



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de atalaje para la sujeción de visores nocturnos al casco  
COBAT mediante ingeniería inversa*

## Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** Yago López Rey

**DIRECTORES:** Carlos Casqueiro Placer  
Diego Páramo Berzosa

**CURSO  
ACADÉMICO:** 2021-2022

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de atalaje para la sujeción de visores nocturnos al casco  
COBAT mediante ingeniería inversa*

**Grado en Ingeniería Mecánica**  
Intensificación en Tecnología Naval  
Infantería de Marina

Universidade de Vigo



## RESUMEN

En la actualidad, un gran número de unidades militares son incapaces de desarrollar operaciones de combate nocturnas de manera eficaz. Esto se debe a que los atalajes existentes fueron diseñados en su día para el casco MARTE. El objetivo de este TFG es modificar, mediante técnicas de ingeniería inversa, el atalaje de dicho casco, de manera que permita acoplar correctamente los distintos visores nocturnos que poseen las Fuerzas Armadas españolas al casco COBAT 01.

Para alcanzar este objetivo, primero se escaneará la superficie del casco con el fin de generar un modelo 3D del sólido. Posteriormente, se importará dicho sólido a un *software* CAD para poder diseñar las piezas en base a las dimensiones y geometrías del casco. Una vez se hayan obtenido las piezas necesarias para que el atalaje sea compatible con el casco COBAT 01, se imprimirán mediante tecnología 3D.

Todo esto, requerirá el aprendizaje del uso de *software* de escaneado, postprocesado y diseño, la generación de archivos STL y la correcta elección del material de impresión. El resultado será un atalaje compatible con el casco COBAT 01, que pretende devolver a las unidades la capacidad de realizar operaciones nocturnas con la máxima eficacia.

## PALABRAS CLAVE

Escaneado 3D, impresión 3D, ingeniería inversa, atalaje, visor nocturno.



# AGRADECIMIENTOS

Mis primeras palabras de agradecimientos van a ir dirigidas a *mi familia*, que sin la educación que me han dado a lo largo de mi vida, seguramente no estaría actualmente a punto de terminar mi periodo en la Escuela Naval Militar. Siempre demostrándome que quien algo quiere, algo le cuesta y de que es necesario ser exigente, tanto con uno mismo, como con los demás. En muchas ocasiones, he podido sacar lo mejor de mi mismo gracias a su gran exigencia. Por supuesto también, quiero agradecerle a mi abuelo que me haya enseñado que la patria hay que quererla, cuidarla y defenderla. Sin él, dudo mucho que hubiese decidido dedicar mi vida a servir a España.

En segundo lugar, le quería agradecer profundamente a mis tutores, *Carlos Casqueiro Placer* y *Diego Páramo Berzosa*, el tiempo y las ganas dedicadas. Especialmente al Sr. Casqueiro, por el cariño que ha demostrado siempre hacia los infantes de marina a lo largo de estos cinco años, siendo siempre comprensible con nuestras situaciones del ámbito militar. Y en especial, a lo largo de este segundo cuatrimestre por el compromiso mostrado, tanto en las correcciones, como en las reuniones y como en las horas de laboratorio. Por último, agradecerle también, la paciencia que ha tenido conmigo pues no ha sido fácil sacar este TFG adelante con un calendario tan ajustado.

Por supuesto, a *la promoción 422-152*, que desde hace ya cinco años han podido ver y sentir lo mejor y lo peor de mí. Les quiero dar las gracias a todos por apoyarme siempre sea cual sea el problema. Por hacerme sentir cómodo siempre, sea con quien sea de la brigada. Y, sobre todo, por haberme dejado disfrutar de todos vosotros, de vuestras bromas, particularidades, etc.

Por último, quiero darles las gracias a los que fueron mis compañeros brigadieres de la primera brigada durante el año 2020-2021: David, Manuel y Alex. A pesar de que fue un año muy complicado debido a la COVID-19, me llevo de él innumerables anécdotas, bromas y sobre todo increíbles momentos juntos. Sentí siempre su apoyo incondicional e hicieron de ese año, hasta el momento, el mejor año de mi vida.



