



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación
de disparo con arma de fuego*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Isaac Troya Morales

DIRECTORES: Pablo Falcón Oubiña
Xavier Núñez Nieto

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación
de disparo con arma de fuego*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

Los simuladores de combate son cada día más utilizados para el adiestramiento de las unidades militares. Estos simuladores se diseñan partiendo de la premisa de recrear un entorno virtual con unas condiciones lo más parecidas a una situación real.

Para recrear las condiciones de combate, no sólo es necesario simular un entorno 3D realista, también es necesario dotar a los simuladores de dispositivos que permitan al usuario interactuar con el entorno virtual. Estos dispositivos permiten realizar el ejercicio simulado del mismo modo que se haría en el entorno real, proporcionando al usuario una mayor sensación de inmersión en el entorno virtual.

En este proyecto se expone la fabricación y diseño de un dispositivo físico para la simulación del uso de un arma de fuego mediante técnicas de fabricación aditiva. El dispositivo fabricado simula fielmente el fusil *HK G36E*, arma que utilizan los alumnos en la Escuela Naval Militar para hacer los ejercicios de disparo.

Además de cumplir las dimensiones fielmente, el dispositivo fabricado permite interactuar con un simulador para recrear virtualmente situaciones en las que un combatiente requiere el uso del arma, adquiriendo una experiencia real y minimizando los riesgos a los que el usuario se expone.

PALABRAS CLAVE

Dispositivo VR, Fusil *HK G36E*, Impresión 3D, Simulador, Diseño *CAD*

CONTENIDO

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos.....	9
1.1 Descripción del apartado.....	9
1.2 Antecedentes.....	9
1.3 Motivación.....	10
1.4 Objetivos	10
1.5 Estructura del trabajo	11
2 Estado del arte	13
2.1 Descripción del apartado.....	13
2.2 Simulación y gamificación.....	13
2.2.1 Simuladores en el ámbito de defensa	15
2.2.2 Simuladores de tiro para armas portátiles.....	16
2.2.3 Software de simulación	17
2.3 Definición de dispositivo inmersivo para simulación en VR.....	18
2.3.1 Dispositivos existentes de inmersión en VR.....	18
2.3.2 Dispositivos hápticos.....	19
2.3.3 Dispositivos comerciales para VR	19
2.3.3.1 Oculus	19
2.3.3.2 Gafas para móviles.....	19
2.3.3.3 Play Station VR	19
2.3.3.4 Dispositivos HTC Vive para VR	19
2.4 Ingeniería inversa.....	21
2.4.1 Toma de medidas manual	21
2.4.2 El escaneo 3D sin contacto	21
2.4.3 Máquinas de medición por coordenadas (MMC)	22
2.4.4 Diseño asistido por Ordenador.....	22
2.4.5 Inventor.....	23
2.5 Impresión 3D.....	23
2.5.1 Historia y evolución	23
2.5.2 Tipos de Impresoras 3D.....	24
2.5.2.1 Estereolitografía (SLA).....	24
2.5.2.2 Sinterización Selectiva por Láser (SLS)	24
2.5.2.3 Tecnología FDM (Fused Deposition Modeling)	25

3	Desarrollo	27
3.1	Descripción del apartado.....	27
3.2	Diseño	27
3.2.1	Software Autodesk Inventor	27
3.2.2	Ingeniería inversa	27
3.2.2.1	Frontal	28
3.2.2.2	Agarre.....	29
3.2.2.3	Cuerpo principal, visor y asa portafusil	31
3.2.2.4	Sistema de alimentación.....	32
3.2.2.5	Puntos de apoyo	33
3.2.3	Especificaciones previas de diseño	33
3.2.3.1	Especificaciones de Diseño Peso y centro de gravedad.....	34
3.2.3.2	Especificaciones de Diseño de la electrónica.....	35
3.2.4	Modelado geométrico	35
3.2.4.1	Cañón	35
3.2.4.2	Guardamanos	36
3.2.4.3	Cuerpo	40
3.2.4.4	Visor y asa portafusil	44
3.2.4.5	Culata	46
3.2.4.6	Cargador	47
3.2.4.7	Pistolete	47
3.3	Fabricación	53
3.3.1	Ultimaker Cura.....	53
3.3.2	Impresión de las piezas del dispositivo	54
3.3.3	Montaje del dispositivo	56
3.3.4	Instalación de los elementos electrónicos.....	57
3.4	Conectividad.....	58
3.4.1	Instalación del <i>Tracker 3.0</i>	58
3.4.2	Integración del dispositivo con <i>SteamVR</i>	59
4	Resultados	61
1.	Descripción del apartado	61
1.	Diseño y Planimetría	61
4.1	Fabricación	81
4.1.1	Coste de fabricación	84
4.2	Implementación	86
4.2.1	Funcionamiento del dispositivo en simulación de tiro.....	86

5	Conclusiones y líneas futuras	87
5.1	Descripción del apartado.....	87
5.2	Conclusiones de los objetivos iniciales.....	87
5.2.1	Modelado	87
5.2.2	Impresión 3D	87
5.2.3	Conectividad	88
5.3	Objetivos adicionales	88
5.3.1	Funcionalidad.....	88
5.3.2	Centro de gravedad.....	88
5.4	Líneas futuras	88
6	Bibliografía.....	87
	Anexo I: Presupuesto detallado.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Simulador de Conducción [1]	9
Figura 2-1 Realidad Virtual usada en la Industria de la Automoción [4].....	14
Figura 2-2 Simulador de Navegación Escuela Naval Militar	16
Figura 2-3 Componentes del Sistema de simulación VICTRIX [7].....	17
Figura 2-4 Usuario corriendo en plataforma <i>Virtuix Omni</i> [13]	18
Figura 2-5 <i>Vive Pro</i> [17].....	20
Figura 2-6 Ejemplo colocación <i>Tracker 3.0</i> en un dispositivo [17].....	21
Figura 2-7 Esquema funcionamiento escáner 3D de triangulación [18]	22
Figura 2-8 Escaneo mediante luz estructurada [19]	22
Figura 2-9 Impresora 3D por estereolitografía [21]	24
Figura 2-10 Impresora SLS.....	25
Figura 2-11 Impresora 3D con tecnología FDM.....	25
Figura 3-1 Calibre digital usando en este proyecto	28
Figura 3-2 Medidor de ángulos	28
Figura 3-3 Guardamanos fusil.....	29
Figura 3-4 Empuñadura fusil	30
Figura 3-5 Cola del disparador fusil	30
Figura 3-6 Cuerpo del fusil	31
Figura 3-7 Colocación <i>Tracker 3.0</i> con ángulo libre.....	32
Figura 3-8 Cargador y boca del Cargador del fusil	32
Figura 3-9 Posiciones Retenida fusil	33
Figura 3-10 Posiciones Seguro del fusil	33
Figura 3-11 Impresora utilizada para este proyecto	34
Figura 3-12 Fusil HK G36E.....	34
Figura 3-13 Hendidura tuerca M6	35
Figura 3-14 Sección Cañón.....	36
Figura 3-15 Agujero para ensamblaje.....	36
Figura 3-16 Comparación Cañón diseñado - Cañón Real	36
Figura 3-17 Plano delantero Guardamanos.....	37
Figura 3-18 Perforaciones Ventilación.....	37
Figura 3-19 Eje ensamble Guardamanos – Cañón	37
Figura 3-20 Eje ensamble Cabeza Guardamanos – Trasera Guardamanos	38
Figura 3-21 Hendiduras lastre Guardamanos.....	38
Figura 3-22 Agujero ensamble Cabeza Guardamanos – Trasera Guardamanos.....	38
Figura 3-23 Eje ensamble Trasera Guardamanos – Visor delantero.....	39

Figura 3-24 Sección de la cavidad para el lastre superior	39
Figura 3-25 Parte posterior Trasera Guardamanos.....	40
Figura 3-26 Comparación Guardamanos diseñado – Guardamanos real	40
Figura 3-27 Cuerpo delantero vista frente	41
Figura 3-28 Cuerpo delantero vista posterior.....	41
Figura 3-29 Vista de sección interna Unión Cuerpo Trasero – Cuerpo delantero	42
Figura 3-30 Eje ensamble Unión Cuerpo trasero – Visor Trasero	42
Figura 3-31 Embocadura del cargador	43
Figura 3-32 Unión Cuerpo Trasero – Pistoleta (vista de sección)	43
Figura 3-33 Comparación Cuerpo diseñado – Cuerpo real	44
Figura 3-34 Visor delantero	44
Figura 3-35 Sección Visor trasero.....	45
Figura 3-36 Comparación Visor diseñado – Visor Real.....	45
Figura 3-37 Adaptador <i>Tracker</i> 3.0.....	46
Figura 3-38 Comparación Culata diseñada – Culata real	46
Figura 3-39 Comparación Cargador diseñado – Cargador real	47
Figura 3-40 Pistoleta diseñado	48
Figura 3-41 Movimiento de 15° de la cola del disparador.....	48
Figura 3-42 Muelle Cola disparador.....	49
Figura 3-43 Seguro en posición S	50
Figura 3-44 Seguro en posición intermedia	50
Figura 3-45 Pieza Seguro-Abajo	50
Figura 3-46 Posiciones internas del sistema del seguro	51
Figura 3-47 Piezas Seguro-Derecha y Seguro-Izquierda.....	51
Figura 3-48 Palanca selectora del seguro en las distintas posiciones.....	51
Figura 3-49 Explosionado Seguro	52
Figura 3-50 Retenida cargador en posición original	52
Figura 3-51 Retenida cargador en posición pulsada.....	53
Figura 3-52 Comparativa Pistoleta diseñado – Pistoleta real	53
Figura 3-53 Comparación de resolución en objetos impresos con distinta orientación	54
Figura 3-54 Proceso Fabricación a partir de modelo digital.....	55
Figura 3-55 Peso de todos los componentes del fusil.....	56
Figura 3-56 <i>Silentblocks</i> y lastres.....	56
Figura 3-57 Montaje Culata y Guardamanos.....	57
Figura 3-58 Esquema eléctrico <i>Tracker</i> 3.0	57
Figura 3-59 Instalación base adaptador	58

Figura 3-60 Pasante Cables.....	58
Figura 3-61 Instalación del <i>Dongle</i> para el seguimiento del <i>Tracker 3.0</i>	58
Figura 3-62 Paso 1.....	59
Figura 3-63 Paso 2.....	59
Figura 3-64 Paso 3.....	59
Figura 4-1 Conjunto del dispositivo creado.....	61
Figura 4-2 Vista frontal transparente.....	62
Figura 4-3 Modelo 3D interactivo.....	62
Figura 4-4 Resultados Circuito eléctrico	81
Figura 4-5 Comparación Frontal Dispositivo - Fusil real.....	82
Figura 4-6 Medida longitudinal del dispositivo diseñado.....	83
Figura 4-7 Medida longitudinal del fusil real	83
Figura 4-8 Localización del centro de gravedad del dispositivo diseñado	84
Figura 4-9 Localización del centro de gravedad del fusil real	84
Figura 4-10 Usuario manejando en el dispositivo físico inmerso en el entorno virtual	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros impresión.....	55
Tabla 2 Detalle de consumo por piezas	85
Tabla 3 Resumen Presupuesto General	85

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Descripción del apartado

En este apartado se expone la motivación del trabajo, atendiendo a una serie de parámetros para contextualizarlo. Para ello, se expondrán unos antecedentes, seguidos de la motivación para realizarlo. Además, se expondrán los objetivos a alcanzar durante el desarrollo del trabajo y, por último, se explicará la organización de la memoria.

1.2 Antecedentes

Las revoluciones industriales vividas en los últimos siglos hicieron evolucionar al ser humano en aspectos desconocidos hasta entonces. Los ordenadores y las nuevas tecnologías de la información han ayudado al desarrollo de los procesos industriales, con importantes avances en la simulación de dichos procesos. Todo ello ha permitido que las aplicaciones en este ámbito hayan crecido exponencialmente.

Las tecnologías desarrolladas en las últimas décadas permiten simular virtualmente pruebas que antes solo se podían realizar mediante ensayos físicos. Gracias a ello, muchas empresas tanto del sector primario como del secundario y el terciario, han podido aumentar su eficiencia, obteniendo grandes beneficios económicos y optimizando el tiempo invertido.

Actualmente, estamos viviendo la implantación de la Industria 4.0, en las que tecnologías como las simulaciones, la realidad virtual o el Internet de las Cosas están abriendo las puertas a un nuevo mundo aún por explorar y del que aún todas sus ventajas son desconocidas. De este modo, los sistemas de simulación facilitan adquirir ciertos conocimientos ante determinadas situaciones de manera económica y sin la existencia de riesgos físicos (Figura 1-1).



Figura 1-1 Simulador de Conducción [1]

Los simuladores son programas que utilizan modelos para comprobar un determinado sistema y obtener una respuesta de forma anticipada. Para una mayor exactitud, es necesario recrear sistemas lo más semejantes posible a la realidad. En este ámbito también se pueden enfocar los simuladores como una forma de obtener experiencia sin la exposición que implica obtenerla en el mundo real.

Uno de los objetivos de inversión que las naciones realizan en instrucción, equipamiento y adiestramiento de cada unidad es a través de un aumento del rendimiento en situaciones de combate. El alto riesgo y exigencia que suponen los escenarios operativos hace difícil que los individuos puedan estar en ellos durante tiempos prolongados. Es por esto por lo que las simulaciones de estos escenarios son indispensables para la correcta y eficaz ejecución de las misiones asignadas.

A raíz de lo anteriormente expuesto, puede deducirse que es deseable cualquier optimización en las fases de adiestramiento de los miembros de las Fuerzas Armadas, ya que, en última instancia, es la preparación física, mental y técnica la que permite hacer frente a las exigentes situaciones que derivan del combate, eliminando en cuanto sea posible, las posibilidades de improvisación e incertidumbre.

1.3 Motivación

Como se ha podido apreciar, el uso de simuladores en determinadas áreas otorga grandes beneficios. En la Fuerzas Armadas estar preparados para el momento de actuación es indispensable, ya que, llegado el momento de actuar, un simple error puede conllevar consecuencias irreversibles como el no cumplimiento de la misión o, incluso, la pérdida de efectivos.

Por otro lado, la evolución de la mayoría de los escenarios actuales hacia la parte gris del espectro del conflicto aumenta las necesidades de adiestramiento de los combatientes para hacer frente a situaciones cuyo grado de variabilidad e incertidumbre es creciente [2].

Dentro del ámbito de las simulaciones, el realismo de éstas es un factor esencial. Es deseable que el usuario experimente el mismo grado de tensión con el objetivo de acostumbrarlo a tomar decisiones acertadas en situaciones donde el tiempo disponible es escaso. Por ello, es indispensable que adquiera una memoria muscular de los movimientos que ha de realizar para reaccionar de manera intuitiva frente a situaciones reales. Esto se consigue mediante su exposición a todos los factores a los que se enfrentará en una situación real, a destacar las características del arma a utilizar.

Las similitudes en factores como las dimensiones, el peso o el tacto, son especialmente relevantes para que el usuario esté familiarizado con el dispositivo y que esta experiencia pueda trasladarse al arma real. De esta forma, se puede adquirir experiencia previa a la exposición en un entorno sin el riesgo que supone la presencia física.

1.4 Objetivos

Con el propósito de optimizar los métodos de adiestramiento actuales en las Fuerzas Armadas, potenciando el realismo de estas, el presente trabajo desarrolla un dispositivo físico para simulación de disparo con armas de fuego haciendo uso de las prestaciones que la impresión en tres dimensiones, en adelante Impresión 3D, ofrece.

El arma seleccionada para tal fin ha sido el fusil *HK G36E*, ampliamente utilizado en la actualidad por los miembros del Cuerpo de Infantería de Marina española y, especialmente, por los alumnos de la Escuela Naval Militar.

Con el propósito de desarrollar este proyecto y crear un dispositivo realista para la simulación de disparo con un fusil *HK G36E*, se han determinado tres objetivos principales:

- **Modelado:** para que el dispositivo creado sea lo más real posible, se han determinado unos subobjetivos: apariencia, imprescindible para relacionar el fusil con el dispositivo, y peso, una de las características esenciales para transmitir la sensación de estar con un fusil real.

- Impresión 3D del modelo digital: de esta manera es posible disponer del dispositivo físico para el entrenamiento.
- Conectividad del dispositivo con el software de simulación: transmitir los movimientos con fiabilidad al software es uno de los requisitos indispensables para la efectividad de un simulador. Así, si la interconectividad entre el dispositivo y la imagen virtual generada es fiel a los movimientos reales la inmersión por parte del usuario será completa.

1.5 Estructura del trabajo

La estructura de la presente memoria seguirá el formato establecido por el Centro Universitario de la Defensa:

- Introducción; contiene la motivación del proyecto y los objetivos iniciales, así como sus antecedentes.
- Estado del arte: se detallan las diferentes tecnologías relacionadas con el ámbito relacionado con el proyecto.
- Desarrollo: se describe detalladamente el transcurso que ha seguido el proyecto en las fases de diseño, fabricación, así como los trabajos realizados para que el dispositivo se vincule con el *software* de simulación.
- Resultados: muestra los resultados obtenidos de los apartados mencionados en el desarrollo.
- Conclusiones y líneas futuras: Se hace un análisis de la consecución del proyecto y de los resultados obtenidos, relacionándolo con los objetivos iniciales, y añadiendo posibles ampliaciones del proyecto.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Descripción del apartado

Para contextualizar el trabajo desarrollado, se realizará una breve descripción de los recursos actuales para la ambientación y preparación en diferentes actividades especializadas. Concretamente, se verán más en detalle los posibles entrenamientos que pueden recibir los integrantes de Fuerzas Armadas. Este tipo de adiestramiento ayuda a perfeccionar las técnicas necesarias para que los profesionales adquieran una experiencia previa al enfrentamiento real y de cara a los diferentes tipos de operaciones en las que un militar puede verse envuelto. Debido al recurso económico necesario, la inversión de tiempo requerida por parte de personal especializado y los peligros que conlleva, cada día se utilizan más este tipo de tecnologías para el adiestramiento de fuerzas, pues en menos tiempo, se adquiere una mayor experiencia en un sinnúmero de circunstancias.

2.2 Simulación y gamificación

El propósito básico de la simulación es arrojar luz sobre los mecanismos elementales que controlan el comportamiento de un sistema. En términos más prácticos, la simulación puede utilizarse para predecir y pronosticar el comportamiento futuro de un sistema y determinar qué se puede hacer para influir en el mismo.

Según su definición en la RAE, un simulador es un *“Aparato que reproduce el comportamiento de un sistema en determinadas condiciones, aplicado generalmente para el entrenamiento de quienes deben manejar dicho sistema.”* [3]. Actualmente, los simuladores son utilizados en diferentes organizaciones en las que un entrenamiento real puede suponer un riesgo, un gasto o una dedicación de tiempo elevados frente a los posibles beneficios derivados de la misma.

La calidad del entrenamiento adquirido con la utilización de un simulador podrá determinar si la inversión inicial necesaria compensa a las ganancias que se obtendrán en el aprendizaje, así como las pérdidas evitadas gracias a los errores no cometidos en la vida real. Hoy en día, se pueden encontrar muchas organizaciones basadas en la robótica colaborativa y la realidad virtual englobadas en la industria 4.0 actual (Figura 2-1), donde los simuladores son utilizados para el perfeccionamiento continuo. Un ejemplo de esto es la Fórmula 1, en la que el uso de un simulador por los pilotos les aporta diferentes beneficios:

- Preparación: para un conductor promedio, se necesitan unas sesiones de prácticas previas para recuperar la eficiencia en el circuito. Esta preparación significa que su cerebro puede concentrarse en la trazada de un circuito nuevo antes de situarse personalmente en él.
- Aprender nuevos circuitos: dado el elevado costo de cada prueba, un piloto puede dar tantas vueltas como le sean necesarias en un simulador hasta familiarizarse con la pista, de modo que

cuando realmente dé las primeras vueltas sepa exactamente el trazo de las curvas, el peralte de determinadas zonas del circuito, dónde posicionar el coche para exprimir cada segundo e, incluso, conocer previamente la ubicación de los baches.

- **Procedimientos:** Asegurarse de conocer los procedimientos exactos en una carrera es primordial a la hora de competir. Con un simulador, el piloto puede someterse a distintas casuísticas probables para practicarlas, obtener una experiencia previa y, así, maximizar su eficiencia en el momento que se produzcan.
- **Evitar accidentes:** en una competición tan reñida, los pilotos ponen los motores, neumáticos y frenos, entre otros, en el límite de sus capacidades. En esta situación es fácil que el aguante máximo soportado por alguno de estos componentes sea sobrepasado y eso pueda derivar en una avería o un accidente. Con el uso de un simulador, el piloto puede familiarizarse con estos límites para no sobrepasarlos y, a su vez, maximizar los recursos. En el caso de producirse algún error, el piloto puede recuperar el control más fácilmente al haberla experimentado en el simulador con anterioridad.
- **Eficiencia:** Una práctica de 2 horas podría suponer un día completo en la vida real. Con un simulador, los tiempos disminuyen considerablemente, a la vez que lo hacen los recursos necesarios para un entrenamiento.



Figura 2-1 Realidad Virtual usada en la Industria de la Automoción [4]

Para la obtención de todos estos beneficios, un simulador debe ser tan real como sea posible. Las sensaciones transmitidas durante su utilización deben asemejarse lo máximo posible a la vida real. Esto es una parte realmente importante, pues cuando se presenta un instante donde hay que reaccionar de determinada manera, una persona no tiene la misma capacidad de reacción si es la primera vez que se enfrenta a una situación parecida que si tiene una experiencia previa frente a dicho escenario. Los recursos propios de los que disponga en ese momento deben ser lo más parecido a los utilizados en el momento en los que se practicó en el propio simulador.

La gamificación describe la incentivación de la participación de las personas en contextos y actividades no lúdicas mediante el uso de mecánicas de estilo de juego. De este modo, la gamificación aprovecha las tendencias naturales de las personas hacia la competición, el logro, la colaboración y la acción voluntaria. Las herramientas empleadas en el diseño de juegos, como la recompensa a los usuarios por sus logros, el progreso en los niveles o la obtención de insignias, se trasladan al mundo real para ayudar a motivar a las personas a alcanzar sus objetivos o a aumentar su rendimiento. Las métricas

importantes para medir el éxito de la gamificación incluyen el nivel de compromiso, la influencia, la fidelidad, el tiempo dedicado a una actividad y la capacidad del juego para hacerse popular.

Por tanto, este proceso funciona proporcionando al público directivas y comentarios proactivos a través de mecánicas y dinámicas de juego añadidas a las plataformas en línea que conducen a la consecución de metas y objetivos.

Una experiencia de gamificación convincente se nutre de las emociones de los participantes y demuestra, de forma sencilla, las actividades que un público puede completar y el impacto que generan en los objetivos establecidos. A medida que los participantes interactúan con un programa de gamificación, reciben *feedback* inmediato sobre su rendimiento y una guía de los próximos pasos a seguir para alcanzar los objetivos con eficacia.

2.2.1 Simuladores en el ámbito de defensa

Para las Fuerzas Armadas, el uso de los simuladores se ha convertido en un medio de entrenamiento fundamental para mejorar el combate, la planificación o la conducción de las operaciones. Actualmente, los simuladores son un elemento más en la instrucción que complementan la enseñanza y ejercicios reales, que siguen siendo primordiales para la adecuada preparación.

La principal ventaja en la utilización de estos sistemas es que no solo influyen en la preparación de los militares, sino también evitan el elevado gasto que supone, tanto de combustible como de munición, realizar unas prácticas reales, además de reducir el impacto medioambiental que estas generan. Además, las simulaciones no exponen al personal al riesgo existente durante la realización de los ejercicios en la instrucción, a la vez que ayudan a perfeccionar las técnicas de cada combatiente al permitir un seguimiento mucho más personalizado. Por último, este método de instrucción alarga la vida operativa de los sistemas de armas al evitar la fatiga producida durante los entrenamientos. Todo ello hace que los equipos de simulación, que no son tan baratos, sean amortizados en muy poco tiempo.

De este modo, los simuladores utilizados por las Fuerzas Armadas pueden ser catalogados por su analogía de uso en simuladores:

- De Plataforma: emulan el comportamiento (naval, terrestre o aérea) y contribuyen al adiestramiento del personal militar que las maneja.
- Constructivos: emulan un conflicto directo con fuerzas enemigas y la presencia de fuerzas neutras, sumergiendo al mando que dirige las fuerzas propias en un ambiente complejo de forma virtual, permitiendo ejecutar y analizar operaciones de distinto nivel sin hacer el movimiento de personal necesario y con un gran grado de realismo.
- De Duelo: utilizando dispositivos similares a los sistemas de armas, emulan un enfrentamiento con el enemigo, pudiendo perfeccionar las técnicas en situaciones de estrés, lo que permite obtener una reacción idónea en el manejo de las armas en una situación de peligro

Actualmente, el Ejército de Tierra está trabajando en lo que denominan federación de simuladores, cuyo objetivo es poder interconectar todos o gran parte de los simuladores disponibles en la fuerza con el fin de desarrollar distintas operaciones en las que adiestrar a la fuerza en operaciones distribuidas.

El sistema de simulación está englobado en un conjunto de simuladores y cuya base corresponde a la instrucción individual del combatiente. Cada uno de ellos controlado con su arma correspondiente, permite a los simuladores tácticos de gran unidad englobar todos en un mismo escenario asistido por un ordenador conjunto y así lograr escenarios donde se utilizan todos los medios disponibles. Estos sistemas proporcionan una formación muy completa al posibilitar la práctica en un escenario muy parecido al del posible conflicto real.

En la Armada existen distintos sistemas de simulación en los que el adiestramiento es el objetivo principal (Figura 2-2). En estos, la reproducción de los equipos es fiel a la realidad y permite asimilar los procedimientos de navegación o posibles emergencias. Se recrean, por tanto, situaciones a través de

distintos modelos matemáticos donde las capacidades de las distintas unidades son similares a la realidad.



Figura 2-2 Simulador de Navegación Escuela Naval Militar

En la Fuerza Aérea Española los esfuerzos están centrados en la simulación de la aviación, aunque también existen simuladores destinados al control aéreo. Así, gran parte de la formación de los pilotos se hace en simuladores de vuelo donde pueden practicar con distintos tipos de naves, como el *F-18 Hornet*, *Mirage F-1* o *Eurofighter*, entre otros. De esta forma, se aprovechan tanto las ventajas proporcionadas por los simuladores del aprendizaje, como la experiencia adquirida por parte de los pilotos sin la necesidad de poner la aeronave en el aire y, por tanto, reduciendo las horas de vuelo y alargando la vida útil de todos los componentes de los aviones. El uso de los simuladores les permite aumentar la eficacia del entrenamiento al poder realizar prácticas focalizadas [5].

2.2.2 Simuladores de tiro para armas portátiles

La instrucción más elemental es la del combatiente a pie. Además, Las Fuerzas Armadas confían gran parte del entrenamiento de los soldados a Indra, una de las compañías más importantes en tecnología en España. Gracias al simulador *Victrix* de Indra, las Fuerzas Armadas han llevado el adiestramiento militar a un nivel sin precedentes. Un militar puede sumergirse en una galería de tiro virtual, donde podrá perfeccionar la técnica de tiro, lo que mejora sus reacciones instintivas gracias a los programas especializados en la práctica de reacción. Esta oportunidad permite practicar todas las veces que sea necesario hasta lograr una reacción coordinada, generando una memoria muscular que le hará reaccionar de una manera mucho más eficiente en la vida real [6].

Mediante la recreación de una galería virtual, *Victrix* permite mejorar el entrenamiento de manera no física. Este simulador concede la posibilidad de recrear distintos campos de tiro, modificar las distancias, simular situaciones meteorológicas adversas o alterar los factores de iluminación. Además, permite la interacción de hasta diez tiradores.

El sistema proyecta la imagen generada en una gran pantalla en la que se simulan diferentes dianas o posibles enemigos.

El simulador cuenta con los siguientes componentes, representados (Figura 2-3):

1. Arma real modificada
2. Sistema de detección de disparos
3. Proyector de última generación
4. Audio

5. Pantalla de proyección
6. Ordenador con joystick
7. Sistema de recarga de CO2
8. Ratón 3D
9. Sistema de grabación
10. *Gladius*

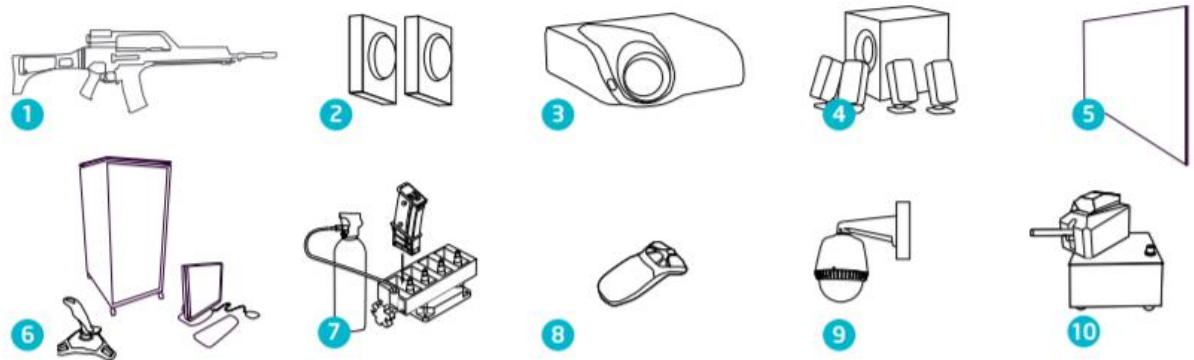


Figura 2-3 Componentes del Sistema de simulación VICTRIX [7]

El uso de este simulador otorga una serie de ventajas frente a un tiro real [8]:

- Seguridad: se evita el riesgo intrínseco en el uso de un arma de fuego real por una persona poco especializada inicialmente.
- Desgaste del arma: al no utilizar munición, el arma no se desgasta, pudiendo revertir la transformación necesaria para el simulador y recuperando el arma totalmente funcional.
- Evaluación personal: permite crear un perfil individual donde podremos evaluar con mayor detalle y, así, corregir los errores necesarios para un buen adiestramiento en un tiempo menor.
- Costes: el uso del simulador es prácticamente gratis frente al elevado precio que supone unas prácticas de tiro real.

2.2.3 Software de simulación

Estos programas de simulación son plataformas completas que permiten desarrollar entornos en 3D orientados al uso de realidad virtual, simulación, demostraciones de entorno, juegos, etc. Este tipo de aplicaciones facilitan la creación de entornos virtuales inmersivos. De esta forma, se permite sumergir al usuario en un entorno creado por ordenador a través del uso de unos dispositivos destinados a tal fin [9].

En los últimos años, el sector de los videojuegos se ha popularizado y esto ha permitido que se convierta en uno de los mercados más importantes. Aplicaciones como *Unity3D* o *Unreal Engine* han facilitado la creación de entornos virtuales a usuarios que poseen conocimientos técnicos básicos.

Unity es un motor de desarrollo de entornos de simulación que mantiene el objetivo de hacer accesible la creación de estos entornos a aquellos usuarios que solamente posean conocimientos básicos. Para ello pone a su alcance herramientas para crearlos, tanto en dos dimensiones, en adelante 2D, como en 3D, con el fin de cubrir las necesidades de los pequeños desarrolladores [10].

Basado en código C++, *Unreal Engine*, perteneciente a la compañía de *Epic Games*, es una de las aplicaciones para la creación de entornos virtuales más populares en la actualidad. *Unreal* es programa de desarrollo muy versátil, que integra las herramientas necesarias, como el estudio de vídeo y sonido, o la renderización de imágenes, para crear un entorno virtual [11].

Adicionalmente, para determinados dispositivos es necesario el uso de un software que permita la interconexión entre dispositivos físicos y entornos de desarrollo. Uno de ellos es *SteamVR*, que permite

que una plataforma digital dispuesta para los simuladores de realidad virtual pueda ser usada en un equipo personal a partir de su plataforma [12].

2.3 Definición de dispositivo inmersivo para simulación en VR

Un dispositivo inmersivo nos permite adentrarnos en un entorno virtual generado por ordenador mediante el uso de gafas, auriculares, trajes especiales para el cuerpo o guantes proporcionando un estado sensorial de presencia en el mundo virtual. La inmersión total se logra con un entorno lo más real posible, aumentando las sensaciones de “estar verdaderamente en el mundo virtual”.

2.3.1 Dispositivos existentes de inmersión en VR

Hoy por hoy, la inmersión en VR es una tecnología que está en evolución constante, debido a la presencia de las últimas tecnologías. No obstante, existen multitud de dispositivos que nos pueden hacer sentir presentes en el mundo virtual. Naturalmente, tanto el grado de inmersión que proporcionan los diferentes dispositivos, como el precio y la calidad de la experiencia, serán diferentes.

