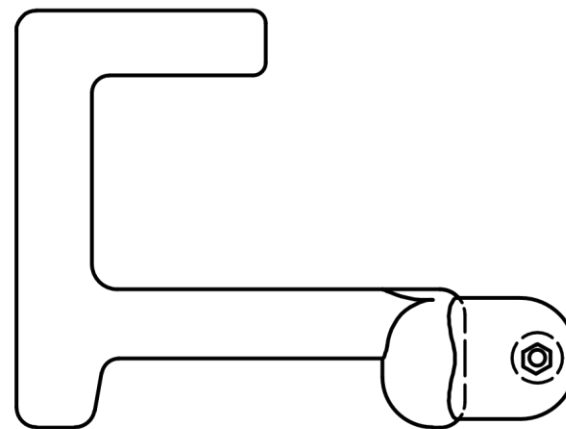
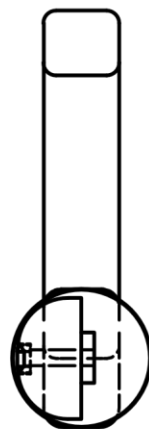
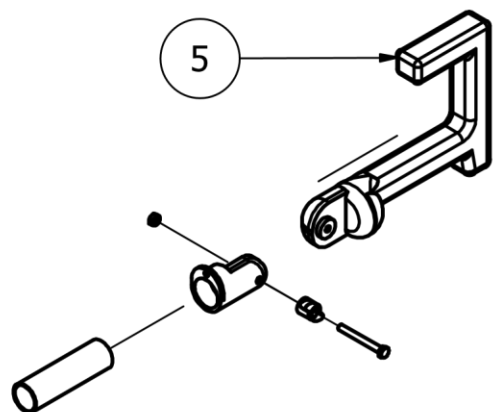
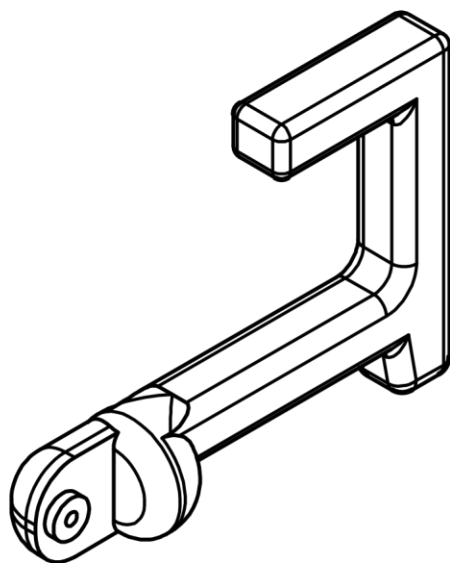


LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Palometa	
2	1	Tubo 30mm largo	
3	1	ISO 4032 - M6	Tuercas hexagonales, tipo 1 - Productos de clases A y B
4	1	ISO 4014 - M6 x 55	Perno de cabeza hexagonal - Productos de clases A y B
5	1	Adaptador mando zafado rápido	
6	1	Abrazadera adaptador mando zafado rápido	



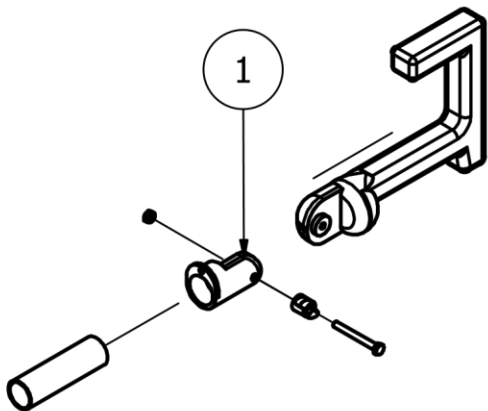
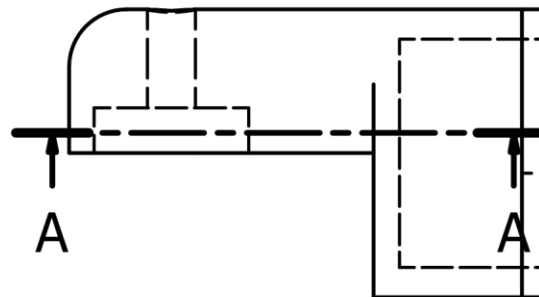
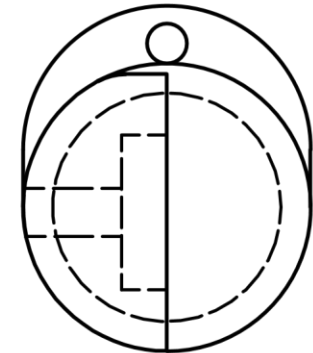
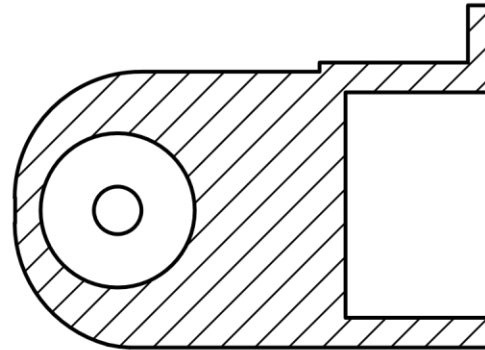
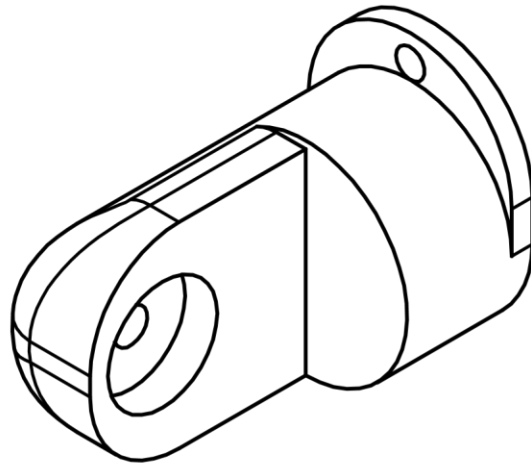
Nº de plano: 09		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés
Formato A3		Designación	Subconjunto adaptador imán
Escala 1:2		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual



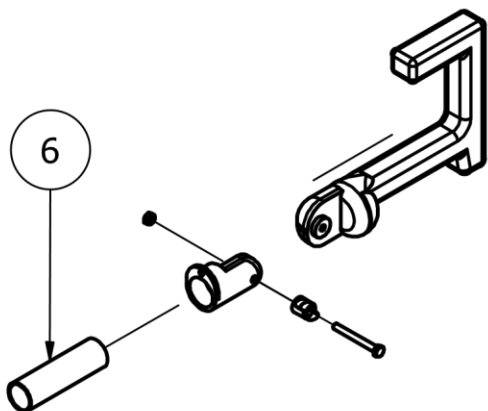
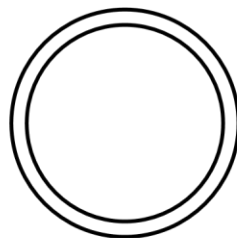
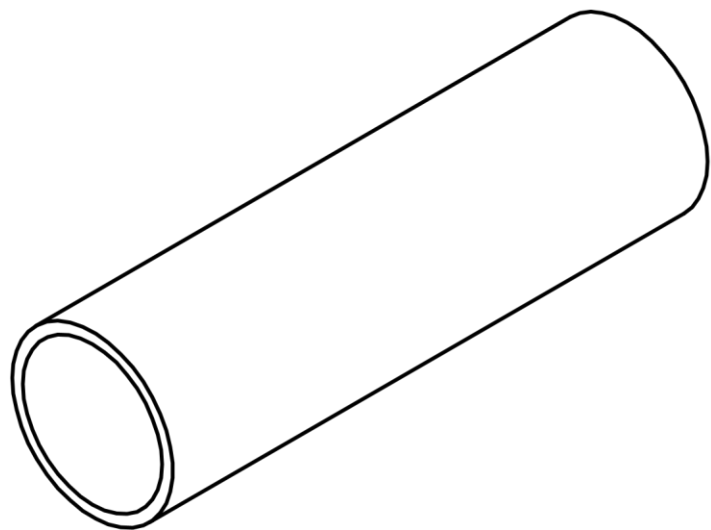


Nº de plano: 10		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Culata	
Escala 1:3		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

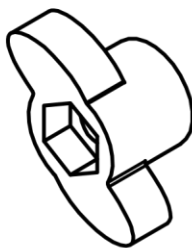
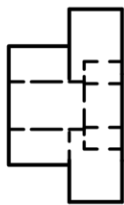
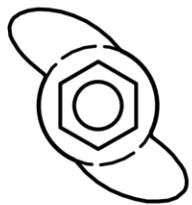
A-A (1 : 1)