## CONTENIDO

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Contenido .....                                                                            | 1  |
| Índice de Figuras .....                                                                    | 3  |
| Índice de Tablas.....                                                                      | 7  |
| 1 Introducción y objetivos .....                                                           | 9  |
| 1.1 Motivación .....                                                                       | 10 |
| 1.2 Objetivos .....                                                                        | 15 |
| 2 Estado del arte .....                                                                    | 17 |
| 2.1 Ingeniería inversa .....                                                               | 17 |
| 2.1.1 Historia .....                                                                       | 17 |
| 2.1.2 Tipos de escáner 3D.....                                                             | 20 |
| 2.1.3 Softwares usados .....                                                               | 25 |
| 2.1.3.1 Artec Studio 14.....                                                               | 25 |
| 2.1.3.2 Autodesk Inventor Professional .....                                               | 26 |
| 2.1.3.3 Geomagic Design X .....                                                            | 28 |
| 2.2 Impresión 3D.....                                                                      | 28 |
| 2.2.1 Tecnologías de impresión en 3D .....                                                 | 29 |
| 2.2.2 Materiales empleados .....                                                           | 31 |
| 2.2.3 Impresión 3D en las FAS.....                                                         | 33 |
| 2.3 Visión nocturna .....                                                                  | 34 |
| 2.3.1 Historia y funcionamiento .....                                                      | 34 |
| 2.3.2 Equipos de visión nocturna y cascos del Cuerpo de Infantería de Marina .....         | 34 |
| 2.3.3 Incompatibilidad de atalajes de intensificadores de luz con casco modelo COBAT 01 .. | 38 |
| 3 Desarrollo del TFG.....                                                                  | 41 |
| 3.1 Proceso de escaneado y generación del modelo sólido del casco.....                     | 42 |
| 3.1.1 Generalidades .....                                                                  | 42 |
| 3.1.2 Proceso de escaneado del casco con funda .....                                       | 43 |
| 3.1.3 Proceso de escaneado del casco sin funda .....                                       | 50 |
| 3.2 Diseño en Autodesk Inventor Professional .....                                         | 55 |
| 3.2.1 Atalaje existente e inconvenientes .....                                             | 56 |
| 3.2.2 Diseño del prototipo .....                                                           | 58 |
| 3.3 Impresión 3D.....                                                                      | 63 |
| 3.3.1 Generalidades .....                                                                  | 63 |
| 3.3.2 Impresión de prototipos .....                                                        | 64 |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 3.3.3 Impresión modelo definitivo.....       | 68 |
| 4 Resultados .....                           | 73 |
| 4.1 Escaneado.....                           | 73 |
| 4.2 Diseño .....                             | 75 |
| 4.3 Impresión .....                          | 77 |
| 4.4 Prueba de conjunto.....                  | 78 |
| 4.5 Análisis económico .....                 | 81 |
| 5 Conclusiones y líneas futuras .....        | 83 |
| 5.1 Conclusiones .....                       | 83 |
| 5.2 Líneas futuras .....                     | 84 |
| 6 Bibliografía.....                          | 85 |
| Anexo I: Vista general del modelo final..... | 89 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1 Zona urbanizada con escasa visibilidad vista desde un visor nocturno [1] .....         | 9  |
| Figura 1-2 Miembros de operaciones especiales con gafas de visión nocturna individuales [2] ..... | 10 |
| Figura 1-3 Casco configurado con visión nocturna, auriculares y micrófono y linterna [3] .....    | 11 |
| Figura 1-4 Casco con placa Wilcox frontal para acoplar cámaras o visores nocturnos [2] .....      | 11 |
| Figura 1-5 Casco MARTE con atalaje para acoplar visor nocturno .....                              | 11 |
| Figura 1-6 Atalaje a casco MARTE soporte de visión nocturna [4] .....                             | 12 |
| Figura 1-7 Casco Mich 500 con acople para visor nocturno [5] .....                                | 12 |
| Figura 1-8 Uñas frontales del atalaje sobre casco COBAT 01 [6] .....                              | 13 |
| Figura 1-9 Uñas frontales del atalaje sobre casco COBAT 01 vista lateral [6] .....                | 13 |
| Figura 1-10 Escaneo del avión F-22 "Raptor" [7] .....                                             | 14 |
| Figura 1-11 Modelo 3D casco COBAT 01 [7] .....                                                    | 14 |
| Figura 2-1 Mitsubishi J8M "Shushi" [13] .....                                                     | 18 |
| Figura 2-2 Messerschmitt Me 163 "Komet" [14] .....                                                | 18 |
| Figura 2-3 Tupolev Tu-4 [15] .....                                                                | 19 |
| Figura 2-4 Boeing B-29 "Superfortress" [16] .....                                                 | 19 |
| Figura 2-5 Comparativa de misil SideWinder (izquierda) y misil R-3 (derecha) [17] .....           | 19 |
| Figura 2-6 Archivos obtenidos de una base de puntos según método de poligonización [21] .....     | 20 |
| Figura 2-7 Máquina de medición por coordenadas [23] .....                                         | 21 |
| Figura 2-8 Escáner de no contacto que emplea el principio de triangulación [24] .....             | 21 |
| Figura 2-9 Escáner <i>Artec Space Spider</i> [27] .....                                           | 22 |
| Figura 2-10 Escáner <i>Artec EVA</i> [25] .....                                                   | 23 |
| Figura 2-11 Empleo más adecuado de cada uno de los escáneres [25] .....                           | 23 |
| Figura 2-12 Pieza sometida a estudio FEM para analizar posibles problemas estructurales [29] ...  | 25 |
| Figura 2-13 Artec Studio mostrando gama de colores y precisión [7] .....                          | 26 |
| Figura 2-14 Visualización instantánea de proceso de escaneado [30] .....                          | 26 |
| Figura 2-15 Página inicial de Autodesk Inventor Professional .....                                | 27 |
| Figura 2-16 Ensamblaje de piezas realizado con Autodesk Inventor Professional [34] .....          | 27 |
| Figura 2-17 Modelo 3D alineado según planos de referencia [36] .....                              | 28 |
| Figura 2-18 Prototipado rápido mediante impresión 3D [38] .....                                   | 29 |
| Figura 2-19 Tipos de impresión 3D [10] .....                                                      | 30 |
| Figura 2-20 Tecnología FDM [39] .....                                                             | 30 |
| Figura 2-21 Funcionamiento de impresora FDM [39] .....                                            | 30 |