- **CAVE:** Este dispositivo se basa en una habitación de $3 \times 3 \times 3$ m, compuesto por tres pantallas que, a su vez, son pantallas de retroproyección. Las imágenes son proyectadas a las paredes por proyectores situados en el exterior. Un cuarto proyector, situado bajo el techo, proyecta la imagen sobre el suelo. De esta forma, los usuarios se encontrarán realmente sumergidos en el mundo que se proyecta en la pantalla.
- **Virtuix Omni** (Figura 2-4) y **Cyberith Virtualizer**: son plataformas omnidireccionales en las que, el usuario puede andar, correr, agacharse y saltar sin desplazarse, mandando los movimientos realizados al software utilizado. Acompañado de un sistema de visión virtual y unos auriculares, ofrece una sensación total de estar inmerso en el mundo virtual.



Figura 2-4 Usuario corriendo en plataforma *Virtuix Omni* [13]

- **Gafas virtuales:** son los más utilizados al potenciar el principal sentido en el que el ser humano se apoya. Son muchos los modelos presentes en el mercado, incluso es posible utilizar un teléfono móvil que, junto con el giróscopo que generalmente contienen los *smartphones* actuales, permiten transmitir una sensación de inmersión al mover la cabeza y conseguir que el mundo virtual quede emparejado con el mundo real. Las gafas virtuales también otorgan una imagen distinta a cada ojo, generando una sensación de profundidad y logrando que un individuo se sienta presente en un entorno virtual.
- **Auriculares:** la utilización del sonido envolvente nos provocará una completa percepción del entorno virtual. El cerebro humano es capaz de localizar la procedencia del sonido a nuestro alrededor solo con el ruido generado por un objeto.

La utilización conjunta de estos dispositivos puede llegar a dificultar a un individuo el hecho de distinguir si se encuentra en el mundo real o en un entorno virtual, ya que puede ver, oír e incluso tocar como si el mundo que le rodea virtualmente existiese de verdad.

2.3.2 Dispositivos hápticos

Estrictamente hablando, la háptica es la ciencia que estudia las recepciones sensoriales a través del tacto. Los dispositivos hápticos, por ende, son aquellos que nos permiten transmitir sensaciones del tacto de un mundo virtual a un mundo real. Al tocar un dispositivo, se envía una señal al software que hace que el objeto vinculado a él en el entorno virtual reaccione como lo hace en la realidad. Dicho de otra manera, mediante el uso de estos dispositivos, un objeto tridimensional generado en un mundo virtual puede ser percibido en el mundo real a través del sentido del tacto [14].

El más representativo pueden ser los guantes hápticos, que al tocar un objeto en el entorno virtual provocan sensaciones en las manos a través de una serie de actuadores que permiten transmitir al individuo que verdaderamente está agarrando un objeto.

2.3.3 Dispositivos comerciales para VR

Para disfrutar de una inmersión en un mundo virtual, existen varios dispositivos VR disponibles en el mercado. A continuación, se describen alguno que logra transportar a el usuario a un entorno confeccionado por los ordenadores.

2.3.3.1 Oculus

Oculus Rift fue el primer dispositivo lanzado al mercado que se hizo disponible para el usuario medio. La creación de este primer dispositivo para poder disfrutar de este tipo de entorno fue de la empresa estadounidense de *Oculus VR*. El casco de realidad virtual *Oculus Rift* dispone de una pantalla de baja resolución por ojo con tecnología *OLED* [15]. La marca *Oculus* ha lanzado modelos más avanzados en los últimos años, como los dispositivos *Oculus Rift S*, *Oculus Go*, *Oculus Quest* y *Oculus Quest 2*.

2.3.3.2 Gafas para móviles

Con esta opción se permite a los usuarios que utilicen su teléfono móvil como pantalla para poder disfrutar de fotos en 360 grados o de vídeos virtuales. Las iteraciones con la realidad son pocas, pero es la opción más asequible. Concretamente, para los *smartphones* de la marca *Samsung* existen unas gafas de la marca que permite acoplar el dispositivo, interactuar mediante un *air mouse* y manejar un menú en 3D. Así, son capaces de detectar el movimiento de la cabeza y el del mando e interactuar con seis botones.

2.3.3.3 Play Station VR

Es el sistema de realidad virtual desarrollado por la marca japonesa Sony. Las características técnicas de este dispositivo son algo más modestas que otros modelos comerciales ya que se desarrollaron para la plataforma *playstation 4*, más limitada en capacidad de cálculo frente a los PCs de última generación. No obstante, la calidad de la imagen, proporcionan una sensación inmersiva que puede completarse con el uso de un mando que detecta el movimiento y una pistola para la aumentar la sensación de realidad en los juegos con armas [16].

2.3.3.4 Dispositivos HTC Vive para VR

Es uno de los equipos más completos debido a que su tecnología permite ver con gran calidad y realismo, eco-localizar a través de su sonido envolvente, interactuar gracias a sus mandos geolocalizados, e incluso desplazarse en el mundo real y que este movimiento sea percibido por el sistema y se traslade al entorno digital [17].

2.3.3.4.1 *Vive Pro*

Vive Pro está diseñado para ser utilizado en una habitación cerrada. Las estaciones bases utilizan tecnología láser denominada *Lighthouse*, lo que permite la localización de los dispositivos con una precisión inferior al milímetro en el área de seguimiento. Esta tecnología utiliza fotosensores para el rastreo. Para evitar problemas de obstrucción entre el láser y el dispositivo, *Vive* utiliza dos estaciones colocadas en direcciones opuestas que barren una zona delimitada virtualmente por completo. Con la previa instalación de sus estaciones bases en las paredes de la habitación se crea un área cuadrada que permite trasladar la ubicación exacta. Los dispositivos móviles utilizan más de setenta sensores distintos como acelerómetros o giroscopios y permiten al software representar con gran exactitud los movimientos de los dispositivos en el mundo virtual.



Figura 2-5 *Vive Pro* [17]

Las *HTC Vive Pro* ofrecen experiencias con una resolución combinada de 5K, que permiten una nitidez de imagen extraordinaria, y con un amplio campo de visión de 110° grados de visión, lo que recrea una inmersión completa. Dispone de dos auriculares certificados de alta resolución que completan la hipnosis de los sentidos.

2.3.3.4.2 *Vive Tracker 3.0*

El *Tracker 3.0* permite realizar un seguimiento completo de cualquier objeto del mundo real al universo virtual. El rastreador de dispositivos permite dotar a cualquier objeto de los sensores necesarios para ser utilizado en el área de seguimiento con las mismas prestaciones que los dispositivos diseñados para este propósito [17].

Además de los sensores, el *Tracker 3.0* dispone de unos conectores en su base, tal cual se refleja en la Figura 2-6, que permite mandar señales al universo virtual mediante conexiones eléctricas. Así, el *tracker* permite diseñar un dispositivo muy personalizado con el fin de interactuar con una mayor precisión en el entorno virtual.

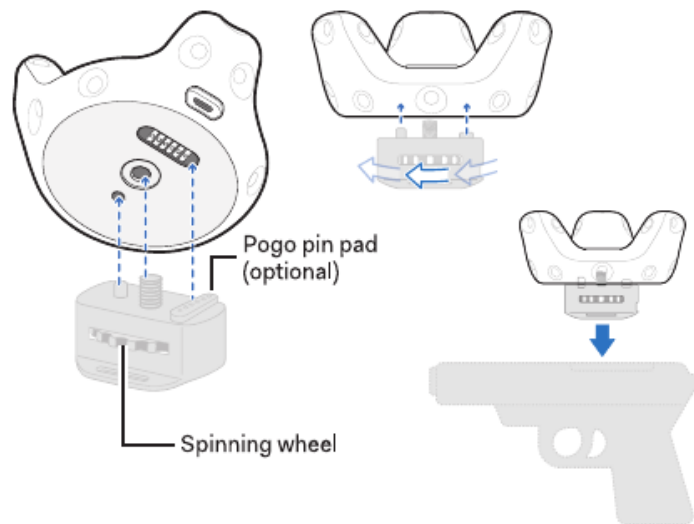


Figura 2-6 Ejemplo colocación Tracker 3.0 en un dispositivo [17]

2.4 Ingeniería inversa

La ingeniería es el proceso de fabricación mediante el diseño, modelación y montaje de diferentes productos y sistemas de elementos funcionales. La ingeniería se vincula a la idea de llevar a la realidad alguna noción de un producto mediante diseños lógicos, además de que se pueda llevar a cabo su fabricación siendo la mayor parte de las veces funcional. Sin embargo, hay veces que esto se complica, ya que el ingeniero, en caso de querer duplicar o perfeccionar una pieza ya existente, puede no estar en posesión de los planos o detalles de construcción original.

Mediante la ingeniería inversa, por tanto, se puede analizar el objeto y determinar el material con el que ha sido fabricado, examinar la forma y la estructura para el modelado 3D para su mejora o duplicidad o, simplemente, para fabricar otro objeto en base a este. Existen numerosos métodos para la creación de un modelo digital a partir de un modelo real, que se reflejan a continuación.

2.4.1 Toma de medidas manual

Es el más sencillo y utiliza los medios más económicos pudiendo reproducir digitalmente un objeto tras su medida con ayuda de algún instrumento especializado para medir ángulos y distancias. Es útil o viable en casos donde el objeto a reproducir no presenta formas muy complejas y son relativamente fáciles de reproducir en un plano.

2.4.2 El escaneo 3D sin contacto

Si el objeto a reproducir presenta formas geométricas complicadas o un gran número de elementos, se puede recurrir a la técnica de escaneo 3D. Mediante un escáner se puede generar una nube de puntos con la que obtendremos un modelo geométrico digital *Computer Aided Design*, en adelante *CAD*. A continuación, se muestran las distintas tecnologías existentes que se emplean para desarrollar escaneos de modelos ya existentes:

- **Triangulación por Láser:** un láser proyecta una serie de haces y un sensor captura su reflejo. De este modo, Siendo conocido el ángulo de emisión y la distancia entre el láser y la cámara, es fácil determinar, mediante triangulación, la distancia al objeto y el ángulo del reflejo (Figura 2-7).

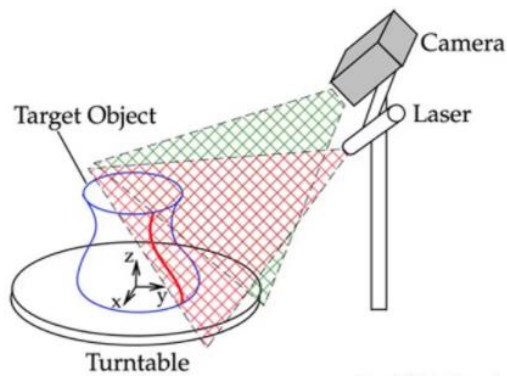


Figura 2-7 Esquema funcionamiento escáner 3D de triangulación [18]

- Luz estructurada: un foco de luz emite una estructura geométrica de luz sobre el objeto a escanear. Una cámara que se encuentra a una distancia conocida va obteniendo la forma del objeto donde se proyecta la luz interpretando la distorsión de la imagen proyectada en la superficie del objeto (Figura 2-8).

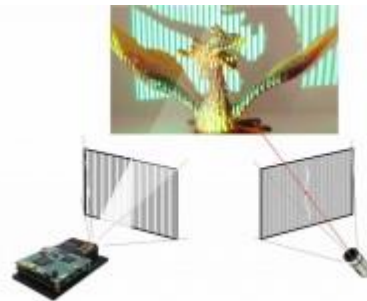


Figura 2-8 Escaneo mediante luz estructurada [19]

- Fotogrametría: consiste en obtener la forma del objeto interpretando fotos desde distintos ángulos de éste. Al igual que el cerebro humano es capaz de interpretar cómo es un objeto después de mirarlo desde distintas perspectivas, con la ayuda de un software determinado, un ordenador puede modelar un objeto en 3D si tiene el número suficiente de fotografías de éste obtenidas desde distinto ángulo.

2.4.3 Máquinas de medición por coordenadas (MMC)

Este tipo de máquinas son equipos que miden, mediante el contacto de un palpador, la geometría de una superficie de un objeto físico. Siendo conocidas las coordenadas XYZ del palpador, éste se desliza sobre la superficie para determinar una nube de millones de puntos y, así, generar una superficie mediante la creación de una malla que los une.

2.4.4 Diseño asistido por Ordenador

Los sistemas *Computer Aided Design*, en adelante *CAD*, son aquellos softwares que permiten diseñar, crear, analizar, modificar y obtener modelos digitales en 2D y 3D, a la vez que permiten manipularlos de una forma sencilla mediante elementos geométricos vinculantes. Los diseños generados mediante *CAD* se pueden clasificar en diseños de 2D, generados por entre otras, formas poligonales, arcos o rectas, y los diseños en 3D, que añaden sólidos y superficies.

La digitalización de un modelo 3D permite probar su funcionamiento previa fabricación mediante los programas *Computer Aided Engineering*, en adelante *CAE*, que permiten simular distintas fuerzas sobre el objeto y así conocer la resistencia límites y su comportamiento frente a las fuerzas que será

sometido. Mediante este método, se permite la optimización de los materiales utilizados, así como la garantía del funcionamiento de la pieza creada digitalmente.

Para una asistencia completa, también se utiliza como apoyo un sistema de mecanización *Computer Aided Manufacturing*, en adelante *CAM*, mediante el cual se obtiene el mecanizado de la pieza diseñada con el control de una máquina de control numérico.

2.4.5 *Inventor*

Autodesk Inventor es un software *CAD* para modelar sólidos en 3D y generar la documentación referente a dichos sólidos, y que permite generar distintos tipos de simulaciones con los sólidos diseñados. Esto posibilita la elaboración de prototipos digitales para realizar pruebas simuladas antes de la fabricación de un modelo real [20].

Este software especializado dispone de numerosas herramientas específicas para facilitar la creación de un diseño 3D integrando datos en 2D y 3D de manera unificada, generando una representación virtual de un sólido. Esto permite modificar el diseño en cualquier momento y ajustarlo al funcionamiento buscado. Las ventajas de *Autodesk Inventor* son numerosas, entre otras:

- Permite optimizar el tiempo. Ayuda a diseñar y validar productos antes de fabricarlos.
- Creación de productos y procesos automatizados.
- Movimientos reales de piezas funcionales.
- Análisis de Interferencias en los ensambles creados.
- Distintos tipos de restricciones y contacto dinámico entre piezas y ensamblajes.

2.5 Impresión 3D

Actualmente, existen otros métodos para crear físicamente un modelo diseñado en *CAD*. Las impresoras 3D posibilita la fabricación directa de un objeto diseñado en un ordenador, creando piezas geométricas volumétricas.

2.5.1 *Historia y evolución*

Tras la invención de la impresora por inyección de tinta en el año 1976, la idea de imprimir un sólido en vez de un dibujo empezó a considerarse como algo que podría ser de utilidad.

En el año 1981, el Doctor Hideo Kodama ideó dos métodos para poder fabricar sólidos en material plástico. Su idea consistía en la solidificación de un polímero con luz ultravioleta. De este modo, Tras un proyecto junto con el Instituto Municipal de Investigación de Nagoya, intentó patentar la idea aun sin éxito, pues la falta de presupuesto le obligó a abandonar [21].

Tres años después, Chuck Hull desarrolló un sistema capaz de construir objetos mediante la deposición de material capa a capa. Esta invención revolucionó el mercado al conseguir crear un objeto tridimensional añadiendo capas. Esta tecnología permitía hacer ensayos con un prototipo antes del modelo definitivo.

En el año 1992 comienzan a comercializarse las primeras Impresoras 3D en el mercado, basadas en la estereolitografía. Éstas estaban fabricadas por la empresa *3D Systems*, fundada por Chuck Hull y su funcionamiento estaba basado en la solidificación de un polímero fotosensible que, bajo los rayos de luz ultravioleta, solidificaría una pequeña capa (Figura 2-9).

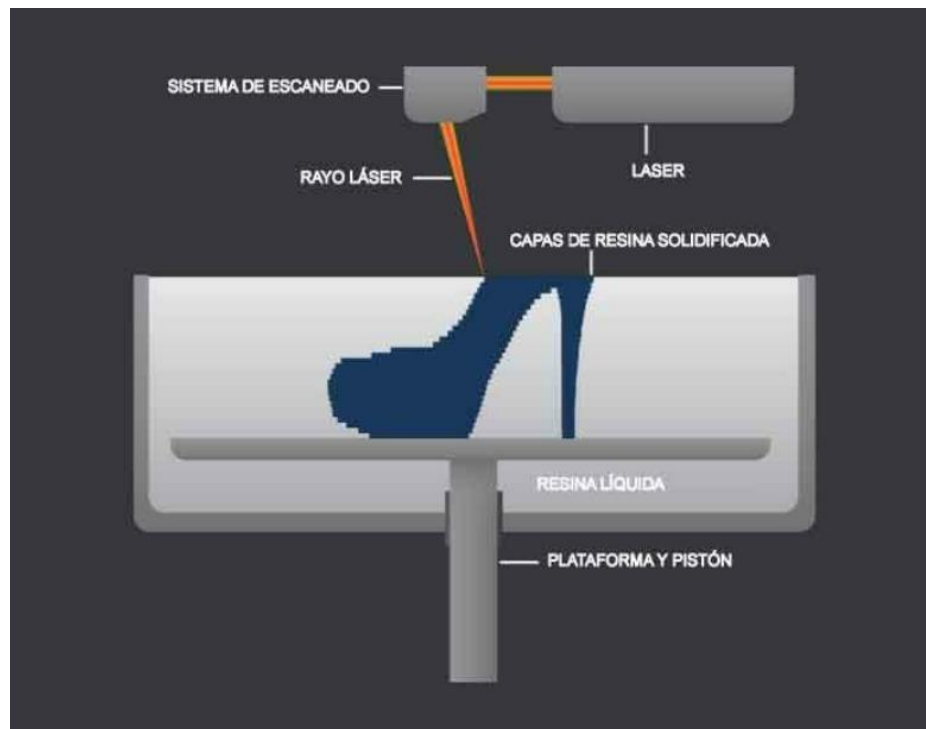


Figura 2-9 Impresora 3D por estereolitografía [21]

2.5.2 Tipos de Impresoras 3D

Hoy en día son múltiples los sistemas de impresión en 3D en función de la tecnología en la que esta esté basada para llevar. Tomando en cuenta esto, los tipos más comunes en el mercado son los siguientes:

2.5.2.1 Estereolitografía (SLA)

Como se ha mencionado anteriormente, esta tecnología fue la pionera en este tipo de impresiones. Consiste en la solidificación de una resina líquida usando un láser. El haz del láser incide en la superficie del líquido produciendo su solidificación. Cuando ha pasado por toda la superficie, el objeto desciende en grosor de la capa solidificada para que el haz vuelva a realizar su trabajo, formando, de nuevo, una capa sólida (Figura 2-9).

2.5.2.2 Sinterización Selectiva por Láser (SLS)

Este sistema es muy similar al explicado antes SLA, pero el material usado es diferente. Esta tecnología permite usar multitud de materiales en polvo, como, por ejemplo, cristal, nylon o cerámica, que, en presencia del láser, se solidifican. Al terminar con una capa, el sólido desciende y se añade más material en polvo para que el láser pueda volver a incidir en él añadiendo otra nueva capa al objeto en impresión [22].

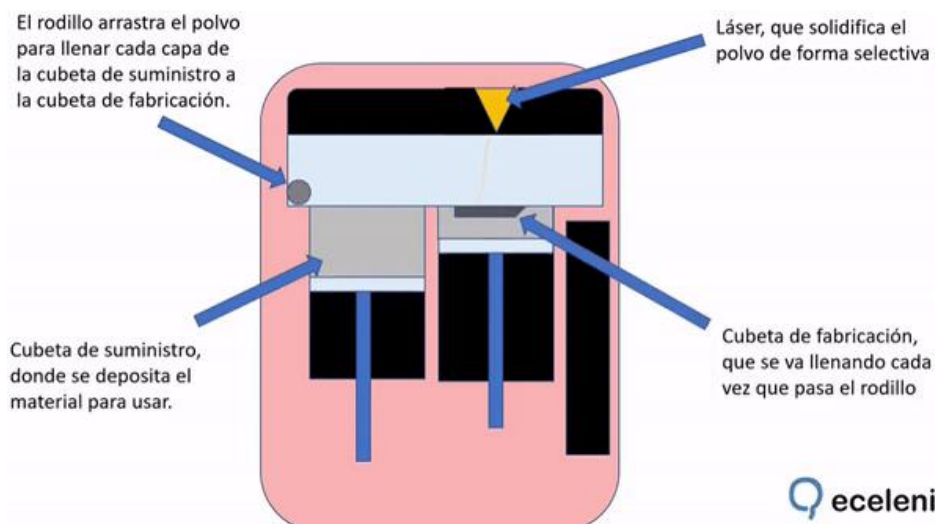


Figura 2-10 Impresora SLS

2.5.2.3 Tecnología FDM (Fused Deposition Modeling)

Esta técnica es considerada la más sencilla. En Este sistema se utiliza un extrusor que va depositando un filamento de material fundido con el que construye la capa completa. Una vez terminada la capa, el cabezal eleva el grosor de la capa y vuelve a depositar la nueva capa en sus correspondientes coordenadas, quedando fundida con la capa anterior y formando un objeto tridimensional. La tecnología de Modelado por Deposición Fundida utiliza bobinas en las que se encuentra el material en forma de filamento que, posteriormente, es fundido para ser depositado por el cabezal (Figura 2-11).

La tecnología FDM usa un extrusor que, al pasar el material a través de él, lo derrite y deposita en una posición determinada. La pieza imprimida se va formando capa a capa por el cordón extruido por la boquilla. Hay que tener en cuenta que el cordón se deposita a una altura determinada y, si la zona a imprimir no tiene suficiente base, será necesario poner un soporte para que el cordón quede en el lugar correcto.

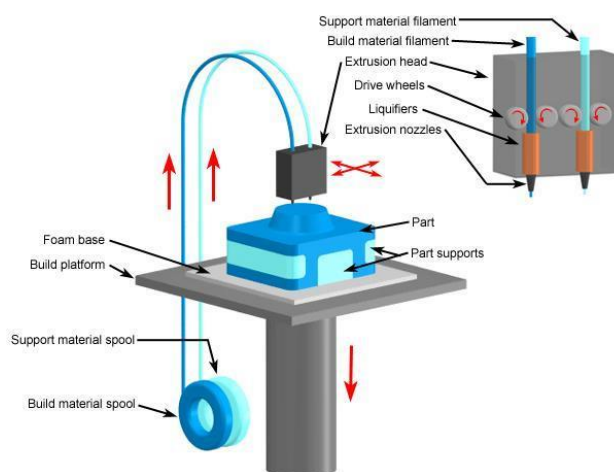


Figura 2-11 Impresora 3D con tecnología FDM

Tras el diseño 3D de la pieza a fabricar, se obtendrá un formato determinado para la impresión de la pieza. Una vez obtenido el archivo en el formato adecuado, normalmente STL, y con ayuda de un programa *Slicer*, se divide el modelo digital en capas. Este tipo de programas permiten seleccionar distintas características de impresión antes de proceder a la fabricación del modelo [23].

Con esta tecnología se pueden crear sólidos a partir de multitud de materiales. Entre los más utilizados se encuentran el ácido poliláctico (en adelante, PLA) y el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (en

adelante, ABS), pero también permite impresiones en materiales como cerámica, arcilla, nylon y muchos otros compuestos basados en metal, madera o piedra. Esto permite su amplitud de usos en campos como la aeroespacial, la industria automotriz o la medicina.

3 DESARROLLO

3.1 Descripción del apartado

En apartados anteriores se ofrece una descripción de multitud de tecnologías diferentes. A continuación, en este punto, se explica cómo se hace uso de éstas para la creación del fusil en cuestión. Para ello, se detallan los pasos seguidos para el diseño del dispositivo y la utilización de las distintas herramientas para su creación y fabricación.

3.2 Diseño

Antes de entrar en profundidad en aspectos relacionados con el diseño del fusil, es importante saber que el tamaño de la mayoría de las impresoras no industriales es reducido. La impresora utilizada posee un tamaño de impresión específico, debiendo adaptar el diseño del fusil a tal volumen de impresión. Teniendo esto en cuenta, éste se ha dividido en distintas piezas.

Como se ha mencionado anteriormente, para el diseño del dispositivo, se hará uso de la ingeniería inversa, tomando como base el Fusil *HK G36 E* usado por las Fuerzas Armadas en España.

El objetivo del dispositivo es que transmita sensaciones similares, si no idénticas, a la hora de hacer uso del arma. Para ello, el exterior del fusil fabricado tiene que ser semejante al fusil simulado, haciéndolo muy difícil de diferenciar por el tacto y forma de su homólogo de guerra.

3.2.1 Software Autodesk Inventor

El software *CAD* utilizado para el modelado en este proyecto, *Inventor*, de la empresa *Autodesk* *Inventor*, proporciona herramientas específicas para el diseño mecánico, la documentación, acotaciones sobre planos, ensamblajes de piezas 3D con restricciones de movimiento o soldadas, y simulación en 3D de tensiones, sobrecargas y esfuerzos.

Este programa permite exportar archivos a múltiples formatos para su modelación. Cabe destacar que el usado en este proyecto es STL, que es el formato más común utilizado para las impresiones en 3D.

3.2.2 Ingeniería inversa

Para el diseño externo del fusil, se han tomado las medidas del fusil *HK G36E* mediante medición manual. Para ello, se ha utilizado un calibre digital (Figura 3-1) con rango de medición de 0mm a 150mm, mordaza interior, mordaza exterior y sonda. El calibre utilizado proporciona una resolución de 0.01mm y una precisión de $\pm 0.03\text{mm}$.



Figura 3-1 Calibre digital usando en este proyecto

La precisión del aparato nos proporciona gran fidelidad en la recreación de un modelo virtual del fusil. Para la toma de superficies con ángulos, se ha utilizado un medidor de ángulos (Figura 3-2).



Figura 3-2 Medidor de ángulos

En este apartado se puede ver el diseño exterior del fusil real y los detalles importantes que producirán las sensaciones al combatiente. Para que el entrenamiento sea lo más efectivo posible, el tacto del fusil, el centro de gravedad y, esencialmente, las posiciones de cada pieza son cruciales. De este modo, una persona entrenada en el simulador reaccionará en la vida real utilizando la memoria muscular adquirida durante el entrenamiento con este dispositivo. El objetivo de este proyecto es que una persona entrenada con este dispositivo se olvide de que está sujetando un fusil que no es el real y actúe como si lo fuese.

3.2.2.1 Frontal

En la parte frontal del fusil destaca la boca del cañón, que sobresale del resto de piezas. Para el diseño de ésta, se tendrá en cuenta su exposición a la rotura por ser muy delgada además de larga y debido a que el PLA, que es el material elegido para su construcción, no proporciona la dureza suficiente para resistir pequeños impactos a los que podría ser expuesta. Debido a su posición y la distancia del punto de apoyo, cualquier pequeño impacto en el extremo del cañón ejercerá unas tensiones posiblemente mayores a las soportadas por el material. Por todo ello, es necesario reforzar el interior del cañón para darle la firmeza necesaria.

3.2.2.2 *Agarre*

El guardamanos (Figura 3-3) será un componente fundamental. Gracias a esta pieza, el soldado puede agarrar el fusil con firmeza y apuntar con rapidez. Utilizando la memoria muscular facilitada por la práctica continua, un combatiente puede, mediante un rápido movimiento, agarrar el arma por el guardamanos, alzarlo y apuntar al enemigo con la misma precisión con la que cualquier persona señalaría con un dedo un objeto relativamente lejano.



Figura 3-3 Guardamanos fusil

Debido a la necesidad de un agarre continuo, es una parte delicada. Por esta razón, es necesario ser muy fiel a las medidas y a las sensaciones, pues una sensible variación en el grosor, forma o inercia en el movimiento no proporcionaría el objetivo buscado.

Como se ha mencionado previamente, el volumen de impresión disponible es limitado y las dimensiones del guardamanos real exceden las dimensiones de este. Por esta razón, será diseñado en dos piezas que unidas formarán la semejante al guardamanos real.

Otra de las partes más delicadas de un arma es su empuñadura (Figura 3-4). Armas distintas proporcionan un agarre distinto y una memoria muscular a desarrollar diferente con cada una de ellas. Así, además del guardamanos, la empuñadura supone otro agarre principal de un fusil, utilizándose la mano directriz para sujetarla.



Figura 3-4 Empuñadura fusil

Así, la empuñadura es un elemento ergonómico que se adapta a la curvatura cónica formada por la mano en el agarre. Con el fin de respetar las medidas, las curvaturas y las inclinaciones, se realizarán mediciones a distintas alturas, pudiendo determinar las medidas de secciones transversales que proporcionarán una exactitud mayor. De este modo, realizando las mediciones por secciones a la misma altura se proporciona una precisión a la pieza modulada que la hará difícil de diferenciar de la pieza real.

Otra de las piezas más delicadas en cuanto al tacto se refiere, es la cola del disparador. En un arma, las tensiones del cuerpo en el momento del disparo se transmiten en cualquier sentido. La tensión en ese momento tiene que estar concentrada en el firme agarre del arma por los puntos de apoyo, en la empuñadura con la mano directriz, en el guardamanos con la mano lejana y en la culata apretada contra el hombro firmemente, pero no en el disparador. Una presión ejercida con mayor grado de lo debido en la cola del disparador producirá un ligero movimiento en el arma que hará que el disparo se desvíe. Cuando se dispara, el dedo índice está relativamente relajado y se hace sensible al tacto que el arma le proporciona y así se evita transmitir tensiones indebidas. El diseño del disparador debe transmitir sensaciones al tacto y fuerza idénticas, además de permitir el giro de los 15° que harían que el disparo se efectuase en un fusil real. (Figura 3-5)



Figura 3-5 Cola del disparador fusil

3.2.2.3 *Cuerpo principal, visor y asa portafusil*

El cuerpo del fusil es el armazón principal y al cual van acoplados los distintos componentes. En su interior, se encuentran las partes móviles que permiten que el disparo se produzca, la alimentación del arma tras éste y también es aquí donde se produce el bloqueo del cierre con la recámara.

En la parte exterior, el cuerpo se adapta a los contornos de las distintas piezas que encajan en él. Por su tamaño, será necesario dividirlo con la finalidad de permitir su impresión, debido a las dimensiones de la impresora. El cuerpo dispone de huecos preparados en la parte inferior para el acople de las diferentes piezas. Estos huecos deberán ser evitados para la división de este, pues se rompería la estructura y expondría a la pieza a una rotura repentina debido a la falta de robustez. Por lo cual, para evitar dejar alguna de las dos piezas generadas sin pared estructural, la división se realizará en mitad de una de las paredes no curvas.

Por otro lado, la estructura aportada por el cuerpo nos permite alojar los distintos componentes móviles de nuestro fusil.

Teniendo en cuenta lo anterior, las piezas delanteras deberán hacerse firmes al cuerpo y, a su vez, no ocupar un espacio en el interior que no permita el movimiento del resto de piezas (Figura 3-6).



Figura 3-6 Cuerpo del fusil

El visor del fusil se encuentra en la parte superior del cuerpo y permite ver el objetivo mediante un juego de lentes. Se encuentra incrustado en un asa arqueada que la que se puede sostener el fusil para su transporte. El asa también es desmontable mediante una cola de milano que restringe el movimiento en 2 ejes y confiere una firmeza extra evitando fuerzas cortantes innecesarias en las uniones empleadas.

Para el diseño se utilizará el mismo sistema de unión mediante una cola de milano tanto en la división de la misma pieza del visor debido a su tamaño, como en la unión al resto del fusil. Por otro lado, no es necesario ningún tipo de lente ya que el empleo del dispositivo se hará con Realidad Virtual.

Debido a la localización del visor y a las características necesarias del *Tracker 3.0* (libre 240 ° ver Figura 3-7) el asa portafusil resulta un lugar idóneo para instalar el *Tracker*. Para permitir una conexión entre las partes móviles del fusil diseñado y el *Tracker*, se deberá disponer de un pasante con los cables necesarios para el uso.

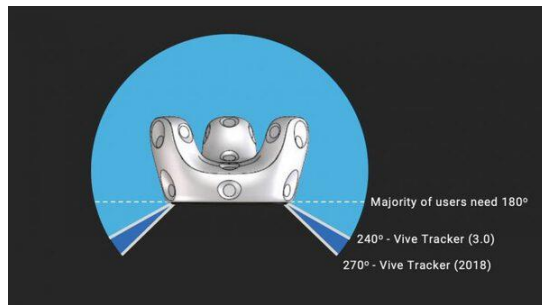


Figura 3-7 Colocación Tracker 3.0 con ángulo libre

3.2.2.4 Sistema de alimentación

En el fusil real, el cargador se introduce por la boca inferior y, en su posición más elevada, queda sostenido por su retenida (Figura 3-8). Una de las necesidades básicas es el cambio de cargador rápido y efectivo en situaciones de estrés. En el intervalo que se efectúa un cambio del cargador, el soldado está expuesto sin poder dar protección mediante disparos. Por lo cual, la práctica en el cambio de cargador es crucial y debe ser intuitiva.

Para el diseño del cargador, se deberá respetar las dimensiones, curvatura y forma con la mayor precisión posible para que el entrenamiento sea efectivo. La localización del orificio del cargador en el cuerpo del fusil deberá respetar la posición relativa con respecto al resto de piezas, ya que el cambio de cargador es un movimiento intuitivo que se realiza sin mirar. La boca de entrada del cargador permite cierta holgura para facilitar su embocadura.