Nº de plano: 11		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Unión culata al cuerpo	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	



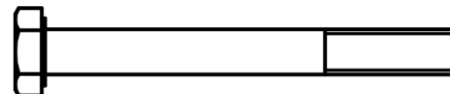
Nº de plano: 12		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Tubo corto	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	



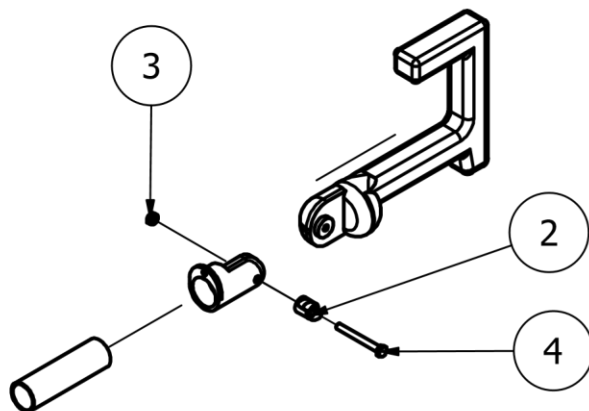
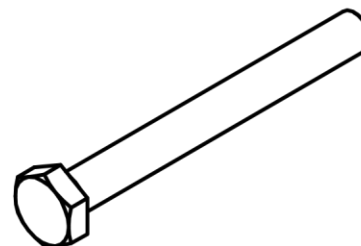
Palometa



Tuerca M6



Tornillo
M6x55 mm



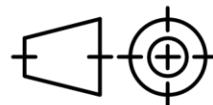
Nº de plano: **13**

Formato

A4

Escala

1:1



Autor

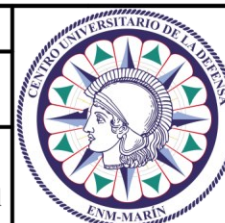
Andrés Cabrera García-Valdés

Designación

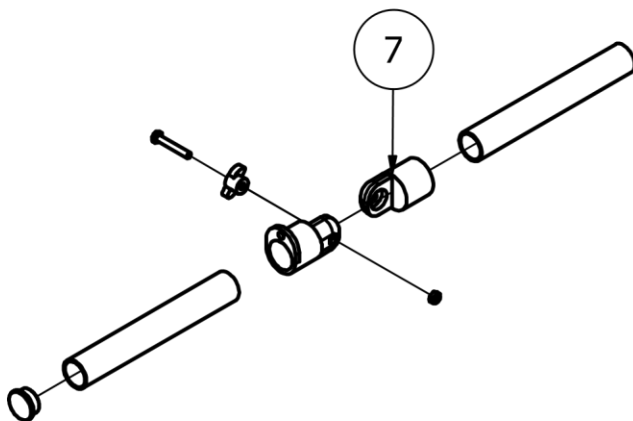
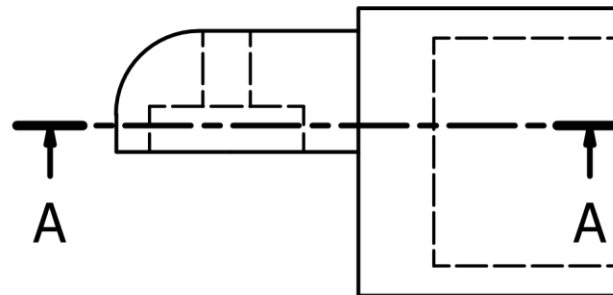
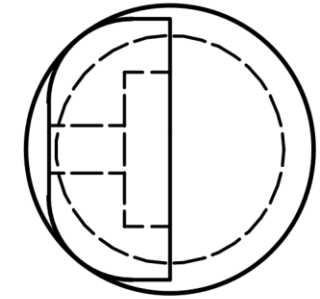
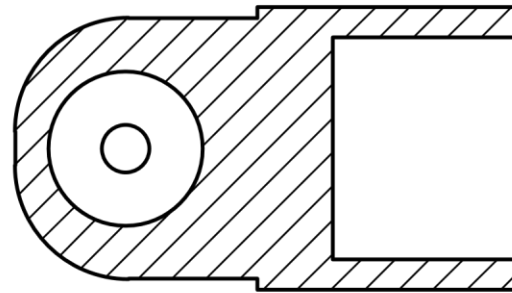
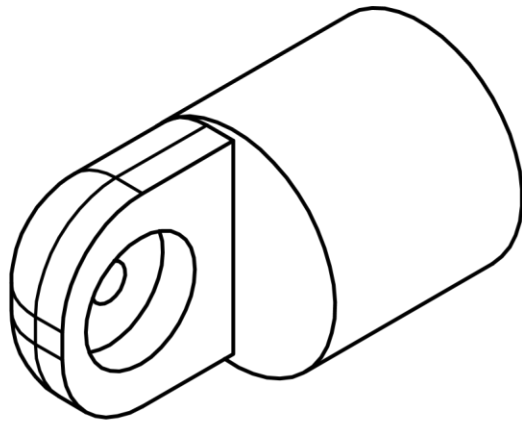
Piecerío 1

Proyecto

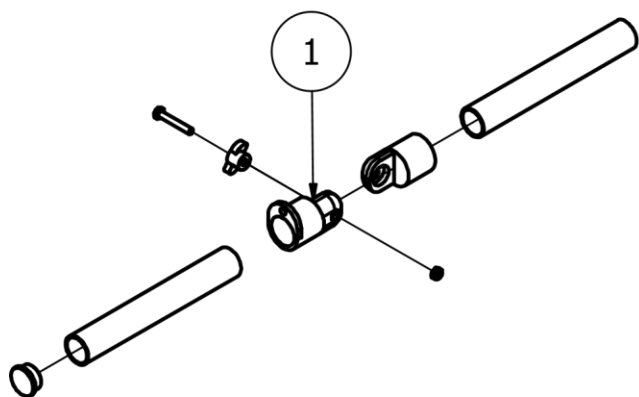
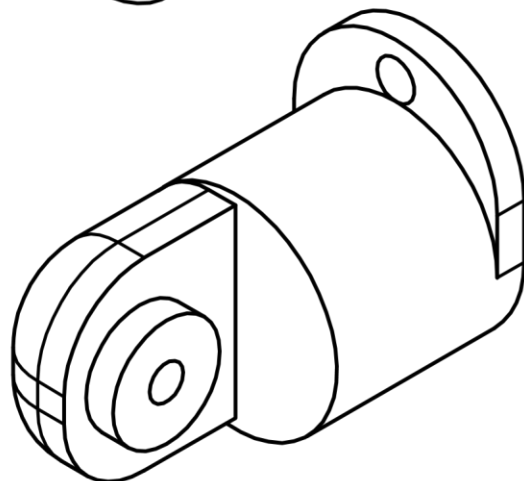
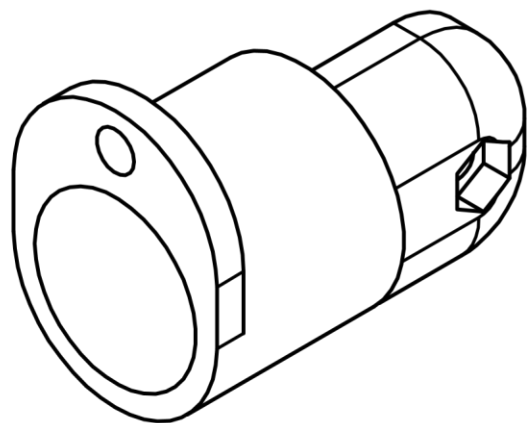
**Diseño de un dispositivo configurable para
simulación de tiro en entornos de realidad virtual**