| Figura 2-22 Funcionamiento impresora SLA [10] .....                                               | 31 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2-23 Esquema de materiales y técnicas utilizadas [40].....                        | 31 |
| Figura 2-24 En azul, pieza de sujeción del elevallunas impresa en 3D [48] .....          | 33 |
| Figura 2-25 Herramientas de desmontaje de equipos de radiocomunicaciones [48] .....      | 34 |
| Figura 2-26 PVS-23 F50F50 [50] .....                                                     | 35 |
| Figura 2-27 Visor PVS-14C [51] .....                                                     | 35 |
| Figura 2-28 Infante de Marina con visor PVS-7B [52].....                                 | 36 |
| Figura 2-29 Visor Mini N-Seas [53] .....                                                 | 36 |
| Figura 2-30 Casco Armor source LLC Mod. 501 .....                                        | 37 |
| Figura 2-31 Casco MARTE .....                                                            | 37 |
| Figura 2-32 Casco COBAT 01 .....                                                         | 37 |
| Figura 2-33 Atalaje Mini N-SEAS bitubo sobre casco COBAT 01 [6] .....                    | 38 |
| Figura 2-34 Uñas frontal atalaje Mini N-SEAS bitubo sobre casco COBAT 01 [6] .....       | 38 |
| Figura 2-35 Incompatibilidad casco COBAT 01 con atalaje de PVS-14C [6].....              | 39 |
| Figura 2-36 Parte frontal atalaje Mini N-SEAS sobre casco COBAT [6] .....                | 39 |
| Figura 2-37 Uñas frontales placa WILCOX sobre casco COBAT 01 [6].....                    | 40 |
| Figura 2-38 Placa Wilcox sobre casco COBAT 01 [6] .....                                  | 40 |
| Figura 2-39 Fijación WILCOX sobre casco <i>Armor Source</i> [6] .....                    | 40 |
| Figura 3-1 Visión general del proceso de escaneado mediante escáneres <i>Artec</i> ..... | 42 |
| Figura 3-2 Conversión de nube de puntos a malla [54] .....                               | 42 |
| Figura 3-3 Proceso de ingeniería inversa a través de escaneo 3D [55] .....               | 43 |
| Figura 3-4 Plataforma giratoria 360° TFG AN Torralbo [10] .....                          | 44 |
| Figura 3-5 Disposición sobre mesa para escaneado con <i>Artec Space Spider</i> .....     | 44 |
| Figura 3-6 Proceso de escaneado del casco.....                                           | 45 |
| Figura 3-7 Interior casco COBAT 01 iluminado.....                                        | 45 |
| Figura 3-8 Proceso de autoalineado (arriba) y operaciones manuales (izquierda).....      | 46 |
| Figura 3-9 Operaciones realizadas por el autopiloto.....                                 | 46 |
| Figura 3-10 Modelo en el que se ven la textura y colores generado con Artec Studio ..... | 46 |
| Figura 3-11 Imperfección en el escaneo.....                                              | 47 |
| Figura 3-12 Exportar nube de puntos a Geomagic Design X.....                             | 47 |
| Figura 3-13 Proceso de modelado de Geomagic Design X.....                                | 48 |
| Figura 3-14 "Segmentar automáticamente" de Geomagic Design X .....                       | 48 |
| Figura 3-15 "Alineamiento interactivo" Geomagic Design X .....                           | 49 |
| Figura 3-16 Exportación mallado a AutoDesk Inventor profesional .....                    | 50 |
| Figura 3-17 Disposición sobre mesa para escaneado con <i>Artec EVA</i> .....             | 50 |
| Figura 3-18 Diferentes escaneos con <i>Artec EVA</i> y ruido generado.....               | 51 |
| Figura 3-19 Borrado manual de puntos no pertenecientes a la superficie del casco.....    | 52 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3-20 Alineamiento manual de la nube de puntos generada en los diferentes escaneos .....   | 52 |
| Figura 3-21 Fallos en el proceso de autoalineamiento .....                                       | 53 |
| Figura 3-22 Casco escaneado sin funda con relleno interno .....                                  | 53 |
| Figura 3-23 Casco escaneado sin alinear con planos de referencia.....                            | 54 |
| Figura 3-24 Casco escaneado alineado con planos de referencia.....                               | 54 |
| Figura 3-25 Ejecución de la herramienta "Asistente de reparación" .....                          | 55 |
| Figura 3-26 Modelo sólido del casco exportado a <i>Autodesk Inventor Professional</i> .....      | 55 |
| Figura 3-27 Imposibilidad de colocar PVS-14C a la altura de los ojos .....                       | 56 |
| Figura 3-28 Uñas frontales atalaje PVS-14C .....                                                 | 57 |
| Figura 3-29 Grietas generadas al doblar las uñas de agarre .....                                 | 57 |
| Figura 3-30 Placa de acople .....                                                                | 57 |
| Figura 3-31 Brazo Rhino acoplado a placa .....                                                   | 58 |
| Figura 3-32 Tensor atalaje PVS-14C .....                                                         | 58 |
| Figura 3-33 Calibre .....                                                                        | 59 |
| Figura 3-34 Placa de acople diseñada con <i>Autodesk Inventor Professional</i> .....             | 59 |
| Figura 3-35 Cavidad redimensionada (izquierda) y extrusión para alojar tuerca (derecha) .....    | 59 |
| Figura 3-36 Bocetos realizados en base a la geometría del casco .....                            | 60 |
| Figura 3-37 Uñas diseñadas en base a la forma del casco.....                                     | 60 |
| Figura 3-38 Ensamblaje del casco con la placa de acople.....                                     | 61 |
| Figura 3-39 Placa y uñas antes de ser unidas por otro sólido.....                                | 61 |
| Figura 3-40 Placa que debe unirse a las uñas para conformar un único sólido.....                 | 62 |
| Figura 3-41 Operación que permite unir ambos sólidos (izquierda). Uñas definitivas (derecha).... | 62 |
| Figura 3-42 Ensamblaje definitivo .....                                                          | 62 |
| Figura 3-43 Interfaz del programa Ultimaker Cura.....                                            | 63 |
| Figura 3-44 Impresora 3D <i>Ultimaker Extended 3</i> .....                                       | 64 |
| Figura 3-45 Primer prototipo placa de acople .....                                               | 65 |
| Figura 3-46 Segundo prototipo placa de acople .....                                              | 65 |
| Figura 3-47 Tercer prototipo placa de acople (derecha) .....                                     | 65 |
| Figura 3-48 Diseño original de las uñas frontales .....                                          | 66 |
| Figura 3-49 Primer prototipo uñas frontales .....                                                | 66 |
| Figura 3-50 Orientación de la pieza rediseñada (primer intento).....                             | 67 |
| Figura 3-51 Resultado del primer intento de impresión de la pieza rediseñada.....                | 67 |
| Figura 3-52 Orientación de la pieza rediseñada (segundo intento) .....                           | 67 |
| Figura 3-53 Resultado del segundo intento de impresión (izquierda) y comparación (derecha).....  | 68 |
| Figura 3-54 Placa de acople impresa con PET-CF.....                                              | 69 |