Figura 3-8 Cargador y boca del Cargador del fusil

Para la extracción de este, la retenida puede ser retirada por medio de un botón localizado en la parte delantera del pistolete (Figura 3-9).

El fusil diseñado debe retener el cargador permitiendo su extracción por medio de un botón situado en el pistolete.

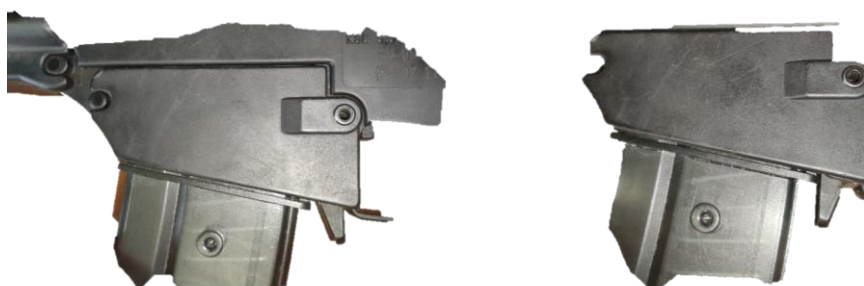


Figura 3-9 Posiciones Retenida fusil

El fusil real consta de un seguro ambidiestro situado en el pistolete. Este permite mantener el arma en seguro (el disparador no puede ser accionado), en tiro a tiro (el fusil realiza solo un disparo, debiendo de soltar el disparador y volver a accionarlo para realizar otro) y en ráfaga (mientras el disparador este pulsado, se disparará hasta que se agote la munición).

El seguro diseñado deberá permitir el mismo movimiento que el real, además de limitar el movimiento del disparador en su posición de seguro (Figura 3-9).



Figura 3-10 Posiciones Seguro del fusil

3.2.2.5 Puntos de apoyo

En la parte posterior del fusil real se sitúa la culata plegable. A la hora del disparo, un fusil debe estar lo más firme posible y uno de los puntos de apoyo más importantes es el apoyo trasero. La culata se apoya en el hombro con firmeza y restringe el movimiento del fusil, permitiendo un disparo en la dirección requerida. Para el transporte del fusil, la culata es plegable.

Para el fusil diseñado se realizará una culata con las mismas dimensiones que permita tener el apoyo a la misma distancia del pistolete y la misma forma ergonómica. Debido a su poca funcionalidad, el fusil diseñado no constará de culata plegable evitando puntos de rotura. En el fusil real la culata solo se abate por comodidad a la hora del transporte, siendo desplegada siempre que el fusil quiera ser utilizado. De manera preventiva, frente a la mínima posibilidad de contacto con el enemigo, la culata siempre irá desplegada. Por dicho motivo, no tiene ninguna funcionalidad en nuestro fusil diseñado.

3.2.3 Especificaciones previas de diseño

Las impresoras 3D comerciales no hacen una reproducción exacta de un modelo según el diseño original. En el proceso de impresión influyen directamente diferentes factores que afectan directamente a la precisión dimensional.

La variación de las dimensiones del modelo creado con respecto al original depende de la forma y el elemento que se trate. No tiene la misma imprecisión un modelo circular que uno con ángulos cerrados [24].

La diferencia de cotas queda reducida al mínimo al utilizar líneas rectas generadas en el plano XY (la base de impresión), siendo generalmente de la mitad del diámetro del extrusor.

Para la fabricación del fusil diseñado se dispone de una impresora *BQ WITBOX* (Figura 3-11) cuyas dimensiones de impresión son: 297 x 210 x 200mm y diámetro de extrusor de 0.4mm [25].

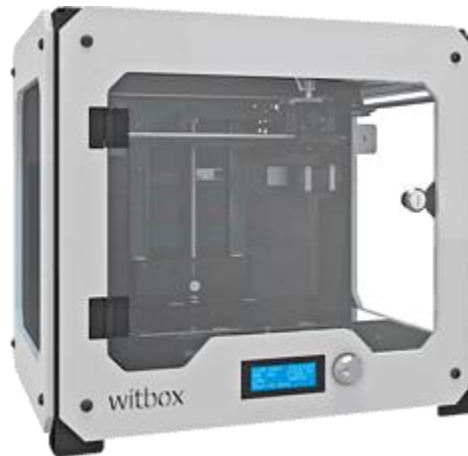


Figura 3-11 Impresora utilizada para este proyecto

Para la fabricación de las piezas, los diseños deben delimitarse por las dimensiones de impresión y, a su vez evitar posibles debilidades generadas por dicha división.

El guardamanos (323.6mm), el cuerpo principal (329mm) y el asa portafusil (341mm) (Figura 3-12) exceden el tamaño de las dimensiones de impresión por lo que habrá de dividirlos.

La construcción de piezas en impresoras 3D no son perfectas, aunque si bastante precisas. Para el ensamble de las distintas piezas impresas, se tendrá en cuenta un juego entre agujero y eje de la mitad del diámetro del extrusor (0.2mm en nuestro caso). También se intentará en la medida de lo posible que las paredes de los ejes y agujeros sean impresas en el plano XY de la impresora para conceder la mayor precisión posible en la adaptación de las piezas.



Figura 3-12 Fusil HK G36E

3.2.3.1 Especificaciones de Diseño Peso y centro de gravedad

Dado que la densidad del PLA es muy baja ($1.24 \text{ kg} / \text{dm}^3$), además de las características de impresión, el material de relleno se imprime al 40%, se estima que habrá un déficit de peso en el dispositivo que habrá que subsanar con lastres. Los lastres empleados serán de acero inoxidable con una alta densidad ($8.03 \text{ kg} / \text{dm}^3$), lo que permitirá la corrección tanto del peso como del centro de gravedad.

Gracias al modelado digital, se podrá localizar el centro de gravedad del dispositivo digital y situar las posiciones oportunas para moverlo hacia su localización en el fusil real.

3.2.3.2 Especificaciones de Diseño de la electrónica

En una integración completa con el software, el dispositivo ha de ser capaz de transmitir su posicionamiento y la disposición del estado de los ejes de manera exacta. Además, debe permitir al dispositivo interactuar con el software para que éste pueda detectar un disparo, un cambio de cargador o cuándo cambiar la modalidad del tipo de disparo (tiro a tiro o ráfaga).

Para este cometido, se empleará el uso de un *Tracker 3.0* que permitirá interconectar el dispositivo con el software de simulación. El lugar designado para su colocación es en la parte superior del fusil, ya que permite cumplir sus requerimientos de instalación (Figura 3-7). Con el objeto de unir los conectores del *Tracker* con los micro interruptores instalados en el interior del dispositivo, se realizará un pasante para seis cables (cantidad de pines disponibles en el *Tracker*) de una zona a otra.

Se han seleccionado dos tipos de micro interruptores genéricos de diferente tamaño para la detección del estado y la interoperabilidad del dispositivo. Durante la modelación de las piezas se diseñará una superficie para facilitar la futura instalación de los micro interruptores apropiados en cada caso.

3.2.4 Modelado geométrico

Con el objeto de simular en la medida de lo posible el fusil real con la mayor precisión posible, el modelado del fusil diseñado toma como base las medidas del real.

Para el modelado 3D se ha utilizado el software *CAD Inventor* de *Autodesk*. Este software nos proporciona herramientas para el modelado 3D y su posterior ensamblaje. Además, podemos realizar distintas pruebas con el modelo digital, como puede ser calcular el centro de gravedad, que se tendrá que implantar en el fusil diseñado.

3.2.4.1 Cañón

Para representar el cañón en el modelo digital, se ha utilizado un perfil de este para, posteriormente, revolucionarlo por su eje central. Una vez obtenido, se han insertado o restado, mediante bocetos, las distintas partes no simétricas.

Para su posterior ensamblaje, se ha diseñado un pasante interior para una barra roscada M6 (Figura 3-14). Esta barra roscada atribuye un apriete entre las piezas unidas a través de ella. Por tanto, En la parte delantera se ha diseñado una hendidura (Figura 3-13) en la que se alojará una tuerca M6 para el apriete de la barra roscada. Esta tuerca junto con la pieza adyacente no permitirá el movimiento de la pieza en el eje X (eje longitudinal).

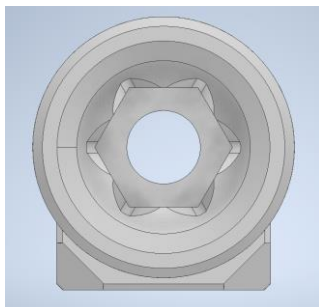


Figura 3-13 Hendidura tuerca M6

Para la unión del cañón con las piezas adyacentes, en su parte trasera dispone de un agujero cuadrangular, tal y como se puede apreciar en la Figura 3-15. Aquí, se insertará un eje que se diseñará en la pieza subsiguiente. El ensamble de este agujero con su posterior eje, por tanto, restringe el movimiento en el eje Y (eje lateral) y en el eje Z (eje vertical). Con estas restricciones de movimiento, la pieza quedará totalmente fijada.

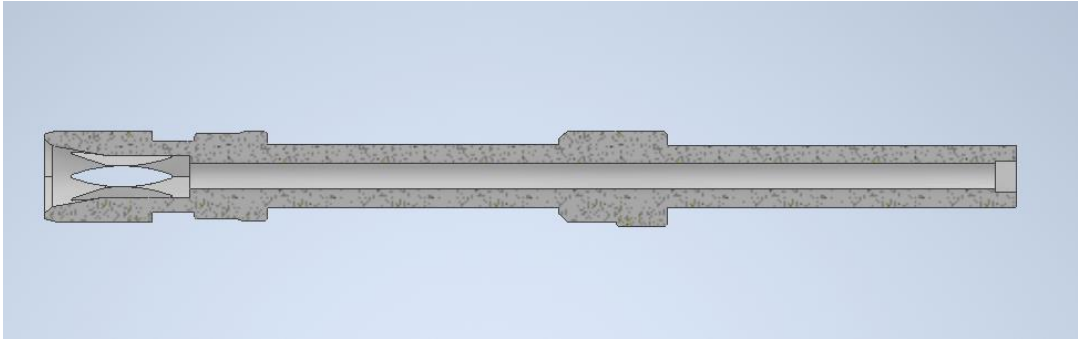


Figura 3-14 Sección Cañón

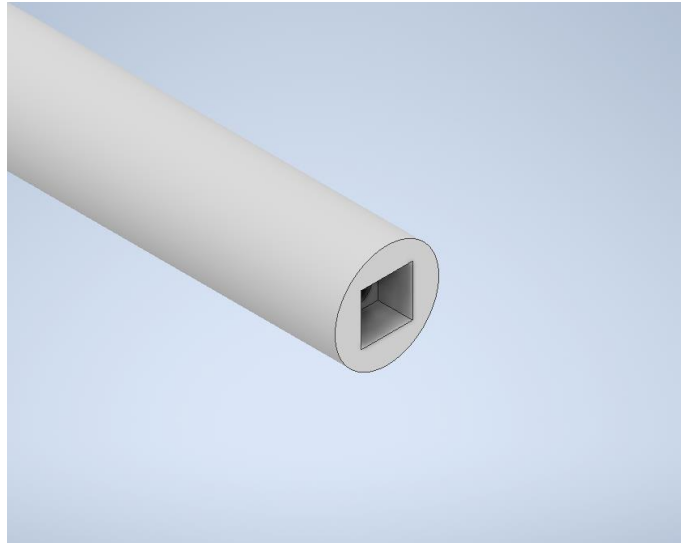


Figura 3-15 Agujero para ensamblaje

Como resultado, se puede observar una comparativa de la pieza real con la pieza diseñada (Figura 3-16).

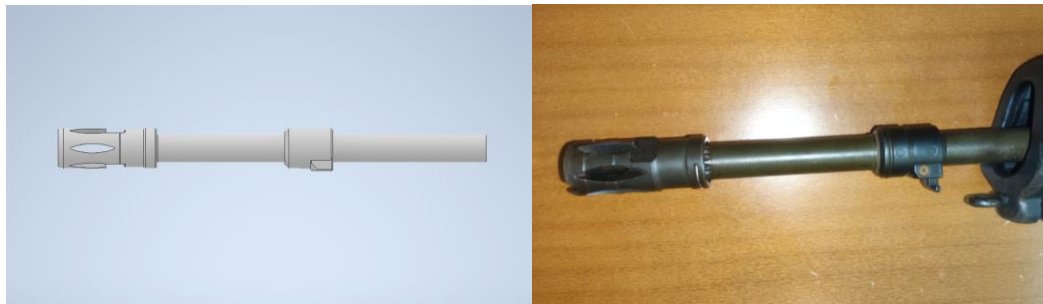


Figura 3-16 Comparación Cañón diseñado - Cañón Real

3.2.4.2 Guardamanos

Como se comentó anteriormente, por características volumétricas del espacio de impresión y por el tamaño de la pieza, para el modelado del guardamanos la pieza se dividirá en dos partes. La división se realizará repartiendo las dimensiones a partes iguales entre ambas piezas generadas.

3.2.4.2.1 Cabeza Guardamanos

Para la realización de esta pieza, se realizará la extrusión de un boceto con la forma exterior del guardamanos. En su parte más adelantada, adaptará el plano con un chaflán en la arista superior.

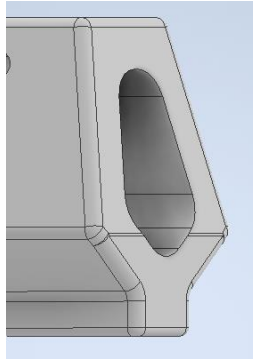


Figura 3-17 Plano delantero Guardamanos

En la parte superior, se realizarán las perforaciones pertinentes, al igual que en el fusil real (Figura 3-18).

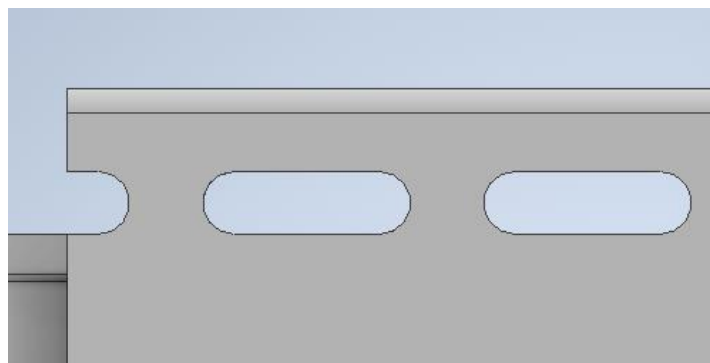


Figura 3-18 Perforaciones Ventilación

En su parte interior, se ha extendido el cañón creado en la pieza anterior y por el interior de éste, se instalará la barra roscada que dará el apriete a las piezas. Además, la parte delantera del cañón interno dispone de un eje que ensambla con el agujero de la pieza Cañón (Figura 3-19).

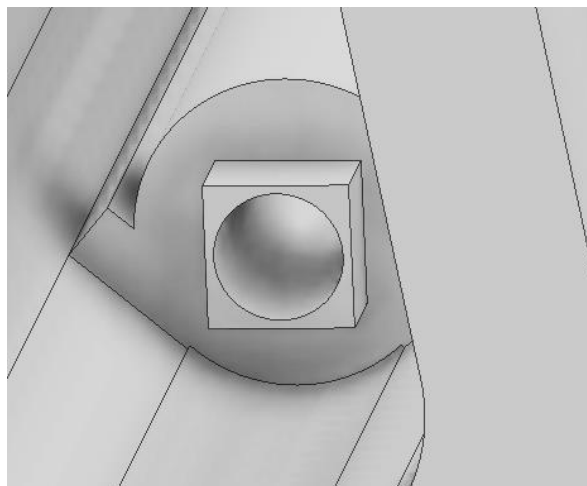


Figura 3-19 Eje ensamble Guardamanos – Cañón

En su parte trasera, se crea un cubo con las piezas existentes que funciona como eje y se usará para el acople de pieza que completa el guardamanos (Figura 3-20). Para disminuir las tensiones producidas por flexión y cortadura en la unión, el ancho del cubo se dispondrá para que las paredes tanto del agujero (Figura 3-22) como del eje se repartan entre sí.

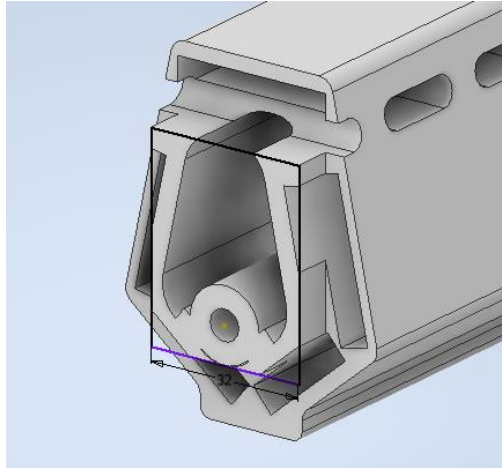


Figura 3-20 Eje ensamblado Cabeza Guardamanos – Trasera Guardamanos

Debido a la distribución de peso necesaria se incluirán diferentes huecos en los que se pueda albergar el lastre en el interior de las paredes del guardamanos (Figura 3-21).

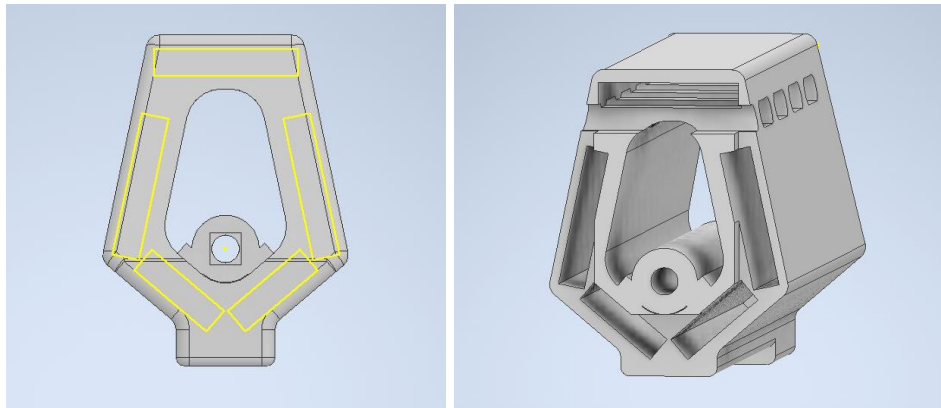


Figura 3-21 Hendiduras lastre Guardamanos

3.2.4.2.2 Trasera Guardamanos

Siguiendo las mismas pautas que en la otra pieza que complementa el guardamanos, se realizan las perforaciones pertinentes en el perfil. Es importante denotar que esta pieza se ensambla con el cuerpo, el visor y la parte restante del guardamanos.

Para la unión con el guardamanos, éste dispone del agujero con el juego mencionado en apartados anteriores de 0.2mm (Figura 3-22).

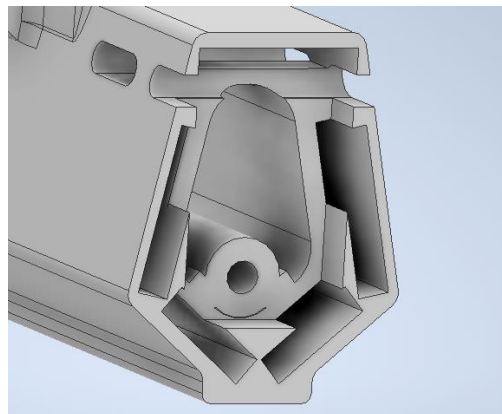


Figura 3-22 Agujero ensamblado Cabeza Guardamanos – Trasera Guardamanos

Así mismo, en la parte superior esta pieza se combina con el visor donde, se ha utilizado el mismo tipo de unión que en el fusil real (unión por cola de milano) (Figura 3-23). Este tipo de unión crea un carril con forma de triángulo invertido, permitiendo que una pieza complemente a la otra. Cuando las piezas a unir están en su sitio, el agujero y el eje se completan en el espacio haciéndose difícil de detectar la intersección entre ambas. A su vez, el triángulo invertido restringe el movimiento en los ejes distintos al longitudinal del carril, creando una unión robusta. Para terminar de restringir el movimiento en el eje longitudinal, se dispone de una cavidad perpendicular al eje en la que, posteriormente, se insertará un tornillo.

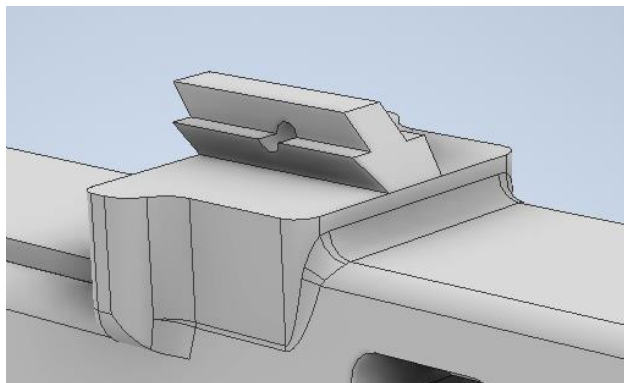


Figura 3-23 Eje ensamble Trasera Guardamanos – Visor delantero

Completando las cavidades para los lastres con la misma metodología que en la pieza complementaria del guardamanos, se localizan unos huecos a lo largo del perímetro del perfil exterior (Figura 3-21), prolongando los anteriores generados en la otra pieza. Así, el guardamanos completo aloja cinco lastres perimetrales. Debido al espacio y al reparto del peso necesario para desplazar el centro de gravedad, la cavidad situada en la parte superior tiene una profundidad menor que el resto, quedando, por ende, más adelantada (Figura 3-24).

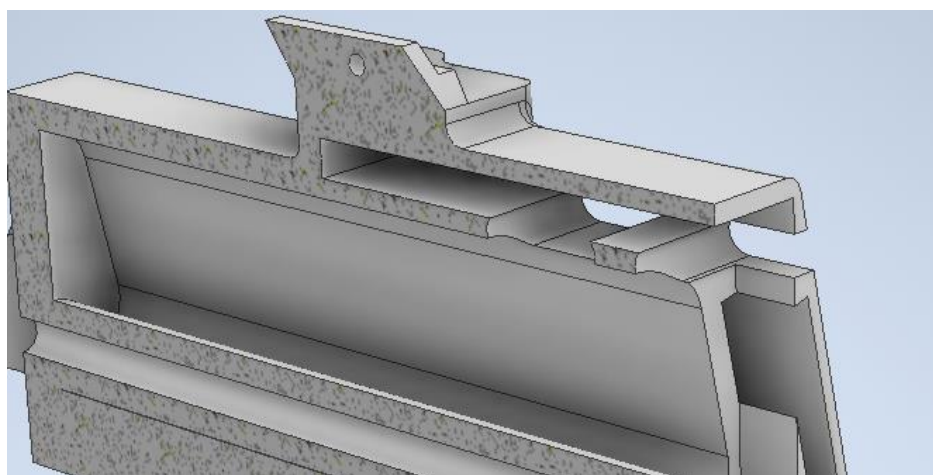


Figura 3-24 Sección de la cavidad para el lastre superior

Para la unión con el cuerpo se hace uso de la barra roscada alojada dentro del cañón. De tal forma, el movimiento queda restringido en el eje longitudinal y vertical por la barra roscada, con piezas a ambos lados. El movimiento transversal está limitado por la morfología de la pieza (Figura 3-25) con pestañas laterales que se introducirán en el cuerpo del dispositivo.

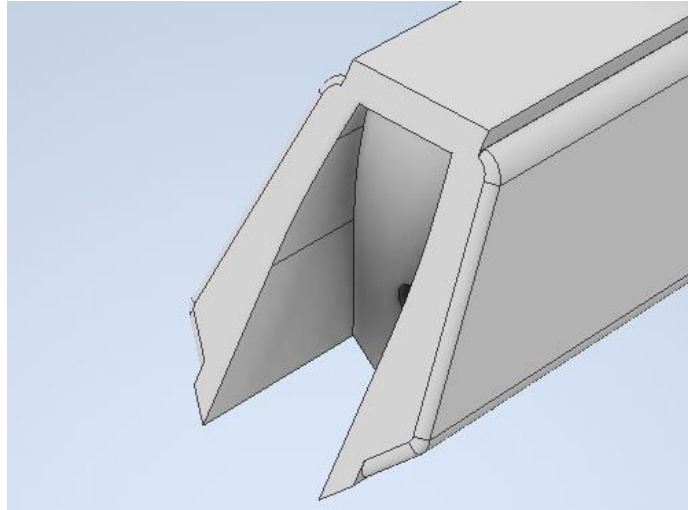


Figura 3-25 Parte posterior Trasera Guardamanos

Como resultado final del guardamanos completo, se observa la comparación del guardamanos real con el diseñado (Figura 3-26).



Figura 3-26 Comparación Guardamanos diseñado – Guardamanos real

3.2.4.3 Cuerpo

El cuerpo del fusil es la pieza central del mismo. En él convergen el resto de las piezas para que permitan su funcionamiento. Debido a ello, se dispone de una pieza volumétrica en la que se albergan las piezas funcionales, además de parte del peso de lastre necesario para el fusil diseñado.

Como se comentó anteriormente, el tamaño del cuerpo (329mm) supera las dimensiones disponibles para la impresión (297mm) y, por tanto, es necesario su división en dos partes. Como se puede comprobar, las dimensiones sobrepasan el tamaño de impresión disponible por lo que una división que la acorte mínimo 32mm el cuerpo permitirá cumplir el requisito dimensional para su impresión. Teniendo en cuenta las consideraciones tomadas en el apartado 3.2.2.3, la división se realizará por la parte delantera de la posición del cargador.

3.2.4.3.1 Cuerpo Delantero

El cuerpo delantero del cierre es atravesado por la barra roscada proveniente de la cabeza del cañón. Lateralmente, el movimiento se ve restringido por las pestañas laterales del guardamanos (Figura 3-25). En su base, se sitúan dos protuberancias que acogen al guardamanos haciendo que se acoplen como una sola pieza (Figura 3-27).

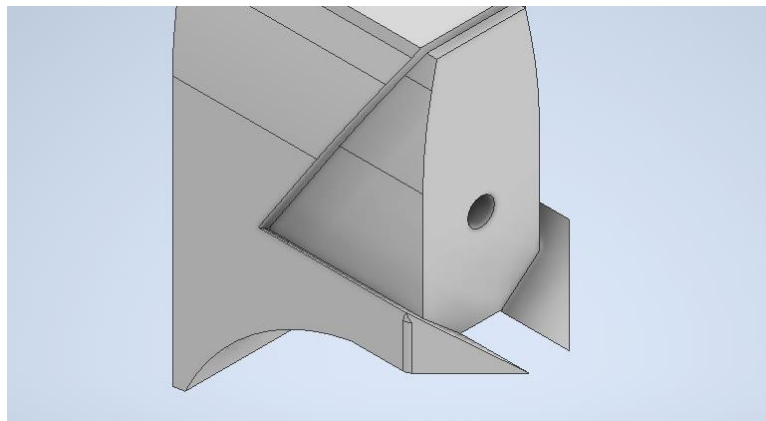


Figura 3-27 Cuerpo delantero vista frente

Para la unión con la otra parte del cuerpo se ha usado un eje cuadrado que restringirá el movimiento en el eje vertical y transversal. Además, Para el cálculo de las dimensiones del eje – agujero (Figura 3-28), se han dividido las dimensiones disponibles con el fin de repartir las tensiones y minimizar los efectos causados por un sobreesfuerzo.

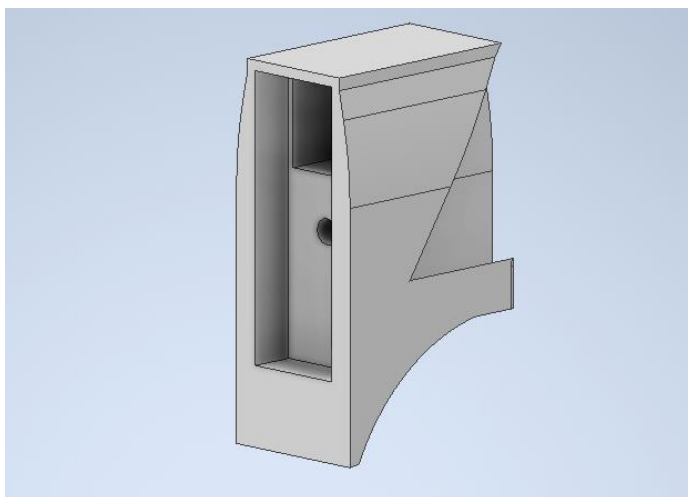


Figura 3-28 Cuerpo delantero vista posterior

Como se ha observado en el apartado 3.2.3.1, existe la necesidad de trasladar el centro de gravedad. Por tanto, Para elevarlo, en la parte más elevada del cierre se ha creado un hueco en el que se situará un lastre como se puede apreciar en la Figura 3-28.

3.2.4.3.1 Cuerpo Trasero

En esta pieza se alojará la electrónica, partes móviles que interactúan con el usuario y el lastre necesario. Como se menciona más arriba, varias piezas confluyen y se ensamblan con el cuerpo, asignando esta pieza como clave. Así, la culata, el visor y la delantera del cuerpo llevarán una unión permanente, mientras que el cargador y el pistolete llevarán una unión no fija.

La unión con la delantera del cuerpo se realizará mediante la barra roscada. De este modo, la estructura interna formada por la barra desde el cañón hasta el cuerpo comprimirá las uniones de las piezas hasta el momento. La necesidad de alojar una tuerca que no impida el movimiento de otras partes como el cargador obliga a abrir una apertura en el interior del eje cuadrado del cuerpo trasero, como se observa en el corte mostrado en la Figura 3-29. Las tensiones producidas por la tuerca se reparten en la superficie de contacto de ésta. Para minimizar dicha tensión, se usará una arandela de gran superficie y así disminuir la tensión del material en la unión.

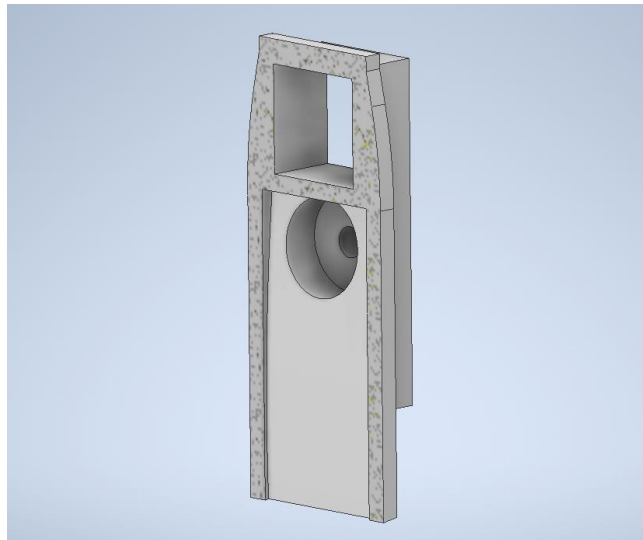


Figura 3-29 Vista de sección interna Unión Cuerpo Trasero – Cuerpo delantero

Otra de las uniones fijas al cuerpo es el visor. En la sección superior del cuerpo trasero debe ajustarse el visor. Aquí continuará el raíl de cola de milano originado en el guardamanos trasero (Figura 3-23). Para fijar esta unión, se han diseñado perforaciones para los que se utilizarán dos tornillos M3 con el fin de impedir el movimiento en el eje X (Figura 3-30).

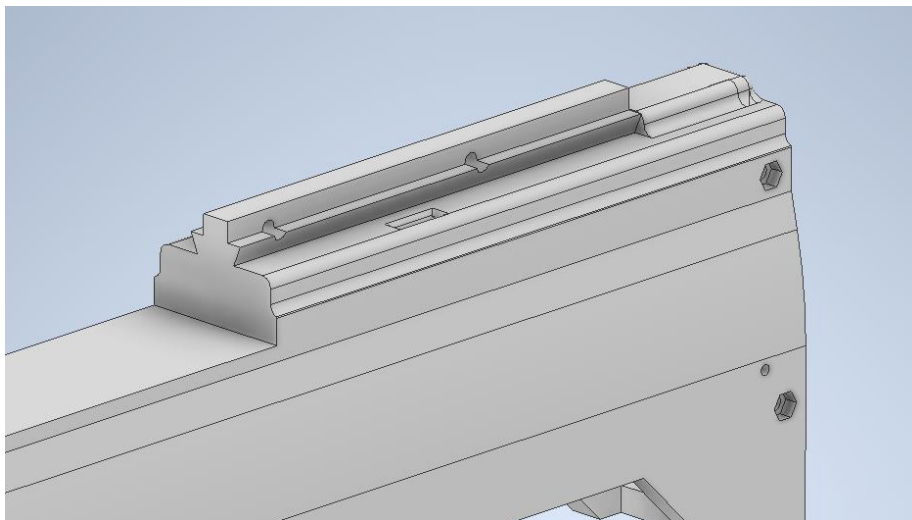


Figura 3-30 Eje ensamble Unión Cuerpo trasero – Visor Trasero

Por otra parte, la pieza más retrasada del fusil es la culata. En el caso del fusil, es una de las piezas de unión fija que ensambla con el cuerpo. La unión de estas dos piezas se ha diseñado mediante dos ejes, consistentes en agujeros cuadrados. Debido al cambio de grosor de la culata en la sección superior, las dimensiones de estos serán distintas maximizando la resistencia de la unión.