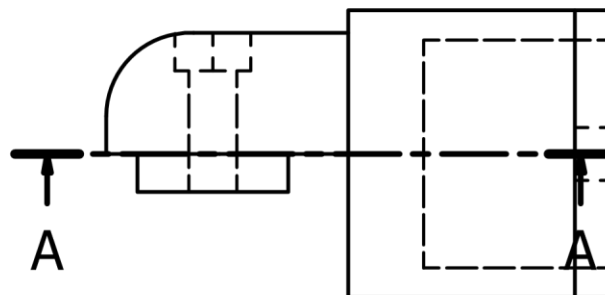
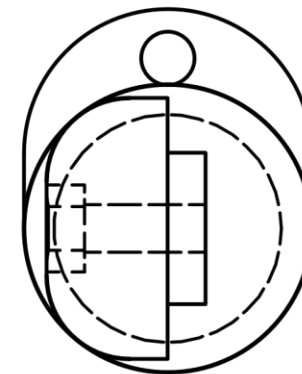
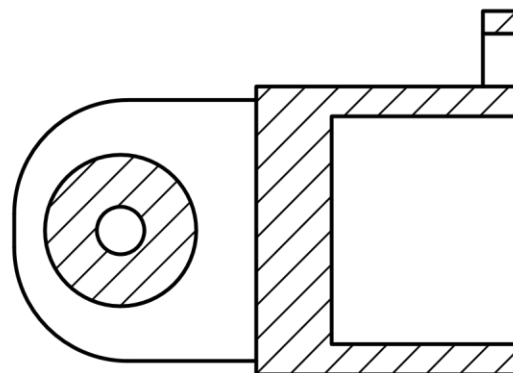
A-A (1 : 1)



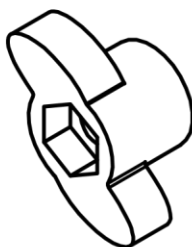
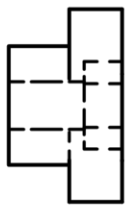
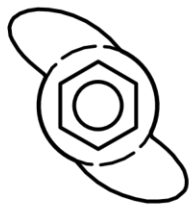
Nº de plano: 14		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Unión hembra tubos	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	



A-A (1 : 1)



Nº de plano: 15		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Unión macho tubos con argolla	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

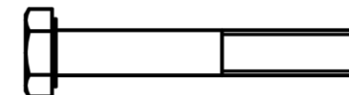
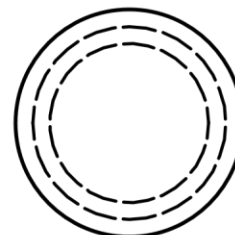
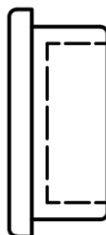


Palometa

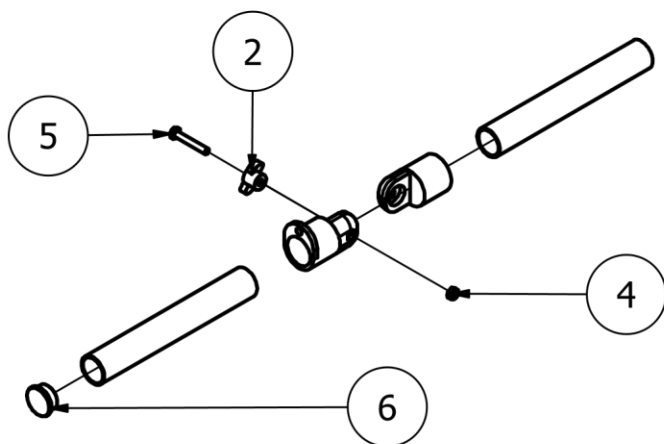
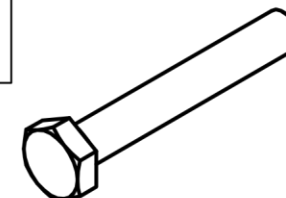
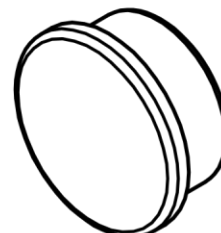


Tuerca M6

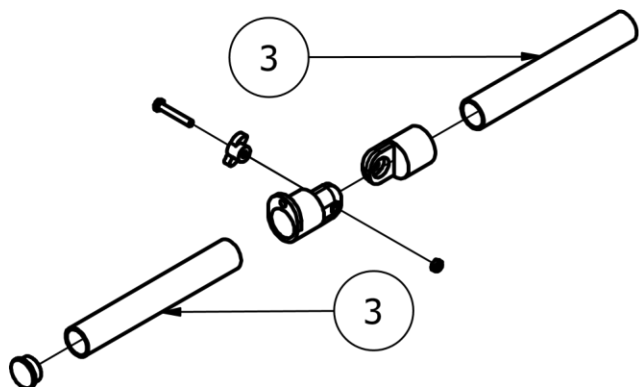
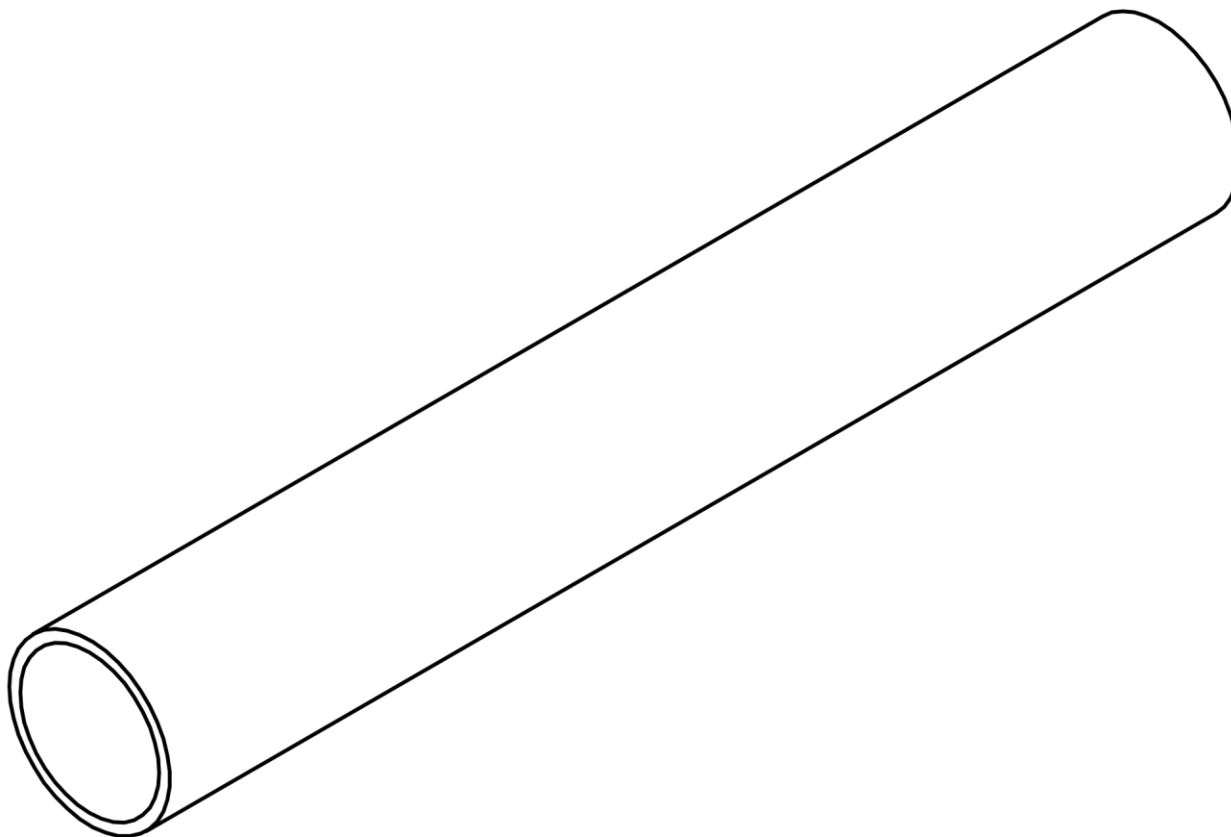
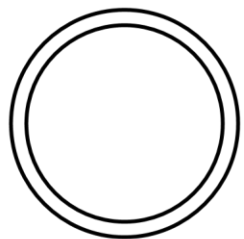
Tapón