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3-55 Placa de acople y "Brazo Rhino" encajados .....                                             | 69 |
| Figura 3-56 Uñas frontales impresas con PET-CF .....                                                    | 69 |
| Figura 3-57 Modelo final ensamblado (izquierda) y "Brazo Rhino" acoplado (derecha) .....                | 70 |
| Figura 3-58 Modelo final colocado sobre el casco COBAT 01 .....                                         | 70 |
| Figura 3-59 Modelo final con visor PVS-14C acoplado .....                                               | 71 |
| Figura 4-1 Resultado de escaneo del casco con funda .....                                               | 73 |
| Figura 4-2 Fallos en el escaneo del casco con funda .....                                               | 74 |
| Figura 4-3 Errores en el mallado que impiden generar el modelo sólido .....                             | 74 |
| Figura 4-4 Resultado del escaneo (izquierda) y modelo sólido generado en Inventor (derecha) .....       | 74 |
| Figura 4-5 Resultado del diseño de la placa de acople .....                                             | 75 |
| Figura 4-6 Primer diseño de las uñas frontales (izquierda) y diseño definitivo (derecha) .....          | 76 |
| Figura 4-7 Vista de las piezas definitivas desde el ensamblaje creado en <i>Autodesk Inventor</i> ..... | 76 |
| Figura 4-8 Conjunto definitivo .....                                                                    | 76 |
| Figura 4-9 Prototipo y modelo definitivo de la placa de acople .....                                    | 77 |
| Figura 4-10 Prototipos y modelo definitivo de las uñas frontales .....                                  | 77 |
| Figura 4-11 Nuevo atalaje creado colocado sobre casco COBAT 01 .....                                    | 78 |
| Figura 4-12 Nuevo atalaje creado con "Brazo Rhino" en diferentes posiciones .....                       | 78 |
| Figura 4-13 Posibilidad de colocar PVS-14C en ambos ojos .....                                          | 79 |
| Figura 4-14 PVS-14C colocado a la altura de los ojos .....                                              | 79 |
| Figura 4-15 Colocación del PVS-14C en posiciones distintas (I) .....                                    | 80 |
| Figura 4-16 Colocación del PVS-14C en posiciones distintas (II) .....                                   | 80 |
| Figura 4-17 Alumno pasando la pista militar con el visor .....                                          | 80 |
| Figura 4-18 Alumno apuntando el fusil simulando un combate urbano .....                                 | 81 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2-1 Tabla comparativa entre <i>Artec EVA</i> y <i>Artec Space Spider</i> [25] ..... | 24 |
| Tabla 3-1 Parámetros de impresión PLA .....                                               | 64 |
| Tabla 3-2 Parámetros impresión PET-CF .....                                               | 68 |
| Tabla 4-1 Cálculo de costes del atalaje diseñado .....                                    | 82 |