En cada uno de los ejes se encuentra una perforación M3 para fijar mediante tornillos la culata al cuerpo. La tuerca y la cabeza del tornillo se incrustarán en el PLA como se muestra en la Figura 3-30.

Seguido de la tuerca que cierra la unión del bloque delantero con el cuerpo, como se ha mencionado, se debe alojar el cargador. El cargador es una pieza dinámica, como en el fusil real, y el cuerpo debe facilitar su embocadura en el arma. Para ello, la boca situada en el cuerpo es más grande que el propio cargador y, como se puede ver en la Figura 3-31, en la zona posterior de su embocadura dispone de unos raíles que lo guían hasta su posición final. Es aquí, entre los raíles, donde una retenida, situada en el pistolete, impide que el cargador caiga por su propio peso.

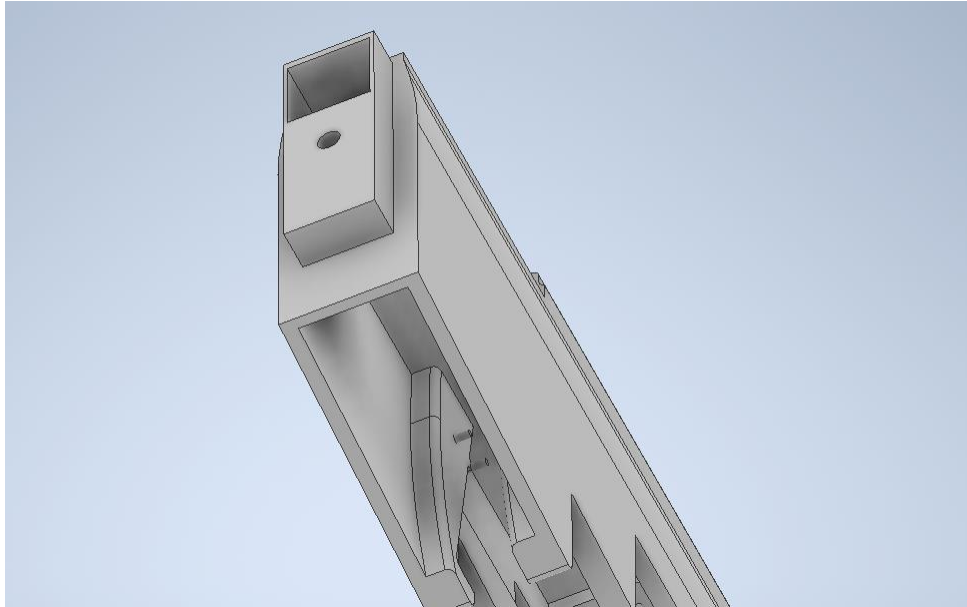


Figura 3-31 Embocadura del cargador

La última pieza que ensambla en el cuerpo es el pistolete. Al igual que en el caso del cargador, el pistolete también se une de forma dinámica. Se ha diseñado un botón mediante el cual el pistolete queda sostenido por una pestaña, tal y como aparece señalada con un círculo en la Figura 3-32. En este mecanismo, un muelle presiona la pestaña y evita que el pistolete caiga. Además, la parte delantera del pistolete queda sostenida por unos salientes del cuerpo (cuadrado Figura 3-32) que hacen de bisagra abierta. Durante el acercamiento del pistolete al cuerpo, la pestaña anterior es empujada para comprimir el muelle, ya que la parte la sección inferior de la pestaña está inclinada. Así, el botón se comprime y la pestaña se introduce en la hendidura impidiendo el movimiento del pistolete.

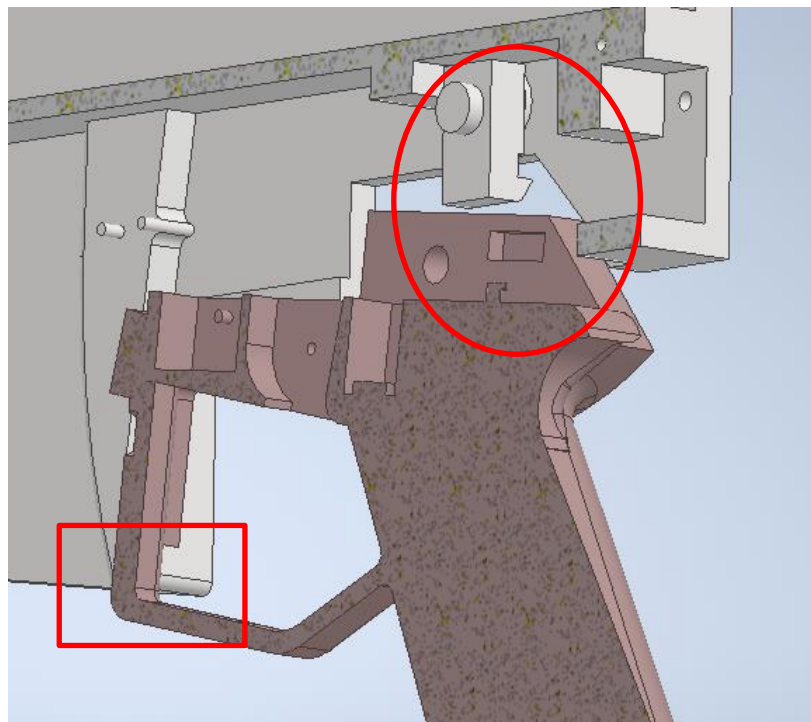


Figura 3-32 Unión Cuerpo Trasero – Pistolete (vista de sección)

Como se ha visto en el apartado 3.2.3.1, existe la necesidad de trasladar el centro de gravedad. Para tal efecto, en la parte superior del cierre se ubica un hueco, como se postra en la Figura 3-28 y en la Figura 3-31, en el que se instalará un lastre.

Como resultado final, en la Figura 3-33 se puede apreciar la comparación entre el cuerpo real y el cuerpo diseñado por la parte externa. (Figura 3-33).

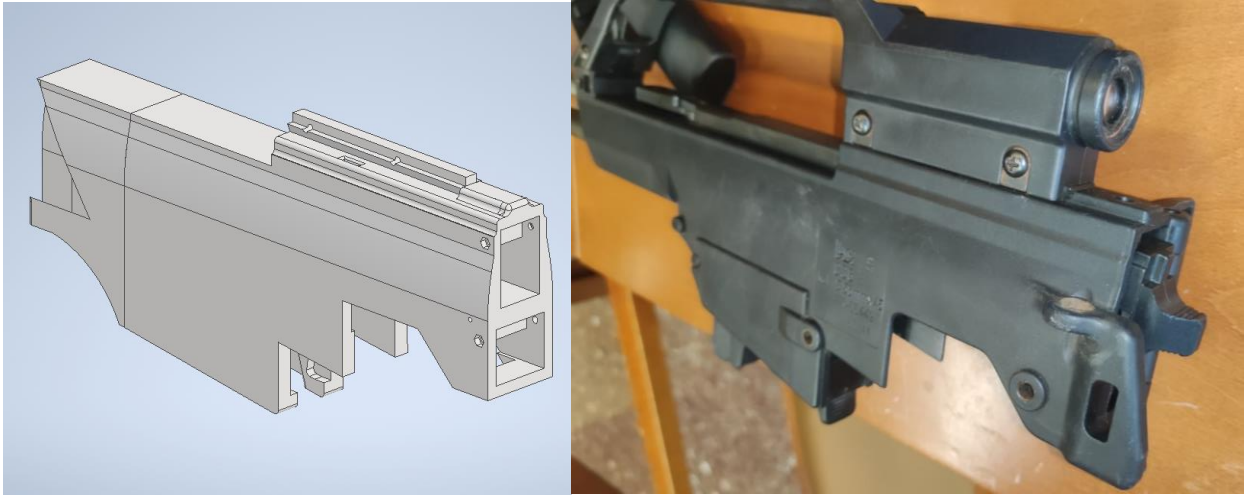


Figura 3-33 Comparación Cuerpo diseñado – Cuerpo real

3.2.4.4 Visor y asa portafusil

El asa portafusil, junto con el visor, se sitúan en la parte superior del fusil. Como se mencionó anteriormente, debido a su longitud (340mm) no puede ser impreso en su totalidad sin ser seccionado. Debido a la estructura de la parte más estrecha del asa portafusil, se diseñará dividiéndolo. Para la unión, se modelará una cola de milano vertical. De esta manera, junto con la cola de milano entre el visor y el cierre, las piezas quedarán fijadas entre sí sin la necesidad de añadir otro elemento de unión entre ambas.

3.2.4.4.1 Visor delantero

La primera pieza que conforma el visor por completo es el asa portafusil (ver Figura 3-34). En ella también se puede encontrar los elementos de puntería sin lentes que dispone el fusil (el alza y la mira).

Para dejar paso a la entrada de luz hacia el visor, en la parte delantera hay un hueco en forma de octógono. En el diseño, se ha realizado el agujero para el eje de cola de milano, tanto en la parte delantera como en la trasera, que fijará el asa al resto del fusil.

Completando la unión y para hacerla fija, se han realizado dos perforaciones en los laterales que atraviesan los raíles de cola de milano. Por uno de los extremos se incrustará la tuerca M3 para ocultarla y, a la vez, restringir el giro de ésta.

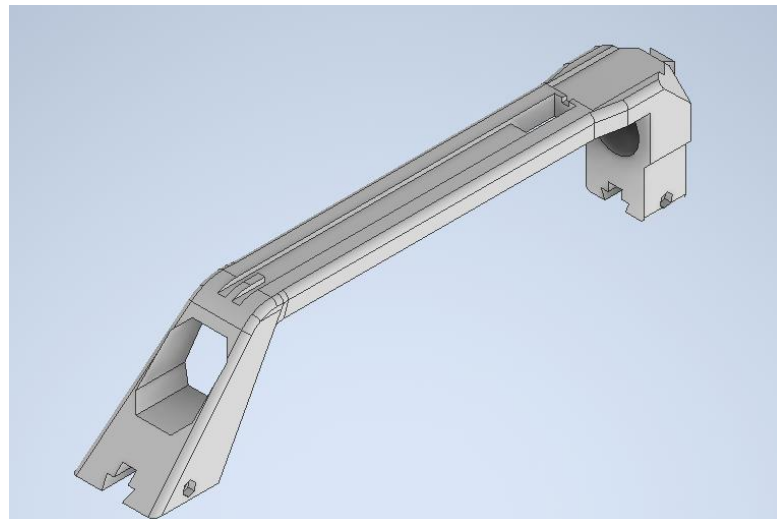


Figura 3-34 Visor delantero

Debido a las prestaciones del *Tracker 3.0*, se necesita un espacio de 240 grados para su correcto uso. De este modo, el asa portafusil se ha señalado como el lugar idóneo para ubicarlo. Para su fácil colocación, se ha diseñado un hueco cuadrado que permitirá el acople del *Tracker 3.0* mediante una pieza especial que habrá que diseñar.

3.2.4.4.2 Visor trasero

Complementando la pieza anterior se diseña el visor trasero. La unión entre ambos es por una cola de milano que ayudará a restringir el movimiento en los ejes X e Y. Por su interior, como se observa en el corte mostrado en la Figura 3-35, pasan los cables necesarios para la conexión eléctrica de nuestro dispositivo, así como el ocular, que permite alojar las lentes en el fusil real.

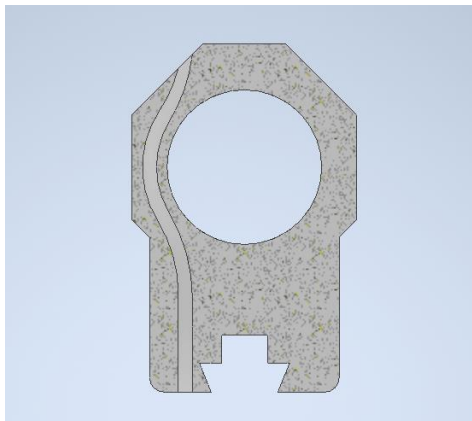


Figura 3-35 Sección Visor trasero

Como se puede apreciar, el pasante de los cables evita la perforación para las lentes con giros suaves, buscando facilitar la entrada de los cables. Dicho pasante enlaza con otro diseñado en el cuerpo trasero (ver Figura 3-30), que lleva hasta la cavidad en la que estarán alojados los micro interruptores.

Como resultado, el diseño el visor completo (ver Figura 3-36) queda unido por completo al cuerpo del fusil restringiendo el movimiento en los tres ejes (Figura 3-36).

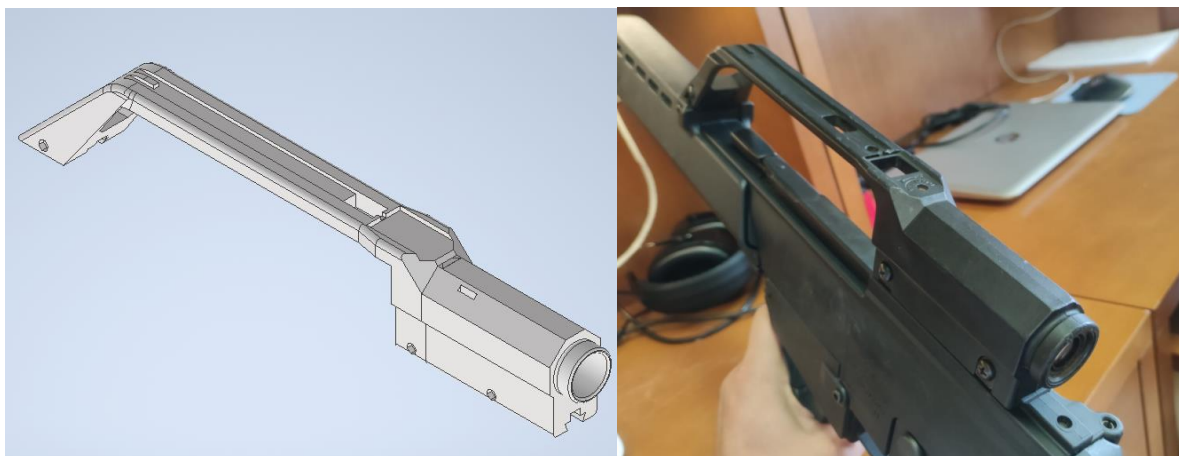


Figura 3-36 Comparación Visor diseñado – Visor Real

3.2.4.4.3 Adaptador Tracker

Como se comenta en apartados anteriores en la memoria, el *Tracker 3.0* permite interconectar el software con el dispositivo creado. En su base posee una perforación para darle estabilidad, una rosca de 1/4" para su sujeción y los conectores para los micro interruptores (Figura 2-6).

Para su instalación, se ha diseñado un adaptador que acopla el *Tracker* al fusil (Figura 3-37). En su parte frontal, dispone un perno estabilizador que impide el giro y asegura la orientación. En el centro un

hueco pasante para asegurar el apriete al fusil con un tornillo de apriete manual de $\frac{1}{4}$ ". En la parte trasera, se hayan los pasantes para los conectores.

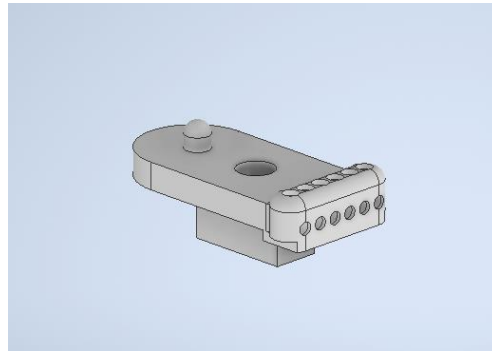


Figura 3-37 Adaptador Tracker 3.0

La unión con el asa portafusil se hará mediante un eje – agujero cuadrado. Para garantizar el apriete, el eje es 0.5mm más corto que el asa portafusil. Con esta medida, se garantiza que la base del tornillo hace contacto con el asa y no con el adaptador, asegurando el apriete del Tracker y su inmovilización.

3.2.4.5 Culata

La culata del fusil es el punto de anclaje entre el combatiente y el fusil. Es decir, es el punto de agarre que otorga la firmeza a la hora de realizar el disparo. La zona posterior tiene una forma ergonómica para adaptarse al hombro y repartir la fuerza originada por el retroceso del arma en una mayor zona disminuyendo la tensión generada por el disparo.

Para poder apuntar por el visor el usuario apoya la cara en la parte superior de la culata y así evitar movimientos que impidan un tiro efectivo. Para disminuir el peso se trata de una estructura perimetral con nervios para fortalecer la pieza en los puntos críticos.

La culata se ha diseñado con la misma estructura que la original, con la curvatura en la parte superior para el apoyo de la cara, además de la forma ergonómica de la sección posterior, garantizando la adaptabilidad al hombro en el tiro, y los nervios para fortalecer la estructura.

En la unión con la culata se ha diseñado una unión fija con dos ejes – agujeros cuadrados. Como se comentó, previamente, en los mismos ejes se han diseñado dos perforaciones para tornillos M3 que asegurarán la inmovilización de la culata con respecto al cuerpo.

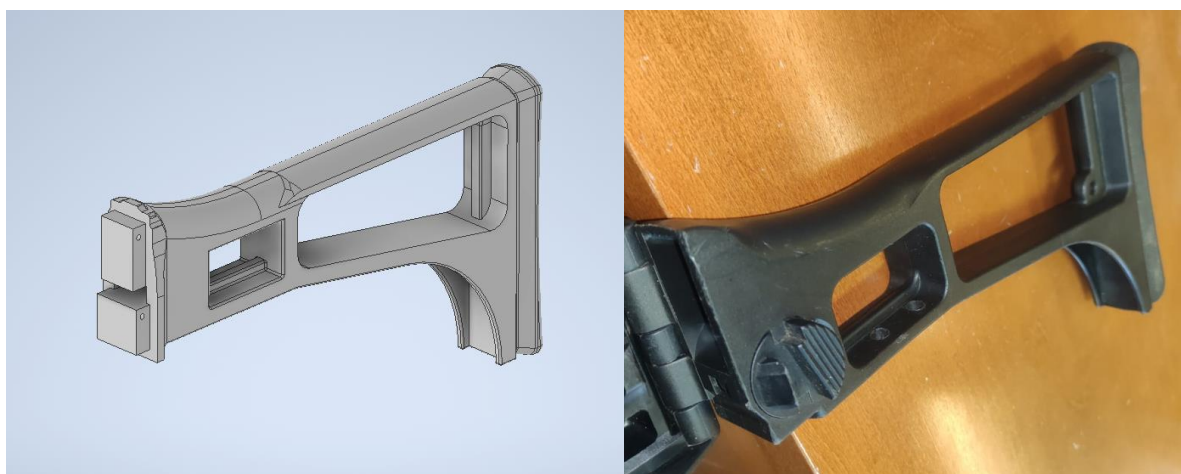


Figura 3-38 Comparación Culata diseñada – Culata real

3.2.4.6 Cargador

El cargador debe ser cambiado con soltura por el combatiente. Con su forma curva, el cargador se acopla en el cuerpo del fusil y, por una pieza destinada a ello, queda retenido en su posición. En su parte trasera, dispone de un tope que hace contacto con la retenida y que evita que salga de su sitio. En su interior está hueco para alojar los cartuchos de munición y, en los laterales, dispone de unas hendiduras que permiten dar más rigidez a las paredes, a la vez que guían a los cartuchos hacia el centro de este. Además, en su parte media dispone de unas protuberancias que actúan como tope al ser introducido en el cuerpo.

Con el objetivo de interactuar con el software, se ha diseñado una platina en el cargador que pulsará un micro interruptor en el momento en el que el cargador es introducido en el cuerpo.

El cargador ha sido diseñado con las mismas dimensiones que el original (Figura 3-39). La parte que actúa como retención ha sido adaptada en consecuencia para la retenida diseñada. En su parte posterior, dispone de un raíl vertical que facilita su guiado a través de dos raíles laterales (ver Figura 3-31) situados en el cuerpo del fusil.

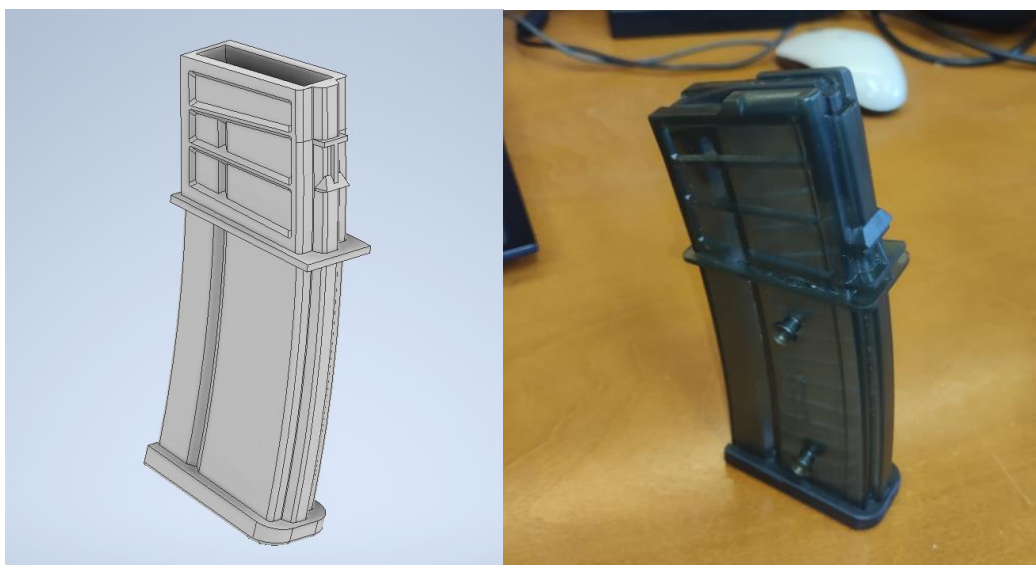


Figura 3-39 Comparación Cargador diseñado – Cargador real

3.2.4.7 Pistoleta

Una pieza fundamental en el agarre es el pistoleta (Figura 3-40). Su mango ergonómico se adapta al agarre de la mano. Desde la parte inferior del mango, se eleva una sección casi elíptica que va disminuyendo sus dimensiones con forme se eleva. El guardamontes (cobertor de seguridad para que la cola del disparador no sea accionada inintencionadamente) se prolonga hacia delante a media altura del mango, para envolver la cola del disparador. En su parte más elevada, se adapta a la forma del cuerpo donde encaja.

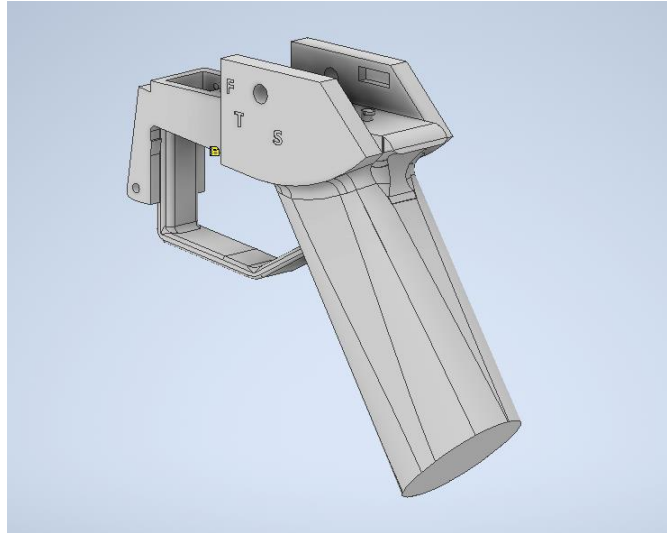


Figura 3-40 Pistoleta diseñado

En el pistoleta es donde se concentran la mayor parte de las piezas móviles del dispositivo. El seguro, formado por varias piezas, la cola del disparador y la retenida son piezas dinámicas integradas en el pistoleta

3.2.4.7.1 Cola Disparador

Comúnmente llamado “gatillo”, la cola del disparador es un elemento presionado con cierta delicadeza. Se adapta a la forma de la falange por la parte que es presionada. Su actuación se produce con un giro de 15 grados, después del cual se acciona el arma.

Para su diseño, se ha tomado el centro de giro original y se ha diseñado un saliente que, tras un giro de 15 grados, accionará un micro interruptor que indicará que el arma ha sido disparada (Figura 3-41).

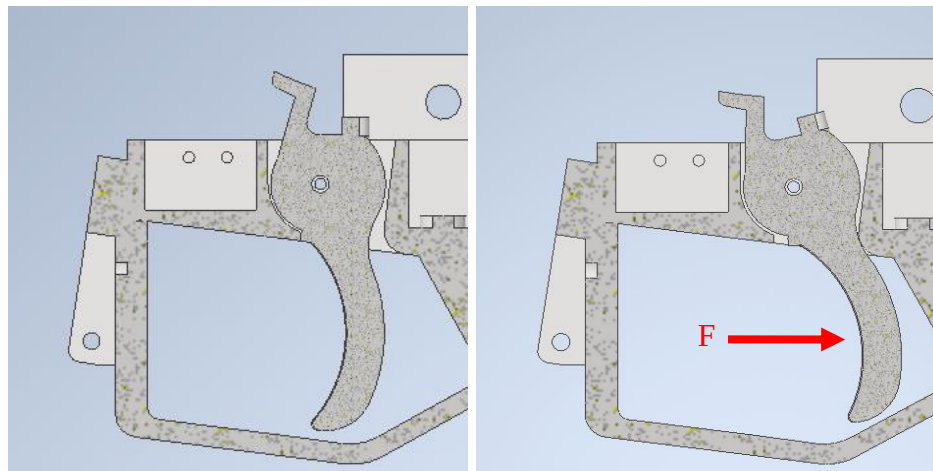


Figura 3-41 Movimiento de 15° de la cola del disparador

Otra de las piezas que interactúan con la cola del disparador es el seguro. En su posición más baja, el seguro debe impedir el movimiento de la cola del disparador y así evitar que se produzca el disparo. Para realizar esta acción, se ha diseñado un saliente a través del cual el seguro podrá bloquear el movimiento de la pieza.

La cola del disparador debe disponer de un sistema que lo devuelva a su posición original. Para ello, se ha instalado un muelle de tracción en la zona superior del pistoleta. Como se puede ver en la sección de la Figura 3-42. Así, por un lado, el muelle está anclado al pistoleta por un perno y, por el otro, se halla sujeto a la parte superior de la cola del disparador, creando un momento que devuelve la pieza a su posición original en el momento que se deje de aplicar fuerza sobre él.

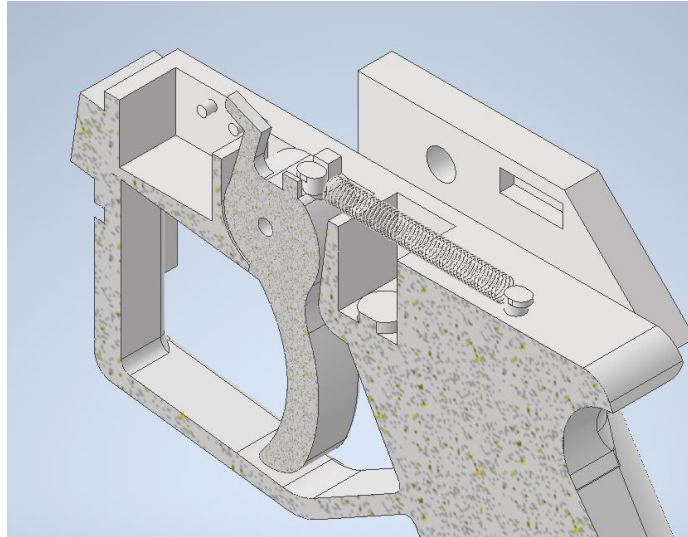


Figura 3-42 Muelle Cola disparador

3.2.4.7.2 Seguro

Otra de las piezas que se encuentran en el pistolete es el seguro. Este, en el fusil real, es ambidiestro, pues consta de dos selectores que giran de manera solidaria a cada lado. Además, El seguro dispone de tres posiciones distintas:

- La posición “S”, con la palanca selectora en posición horizontal, impide el desplazamiento de la cola del disparador, bloqueándola físicamente y evitando que se produzca el disparo.
- Con un giro de la palanca selectora de 45 grados, se selecciona la posición “T”. Aquí, el arma realiza un solo disparo y, en caso de querer realizar otro, el disparador debe volver a su posición original y ser pulsado de nuevo.
- Por último, con otro giro de 45 grados y la palanca selectora en posición vertical “F”, el fusil se encuentra en la modalidad de ráfaga. Si se elige esta opción, el fusil dispara continuamente mientras el disparador se encuentre accionado.

➤ Seguro-Abajo

Para el diseño del seguro del dispositivo hay que tener en cuenta que no tiene posiciones intermedias. Al girar la palanca selectora menos de 45 grados y dejar de ejercer fuerza sobre ella, se situará en una de las dos posiciones, volviendo a la posición original, en el caso de no haber sido girada lo suficiente, o situándose en la siguiente.

Con el fin de lograr este efecto, se ha diseñado el seguro con dos piezas. Para mantener el contacto entre ambas, una de ellas contiene un muelle que la presiona (ver Figura 2-1). La otra pieza es un eje que permite el giro, pero en el contacto con ésta, cuenta con superficies planas que, junto a la presión ejercida, obligan a mantener una posición de giro como se puede apreciar en la figura.

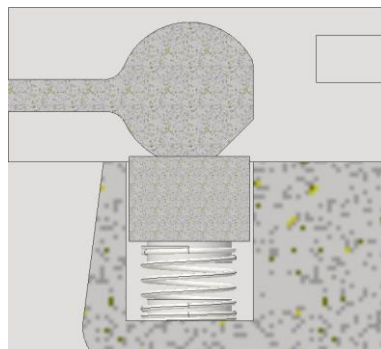
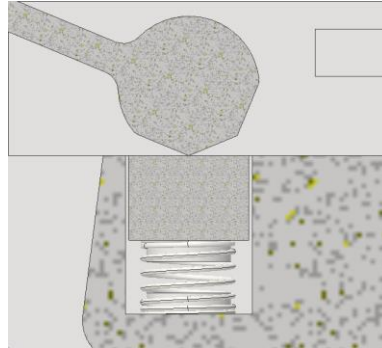


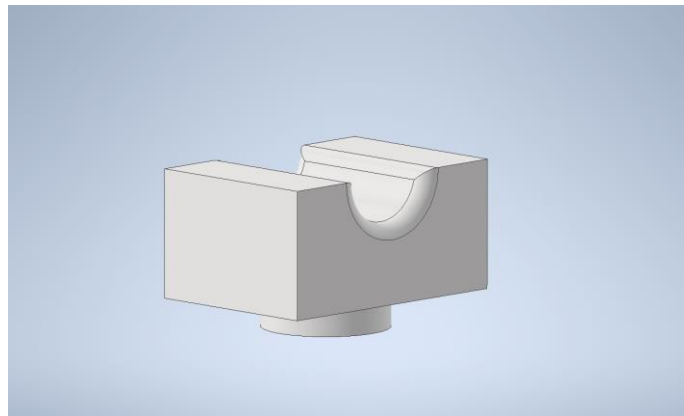
Figura 3-43 Seguro en posición S

Durante el giro del eje, el muelle es comprimido hasta que el radio de la arista supera la perpendicular con el plano presionado (ver Figura 3-44). Es aquí donde el muelle ejerce mayor fuerza y al presionar sobre la arista el eje se encuentra en una posición inestable.

**Figura 3-44 Seguro en posición intermedia**

Por la fuerza ejercida por el muelle, el eje situará uno de sus planos paralelo a la pieza que la presiona evitando situaciones intermedias entre las distintas posiciones de la palanca selectora.

Para el diseño completo de este componente del seguro hay que destacar que el muelle del disparador está localizado en esta misma zona. Para permitir la funcionalidad de las piezas y evitar el contacto, la pieza ha sido perforada y las aristas redondeadas, como se puede ver en la Figura 3-45.

**Figura 3-45 Pieza Seguro-Abajo**

➤ Seguro-Centro

La pieza central que compone el seguro es un eje con tres posiciones de giro. En su posición “S”, debe bloquear físicamente el disparador para evitar su desplazamiento. Con este mismo objetivo, el eje consta de un gancho que impedirá el desplazamiento de la cola del disparador. En la siguiente posición, la cola del disparador quedará liberada permitiendo su movimiento. En la última modalidad, el mismo saliente de la pieza impedirá la continuidad del giro de la pieza al topar con una pieza fija colocada en el cuerpo trasero. En el corte mostrado en la Figura 3-46 se pueden observar las distintas posiciones del movimiento interno de la pieza. En esta misma posición el saliente pulsará un micro interruptor para indicar al software que la modalidad “ráfaga” se encuentra activada y el arma podrá disparar más de una vez al presionar la cola del disparador.