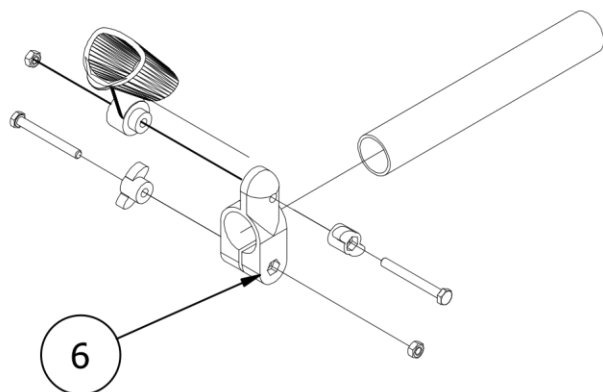
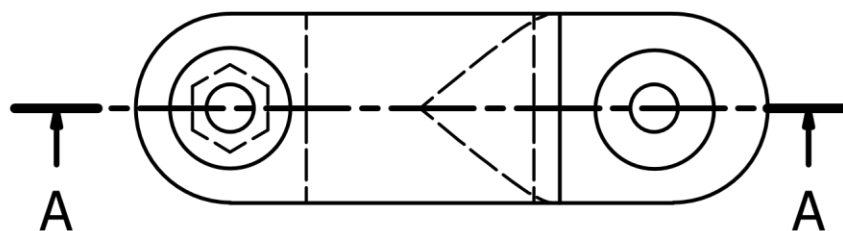
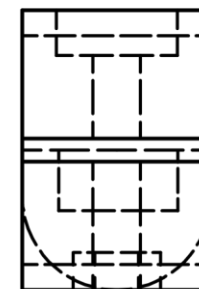
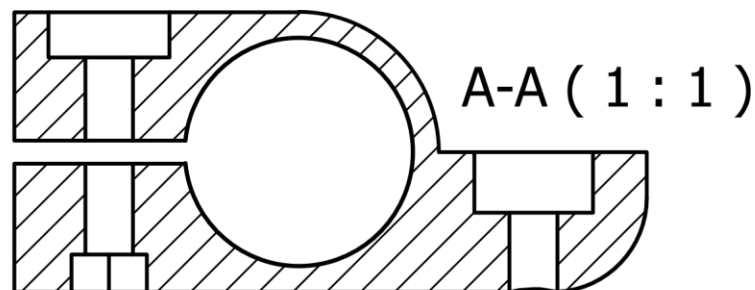
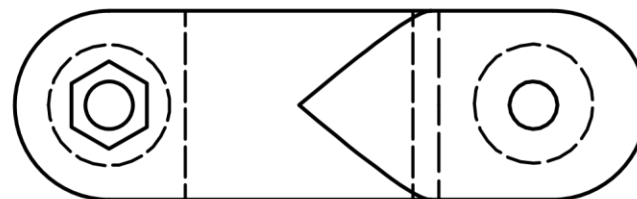
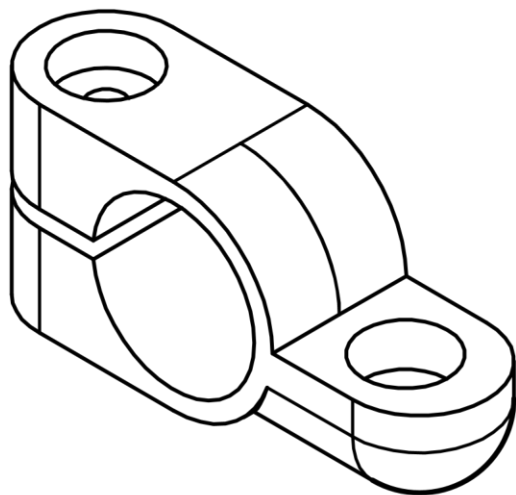
Tornillo
M6x40 mm



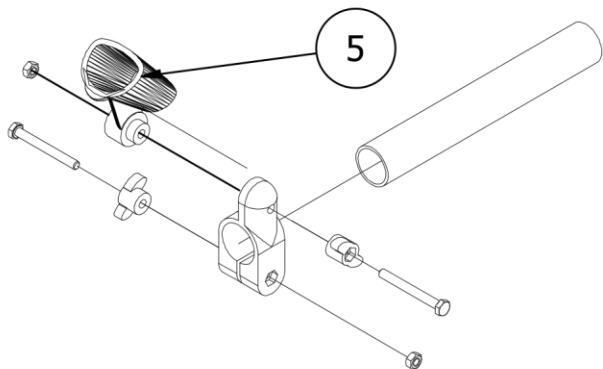
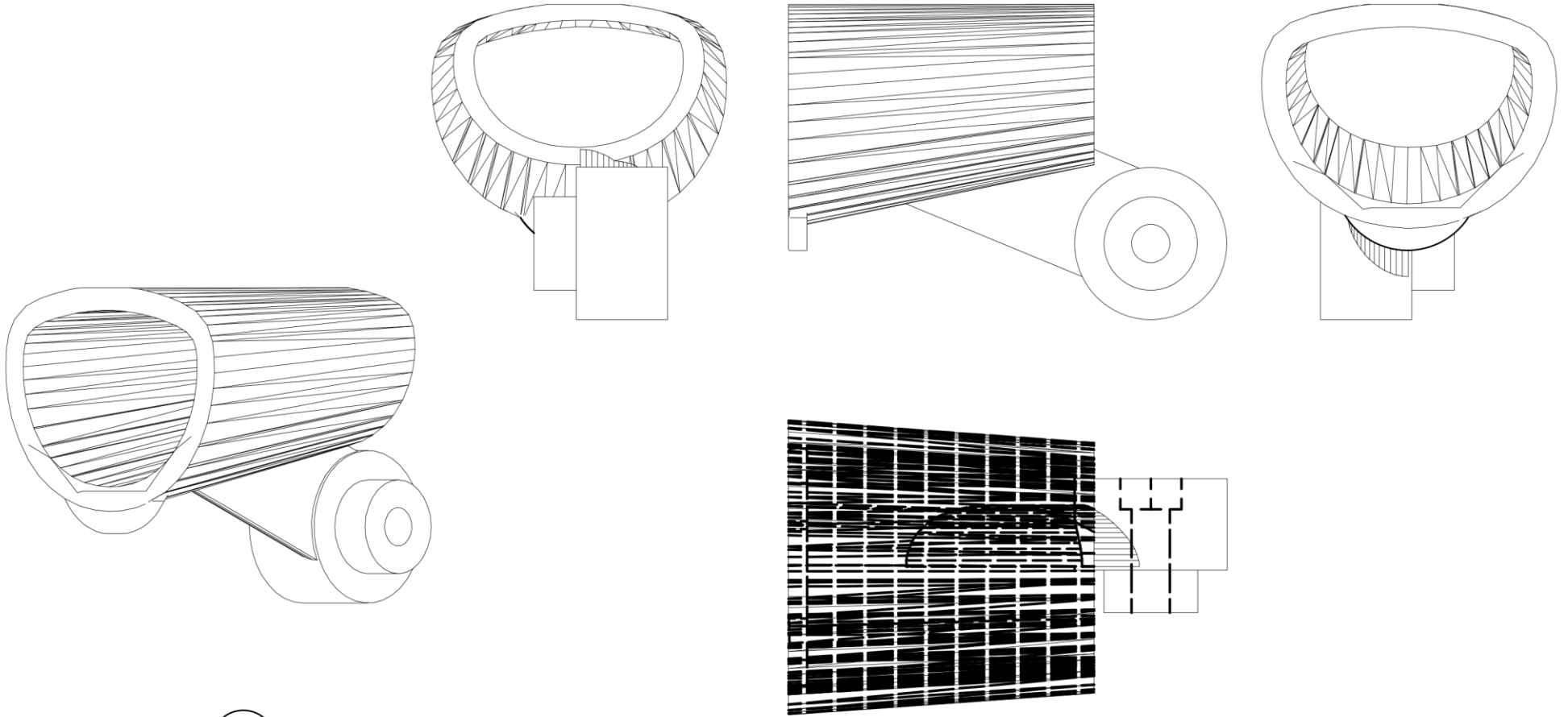
Nº de plano: 16		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Piecerío 2	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	