## 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En la guerra, identificar la posición del enemigo siempre ha sido sinónimo de victoria. Hoy en día existen múltiples opciones para la obtención de inteligencia: satélites, drones, cámaras térmicas, dispositivos de escucha, etc. Sin embargo, hasta hace muy poco la única fuente de inteligencia disponible era el propio ser humano. Éste, puede captar información de su entorno mediante el tacto, el gusto, el olfato, la vista y el oído. Todos ellos son válidos tanto de día como de noche, a excepción de uno: la vista.

En el ámbito militar, la vista se emplea para casi cualquier tipo de operación. Desde apuntar el fusil, hasta corregir fuego de artillería, reconocer objetivos, conducir de vehículos y aeronaves, y un largo sinfín de acciones. Las luces por las noches son fácilmente identificables, una simple linterna en la oscuridad puede verse a kilómetros. Obviamente, el hecho de ser detectado a kilómetros por una luz condiciona las operaciones. Queda claro entonces, que el momento en el que una unidad es más vulnerable es durante el arco nocturno. No tienen la capacidad de emplear sus medios de combate, no tienen la capacidad de llevar a cabo reconocimientos y por supuesto no pueden emplear luces. Aquel que consiguiese ver de noche cambiaría el desenlace de cualquier conflicto. Convertiría la mayor debilidad de una fuerza en su principal ventaja frente al enemigo. Podría aprovechar y atacar al enemigo sin ser visto, como si de un fantasma se tratase. Las opciones son infinitas, se pueden realizar ataques de artillería nocturnos, movilizar vehículos a través de carretera durante el arco nocturno, acercarse mucho más al objetivo para poder realizar un reconocimiento nocturno, etc. En resumen, aquel que pueda emplear la vista, también de noche, habrá cambiado las tornas del juego para siempre. Tendrá siempre el factor sorpresa de su lado.

Los ejércitos trataron rápidamente de dotar a sus tropas con esta capacidad de visión nocturna. La aparición del combate urbano lo convirtió en una necesidad aún más crítica [Figura 1-1]. El campo abierto puede llegar a tener suficiente visibilidad gracias a la luz de la luna. Sin embargo, un edificio o una casa, por lo general, son lugares oscuros en los que disponer de visión nocturna pueden resultar clave en una operación.



**Figura 1-1 Zona urbanizada con escasa visibilidad vista desde un visor nocturno [1]**

Desde la década de los 80, unidades de operaciones especiales comenzaron a dotar a sus miembros con gafas de visión nocturna. La tecnología había sido capaz de desarrollar un sistema portátil, individual y robusto, que permitía a los soldados ver en la oscuridad. Ésto supuso un cambio gigantesco en la táctica, esta nueva capacidad permitía atacar sin ser vistos. Un nuevo mundo de posibilidades se abrió gracias a las operaciones nocturnas. Insertarse hasta un objetivo sin ser detectados gracias a la oscuridad suelen ser operaciones propias de unidades de élite. Sin embargo, el entorno operativo evoluciona y cada vez más, unidades de fuerzas regulares aplican estas técnicas y procedimientos. Es por ello que, desde hace ya años también se dota a estas unidades de visión nocturna.