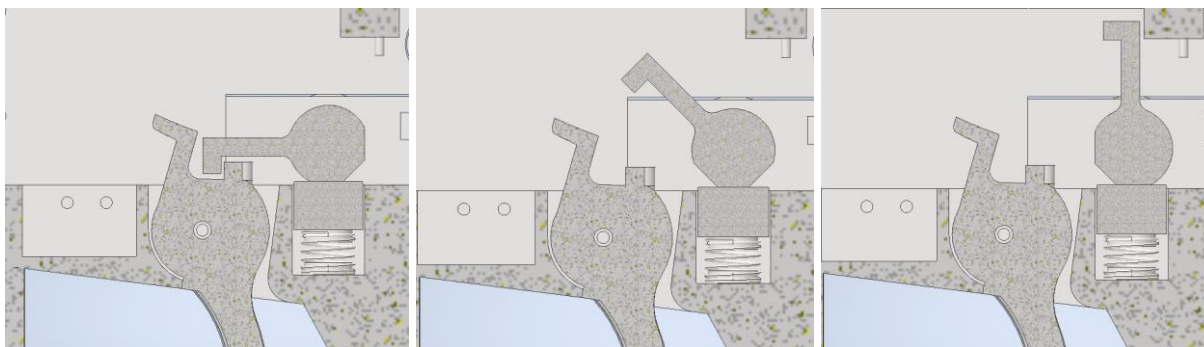


Figura 3-46 Posiciones internas del sistema del seguro

Al igual que en el seguro-abajo, el seguro-centro tiene que evitar el contacto con el muelle de la cola del disparador. Para ello, se ha realizado una perforación de 5mm en el interior, con las aristas redondeadas, con el fin de evitar el contacto de la pieza con el muelle en las distintas posiciones que puede tomar.

En los laterales de la pieza se han diseñado dos semiejes donde encajaran las palancas selectoras. De esta forma, girarán de manera solidaria pudiendo elegir la modalidad del seguro desde ambos lados del dispositivo.

➤ Seguro-Izquierda y Seguro-Derecha

Una de las piezas que conforma el seguro son sus palancas selectoras (Figura 3-47). Disponiendo de una por cada lado para poder seleccionar la modalidad, estas compartirán eje de giro para que se desplacen de forma solidaria ambas palancas. Las distintas posiciones (ver Figura 3-48) seleccionarán entre “S” (seguro) con las palancas en posición horizontal, “T” (tiro a tiro) con una inclinación de 45 grados y “F” (ráfaga), totalmente vertical.

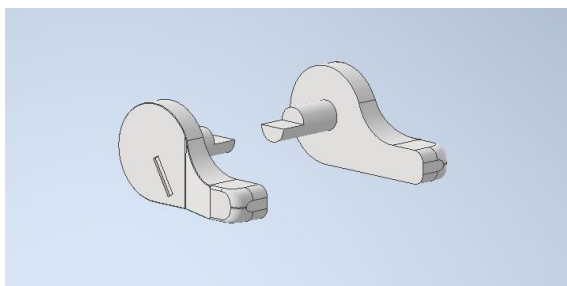


Figura 3-47 Piezas Seguro-Derecha y Seguro-Izquierda

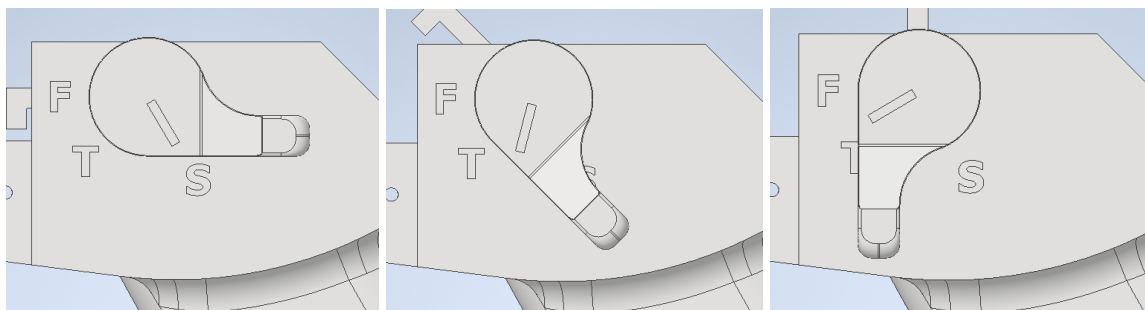


Figura 3-48 Palanca selectora del seguro en las distintas posiciones

Como resultado final, el seguro queda compuesto por las 4 piezas diseñadas, tal y como se puede ver en el siguiente explosionado de la Figura 3-49, con las que se podrán seleccionar las tres modalidades de tiro distintas y desde ambos laterales del dispositivo.

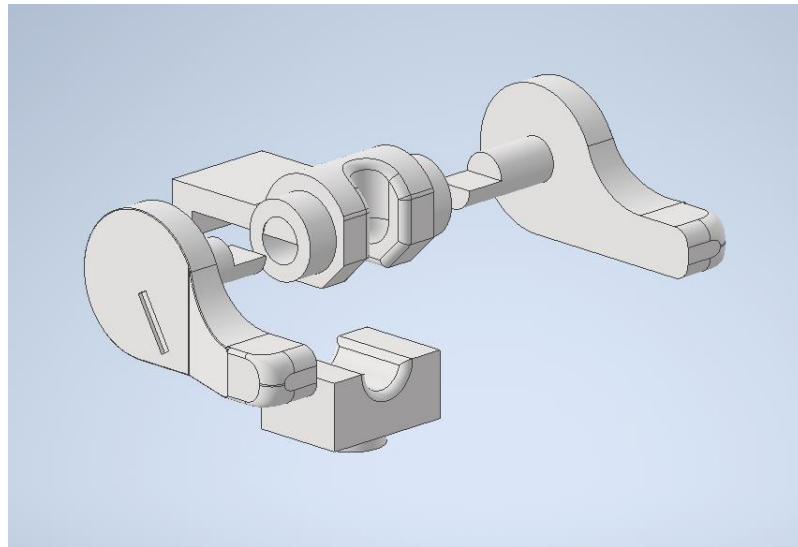


Figura 3-49 Explosionado Seguro

3.2.4.7.3 Retenida del Cargador

En la parte delantera del pistolete se localiza otra de las piezas integradas en él, la retenida del cargador. Cuando se desea retirar el cargador, el combatiente debe presionar un botón que suspende el bloqueo del cargador y permite que este sea extraído.

En su posición original, la pieza está presionada por un muelle alojado en su interior. Al presionar el botón, comprimimos el muelle retirando el tope del cargador.

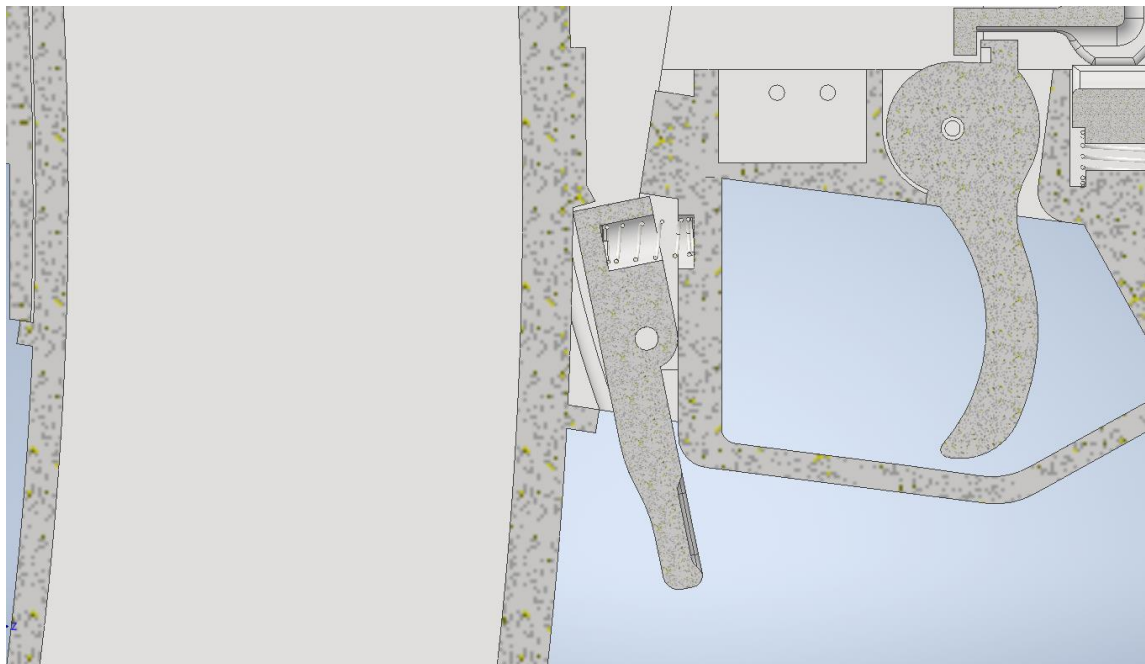


Figura 3-50 Retenida cargador en posición original

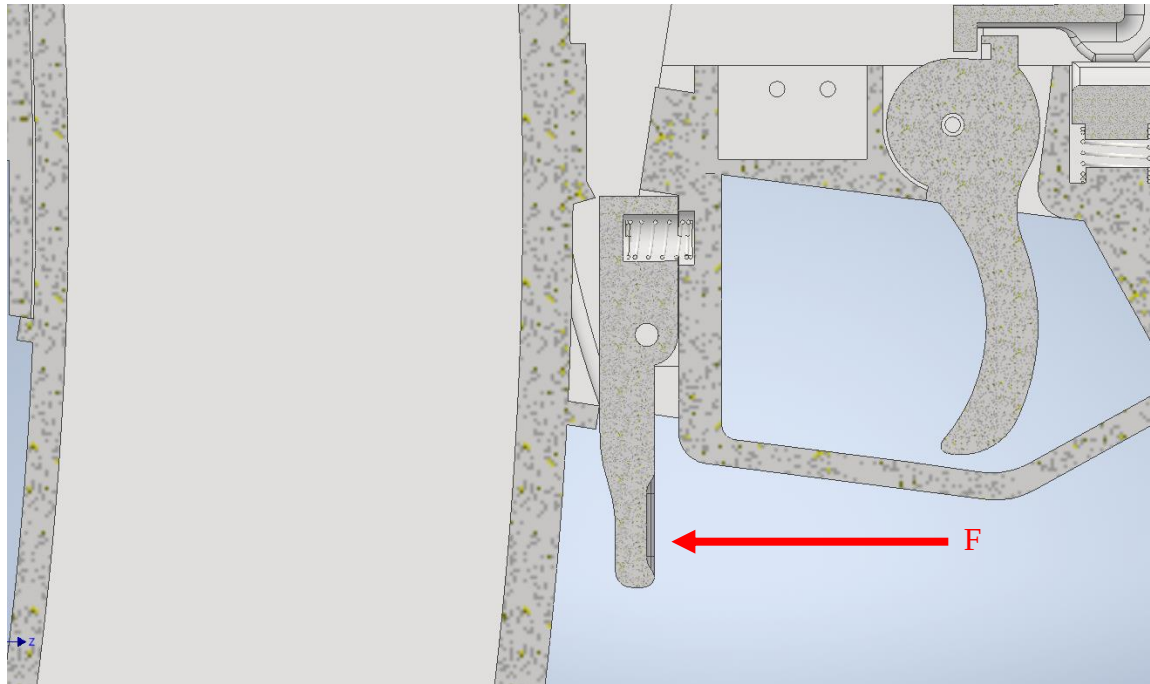


Figura 3-51 Retenida cargador en posición pulsada

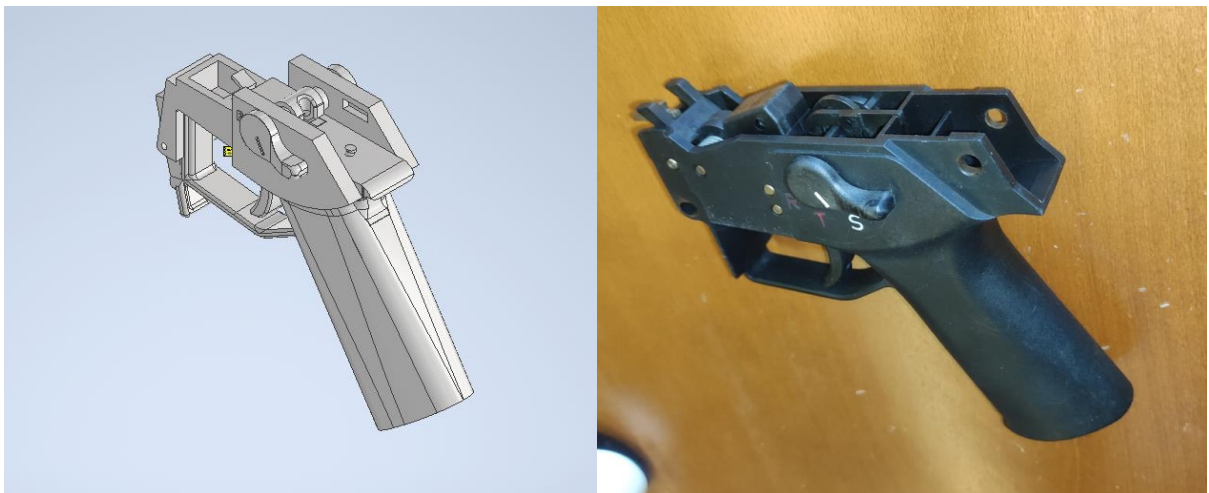


Figura 3-52 Comparativa Pistoleta diseñado – Pistoleta real

3.3 Fabricación

3.3.1 Ultimaker Cura

El proceso de fabricación de un modelo mediante una impresora 3D necesita la utilización de un programa de laminación o *slicer* capaz de actuar de intermediario entre el modelo 3D y la impresora. Así, este tipo de programas genera un Código de Control Numérico (en adelante, CNC) dando a la impresora las instrucciones necesarias para la construcción de la pieza con todos los movimientos requeridos.

Ultimaker Cura permite determinar, de manera automática, la generación de los apoyos necesarios para las impresiones. También permite modificar todo tipo de características de impresión. Una de las funciones más útiles es la visualización previa, donde se puede observar el objeto a imprimir mediante una interfaz gráfica, donde la pieza se ajusta al modelo de impresora y las especificaciones de ésta. De esta manera, se puede ver de forma secuencial cada capa que realizará la impresora 3D. Esto facilita la

elección del soporte necesario y corrige las posibles deficiencias antes de realizar la impresión, ahorrando tiempo.

3.3.2 Impresión de las piezas del dispositivo

Antes de fabricar las distintas piezas en una impresora 3D, es necesario hacer una serie de pruebas con el material. Existen varios problemas asociados a la impresión por tecnología *FDM*, que es la usada por la impresora *Witbox 2*.

Las consecuencias de cómo afectan estos problemas a las piezas impresas se pueden resumir en tres factores: acabado superficial, resolución de detalles y resistencia de las piezas.

En primer lugar, si se utiliza la temperatura impuesta por el fabricante del material, el acabado superficial dependerá de la precisión de la impresora y de los soportes utilizados durante la impresión. En este sentido, el tipo de soporte utilizado ha sido “árbol” ya que produce una fuerte adhesión entre sí y mínima con la pieza. De esta manera, la retirada del soporte se facilita y deja una huella mínima que es fácil de subsanar con un tratamiento posterior.

En segundo lugar, la resolución depende del nivel de detalle que la impresora puede alcanzar y será diferente en cada plano de impresión. El cordón producido por una impresora 3D tiene un ancho determinado por el diámetro de la boquilla de extrusión [24]. Si bien es cierto que el ancho de la línea extruida puede ser modificado, este no será un valor superior al diámetro de la boquilla [26]. La boquilla utilizada para este proyecto en concreto es de 0.4mm, por lo que la resolución en el plano XY, es decir, en el plano horizontal, no podrá diferir mucho del diámetro de la boquilla. Sin embargo, en el eje Z la resolución estará delimitada por la altura de capa. Este factor también puede ser modificado y en el caso de la impresora *Witbox 2* hasta un mínimo de 0.1mm, aumentando la resolución un 400%. En la Figura 3-53 se puede apreciar como los detalles faciales aumentan en la impresión vertical.

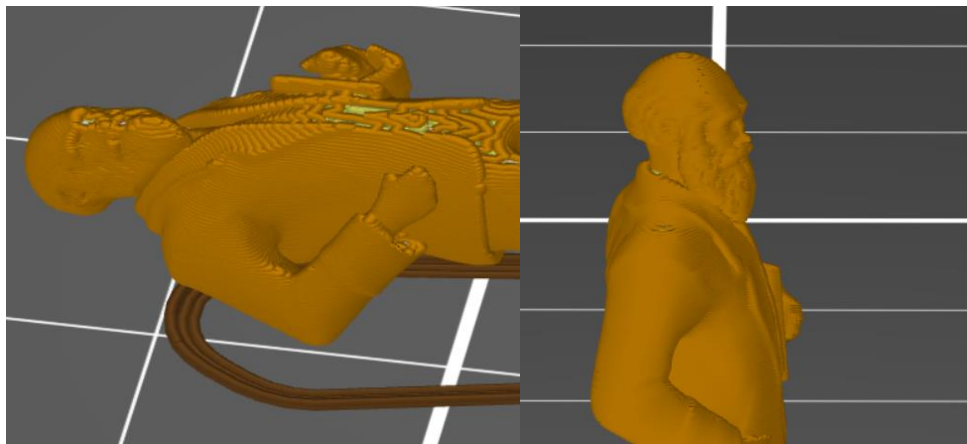


Figura 3-53 Comparación de resolución en objetos impresos con distinta orientación

Por último, las solicitaciones a las que serán sometidas tras su impresión, es otro factor a tener en cuenta. Una pieza impresa mediante tecnología *FDM* siempre tendrá menor resistencia a la tracción producida verticalmente que a la horizontal. Esto se debe a que la fuerza de unión creada por la adherencia entre capas es menor a la de líneas impresas en una misma capa. Por esta razón, a la hora de imprimir hay que tener en cuenta las resistencias a las que serán sometidas las piezas. Una mala elección podrá tener como resultado una rotura por un fuerte impacto o por fatiga.

En el proceso de fabricación una pieza siempre pasa por diferentes estados. Tras ser diseñada en *Autodesk Inventor* y obtener el archivo en formato STL, se procede a la configuración de los parámetros de impresión en *Ultimaker Cura*.

Imprimiendo los modelos de prueba, se han podido determinar los parámetros idóneos para realizar las impresiones de nuestro dispositivo con este material específico.

Parámetro	Valor
Tipo de soporte:	Árbol
Temperatura impresión:	210 °
Ángulo límite:	60 °
Porcentaje de relleno:	40 %
Velocidad impresión	40 mm/s
Paredes:	
Velocidad impresión	40 mm/s
Relleno:	
Velocidad impresión	20 mm/s
Soporte:	
Flujo Material	100 %

Tabla 1 Parámetros impresión

Como se ha mencionado anteriormente, es imprescindible determinar las fuerzas a las que las piezas serán sometidas para elegir la mejor posición para su impresión. Tras comprobar que la impresión ha finalizado correctamente, se procede a la limpieza de la pieza retirando el soporte necesario para su correcta impresión (Figura 2-1).

Para la compatibilidad con el resto de las piezas, se comprueban tolerancias en las uniones y se retocan con lija aquellas superficies que lo requieran.

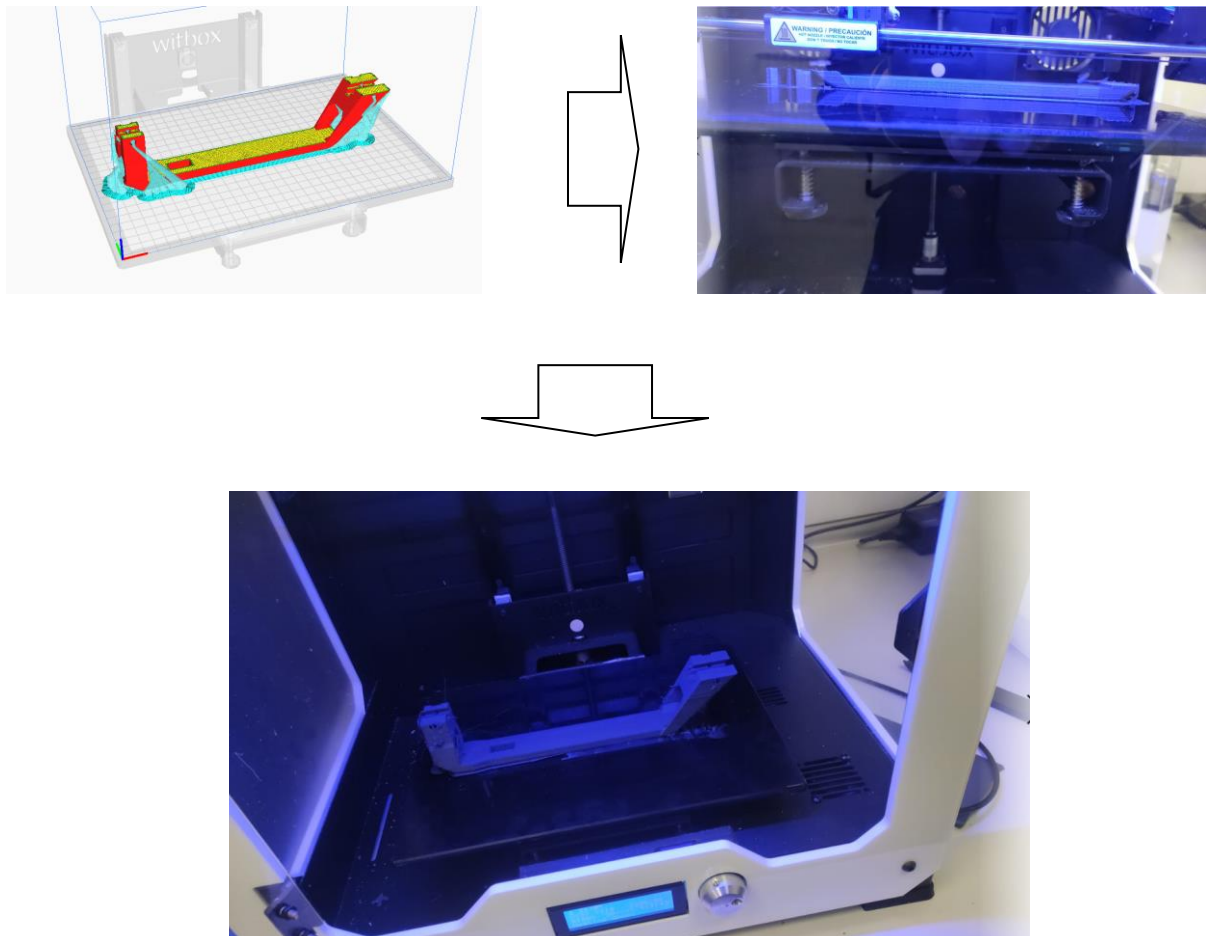


Figura 3-54 Proceso Fabricación a partir de modelo digital

Una vez finalizadas las impresiones de todas las piezas se ha verificado físicamente que los cálculos sobre los pesos sean los correctos. Hay que recordar que el peso final del fusil es determinante para conseguir una inmersión completa del usuario en el simulador.

Después de realizar la impresión del total de piezas del conjunto, se comprobó el peso de todos los elementos que componen el dispositivo diseñado. El peso del fusil HK G36 es de 3,3 Kg y su longitud total es de 996mm. Como se puede verificar en la Figura 3-55, el peso total de los materiales que componen el dispositivo es de 3,34 kg.



Figura 3-55 Peso de todos los componentes del fusil

3.3.3 Montaje del dispositivo

Tras la verificación de los pesos y la comprobación de todas las tolerancias de las piezas se realiza el montaje del dispositivo. Se han colocado gomas a modo de *silentblocks* en los lastres con el objetivo de evitar el movimiento interno entre estos y el fusil (Figura 3-56).



Figura 3-56 Silentblocks y lastres

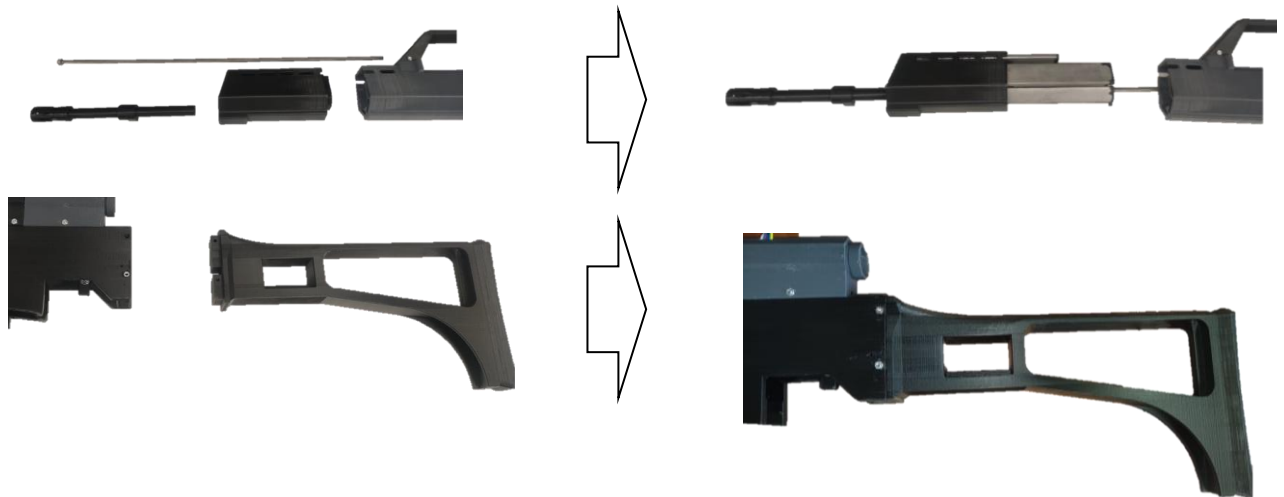


Figura 3-57 Montaje Culata y Guardamanos

3.3.4 Instalación de los elementos electrónicos

La instalación eléctrica se ha llevado a cabo situando los micro interruptores en los lugares prediseñados. El *Tracker 3.0* tiene un conector con el diagrama eléctrico que podemos ver en la Figura 3-58.

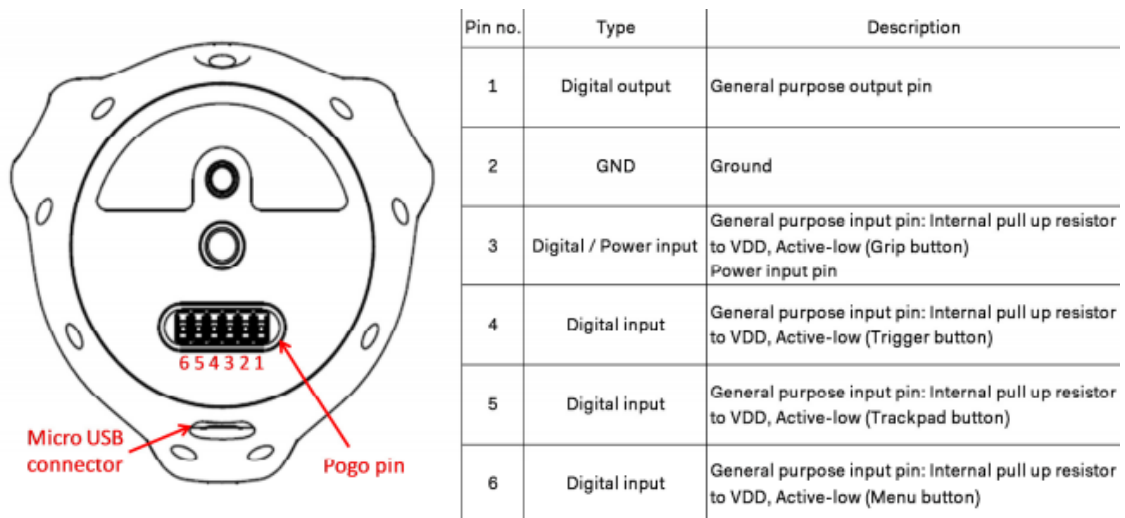


Figura 3-58 Esquema eléctrico *Tracker 3.0* [17]

La conexión de los pines del *Tracker 3.0* al dispositivo se realiza mediante el contacto directo entre los pines y una base de estaño situada en la pieza adaptador diseñado con este fin (Figura 3-59). Como se puede ver en la Figura 3-60, atravesando el visor y el cuerpo se ha diseñado un pasante por donde unos cables conectan la base con los micro interruptores. De este modo, el *Tracker 3.0* solamente tendrá que ser colocado en el adaptador para que se produzca la conexión.



Figura 3-59 Instalación base adaptador



Figura 3-60 Pasante Cables

Como se ha mostrado en el modelado geométrico de las piezas, la localización de los interruptores viene predeterminada en el modelo digital. No obstante, la instalación se ha realizado verificando que cada pieza acciona el micro interruptor correcto en la ubicación diseñada.

3.4 Conectividad

3.4.1 Instalación del Tracker 3.0

La conexión para habilitar el seguimiento del *Tracker 3.0* en el ordenador personal es de forma inalámbrica a través del *Dongle* (Figura 3-61) suministrado con este. Para el seguimiento se debe instalar y ejecutar *SteamVR* en el ordenador que mostrará la correcta conexión del aparato [17].

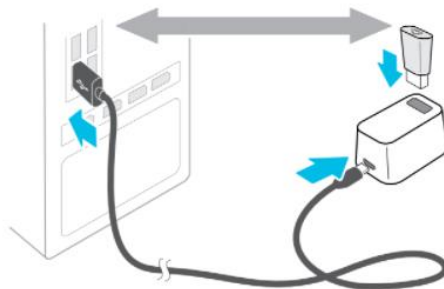


Figura 3-61 Instalación del *Dongle* para el seguimiento del *Tracker 3.0* [17]

3.4.2 Integración del dispositivo con SteamVR

Una vez realizada la conexión del *Tracker 3.0* es necesario configurarlo en el software *SteamVR*. Para la configuración del *Tracker 3.0* en este software se realiza a través de los menús expuestos de las siguientes figuras:

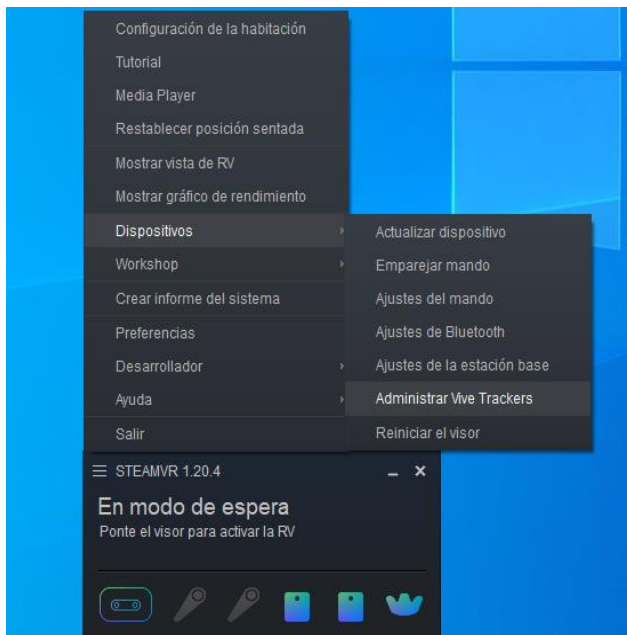


Figura 3-62 Paso 1

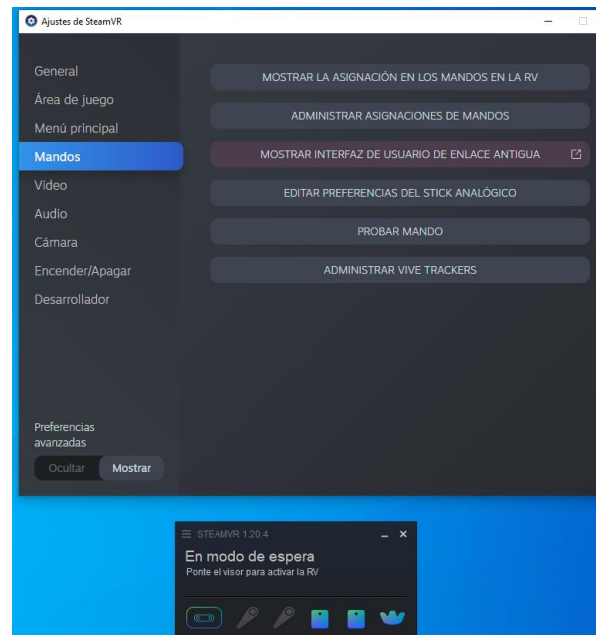


Figura 3-63 Paso 2

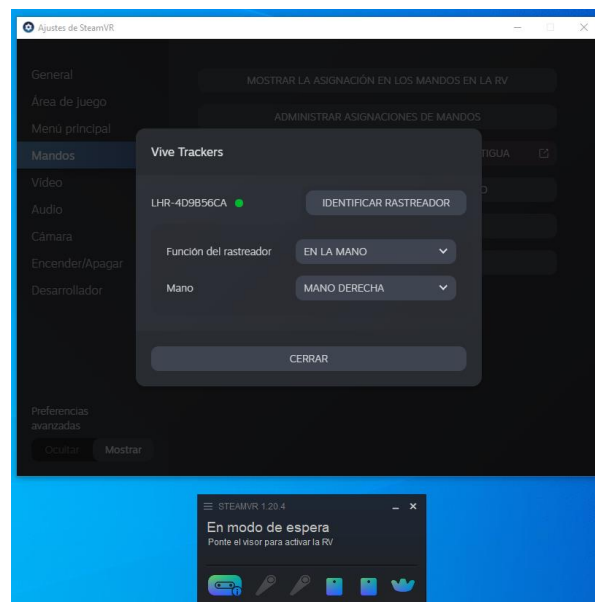


Figura 3-64 Paso 3

En el paso 1, se abre el menú de *SteamVR* y se debe seleccionar el submenú de dispositivos, seguidamente (paso 2 (Figura 3-63)) se realiza la selección de la herramienta de administración de *Trackers*. En el último paso 3 (Figura 3-64) se muestra la ventana de administración. En ella, debemos relacionar cada uno de los *Tracker* disponibles con el objeto o parte del cuerpo a la que representa en el entorno virtual.