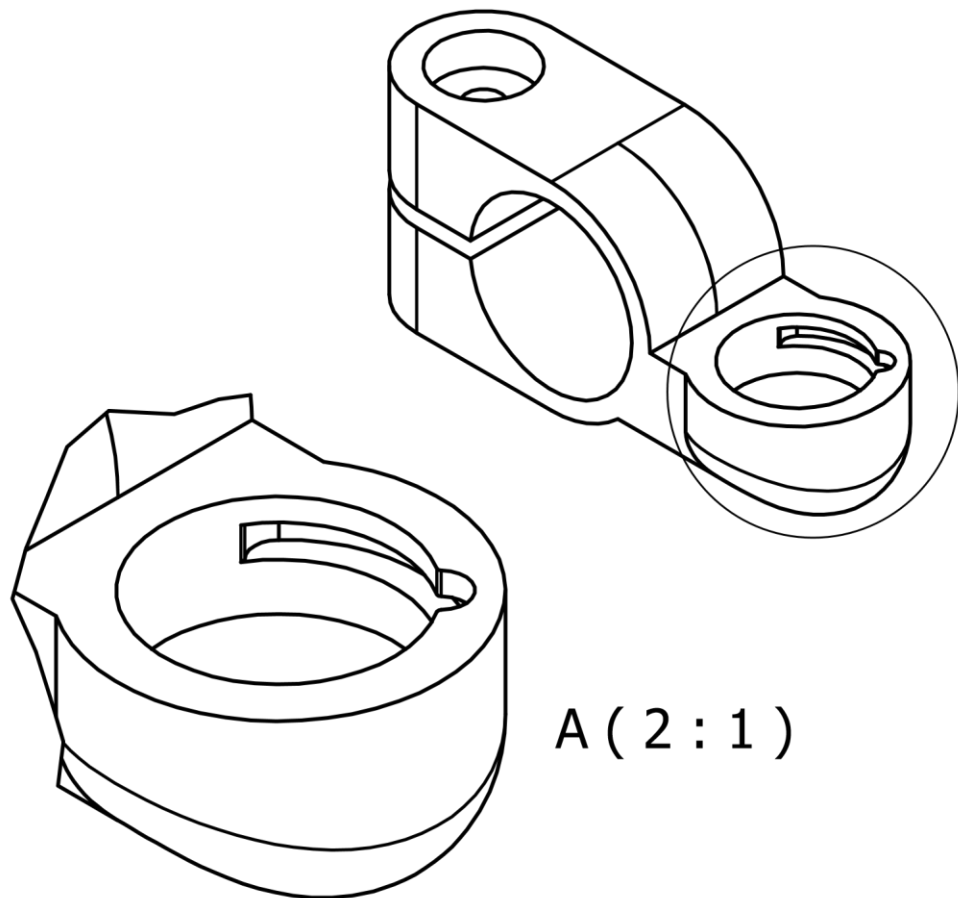
Nº de plano: 17		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Tubo largo	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	



Nº de plano: 18		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Abrazadera adaptador mando fijo	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

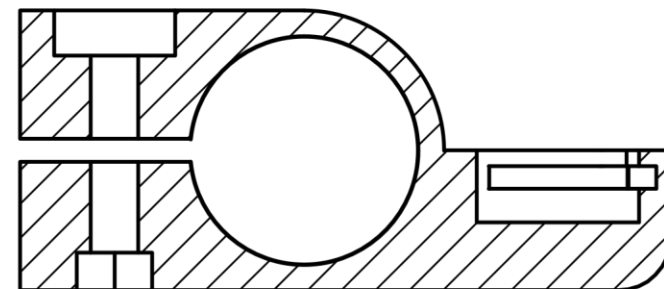
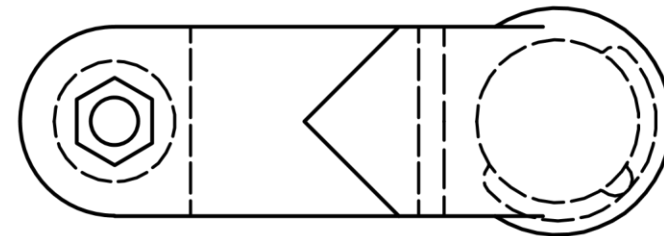
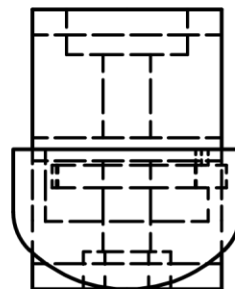


Nº de plano: 19		Autor	Andrés Cabrera García-Valdés	
Formato A4		Designación	Adaptador mando fijo	
Escala 1:1		Proyecto	Diseño de un dispositivo configurable para simulación de tiro en entornos de realidad virtual	

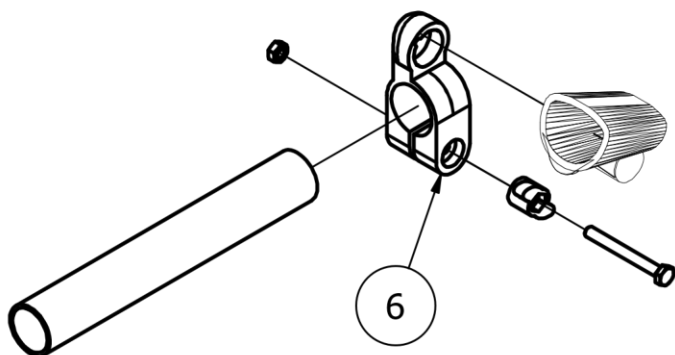
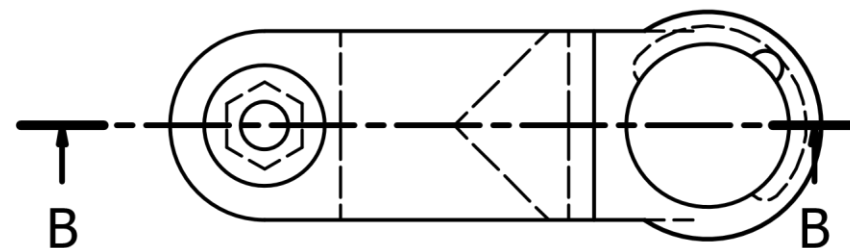


A (2 : 1)

A



B-B (1 : 1)



6

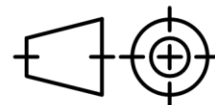
Nº de plano: 20

Formato

A4

Escala

1:1



Autor

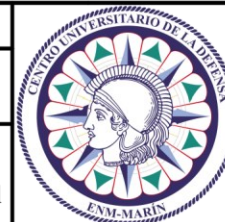
Andrés Cabrera García-Valdés

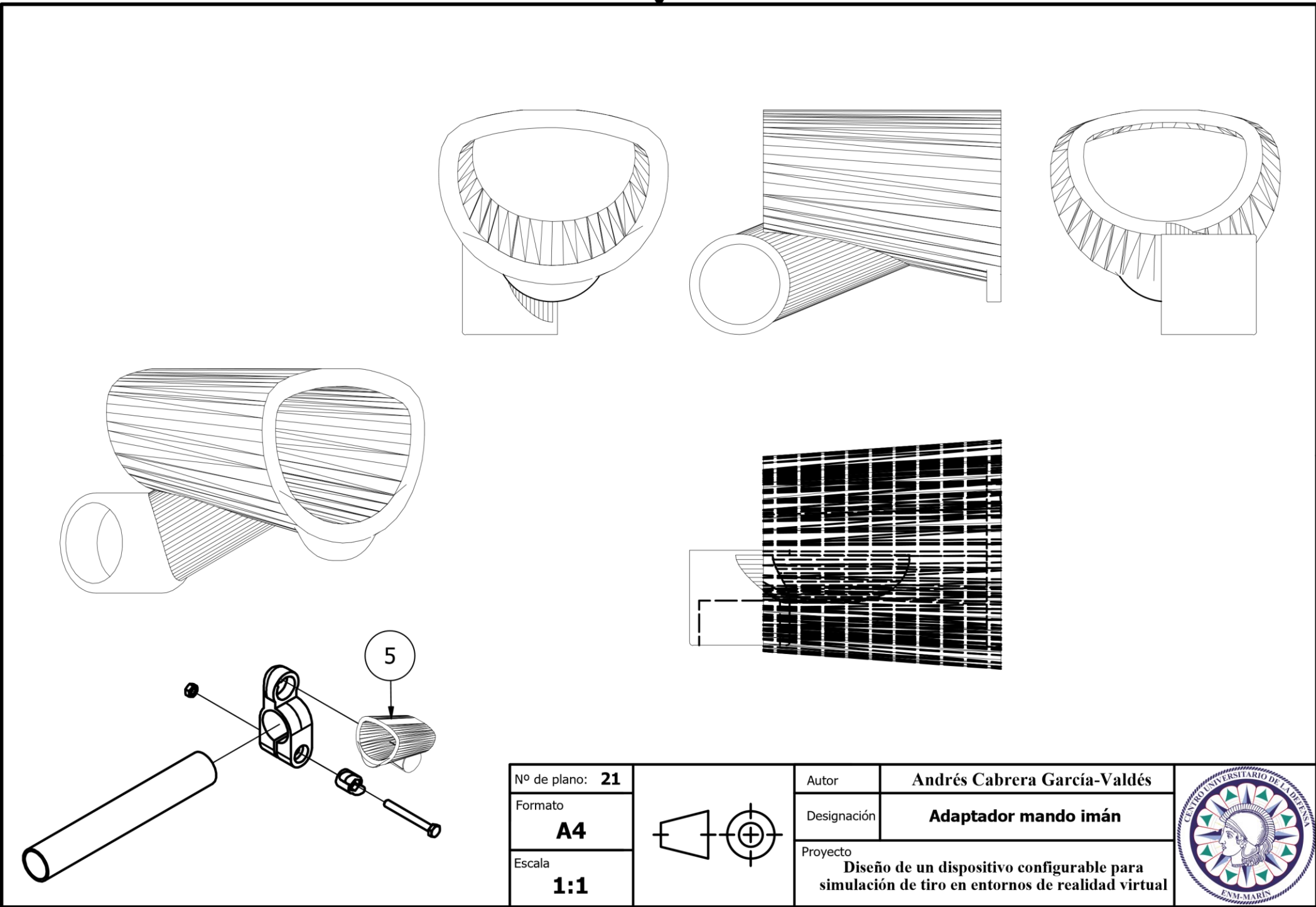
Designación

**Abrazadera adaptador mando
imán**

Proyecto

**Diseño de un dispositivo configurable para
simulación de tiro en entornos de realidad virtual**





4.3 Fase de fabricación

4.3.1 Resultados

Durante la fase de fabricación se detectaron múltiples fallos también, como se comentará en el siguiente subapartado, pero lo más importante respecto a esta fase son los resultados obtenidos en lo que a forma de impresión se refiere.