La fuerza de Infantería de Marina (FIM), como unidad puntera que es dentro de las fuerzas armadas españolas, cuenta con un gran número de estos dispositivos divididos entre sus tres ramas: Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE), Tercio de armada (TEAR) y Fuerza de Protección (FUPRO). En la unidad de operaciones especiales (FGNE) las gafas de visión nocturna (NVG: *night vision goggles*) forman parte del equipo individual de cada combatiente [Figura 1-2]. En el TEAR estos dispositivos se encuentran en la mayoría de las compañías de fusiles y unidades de reconocimiento. Además, la FUPRO los integra en sus equipos operativos de seguridad (EOS). Para éstos últimos, las gafas de visión nocturna son de gran importancia pues entre sus cometidos se encuentra el de abordar y registrar buques y embarcaciones. Escenarios que, por lo general, suelen tener muchos compartimentos con escasa luminosidad.



**Figura 1-2 Miembros de operaciones especiales con gafas de visión nocturna individuales [2]**

## 1.1 Motivación

La ciencia y la tecnología evolucionan y con ella las necesidades de los combatientes. Continuamente se están mejorando los equipamientos y materiales empleados por los militares. Se busca la ligereza, comodidad, ergonomía, etc. Cada vez los chalecos antibalas son más pequeños, pesan menos y gracias a la tecnología siguen ofreciendo las mismas garantías de seguridad o incluso las superan. Todo se intenta hacer más pequeño, se busca que el combatiente se sienta cómodo con su equipamiento y que le permita hacer todo tipo de actividades. Vemos claramente como este cambio ha afectado también a los fusiles: el combate urbano ha obligado a hacer los fusiles más cortos, más manejables. Por supuesto, también ha afectado a los cascos. Y aquí es donde empieza a plantearse la necesidad que intentaremos solventar en este Trabajo de Fin de Grado. Al igual que los fusiles y los chalecos, se busca diseñar cascos cada vez menos pesados, más ergonómicos y cómodos. El casco es un elemento fundamental del soldado, no solo por la protección que ofrece sino porque cada vez más se tiende a acoplar al casco multitud de sistemas. Hoy en día los cascos se diseñan para que puedan anclarse a él linternas, auriculares, cámaras y por supuesto gafas de visión nocturna [Figura 1-3] [Figura 1-4].



**Figura 1-3 Casco configurado con visión nocturna, auriculares y micrófono y linterna [3]**



**Figura 1-4 Casco con placa Wilcox frontal para acoplar cámaras o visores nocturnos [2]**

El ejército español también ha ido siguiendo esta evolución, desde que aparecieron los primeros visores nocturnos se diseñaron cascos y atalajes que permitiesen anclarlos de manera que el visor quedase a la altura de los ojos. El casco MARTE protegió a los soldados españoles durante más de tres décadas. Como es lógico, la tecnología avanzó y fue desarrollando multitud de gafas de visión nocturna. Para todas ellas se fueron diseñando atalajes que las hiciesen compatible con dicho casco [Figura 1-5] [Figura 1-6].



**Figura 1-5 Casco MARTE con atalaje para acoplar visor nocturno**



**Figura 1-6 Atalaje a casco MARTE soporte de visión nocturna [4]**

Aproximadamente en 2018 las unidades de Infantería de Marina comenzaron a sustituir el casco MARTE por el casco COBAT 01. A pesar de ser un casco que supera con creces al MARTE en comodidad y protección, existe un problema de compatibilidad con el atalaje para acoplar los visores nocturnos. Este es el problema que se va a abordar en este trabajo, se va a diseñar un atalaje que permita acoplar las gafas de visión nocturna al casco COBAT 01. A pesar de que existen multitud de alternativas, es de gran necesidad diseñar una pieza que permita el acople y desacople del visor. Algunas de las soluciones que se han adoptado han sido la adquisición de nuevos cascos (como es el caso de las unidades de operaciones especiales), otras unidades han optado por taladrar el casco y fijarle una placa de acople [Figura 1-7]. Sin embargo, estas soluciones no son óptimas puesto que la gran mayoría de las fuerzas armadas españolas cuentan hoy en día con el casco COBAT 01, de reciente adquisición, y perforar el casco para fijarle la placa puede hacer que pierda propiedades estructurales. Es preferible una solución que no modifique ni afecte de ninguna manera el casco.



**Figura 1-7 Casco Mich 500 con acople para visor nocturno [5]**

Esta necesidad fue principalmente lo que me motivó a seleccionar este trabajo. Las fuerzas armadas tienen una necesidad real. Hoy en día, con la vida útil del casco MARTE sobrepasada y con la gran mayoría de las unidades usando ya el casco COBAT 01, se están empleando atalajes incompatibles. Debido a su estructura y configuración, se ha apreciado la imposibilidad de acoplar la mayor parte de los diferentes modelos de intensificadores de luz en servicio en la Brigada de Infantería de Marina. Esto conlleva a una no capacidad de realizar un combate nocturno efectivo con este casco. La principal deficiencia se debe a que las uñas de la parte frontal no llegan a “abrazar o morder” el casco con una superficie suficiente para permitir que el soporte del visor quede trincado o sujeto de una forma efectiva [Figura 1-8] [Figura 1-9] [6].