4 RESULTADOS

4.1 Descripción del apartado

En los apartados descritos anteriormente, se muestra el uso de las distintas tecnologías empleadas para la creación y desarrollo de un dispositivo funcional. En este capítulo se mostrarán los resultados obtenidos en el desarrollo del diseño y fabricación del dispositivo.

4.2 Diseño y Planimetría

Utilizando el modelo CAD realizado en Autodesk *Inventor* se han obtenido los planos descriptivos de disposición general que definen el conjunto funcional del dispositivo 3D fabricado (Figura 4-1). Este software nos permite exportar el modelo digital del fusil a diferentes formatos, incluidos los necesarios para nuestro simulador virtual.



Figura 4-1 Conjunto del dispositivo creado

De esta manera, además de estar tocando el dispositivo fabricado, el usuario visualizará a través de las gafas VR un dispositivo digital de las mismas dimensiones y que reacciona con precisión a los movimientos que él realiza con el dispositivo real.

Por ese motivo, en este proyecto realizar con precisión el modelado del fusil y su posterior fabricación son cruciales para una inmersión completa del usuario en el simulador. Esto permite que se puedan recrear infinitudes de escenarios y, que cada uno de ellos, sirva al usuario como una experiencia sin el peligro que conlleva exponerse a una situación similar en el mundo real. En la Figura 4-2 se presenta un conjunto de vista transparente, que muestra los componentes internos y su disposición en el ensamblaje final del fusil.



Figura 4-2 Vista frontal transparente

A fin de mejorar la comprensión del conjunto final obtenido y a modo de complemento, se ha dispuesto un modelo virtual interactivo (con diferentes vistas implantadas de contenido tridimensional multimedia (Figura 4-3). Para una correcta visualización de dicho elemento interactivo, se recomienda habilitar el contenido 3D del visor de Adobe Acrobat (o software similar).

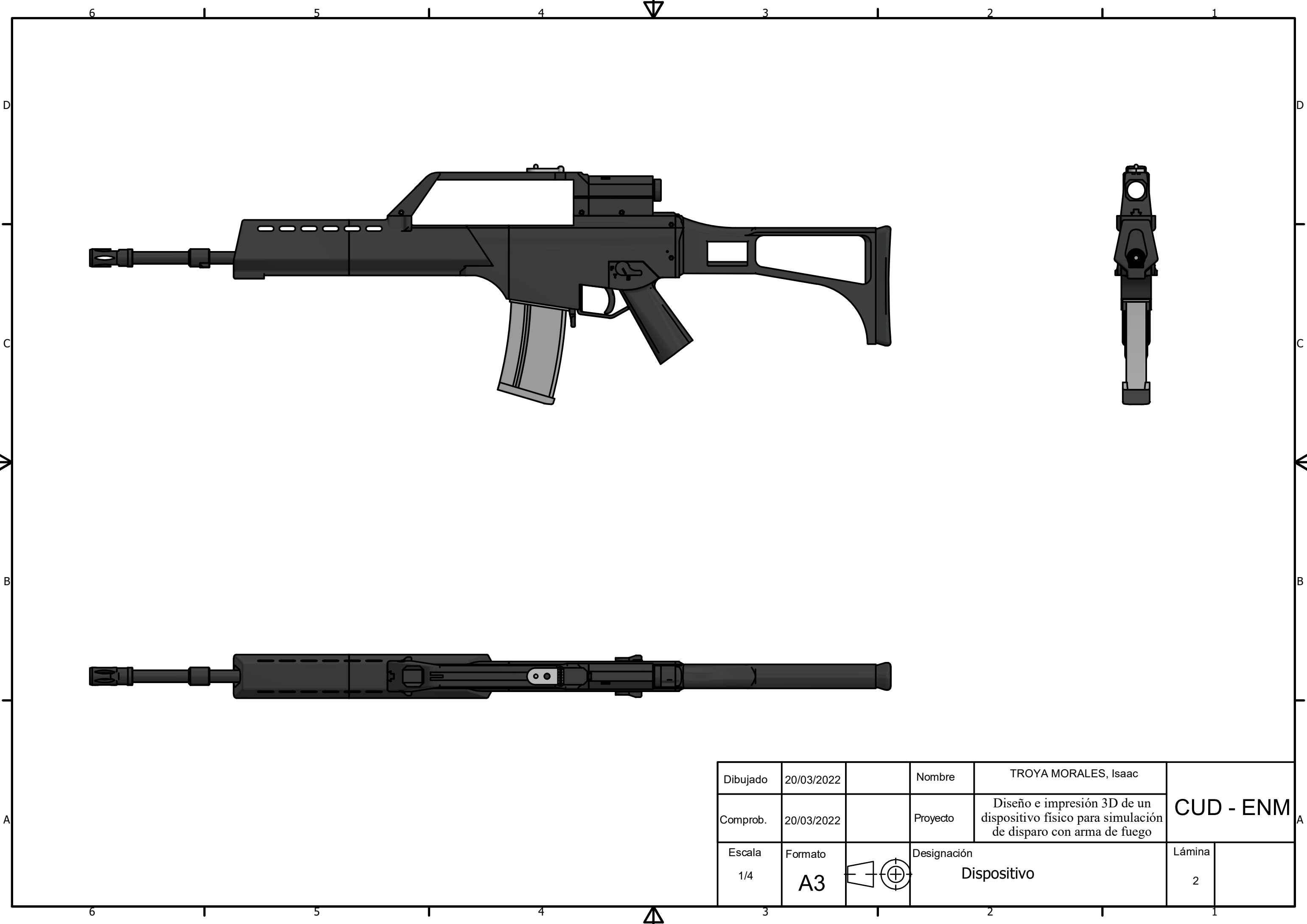


Figura 4-3 Modelo 3D interactivo

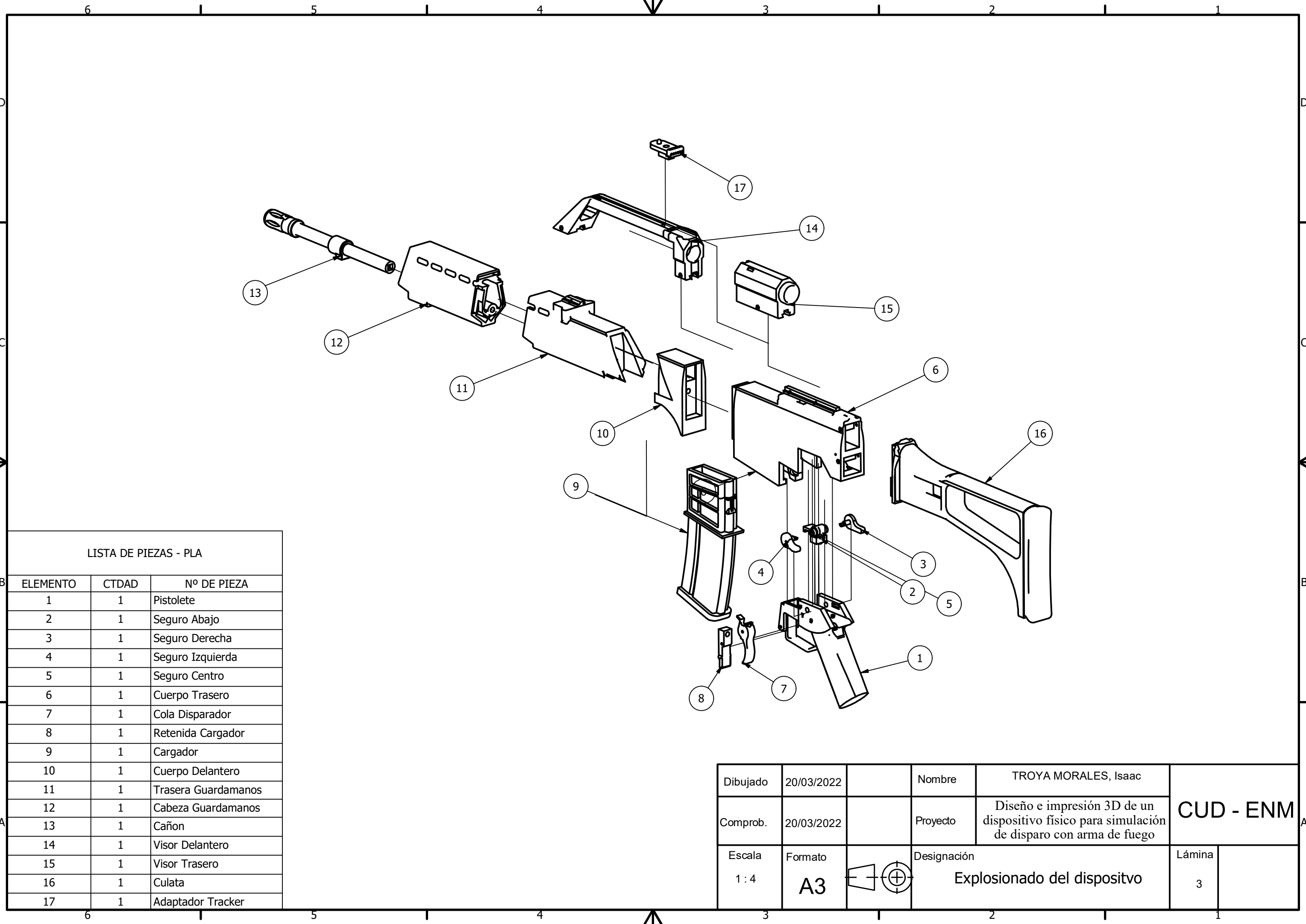
Finalmente, dentro de este apartado, se muestran los planos descriptivos de disposición general correspondiente a cada una de las piezas del fusil, partiendo de lo general a lo particular.



Dibujado	20/03/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	20/03/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1/3	Formato A3		Designación Plano de Conjunto			Lámina 1



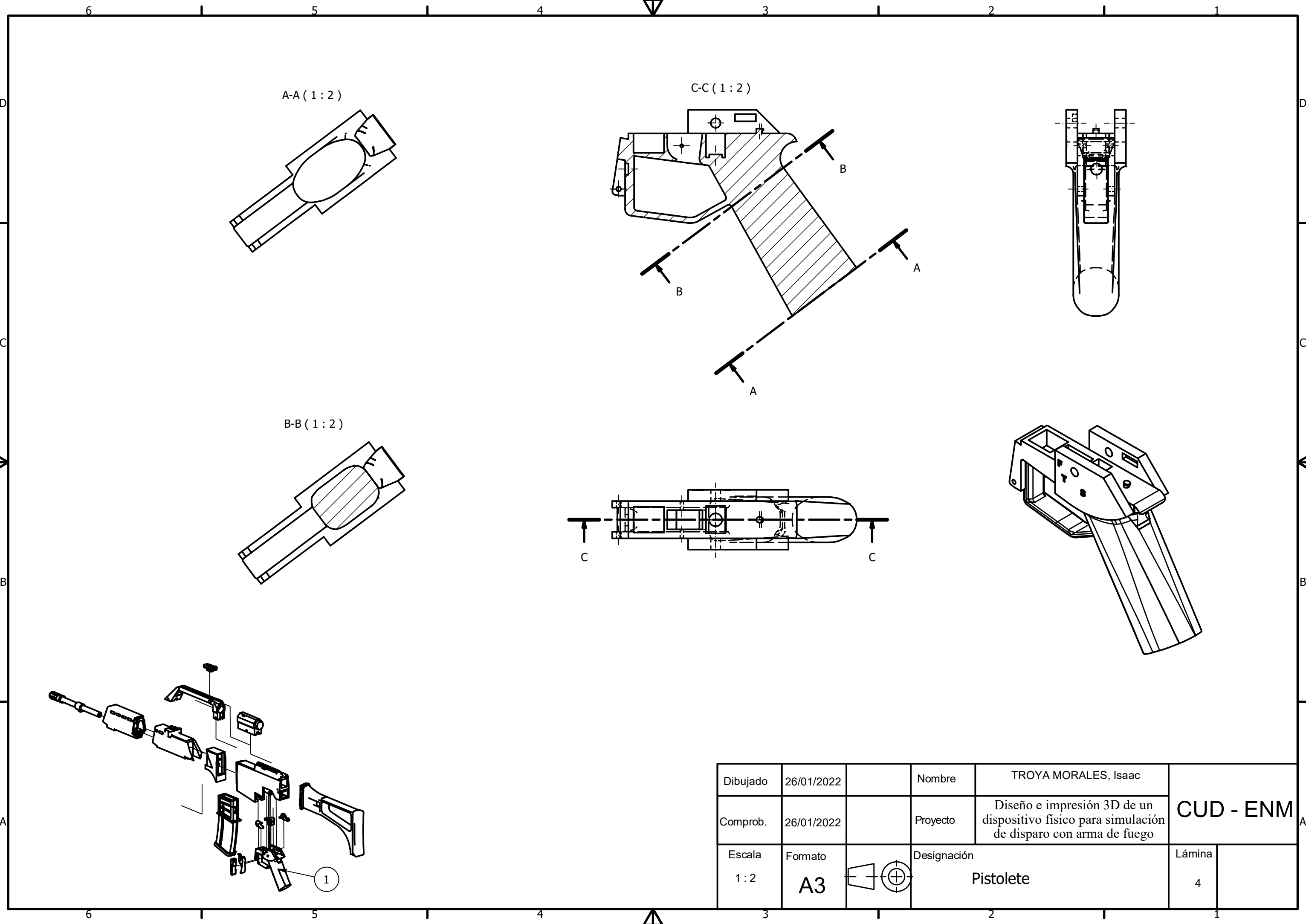
Dibujado	20/03/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	20/03/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1/4	Formato A3		Designación Dispositivo		Lámina 2	

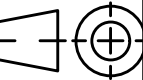


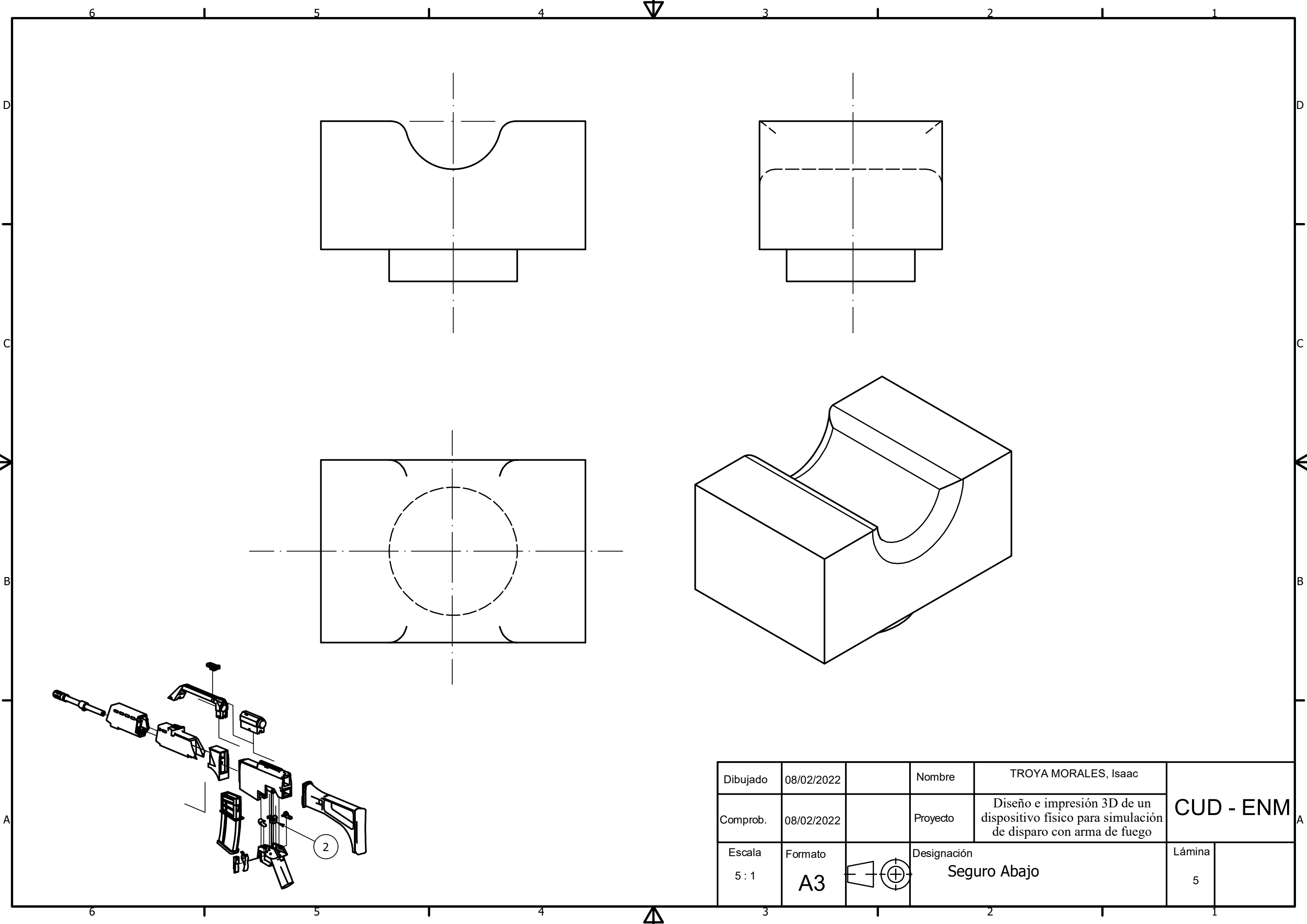
LISTA DE PIEZAS - PLA

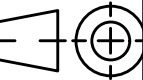
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Pistolete
2	1	Seguro Abajo
3	1	Seguro Derecha
4	1	Seguro Izquierda
5	1	Seguro Centro
6	1	Cuerpo Trasero
7	1	Cola Disparador
8	1	Retenida Cargador
9	1	Cargador
10	1	Cuerpo Delantero
11	1	Trasera Guardamanos
12	1	Cabeza Guardamanos
13	1	Cañon
14	1	Visor Delantero
15	1	Visor Trasero
16	1	Culata
17	1	Adaptador Tracker

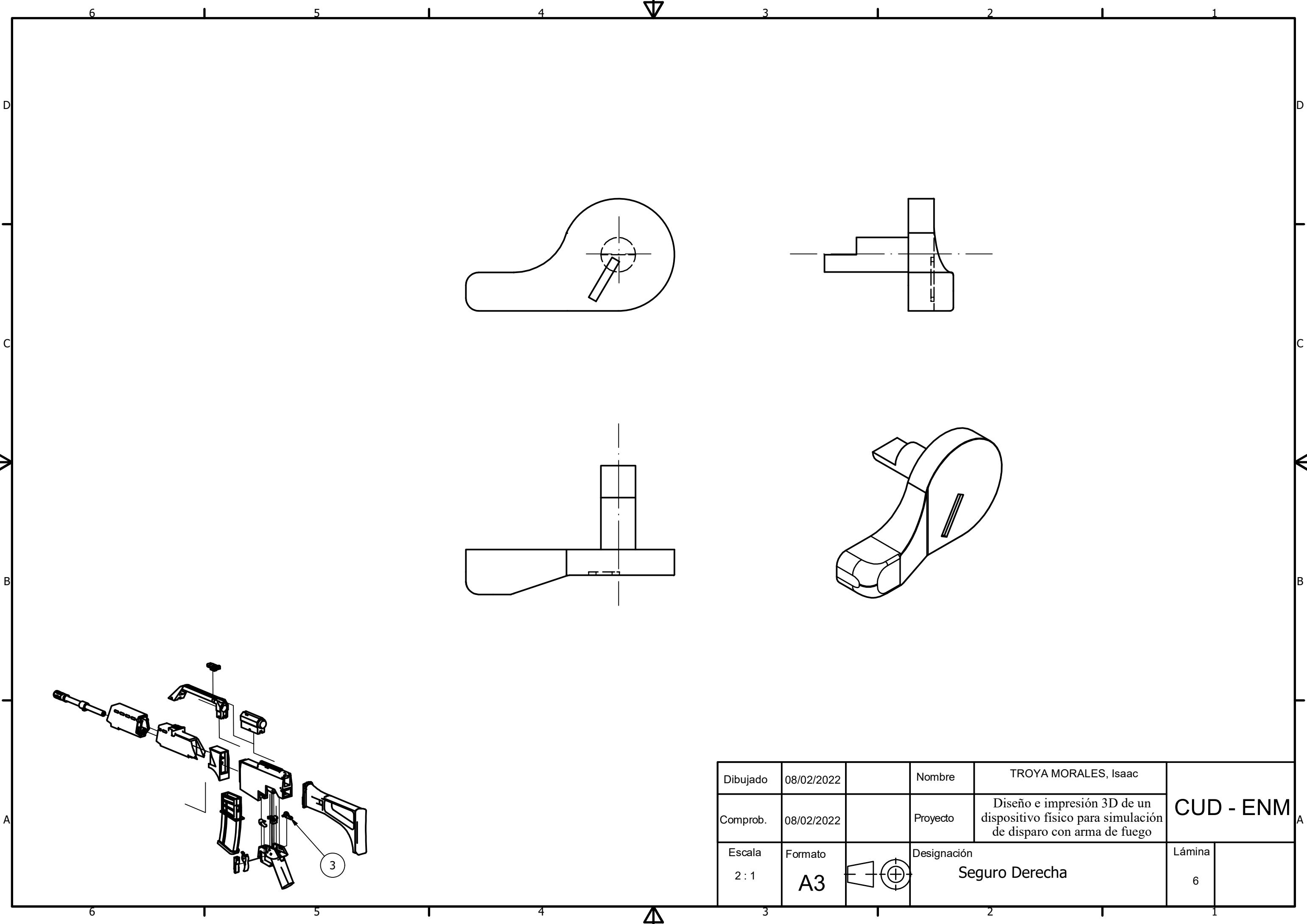
Dibujado	20/03/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	20/03/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
1 : 4	A3		Explosionado del dispositivo		3	

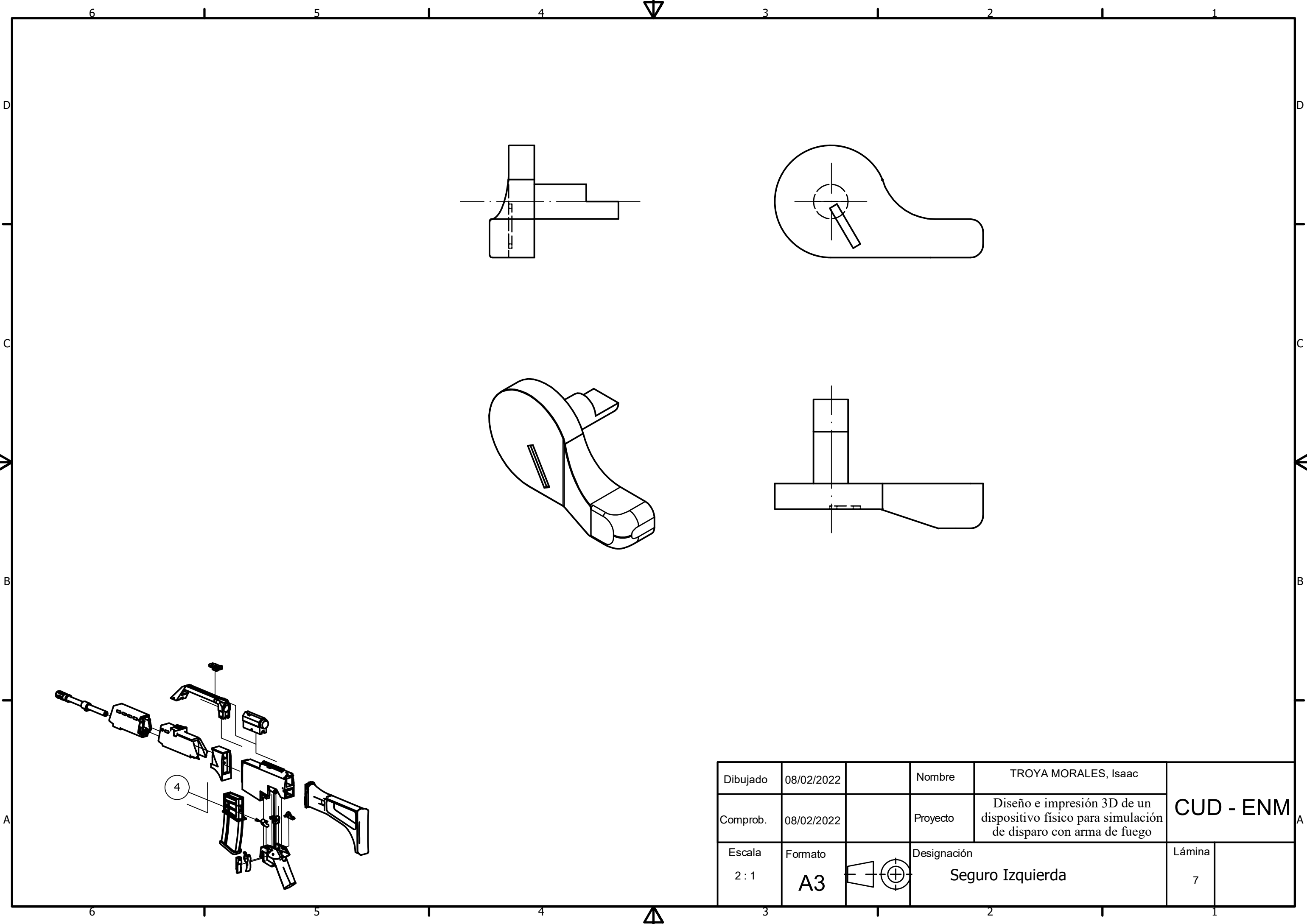


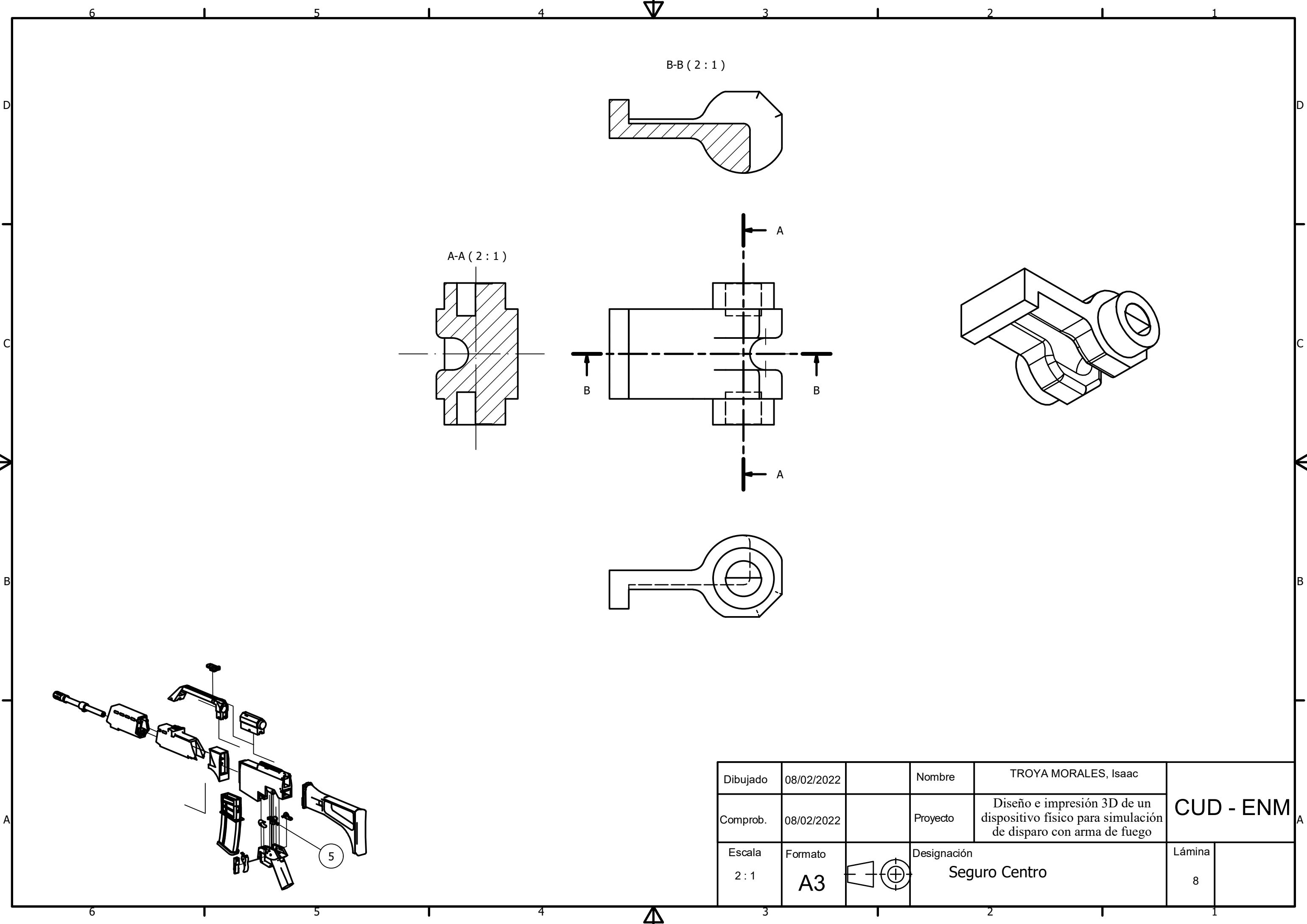
Dibujado	26/01/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	26/01/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1:2	Formato A3		Designación Pistolete		Lámina 4	



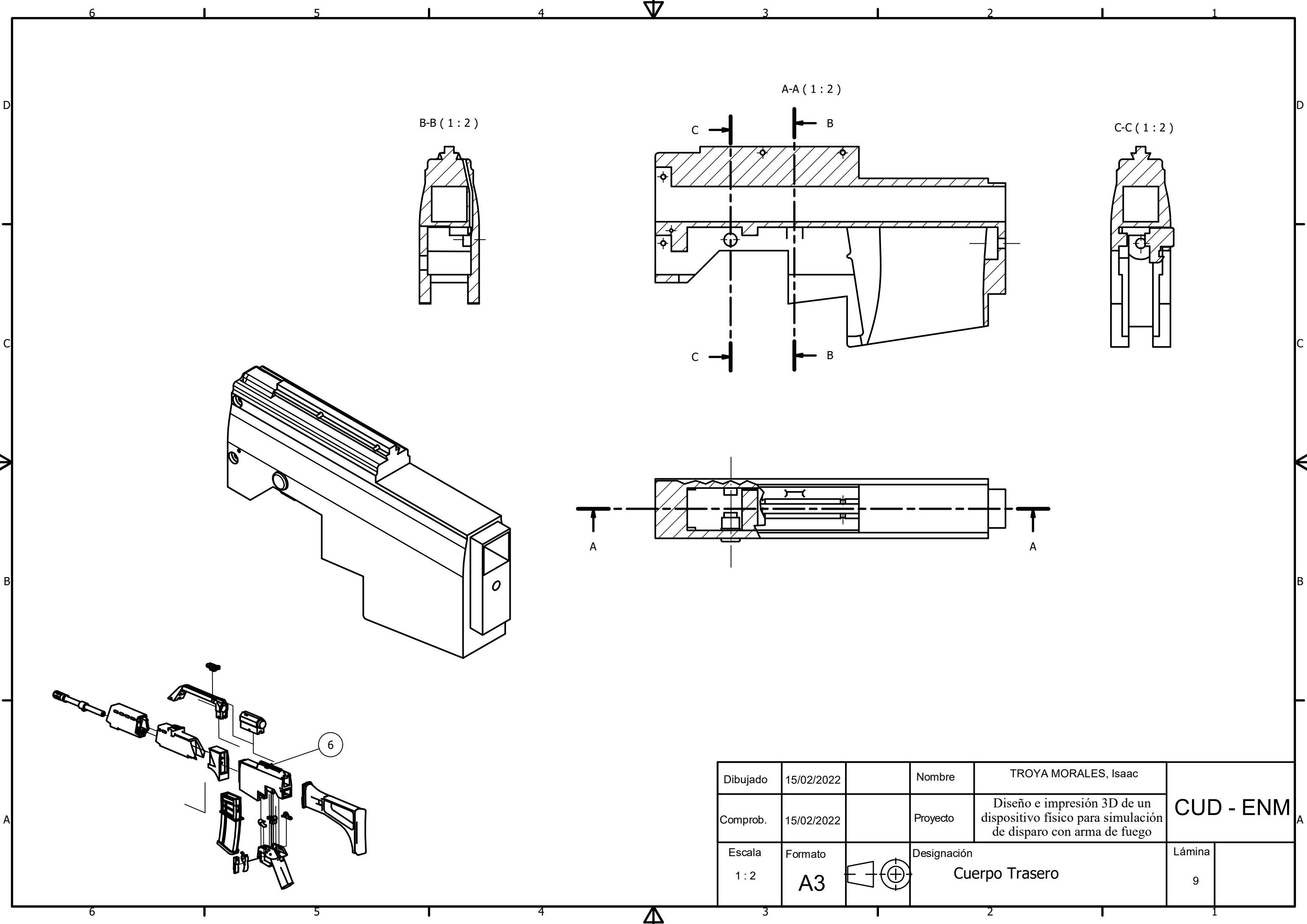
Dibujado	08/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	08/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 5 : 1	Formato A3		Designación Seguro Abajo		Lámina 5	