Lo primero es que con un porcentaje de relleno medio (50-60%) se obtienen buenos resultados de integridad y dureza de la pieza, por lo que ahorramos material.

Continuando, los apoyos empleados con estructura de tipo árbol han sido óptimos a la hora de realizar la fabricación, dado que estos emplean el mínimo de material necesario para poder sujetar la pieza sin que tenga fallos y luego es más fácil retirar el material sobrante.

Por último, mencionar las tolerancias de diseño entre piezas que van unidas por apriete sobre todo es algo clave, ya que la impresora tiene una tolerancia de 0.2 mm y a veces hay fallos de impresión que impiden la buena colocación y montaje de las piezas del sistema.

El resultado final de la fabricación y ensamblaje es el siguiente y quedaría de la siguiente manera. Juntando los 3 tubos de aluminio cortados con una sierra radial por el taller de mecánica del Barrio Industrial de la ENM, se consigue el siguiente montaje y distribución Figura 4-4. En ella podemos apreciar el agarre frontal de zafado rápido que no presenta unión atornillada a diferencia del posterior.



Figura 4-4 Ensamblaje final del sistema



Figura 4-5 Montaje con correa portafusil y colocación

El sistema está pensado para ser portado por una correa portafusil de 2 puntos, de ahí las argollas de las uniones como se puede ver en la Figura 4-5 donde aparece un usuario sujetando el sistema. Esta correa portafusil es la misma que se emplea en los fusiles HK G36 E de la infantería de marina. Dicha correa reglamentaria se proporciona a todos los infantes cuando son destinados a su unidad y se puede implementar en el sistema sin problema.

Para este caso concreto, se ha implementado una correa portafusil propia con sistema de zafado y extensión rápida, muy útil para situaciones de combate donde se requiera transicionar rápidamente a una longitud adecuada.

Un dato importante a tener en cuenta sobre el proyecto es el coste de fabricación, tanto de materiales de impresión 3D, como de luz o de las piezas complementarias que lo unen.

A continuación, se expone un presupuesto de todos los costes que será desglosado y detallado en el Anexo III: Presupuesto detallado al final del trabajo.

Tipo coste	Cantidad	Coste total
Material de impresión	Cantidad PLA empleada: 813 g	Coste total: 21,10 €
Horas de luz	Tiempo total de impresión: 70,25 h	Coste total: 5.09 €
Piezas complementarias	Materiales empleados: tubos aluminio, tornillería variada e imanes de neodimio	Coste total: 20,62 €
		Precio final del sistema: 46.81 €

Tabla 4-1 Presupuesto del trabajo

4.3.2 Errores y correcciones

Los fallos durante la impresión 3D del trabajo se han resumido sobre todo a errores de impresión inherentes a la tecnología empleada y a factores externos, por lo que se ha tenido en cuenta sobre todo a la hora de aplicar tolerancias. También a la anteriormente mencionada dirección de impresión y la colocación de la pieza para este fin como se ve en la Figura 4-6, donde claramente se aprecia la dirección de las capas de impresión y como estaba colocada la pieza durante este proceso.

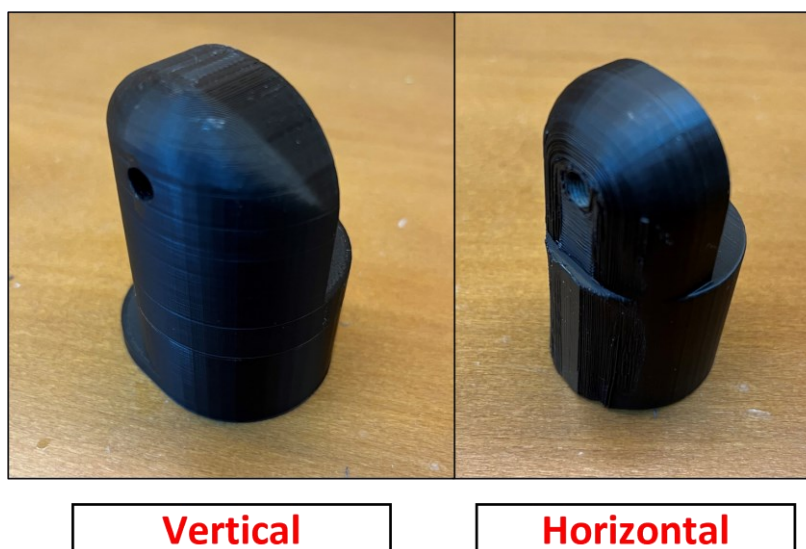


Figura 4-6 Comparativa de la posición de la pieza al imprimir

4.4 Fase de pruebas de campo

4.4.1 Resultados

Los resultados obtenidos en el laboratorio de realidad virtual del CUD-ENM fueron más que satisfactorios. Se pudieron probar más de 7 ejercicios de tiro diferentes, de los múltiples que ofrecía el programa ejecutado, desde ejercicios de colimación sin tiempo a recargas y cambios de cargador con tiempo.

Se probaron a mayores estos ejercicios sin la ayuda del dispositivo y las diferencias fueron acusadas. La primera de estas diferencias es claramente la estabilidad que aporta el sistema, por lo que ya estaríamos cumpliendo el primero de los objetivos y por tanto la motivación y fin de este trabajo. Con el uso de esta plataforma se conseguía una solución estable e intuitiva, que no impedía de ninguna manera ejecutar un ejercicio de tiro satisfactorio Figura 4-7.

Por el contrario, el uso de los mandos sin soporte hacía que la simulación se volviese más “inestable” dificultando la realización del ejercicio y dejando todo el peso en el pulso que tenga el usuario. Este factor es clave ya que le resta inmersión al entorno de simulación y hace al usuario estar pendiente de factores ajenos a este.

Por otro lado, la culata se ajustaba bien al hombro del tirador. Se pudieron probar varias posiciones de esta según la postura a adoptar y todas fueron satisfactorias. Un factor muy a tener en cuenta es que la culata y su cantonera no impedía apoyar la mejilla a pesar de las gafas y tampoco molestaba al encarar el fusil e intentar entrar en miras. Si bien originalmente se creyó que este factor sería un problema se ha descubierto que no tiene más relevancia.



Figura 4-7 Usuario ejecutando simulación de tiro con el sistema estabilizador

Se puede decir entonces que la prueba ha sido un éxito en los aspectos principales, cumplimentando los requerimientos mínimos propuestos por los directores del trabajo y los impuestos por el alumno. Esto se hará más extenso en el siguiente apartado, conclusiones y líneas futuras. Asimismo, se han detectado algunos errores menores que se comentarán a continuación.

Antes de finalizar destacar que se ha añadido un código QR con el que tendrán acceso al vídeo de demostración en el laboratorio de realidad virtual donde se realizaron estas pruebas de campo. Dicho código es un acceso a un video subido en la plataforma *YouTube*. Se adjuntará como una imagen que podrán escanear desde esta memoria siendo esta la siguiente Figura 4-8.



Figura 4-8 Código QR para video demostración

4.4.2 Errores y correcciones

Entre algunos de los errores menores detectados está el que el mando de zafado rápido (el del imán) cuesta colocarlo portando las gafas. Este gesto de volver a unir el adaptador a la abrazadera no es algo muy intuitivo y rápido, aunque se termina realizando sin demasiada problemática es un aspecto a mejorar en el futuro.

A mayores, y relacionado con el anterior, el imán puede no tener suficiente fuerza para aguantar el mando en una posición inclinada. Este debe ser sujetado por la mano a la altura deseada ya que por el peso rota en el eje Z hasta apoyar en el cuerpo. De todos modos, no es un factor crítico en el empleo de este ya que sigue aportando la estabilidad deseada.