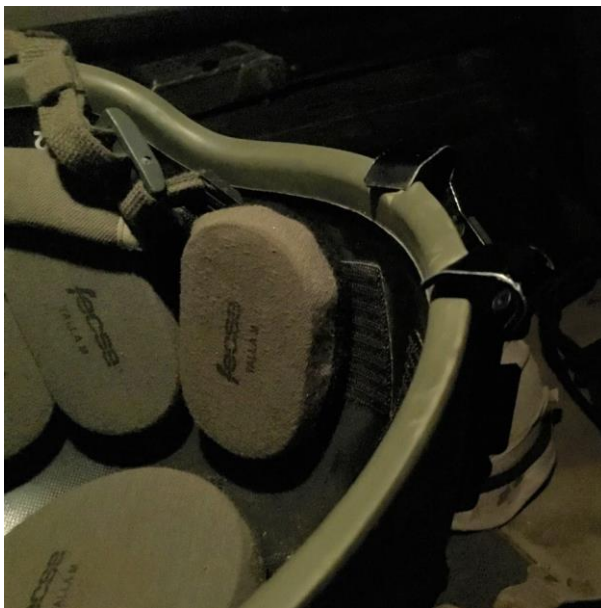


**Figura 1-8 Uñas frontales del atalaje sobre casco COBAT 01 [6]**



**Figura 1-9 Uñas frontales del atalaje sobre casco COBAT 01 vista lateral [6]**

La generación de un modelo 3D del casco permite diseñar, a partir de él, una pieza compatible con el casco COBAT 01. La imposibilidad en muchos casos, de conseguir generar dichos modelos partiendo de planos de diseño, puesto que se trata de tecnología militar de difícil acceso, conduce a la utilización de la ingeniería inversa como método para conseguirlo. Por otro lado, la creación de los dispositivos de

escaneado 3D, ha constituido una revolución en la manera de aplicar esta ingeniería inversa en multitud de campos, como puede ser la arqueología, la paleontología, la arquitectura o la topografía, entre otros. Adopta gran importancia dentro la ingeniería mecánica siendo esencial en el desarrollo de modelos CAE (*Computer Aided Engineering*) para simulación digital, modificación de diseños ya existentes u optimización de procesos de fabricación.

Concretamente en la industria militar, estas técnicas de escaneo 3D están expandiéndose notablemente. Se aplica actualmente, por ejemplo, sobre vehículos dañados. Se escanean las formas o dimensiones de las partes dañadas para determinar así, el alcance exacto del daño y proceder a su reparación. En el ámbito de la tecnología aeroespacial también se hace uso de la ingeniería inversa y el escaneo 3D para diseñar, analizar, producir, mantener y reparar aeronaves [Figura 1-10]. La principal ventaja del escaneo 3D es que permite obtener archivos CAD de componentes existentes de manera rápida y precisa [7].

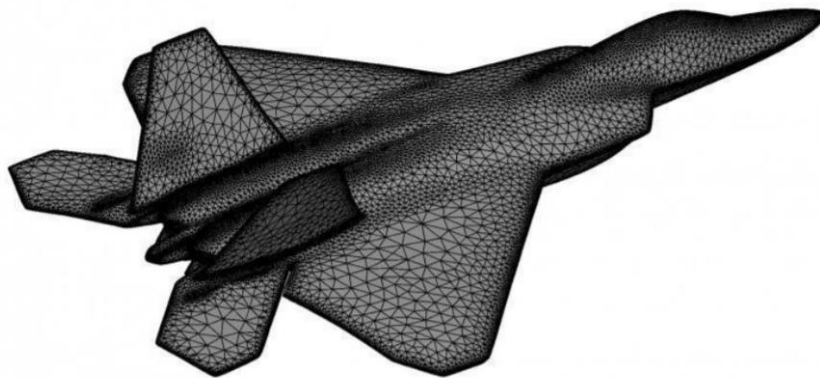


**Figura 1-10 Escaneo del avión F-22 "Raptor" [7]**

En resumen, el escaneo 3D sirve para capturar la geometría de un objeto para después formar un modelo 3D del mismo. Es decir, podemos convertir un objeto real, en uno virtual que podemos manipular con ordenadores y programas especializados [8]. En este Trabajo Fin de Grado (TFG) se escanearán las superficies y formas del casco COBAT 01, para así poder crear un modelo 3D del mismo y diseñar mediante programas CAD una pieza que permita anclar un visor nocturno [Figura 1-11].



**Figura 1-11 Modelo 3D casco COBAT 01 [7]**

Miembros del Ejército de Tierra ya han propuesto una solución interina. Se trata de un “taco” impreso en 3D, diseñado para cambiar el ángulo de entrada de las pinzas de agarre del atalaje y sea compatible con el casco COBAT 01.