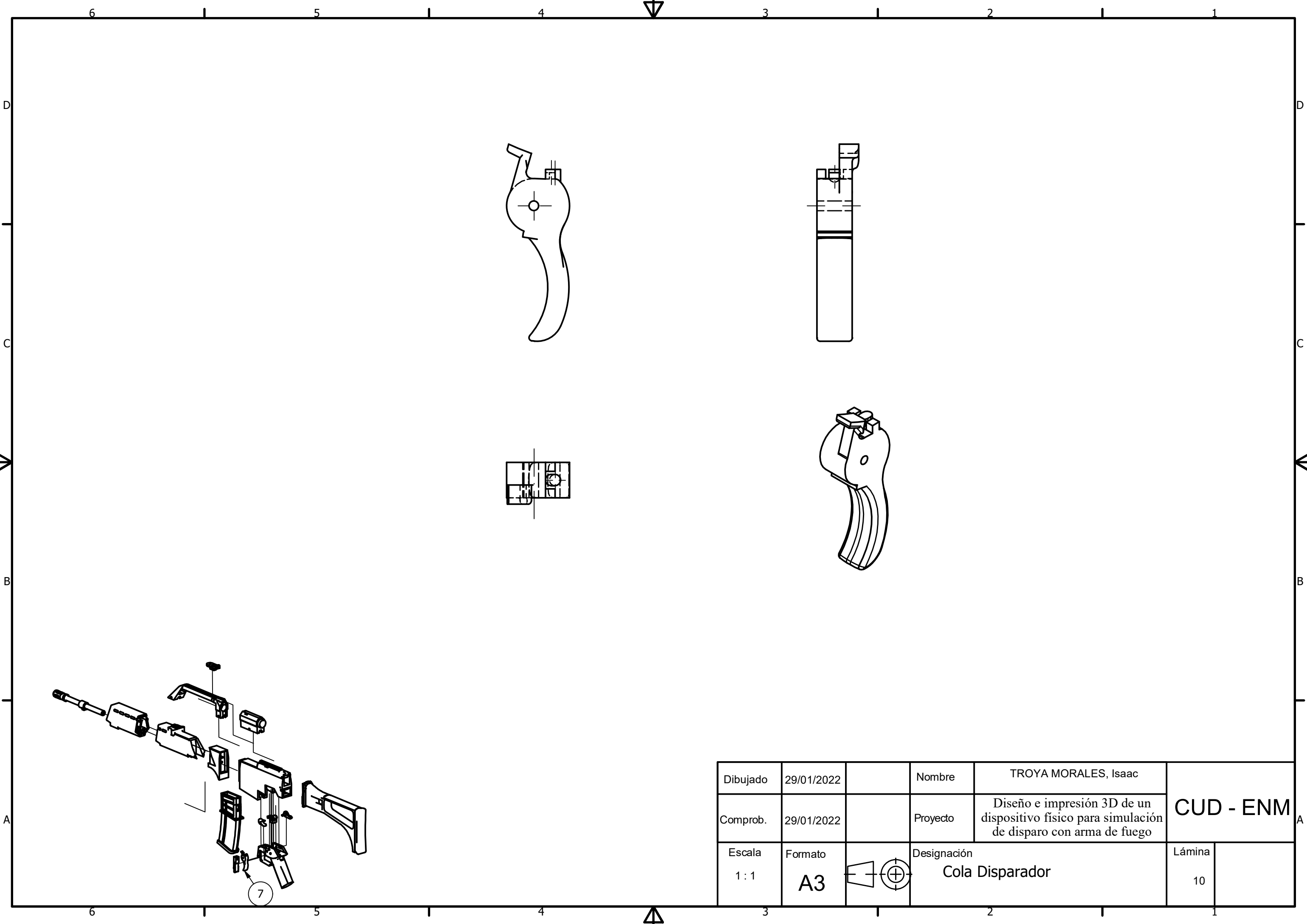


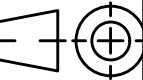


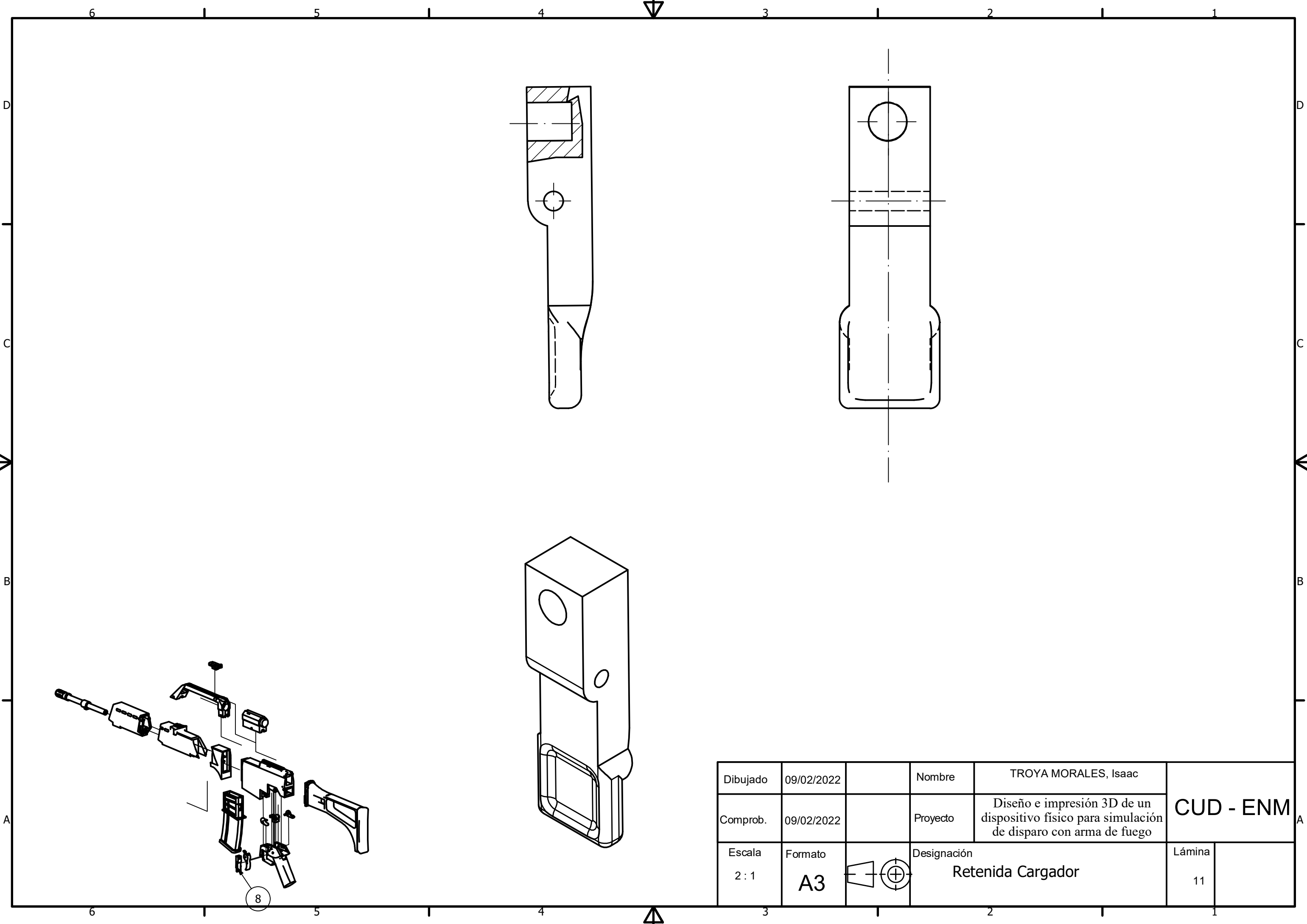
Dibujado	08/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	08/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 2 : 1	Formato A3		Designación Seguro Centro		Lámina 8	

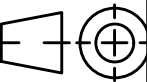


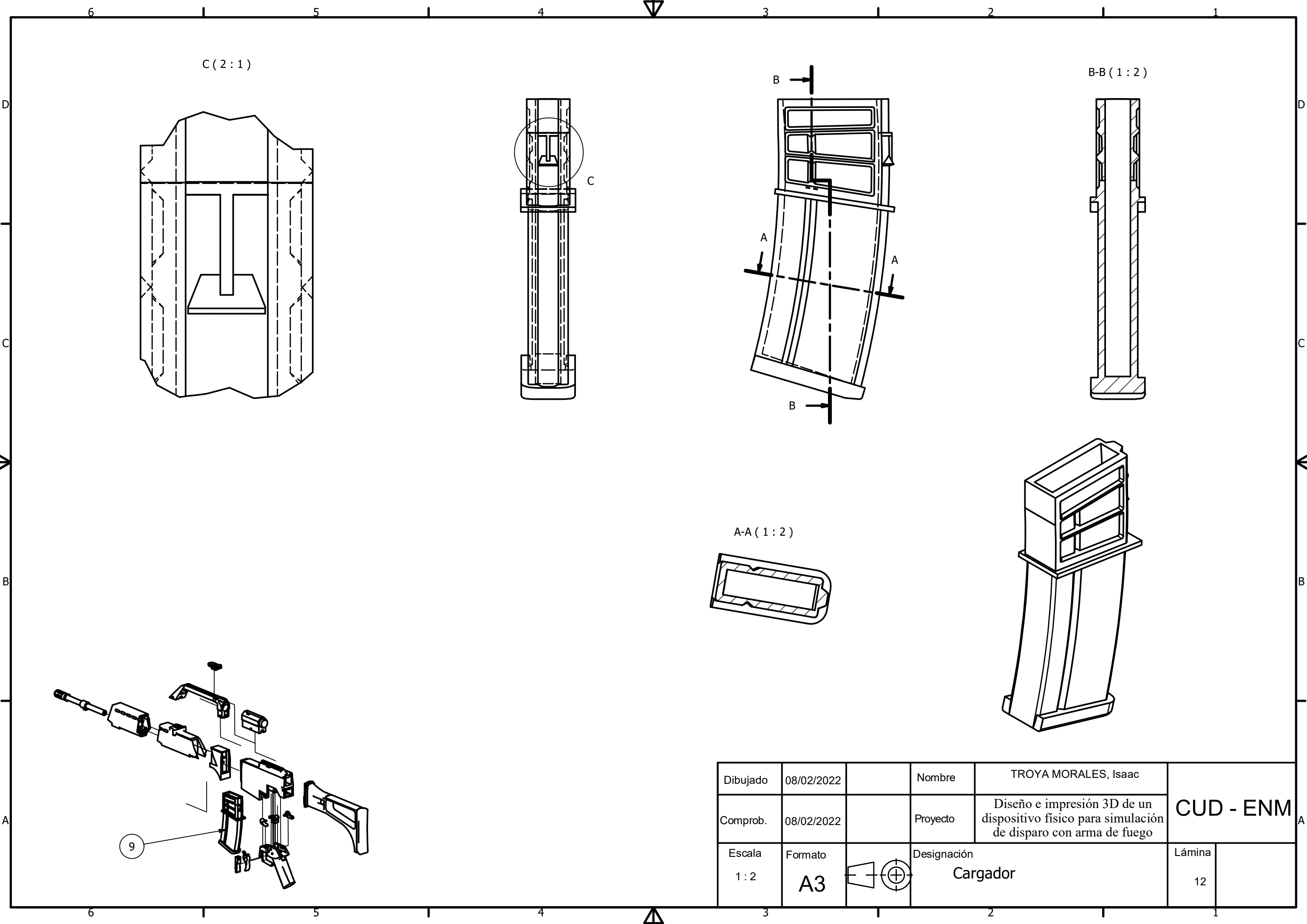
Dibujado	15/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	15/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 2	Formato A3		Designación Cuerpo Trasero		Lámina 9	



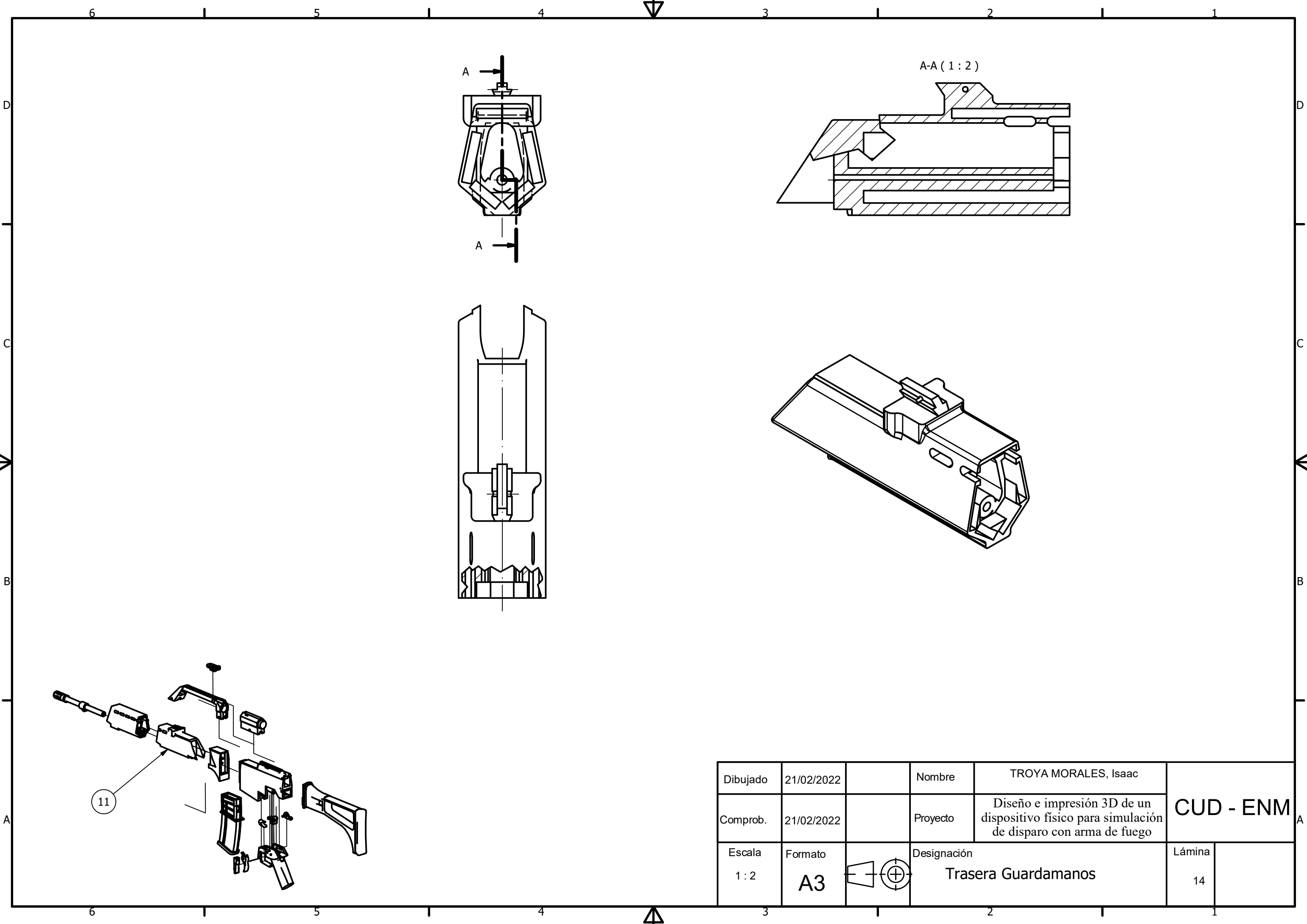
Dibujado	29/01/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	29/01/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Cola Disparador		Lámina 10	



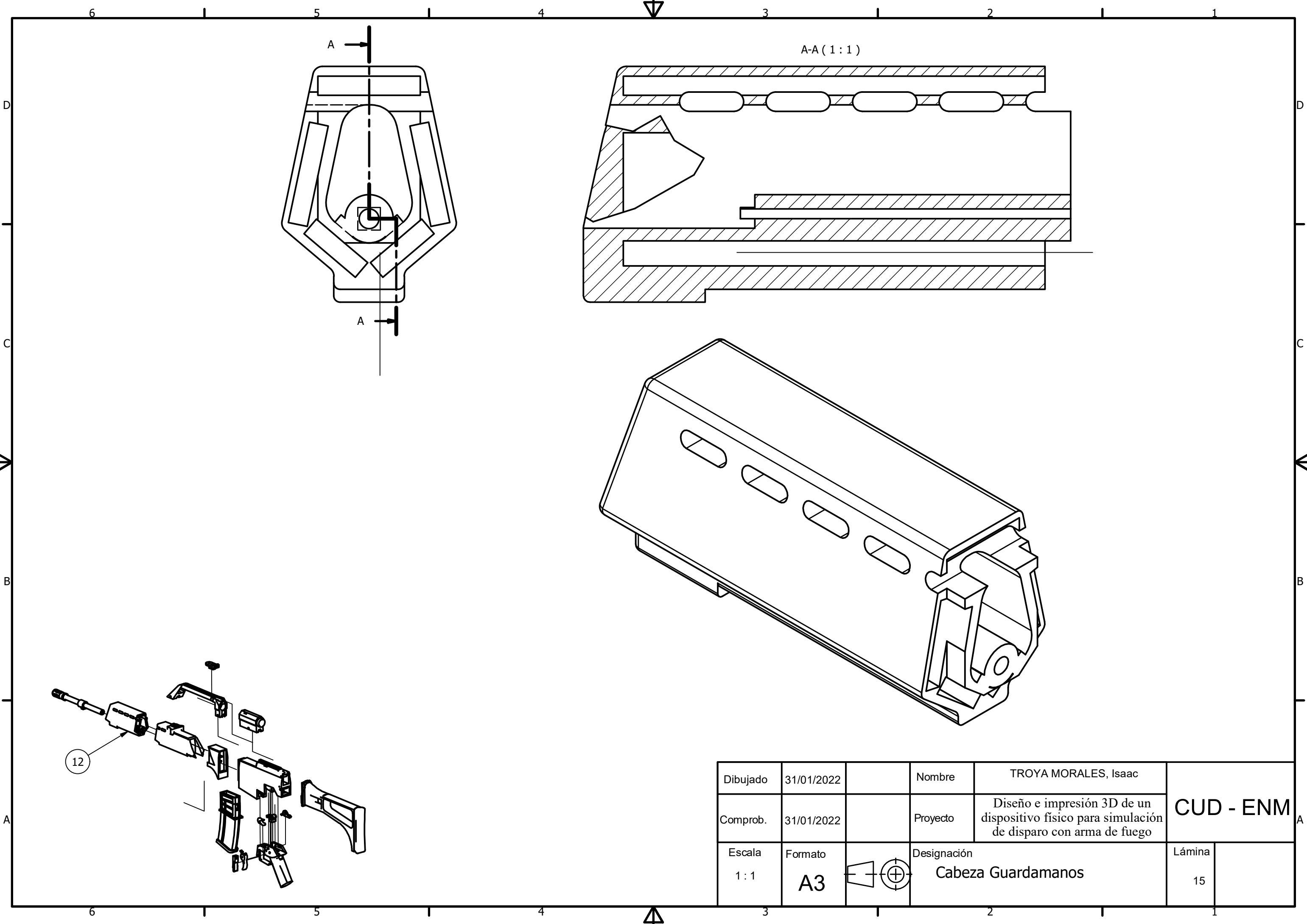
Dibujado	09/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	09/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 2 : 1	Formato A3		Designación Retenida Cargador		Lámina 11	

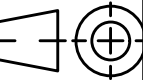


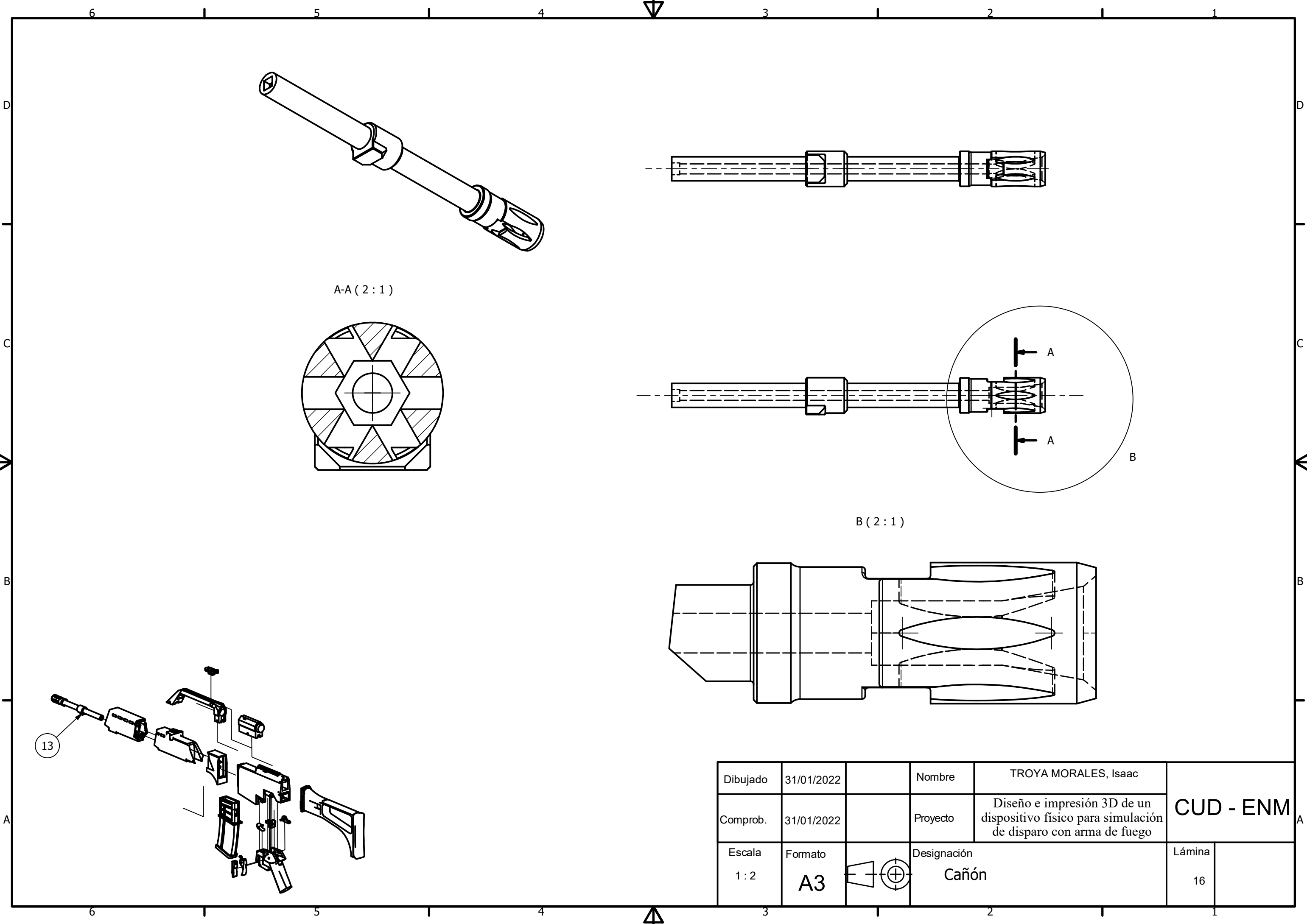
Dibujado	08/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	08/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 2	Formato A3		Designación Cargador		Lámina 12	



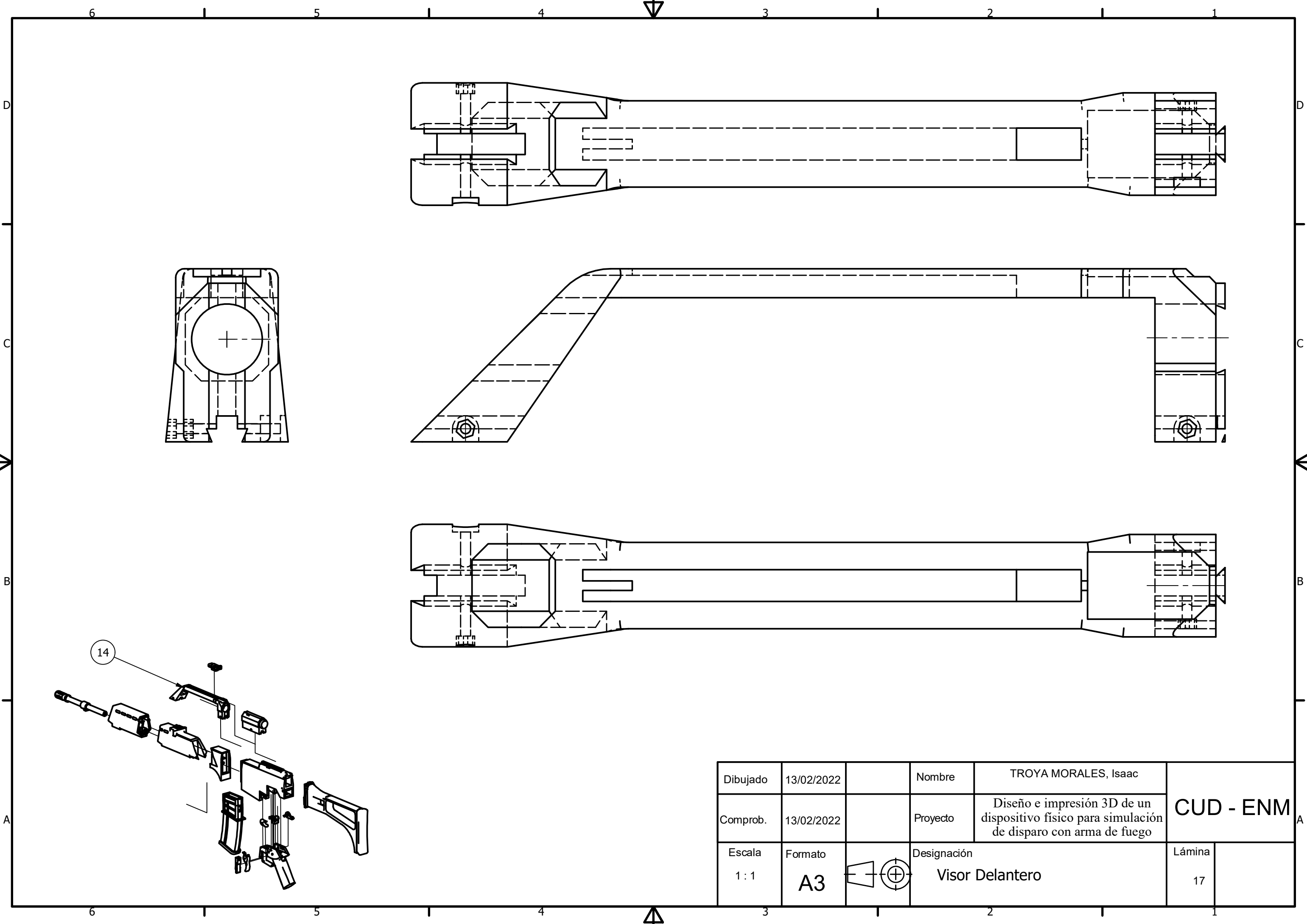
Dibujado	21/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	21/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 2	Formato A3		Designación Trasera Guardamanos		Lámina 14	



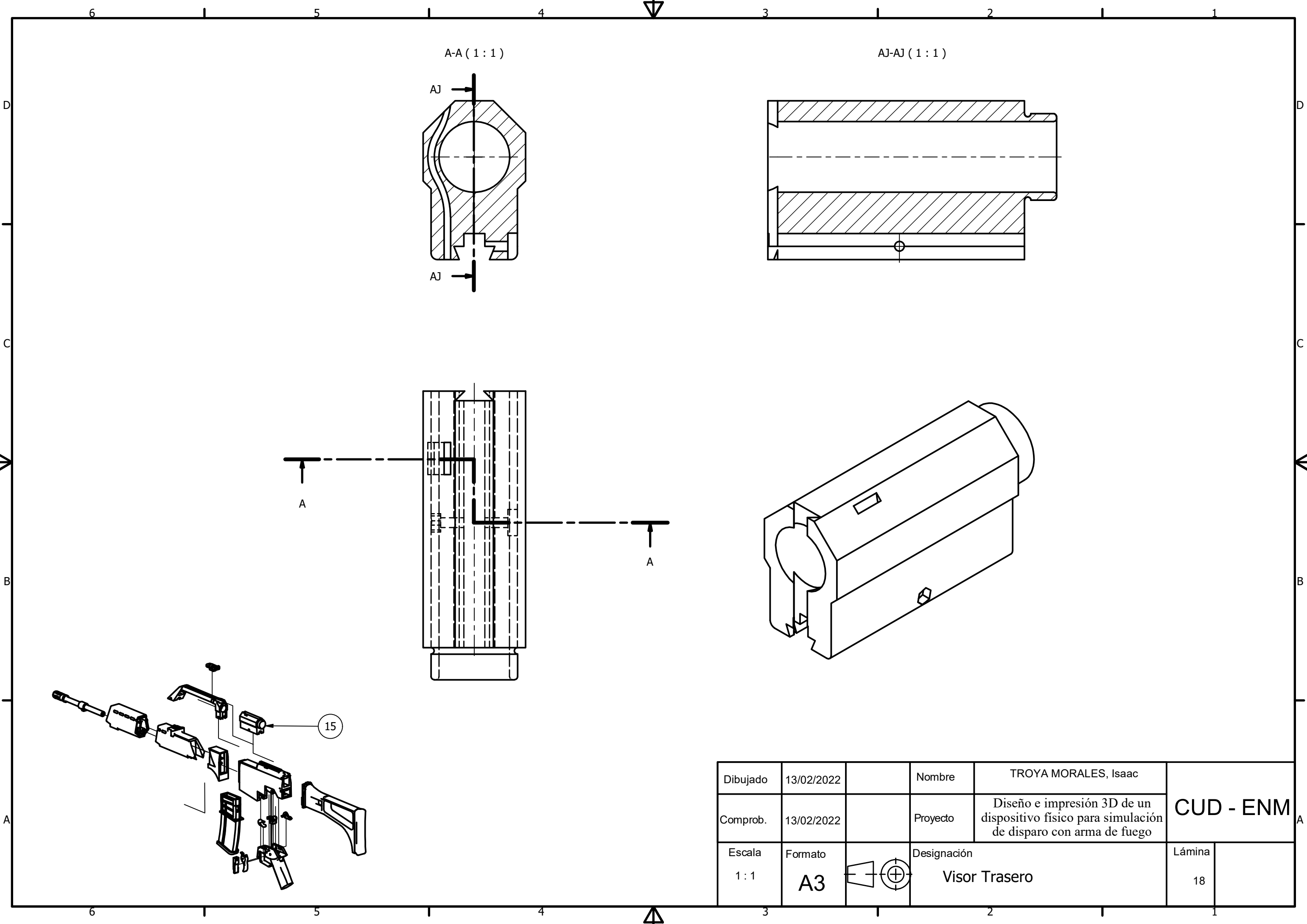
Dibujado	31/01/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	31/01/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Cabeza Guardamanos		Lámina 15	