Un último error detectado, pero de fácil corrección es que, al no estar configurado con un mapa propio para este dispositivo, el cambio de cargador y por lo tanto la acción de introducirlo, provocaba un choque entre el mando y los tubos. Esto se podía solucionar in situ introduciéndolo un poco más de lado, pero la solución a largo plazo pasa por crear una configuración propia para el dispositivo en cuestión.

Por lo demás y como se ha mencionado el sistema supone una plataforma estable para los mandos y se consigue ejecutar la experiencia de simulación de forma correcta.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción del apartado

En este apartado se presentarán las conclusiones obtenidas y se explicará si se alcanzaron o no los objetivos establecidos al inicio del TFG. Asimismo, se mostrarán las posibles líneas futuras en las que se podría seguir trabajando para mejorar y ampliar el TFG presentado.

5.2 Conclusiones de los objetivos iniciales

5.2.1 Diseño y modelado 3D

Se ha alcanzado un diseño mediante software de edición 3D que reúne los requisitos propuestos y que amplía su repertorio con alternativas múltiples. También se ha conseguido también la generación de planimetría proyectiva que representa fidedignamente el sistema y sus posibilidades. Además, se incluyen todos los archivos 3D editables con extensión ipt (*Autodesk Inventor Professional*) y los archivos stl que permitirían su fabricación mediante impresión 3D.

5.2.2 Configurabilidad

En cuanto a configurabilidad, el dispositivo puede recrear una gran cantidad de posiciones de tiro y alternativas de simulación de armamento, siendo mostradas en los planos 4 de estas, sin contar las que se puedan realizar a mayores. Permite también el ajuste personal para cada usuario en cuanto a las distancias a los puntos de agarre se refiere o a la colocación de las barras del cuerpo, facilitando que cada persona tenga un dispositivo único y adaptable. Mencionar que se ha implementado la posibilidad de colocar una correa portafusil para su mejor colocación y porte.

Por otro lado, y siguiendo las líneas generales empleadas en la fabricación de armamento, no se ha creado una versión específica para zurdos. Siendo esta de no muy difícil implementación, solo se debería cambiar la geometría sobre el eje axial del agarre delantero del mando.

5.2.3 Estabilización

Hablando de estabilización, que era uno de los principales objetivos a conseguir debido a que le restaba inmersión a la simulación, se puede decir que se ha conseguido satisfactoriamente. Como se puede comprobar en el vídeo de Figura 4-8 Código QR para video demostración, el dispositivo aporta una estabilidad superior a la que alcanzaría una persona sujetando a pulso los mandos.

Permite la realización de movimientos rápidos como la recarga y el montado del arma de manera precisa y sin tambaleos, encontrándose en todo momento en el mismo sitio el punto de aplicación de estos gestos. Gracias a esta mejora el usuario ya no necesita andar buscando la posición idónea para los mandos a la hora de apuntar, aspecto que requería de tiempo y hacía fallar en los ejercicios de simulación.

5.3 Objetivos adicionales

5.3.1 Fabricación

Se ha podido fabricar satisfactoriamente un prototipo funcional con la tecnología de impresión 3D FDM. Este cumple con las características esperadas tanto de resistencia como de peso. Al incluir tolerancias adecuadas en su fabricación el ajuste entre piezas es adecuado permitiendo una unión sin tropiezos ni holguras que disminuyan su eficacia de empleo. Mencionar que sería posible su fabricación empleando otras tecnologías como el SLA con sus resinas o incluso usando otros materiales de impresión con mejores características mecánicas como el ABS.

5.4 Líneas futuras

Con idea de ampliar el presente trabajo se han encontrado algunas de las mejoras que lo acercarían cada vez más a una posible implementación como soporte de entrenamiento:

- Implementación de argollas regulables: con estas piezas de fácil diseño se podría llegar a personalizar más aún el dispositivo para hacerlo más adaptado al usuario.
- Dispositivo para zurdos: en este caso sería el diseño e implementación de un adaptador de zafado rápido para zurdos (zafado por el lado derecho, al contrario del actual). Aunque el sistema se ha diseñado como la mayoría de armas, para un sector de la población mucho más numeroso como es el de personas diestras, sería de sencilla implementación una versión para zurdos de este adaptador junto a su abrazadera.
- Implementación con otros simuladores de RV: si bien este sistema se ha diseñado para el simulador comercial *HTC Vive Pro*, una mejora sería diseñar abrazaderas para otros sistemas de realidad virtual como el *Meta Quest 2* o el *Focus 3*.

6 BIBLIOGRAFÍA

En esta sección figurarán todas las referencias, sean recursos web, libros, artículos, etc., incluyendo la información de autores, título de la obra, nombre de la publicación, año, edición y enlace más fecha de último acceso en el caso de referencias a recursos online.

- [1] R. A. Española, «Definición de simulación,» *Diccionario de la lengua española*, Actualización 2022.
- [2] F. s. EA. [En línea]. Available: <https://www.zona-militar.com/foros/threads/noticias-del-ej%C3%A9rcito-del-aire-de-espa%C3%B1a.440/page-143>.
- [3] Indra, «Indracompany.com,» 9 Octubre 2008. [En línea]. Available: <https://www.indracompany.com/es/noticia/indra-adjudica-contrato-lote-simuladores-eurofighter>.
- [4] *Industria 4.0*. [Película]. Deusto (Facultad de Ingeniería).
- [5] F. B. Simón, OFICINA TÉCNICA Y PROYECTOS, U. P. d. València, Ed., Valencia: ISBN: 8477217831, 9788477217831, 1999, p. 290.
- [6] A. Española, «Portal web Armada Española,» [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/>.
- [7] J. L. Expósito, «Simulación, la realidad más barata,» *Revista Española de Defensa*, nº 283, pp. 6-13, 2012.
- [8] E. d. Tierra, «Ejercito.defensa.gob.es,» ET, 23 Noviembre 2020. [En línea]. Available: Figura 2 2 Simulador de navegación en la ENM [9].
- [9] M. E. P.-G. / A. Segura-Robles, «Producción científica sobre gamificación en educación: un análisis cuantitativo,» *Revista de EDUCACIÓN*, vol. 5, nº 386, 2019.
- [10] E. J. M. D. V.-U. S. R.-D. y. S. M.-P. G. Mariscal, «Aprendizaje basado en simulación con realidad virtual,» *Educ. Knowl. Soc.*, vol. vol. 21, p. p. 15, abr. 2020.
- [11] Vive.com, «Vive.com/eu,» [En línea]. Available: <https://www.vive.com/eu/>.
- [12] U. D. Valencia, «Tema 2. Introducción a los sistemas CAD / CAM / CAE,» de *Open Course Ware*.

- [13] S. Kalpakjian, Manufacturing Engineering and Technology, Pearson/ Prentice Hall , 2008.
- [14] A. P. D. y. J. L. D. Quintás, Tecnología y sistemas de fabricación, ISBN: 978-84-95046-38-3: Gamesal, 2009.
- [15] F. C. C. CAM. [En línea]. Available: (<https://extrudesign.com>).
- [16] Autodesk, «Autodesk/ Inventor,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.es/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [17] D. Matus, «La impresión en 3D es más vieja de lo que crees: te contamos su historia,» *digitaltrends ES* (<https://es.digitaltrends.com/fotografia/historia-de-la-impresion-en-3d/>), 2018 (1 de Marzo).
- [18] P. VR, «PROTUBE VR,» [En línea]. Available: <https://www.protubevr.com/en/>.
- [19] E. V. ABC, «HK G36: El fusil que jubiló al Cetme». <https://abcblogs.abc.es/terra-mar-aire/industria-de-defensa/hk-g36-el-fusil-que-jubilo-al-cetme.html>.
- [20] «Zona Táctica,» [En línea]. Available: <https://www.zonatactica.es/blog/reticula-del-hk-g36/>.
- [21] G. Engineering, «CAE CAM CAD - ¿Qué es?,» [En línea]. Available: <https://www.goebel-engineering.com/es/cae-cam-cad-que-es-esto/>.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, ECONÓMICAS Y AMBIENTALES

Los ámbitos de trabajo en los que se desarrollan actividades de diseño e impresión 3D cada vez gozan de mayor popularidad y accesibilidad para el público en general, por no decir ya en la industria moderna, inmersa en el marco de la 4ª Revolución Industrial o Industria 4.0. esto permite la creación de piezas a incluso prototipos totalmente personalizados o con las especificaciones del consumidor con relativa sencillez. A la vez que han facilitado muchos aspectos del proceso industrial se han de tener en cuenta implicaciones ambientales, sociales e incluso económicas de las que se hablará a continuación.

Comenzando con las implicaciones relacionadas con el medioambiente el primer efecto visible es la reducción de los residuos generados durante el proceso de producción. Esto se debe a que los prototipos fabricados no requieren de gran cantidad de material para comprobar fallos y poder optimizar el proceso posterior consiguiendo un ahorro de material y en consecuencia de desperdicios y residuos generados durante este. Por otro lado, la impresión 3D emplea generalmente plásticos y resinas que pueden ser contaminantes para el medio, por lo que se deben emplear con precaución y sus residuos ser correctamente reciclados. Asimismo, el futuro de esta tecnología debería abogar por el empleo de materiales reciclados o incluso biodegradables, posibilidades que ya se está investigando en la actualidad.

Finalmente, esta tecnología es dependiente del empleo de energía eléctrica durante muchas horas o incluso días, por lo que no estaría exenta de consumos o malgastos en el caso de tener que dejar una máquina funcionando durante largos períodos de tiempo.

En términos de impacto social estas tecnologías pueden llegar a tener una repercusión positiva en la creación de empleo y sobre todo en la democratización del diseño y la producción de piezas y conjuntos. Esto se debe a que las personas pueden crear sus propias piezas sin la dependencia de una licencia o de grandes empresas de la industria o corporaciones. Añadido a esto se puede compartir estos diseños sin *copyright* en internet gracias a páginas web en donde los creadores de contenido cuelgan estos diseños al alcance del público en general. Solamente haría falta poseer una impresora 3D y material para poder crear las piezas uno mismo.

En cambio, esto puede llegar a tener una consecuencia negativa que es la eliminación de algunos trabajos, sobre todo los relacionados con la fabricación artesanal o tradicional. Por ejemplo, uno no tendría que ir a una tienda de decoración artesanal a buscar un jarrón para flores cuando puede imprimir uno en su casa con SLA consiguiendo acabados muy logrados.

Para terminar con las implicaciones de carácter económico mencionar que el primer impacto que se nos puede ocurrir es positivo. Este es debido al ahorro en costes de producción mencionado anteriormente, que va de la mano del aumento de la eficiencia y optimización de los procesos. En cambio, si lo vemos desde otro punto de vista puede llegar a tener consecuencias relacionadas con el cese o disminución de la importación de productos. De obtener los respectivos planos de fabricación o en su defecto archivos de diseño 3D podríamos disminuir esta importación en pro de la producción local con el consecuente detrimento de la economía global.

En conclusión, se han de considerar todos los aspectos de implicación mencionados anteriormente de forma cuidadosa ya que de no ser empleados de forma responsable puede acarrear consecuencias poco favorables o negativas.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Las tecnologías de diseño e impresión 3D han revolucionado la industria como la conocemos hoy en día, más aún si nos encuadramos en la Industria 4.0. Por ello debemos hacernos ciertas reflexiones en cuanto a compromisos éticos y sociales se refiere, continuando la exposición de las implicaciones sociales anteriormente mencionadas en el Anexo I.

La primera reflexión incide en el compromiso ético y el empleo de la propiedad intelectual, hoy en día bastante cuestionado. Gracias a estas tecnologías cualquier persona puede desde su casa crear objetos en 3D con relativa facilidad. Esto puede ser empleado de forma altruista simplemente para uso y disfrute personal, que sería el primer uso pensado para ello. En cambio, puede llegar a emplearse con fines lucrativos piezas con derechos de autor o marcas actualmente registradas, lo que se consideraría un delito contra la propiedad intelectual. Esto acarrearía problemas no solo éticos si no también legales, derivando en sanciones o incluso condenas. Aunque legalmente se pueda hacer esto con piezas sin *Copyright* éticamente estaríamos hablando de aprovecharse de la creación de una persona para obtener beneficios a su costa.

Por otro lado, se ha comentado anteriormente cómo afectaría al comercio local sobre todo el artesanal y tradicional. Las tecnologías de impresión particulares podrían llegar a desplazar al pequeño comercio dañando seriamente la economía local.

Para finalizar hay que decir que a pesar de ser una tecnología con infinitas posibilidades y que potencia la creatividad y las soluciones alternativas se deben tener en cuenta los efectos sociales y las consecuencias éticas de su mal empleo. Derivados de su mal uso las implicaciones pueden ser negativas en muchos aspectos y poco beneficiosas para la sociedad.

ANEXO III: PRESUPUESTO DETALLADO

En el siguiente anexo se detallará el presupuesto del trabajo en cuanto a gastos de material, horas de luz y piezas complementarias se refiere. Los datos de coste de material se han medido utilizando el kg de PLA empleado durante este trabajo. Los costes de la luz se han determinado a partir del precio medio del kW/h registrado en España durante el mes de marzo. Por último, el coste de adquisición de las piezas complementarias se ha establecido a partir de los precios de una ferretería local de Marín.

Capítulo 1. Gasto y costes en material de impresión

Coste PLA (€/1000g) --- 25.95 €

Coste PLA (€/g) --- 0.02595 €

Descripción	Uds.	Longitud (m)	Peso (g)	Long. total (m)	Peso total (g)	Precio unitario (€)	Coste (€)
C4_Culata	1	142,43	425	142,43	425	11,02875	11,02875
C2_Enganche culata-tubo	1	14,48	43	14,48	43	1,11585	1,11585
P1_Soporte mando	1	12,21	36	12,21	36	0,9342	0,9342
P2_Abrazader a mando	1	12,56	37	12,56	37	0,96015	0,96015
P3_Palometa soporte mando	6	1,24	4	7,44	24	0,1038	0,6228
R1_Soporte mando imán	1	11,03	33	11,03	33	0,85635	0,85635
R2_Abrazade ra mando imán	1	13,45	40	13,45	40	1,038	1,038
U1_Unión tubos hembra	2	13,37	40	26,74	80	1,038	2,076
U2_Unión tubos macho	2	15,05	45	30,1	90	1,16775	2,3355
T2_Tapón	1	1,73	5	1,73	5	0,12975	0,12975
Totales	17	237,55	708	272,17	813	18,37	21,10

Tabla A3-1 Presupuesto gasto material

Capítulo 2. Gasto y costes en horas de luz

Coste kWh marzo 2023 --- 0.29252 €

Potencia de la impresora --- 0.25 kW

Este precio puede variar debido a que se ha tomado como dato el precio medio del kW/h diario en España del mes de marzo. Estos cambios están sujetos sobre todo a la franja del día que se va emplear para imprimir, del mes y por supuesto de la oferta y la demanda del mercado energético español.

Descripción	Uds.	Tiempo impresión (h)	Tiempo total (h)	Precio unitario (€)	Coste (€)
C4_Culata	1	28,58	28,58	2,0900554	2,0900554
C2_Enganche culata-tubo	1	3,92	3,92	0,2866696	0,2866696
P1_Soporte mando	1	4,6	4,6	0,336398	0,336398
P2_Abrazadera mando	1	4,25	4,25	0,3108025	0,3108025
P3_Palometa soporte mando	6	0,46	2,76	0,0336398	0,2018388
R1_Soporte mando imán	1	4,28	4,28	0,3129964	0,3129964
R2_Abrazadera mando imán	1	4,6	4,6	0,336398	0,336398
U1_Unión tubos hembra	2	4	8	0,29252	0,58504
U2_Unión tubos macho	2	4,33	8,66	0,3166529	0,6333058
T2_Tapón	1	0,6	0,6	0,043878	0
Totales	17	59,62	70,25	4,36	5,09

Tabla A3-2 Presupuesto gasto luz

Capítulo 3. Gasto y costes en materiales para el montaje

Coste caja 6 tornillos M6x50 mm --- 1,2 €

Coste caja 6 tuercas M6 --- 0.6 €

Coste pack 5 imanes 1,5 kg --- 8.65 €

Coste pack 2 imanes 3,7 kg --- 8.14 €

Descripción	Uds.	Precio unitario (€)	Coste (€)
Tuerca M6	6	0,1	0,6
Tornillo M6x50 mm	6	0,2	1,2
Tubo aluminio 1000 mm x 30 mm	1	13,02	13,02
Imanes neodimio 16,8 mm x 4,4 mm	1	1,73	1,73
Imanes neodimio 16,8 mm x 9 mm	1	4,07	4,07
Totales	15	19,12	20,62

Tabla A3-3 Presupuesto de materiales de montaje

Tras juntar todos los presupuestos de costes y sumarlo al total nos quedaría un gasto de fabricación y montaje del trabajo de: ***Cuarenta y seis euros con ochenta y un céntimos (46.81 €)***