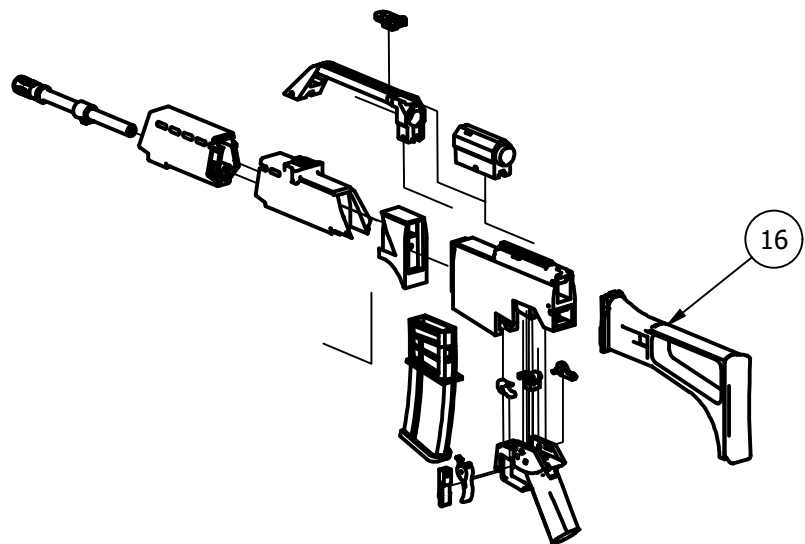
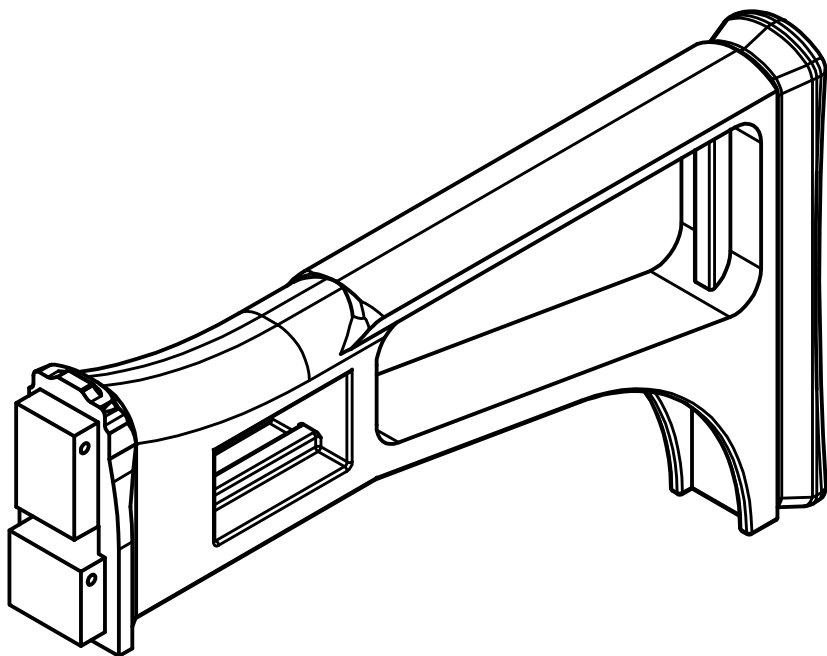
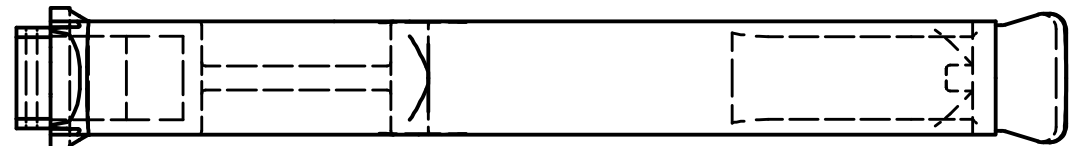
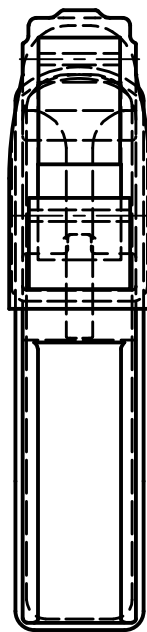
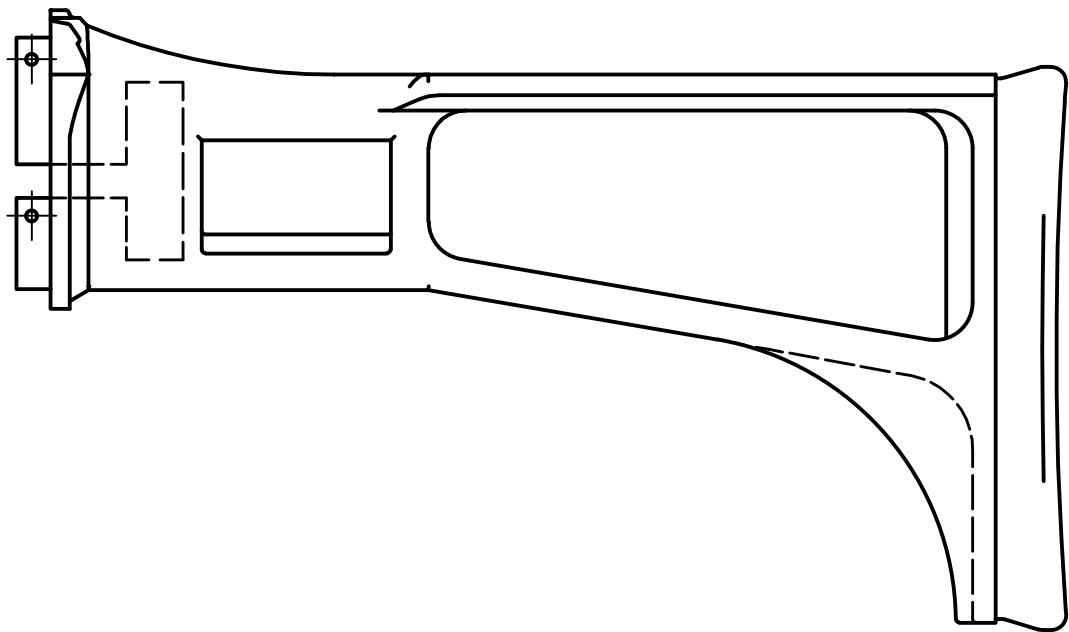
Dibujado	31/01/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	31/01/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
1 : 2	A3				16	
			Cañón			

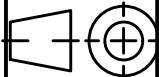


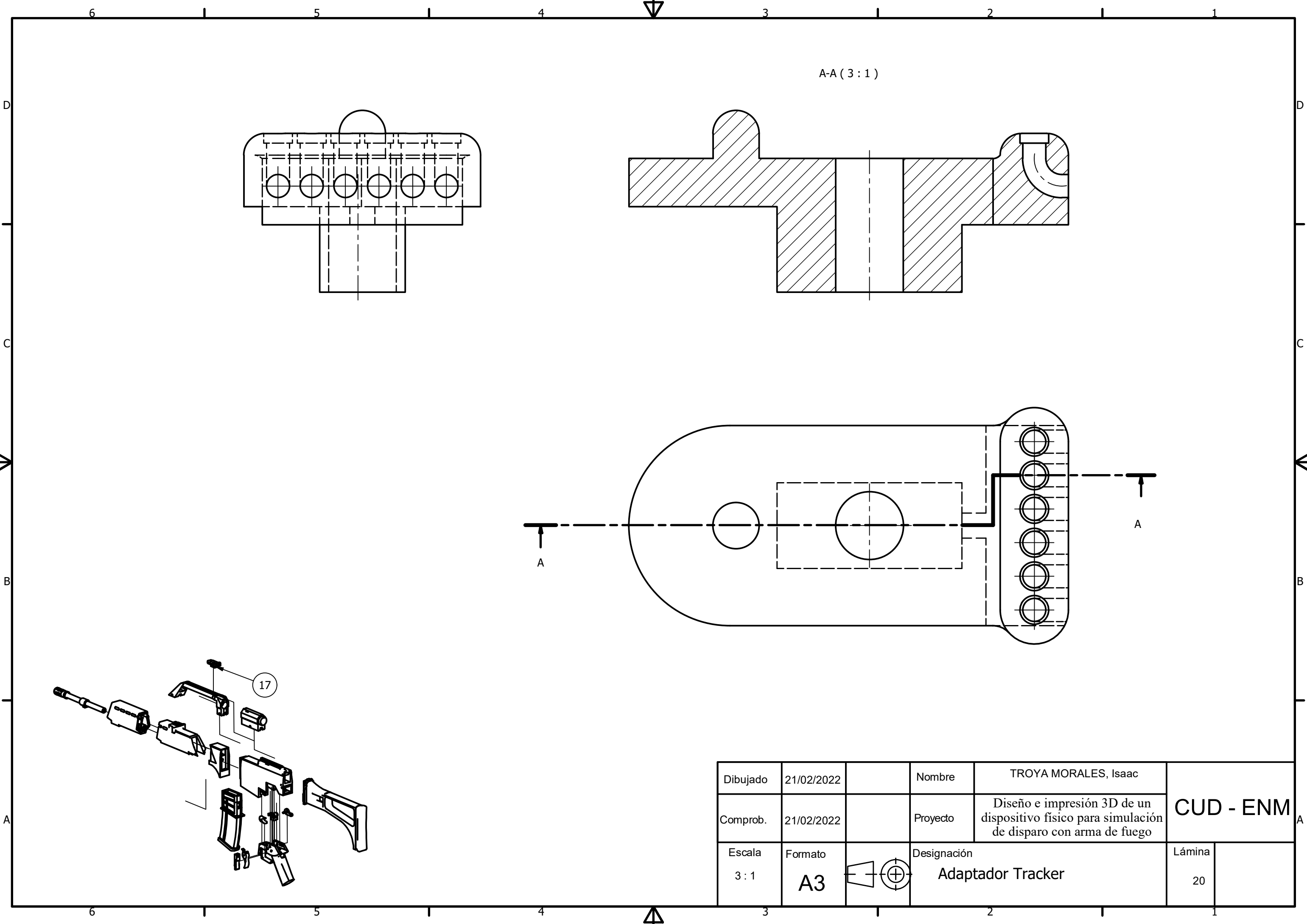
Dibujado	13/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	13/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Visor Delantero			Lámina 17



Dibujado	13/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	13/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala 1 : 1	Formato A3		Designación Visor Trasero		Lámina 18	



Dibujado	22/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM		
Comprob.	22/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego			
Escala 1 : 2	Formato A3		Designación Culata			Lámina 19	



Dibujado	21/02/2022		Nombre	TROYA MORALES, Isaac	CUD - ENM	
Comprob.	21/02/2022		Proyecto	Diseño e impresión 3D de un dispositivo físico para simulación de disparo con arma de fuego		
Escala	Formato		Designación		Lámina	
3 : 1	A3		Adaptador Tracker		20	

4.3 Fabricación

Después de haber realizado la instalación eléctrica, se ha verificado las conexiones mediante un polímetro y el software de *SteamVR*.

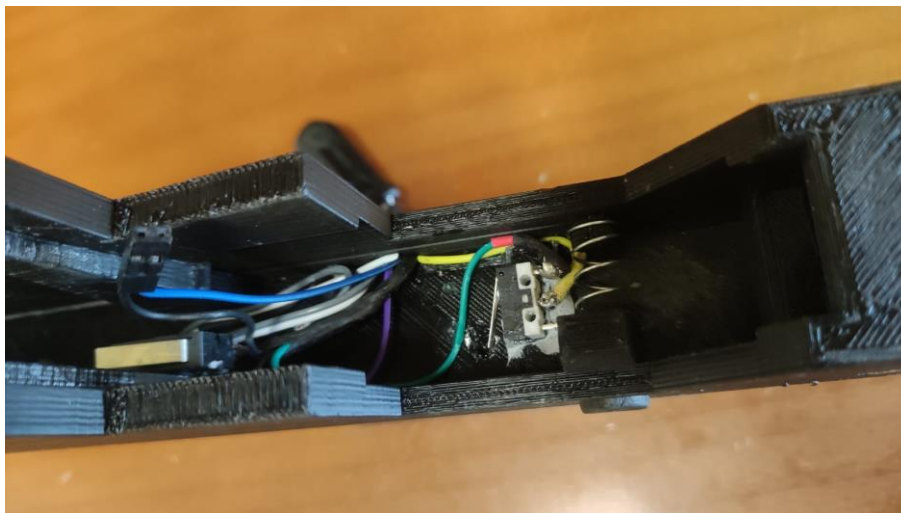


Figura 4-4 Resultados Circuito eléctrico

Como resultado final, se ha obtenido una réplica del fusil HK G36 E de dotación de las Fuerzas Armadas Españolas y usado por los alumnos de la Compañía de alumnos del Cuerpo de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar en sus ejercicios de adiestramiento.



Figura 4-5 Comparación Frontal Dispositivo - Fusil real

En las siguientes figuras se puede comparar las dimensiones del fusil real y el dispositivo diseñado, superior.



Figura 4-6 Medida longitudinal del dispositivo diseñado



Figura 4-7 Medida longitudinal del fusil real

En las figuras siguientes se ha comprobado la posición del centro de gravedad en ambos fusiles. Para ello, se ha buscado el punto de equilibrio en el eje longitudinal. Se ha tomado como referencia el inicio del visor, que como vemos en las figuras anteriores, están situados a la misma distancia. En la figura superior (Figura 4-8), se puede ver el dispositivo diseñado y en la figura inferior (Figura 4-9) el fusil real.

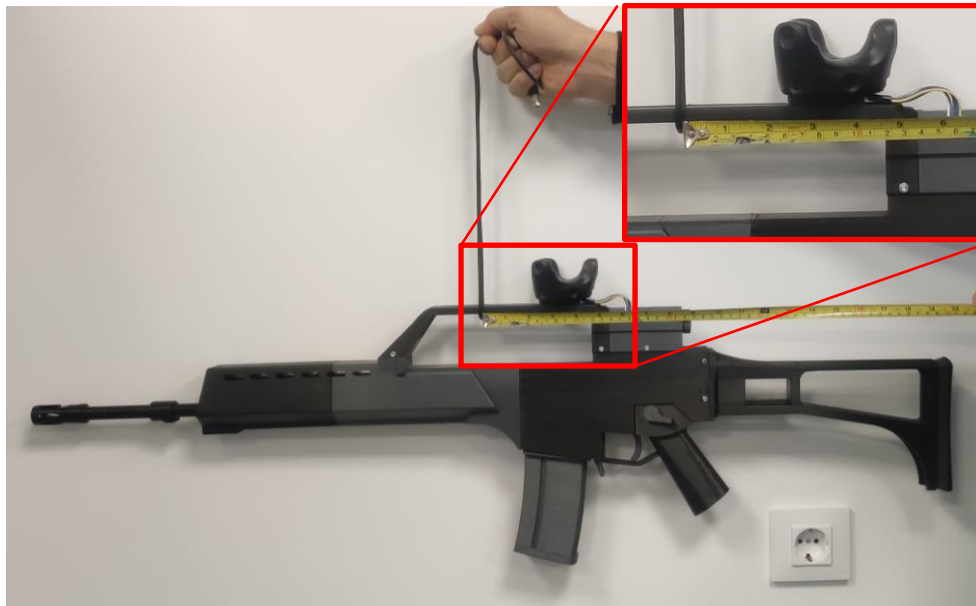


Figura 4-8 Localización del centro de gravedad del dispositivo diseñado

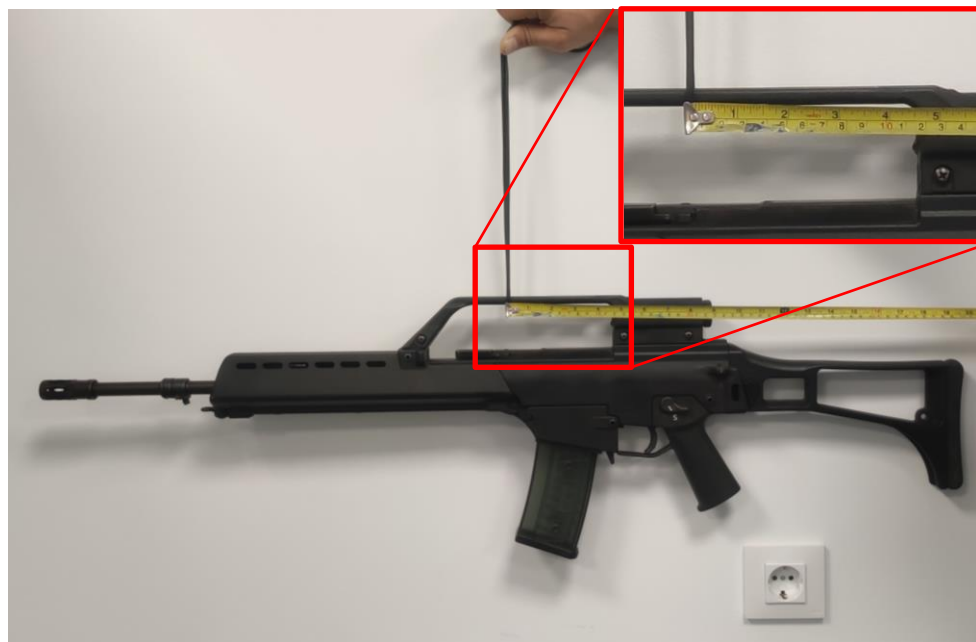


Figura 4-9 Localización del centro de gravedad del fusil real

4.3.1 Coste de fabricación

En este apartado se especifican los gastos asociados a la fabricación del dispositivo. El presupuesto total se ha basado en el cálculo de luz gastada por parte de la impresora, el material usado para imprimir y los materiales necesarios para su montaje.

El presupuesto referente a las piezas se ha desglosado calculando en gasto por pieza en material de impresión y en la luz eléctrica que ha gastado la impresora durante el tiempo de uso. Nótese que el precio de la luz se ha calculado tomando como referencia el precio de 0,295439 €/KWh que fue el precio medio en el mes de diciembre de 2021 en España [27].

Para un desglose más detallado ver Anexo I.

Gastos de Fabricación:DISPOSITIVO FÍSICO PARA SIMULACIÓN DE DISPARO CON ARMA DE FUEGO

Potencia	
<u>Impresora:</u>	300 W
<u>Coste por</u>	
<u>unidad:</u>	
PLA	29 €/kg
Luz	0,2954 €/kWh

Detalles Impresión:

Nombre pieza	N.º Ref.:	PLA (m)	Peso (g)	Tiempo Impresión (h)
Pistolete	1	42,87	128	41,2
Seguro Abajo	2	0,54	2	0,6
Seguro Derecha	3	0,78	2	1
Seguro Izquierda	4	0,78	2	1
Seguro Centro	5	1,08	3	1,5
Cuerpo Trasero	6	93,83	280	114,8
Cola Disparador	7	1,96	6	2,2
Retenida Cargador	8	1,65	5	2,2
Cargador	9	52,57	157	59,5
Cuerpo Delantero	10	24,47	73	24,4
Trasera Guardamanos	11	77,37	231	85,5
Cabeza Guardamanos	12	66,87	199	75,7
Cañón	13	14,83	44	19,5
Visor Delantero	14	23,53	70	31,3
Visor Trasero	15	20,74	62	23,2
Culata	16	87,23	260	98,5
Adaptador <i>Tracker</i>	17	2,36	7	3,6
Cantidad:		513,46	1531	585,7

Tabla 2 Detalle de consumo por piezas

Resumen de Gastos:	Euros
Capítulo 1:	
Gasto de piezas en material de impresión	44,40
Capítulo 2:	
Cálculo del gasto de la luz por pieza	51,91
Capítulo 3:	
Gasto materiales de montaje y uso	188,57
GASTO TOTAL:	284,88 €

Tabla 3 Resumen Presupuesto General

El presupuesto general asciende a la cantidad expresada de DOSCIENTOS OCHENTA Y CUATRO EUROS con OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

4.4 Implementación

4.4.1 Funcionamiento del dispositivo en simulación de tiro

Una vez conectado el *Tracker*, indicado que representa un arma e indicado su posición relativa, el dispositivo se comporta en semejanza en el mundo real y en el entorno virtual.



Figura 4-10 Usuario manejando en el dispositivo físico inmerso en el entorno virtual

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Descripción del apartado

En este apartado se exponen las conclusiones tras la realización del presente proyecto. Se analizan cada uno de los objetivos iniciales y las líneas desarrolladas para cumplirlos.

5.2 Conclusiones de los objetivos iniciales

5.2.1 Modelado

Para la recreación exterior del fusil, se ha utilizado ingeniería inversa tomando las medidas mediante medición manual. Esto implica que se produzcan diferencias dimensionales entre el fusil y el modelo digital, generadas por fallos humanos en la medición y el fallo acumulativo por la multitud de medidas que compone este método. Para minimizar esto, en la medición se han realizado los mínimos cambios en los puntos de referencia para las medidas.

A pesar de ello, el fusil original ha sido representado fielmente. Si se toma como referencia la longitud total del dispositivo, que es la que acumula más errores, existe una diferencia de 1mm. En relación con el fusil real que mide 996mm, se ha obtenido una fiabilidad dimensional del 99.89%.

Otro objetivo de un simulador virtual es que el aprendizaje adquirido sea de utilidad en el mundo real. En este caso, la rapidez y la velocidad con la que un usuario se desenvuelve con un arma cambiará totalmente si el peso del arma es distinto.

La densidad del material utilizado implica una diferencia de peso entre el modelo y el fusil real no asumible. Por ello, ha sido indispensable el uso de otros materiales para lograr que el dispositivo diseñado tenga el mismo peso que el fusil real.

Utilizando uno de los materiales con mayor densidad como es el acero inoxidable como lastre e integrándolo en el interior del dispositivo, se ha conseguido un peso total de 3.34kg, con una fiabilidad del 99.70%. Es por ello por lo que el fusil diseñado generará en el usuario las mismas tensiones y el mismo cansancio que el fusil real.

5.2.2 Impresión 3D

Otro de los factores que se ha de tener en cuenta es la necesidad de imprimir el dispositivo en diferentes piezas. Esto implica la necesidad de dividir el modelo digital, fabricar las piezas de forma individual y unir sus piezas una vez impresas. Además de generar más diferencias dimensionales con respecto al modelo original debido a las uniones, genera problemas estructurales, debiendo modelar una unión fiable entre las piezas.

Un total de diecisiete piezas han sido impresas de forma individual y conectadas mediante diversos métodos generando el dispositivo físico a escala real.

5.2.3 Conectividad

Para poder interactuar con el simulador, se ha conectado el *Tracker* situado en el dispositivo con el software *SteamVR*. Los movimientos y las acciones realizadas con el fusil son representadas con fidelidad en un entorno virtual. Internamente, en el dispositivo, se han instalado una serie de micro interruptores para informar en cada momento al software de las acciones tomadas por parte del usuario.

5.3 Objetivos adicionales

Además de los objetivos iniciales, se han dispuesto unos objetivos secundarios para así lograr una mayor inmersión:

5.3.1 Funcionalidad

Con el objetivo de recrear los mismos factores de casuísticas y necesidades de reacción con el dispositivo, se ha creado un dispositivo funcional en los siguientes aspectos:

- Cargador: uno de los aspectos que se ha de tener en cuenta en el uso de un arma es el cargador. Su manejo y manipulación debe ser intuitiva. Para tal fin, se ha diseñado un sistema interno funcional interconectado con el *Tracker*, con las mismas características que el sistema original, donde el usuario necesitará practicar el cambio de cargador como en una situación real.
- Modalidades de tiro: en la vida real esta cualidad es modificada constantemente. Para un entrenamiento efectivo, se ha implantado un sistema funcional con las mismas modalidades que el fusil real. El usuario podrá elegir entre modo seguro “S”, modo tiro “T” y modo ráfaga “F”, sintiendo las mismas sensaciones que en un fusil real.
- Cola del disparador: vinculada al sistema del seguro, se ha diseñado un disparador funcional con la misma movilidad que el original, no permitiendo su desplazamiento en el modo seguro y debiendo ser apretado para generar el disparo de la misma manera que el *HK G36E*.

Para una inmersión total, cada sistema funcional consta de un micro interruptor conectado al *Tracker 3.0* que envía la información al software y así poder representar las acciones en el entorno virtual.

5.3.2 Centro de gravedad

Enlazado con el objetivo de lograr el mismo peso que el fusil real, la distribución de los pesos es otro factor clave para determinar el reparto de fuerzas necesario en cada brazo. La distribución de los pesos se ha calculado con el software *Autodesk Inventor*, que ha permitido localizar el centro de gravedad con un error de 2mm con respecto al fusil *HK G36E*.

5.4 Líneas futuras

Para vincular el dispositivo y el sistema de simulación a la Industria 4.0, se han determinado como posible continuación del proyecto las siguientes líneas futuras:

- Retroceso: generar un movimiento interno que simule el retroceso del arma ayudará a generar una inmersión total, experimentando el estrés y las tensiones producidas por un combate real.
- Movimiento del cierre: en un uso real del fusil, además de interactuar con el cargador en el caso de que este quede sin munición, es necesario alimentar el arma mediante el movimiento del cierre hacia atrás. Integrar este movimiento completará las acciones necesarias a realizar en una situación real. El movimiento del cierre también se podrá utilizar para programas fallos aleatorios

en la realimentación del arma, debiendo solucionar los fallos como en la mayoría de los casos reales (retirada del cargador, mover el cierre repetidas veces hacia atrás para asegurar la extracción de la vaina, reintroducir el cargador y volviendo a alimentar el arma con el movimiento del cierre).

- Integración: existen multitud de tipos de simuladores de combate. Simuladores de vehículos, multitud de armas e incluso simuladores a nivel táctico. Enlazar todos los simuladores entre sí en un mismo entorno virtual otorgará un mayor nivel de experiencia, pudiendo entrenar a una unidad de manera óptima. Además, podrá permitir el almacenamiento de los datos de la unidad resaltando puntos débiles y, así, lograr focalizarse en sus déficits pudiendo lograr una eficiencia sin precedentes.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «ITCL Centro Tecnológico Noticias,» 04 09 2018. [En línea]. Available: <https://itcl.es/blog/para-que-sirven-los-sistemas-de-simulacion/>. [Último acceso: 24 03 2022].
- [2] C. D. Vi, «GESI. Grupo de Estudios en Seguridad Internacional,» 19 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.seguridadinternacional.es/?q=es/content/%C2%BFes-la-%E2%80%9Czona-gris%E2%80%9D-el-nuevo-t%C3%A9rmino-de-moda>. [Último acceso: 24 03 2022].
- [3] Real Academia Española, «Asociacion de academias de la lengua española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/simulador>. [Último acceso: 04 02 2022].
- [4] Alamy, «La tecnología de la Realidad Virtual en la Industria 4.0,» [En línea]. Available: <https://www.alamy.es/la-tecnologia-de-la-realidad-virtual-en-la-industria-4-0-traje-de-hombre-de-negocios-vistiendo-vr-gafas-para-ver-ar-servicio-de-monitoreo-termico-del-motor-para-verificar-destruir-parte-o-image243772103.html>. [Último acceso: 04 02 2022].
- [5] Revista Española de Defensa, «<https://www.defensa.gob.es>,» vol. Número 283, 2012.
- [6] indracompany, «www.indracompany.com,» [En línea]. Available: <https://www.indracompany.com/es/search/site/simulador>. [Último acceso: 05 02 2022].
- [7] INDRA, SIMULADOR DE TIRO VIRTUAL.
- [8] M. Á. G. Palma, «Eficacia del simulador VICTRIX en un pelotón de,» Zaragoza, 2019.
- [9] A. R. León, «Educa Slideshare,» 22 11 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/Aurelio994/software-para-crear-realidad-virtual>.
- [10] V. Efremov, «Unity,» [En línea]. Available: <https://unity.com/es/demos/enemies>. [Último acceso: 22 03 2022].
- [11] A. Soloaga, «AKademos,» 19 07 2019. [En línea]. Available: <https://www.akademos.es/blog/emprendedores/unreal-engine-que-es-y-para-que-sirve/>.
- [12] «Steamvr,» [En línea]. Available: <https://www.steamvr.com/es/>. [Último acceso: 22 03 2022].
- [13] Virtuix, «www.virtuix.com,» [En línea]. Available: <https://invest.virtuix.com/>. [Último acceso: 04 02 2022].

- [14] M. García, «Dispositivos hápticos,» Universidad Rey Juan Carlos.
- [15] D. G. Aparicio, «Oculus una ventana a infinitos mundos gracias a la realidad virtual,» *20minutos*, 09 04 2021.
- [16] Sony Interactive Entertainment, «Play Station VR,» [En línea]. Available: <https://www.playstation.com/es-es/ps-vr/>. [Último acceso: 05 02 2022].
- [17] Corporacion HTC, «Vive,» [En línea]. Available: <https://www.vive.com/eu/>. [Último acceso: 18 03 2022].
- [18] A. Hattab, I. Gonsheer, D. Moreno y G. Taubin, «Brown University,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316501481_Differential_3D_Scanning. [Último acceso: 06 02 2022].
- [19] P. Gelabert y Pascal Nelson, «<https://www.novuslight.com/>,» [En línea]. Available: https://www.novuslight.com/3d-scanning-using-structured-light_N5139.html. [Último acceso: 06 02 2022].
- [20] Autodesk Inventor, «nke360,» 13 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.nke360.es/autodesk-inventor-que-es-y-ventajas/>. [Último acceso: 22 03 2022].
- [21] impresoras3d, «<https://www.impresoras3d.com/>,» [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 06 02 2022].
- [22] L. C., «Guía completa: Sinterizado selectivo por láser o SLS, ¡te explicamos todo!,» 12 03 2019. [En línea]. Available: Guía completa: Sinterizado selectivo por láser o SLS, ¡te explicamos todo!. [Último acceso: 22 02 2022].
- [23] S. S. Restrepo, «FDM o modelado por deposición fundida,» 10 2017. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/modelado-por-deposicion-fundida29072015/>. [Último acceso: 22 03 2022].
- [24] M. U. Muntaña, «Estudio Comparativo de la Precisión dimensional de diferentes impresoras 3D,» Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2017.
- [25] BQ, Manual Usuario Impresora Witbox 3D.
- [26] Bitfab, «Bitfab - Servicio de impresión 3D online,» 2022. [En línea]. Available: <https://bitfab.io/es/blog/orientacion-impresion-3d/#Conclusiones>. [Último acceso: 20 03 2022].
- [27] OCU, «OCU,» [En línea]. Available: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz>. [Último acceso: 24 03 2022].
- [28] IMPRESORAS3D.COM, «Breve Historia de la impresión 3D,» 01 01 2018. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>. [Último acceso: 2022 02 20].

ANEXO I: PRESUPUESTO DETALLADO

Capítulo 1: Gasto de piezas en material de impresión

					Precio por	
Descripción:	Uds.	Longitud (m)	Peso (g)	Unidad	Importe	
Listado de material necesario por pieza para su impresión						
N.º Ref.:						
1 Pistolete	1	42,87	128	3,71	3,71	
2 Seguro Abajo	1	0,54	2	0,06	0,06	
3 Seguro Derecha	1	0,78	2	0,06	0,06	
4 Seguro Izquierda	1	0,78	2	0,06	0,06	
5 Seguro Centro	1	1,08	3	0,09	0,09	
6 Cuerpo Trasero	1	93,83	280	8,12	8,12	
7 Cola Disparador	1	1,96	6	0,17	0,17	
8 Retenida Cargador	1	1,65	5	0,15	0,15	
9 Cargador	1	52,57	157	4,55	4,55	
10 Cuerpo Delantero	1	24,47	73	2,12	2,12	
11 Trasera Guardamanos	1	77,37	231	6,70	6,70	
12 Cabeza Guardamanos	1	66,87	199	5,77	5,77	
13 Cañón	1	14,83	44	1,28	1,28	
14 Visor Delantero	1	23,53	70	2,03	2,03	
15 Visor Trasero	1	20,74	62	1,80	1,80	
16 Culata	1	87,23	260	7,54	7,54	
17 Adaptador <i>Tracker</i>	1	2,36	7	0,20	0,20	
Cantidad:		513,46	1531	44,399		
Precio Total					44,40 €	

Capítulo 2: Calculo del gasto de la luz por pieza

Descripción:		Uds.	Tiempo Impresora (h)	Precio por Unidad	Importe
Listado de tiempo necesario por pieza para su impresión					
N.º Ref.:					
1	Pistolete	1	41,2	2,43	2,43
2	Seguro Abajo	1	0,6	0,04	0,04
3	Seguro Derecha	1	1	0,06	0,06
4	Seguro Izquierda	1	1	0,06	0,06
5	Seguro Centro	1	1,5	0,09	0,09
6	Cuerpo Trasero	1	114,8	6,78	6,78
7	Cola Disparador	1	2,2	0,13	0,13
8	Retenida Cargador	1	2,2	0,13	0,13
9	Cargador	1	59,5	3,52	3,52
10	Cuerpo Delantero	1	24,4	1,44	1,44
11	Trasera Guardamanos	1	85,5	5,05	5,05
12	Cabeza Guardamanos	1	75,7	4,47	4,47
13	Cañón	1	19,5	1,15	1,15
14	Visor Delantero	1	31,3	1,85	1,85
15	Visor Trasero	1	23,2	1,37	1,37
16	Culata	1	98,5	5,82	5,82
17	Adaptador <i>Tracker</i>	1	3,6	0,21	0,21

Cantidad: 585,7 34,61

Precio Total: 34,61 €

Capítulo 3: Gasto materiales de montaje y uso

Descripción:	Uds.	Peso	Precio por Unidad	Importe
Listado de material necesario para el montaje:				
Tuerca M3:	5		0,02	0,10
Tornillo M3x20:	2		0,02	0,04
Tornillo M3x25:	1		0,04	0,04
Tornillo M3x35:	2		0,05	0,10
Barra roscada (1m)				
M6:	0,5		1,20	0,60
Tuerca M6:	2		0,06	0,12
Arandela M6x18:	1		0,20	0,20
Arandela M6(no retorno):	1		0,20	0,20
Micro Interruptores:	2		1,20	2,40
Cable 30 AWG (1m):	1		0,50	0,50
Conectores:	14		0,02	0,28
Acero Inox. (kg):	1,8		8,33	14,99
<i>Tracker 3.0:</i>	1		169	169

Precio total: 188,57 €