En definitiva, la principal motivación de este TFG surge de aunar la creciente inclusión de las técnicas de escaneo 3D en la industria militar, con la necesidad de proporcionar a las Fuerzas Armadas

españolas (FAS) una solución definitiva a la incompatibilidad del casco COBAT 01 con la gran mayoría de intensificadores de luz. Pretende resolver la urgente necesidad de poder acoplar correctamente un intensificador de luz al nuevo casco COBAT 01 para poder recuperar la capacidad de realizar un combate nocturno efectivo.

## 1.2 Objetivos

Esta motivación se materializa en un objetivo principal: modificar mediante técnicas de ingeniería inversa, el atalaje de casco, ya existente para el casco MARTE, de manera que permita acoplar correctamente el visor PVS-14C al casco COBAT 01. Alcanzar este objetivo requerirá superar los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar una pieza compatible con el casco COBAT 01 que permita acoplar los distintos intensificadores de luz que dispone el cuerpo de Infantería de Marina por medio del escaneo 3D y el modelado CAD.
- Explorar la viabilidad de los distintos escáneres de mano para la obtención de la geometría del casco COBAT 01 y ciertas piezas del atalaje actual. Analizar las operaciones necesarias para el tratamiento de la nube de puntos obtenida de los escaneos y el método a seguir para la generación del sólido.
- Estudiar la viabilidad de sustituir piezas realizadas mediante procedimientos convencionales por otras obtenidas mediante impresión 3D.
- Seleccionar los materiales necesarios para resistir al demandante entorno en los que se desarrollan las operaciones militares actuales.

Para cumplir dichos objetivos específicos, es necesario realizar las siguientes tareas:

- Generar la nube de puntos del casco mediante el empleo de escáneres 3D.
- Obtener los archivos .stl (*Standar Triangular Language*) generados a partir de la nube de puntos.
- Transformar esos archivos .stl a archivos CAD (*Computer Aided Design*) mediante los *software* Geomagic Design X y Autodesk Inventor Professional.
- Crear o modificar los modelos de piezas necesarios para el correcto acoplamiento del visor al casco, empleando Autodesk Inventor Professional.
- Generar los modelos físicos de las piezas, utilizando la impresión 3D como medio de obtención.



## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Ingeniería inversa

La ingeniería inversa se basa en desmontar un objeto y volver a montarlo para ver como funciona. Se observa cómo está construido y como funciona un objeto, proceso, programa o sistema con la intención de mejorarlo o duplicarlo [9]. Se llevan a cabo una serie de acciones basadas en el razonamiento abductivo para buscar las diferentes propiedades mecánicas y tecnológicas, modos de funcionamiento y todo aquello que sea necesario para obtener un objeto parecido o igual al original sin llegar a poseer los planos, datos y materiales del objeto estudiado. Los objetivos de la ingeniería inversa son obtener la mayor cantidad de información técnica de un producto del cual no se tiene la más mínima información. Se trata de realizar un proceso de aprendizaje hacia atrás [10].

#### 2.1.1 Historia

En todas las fases de la historia, ha estado presente el concepto de coger algo que no ha sido de nuestra propia invención y hacer algo parecido, o incluso mejorarlo, según las ideas y técnicas que hemos aprendido de esa invención ajena. Este proceso no era otra cosa que ingeniería inversa.

Los efectos de la ingeniería inversa son notables desde las antiguas civilizaciones. Ya en la época de los egipcios se empleaban estas técnicas. Capturaron un carro al ejército Asirio y lo mejoraron. Gracias a él dominaron la región durante muchos años [11]. A medida que avanzaba la historia, evolucionaba el pensamiento humano y con él la ingeniería y la tecnología. Con la llegada de la revolución industrial las fábricas y empresas desarrollaron mecanismos y tecnologías que transformaron el mundo. En este punto comenzó a implementarse de un modo más riguroso la ingeniería inversa, convirtiéndose el sector industrial en una carrera por obtener las tecnologías más avanzadas [10] [7].

La ingeniería inversa siempre ha jugado un papel en el ámbito bélico. Tener el arma más poderosa o tener los conocimientos suficientes para inhabilitar las armas enemigas pueden inclinar de manera significativa la balanza. El objetivo siempre ha sido poseer o robar armas enemigas para poder estudiarlas y posteriormente crear métodos de defensa contra ellas, recrearlas o mejorarlas. Es por ello, que la ingeniería inversa ha jugado un papel tan importante en todos los últimos escenarios bélicos. En la segunda guerra mundial se presenciaron multitud de ejemplos de ello, el continuo desarrollo armamentístico de ambos bandos produjo que todo material o arma enemiga fuera analizada y registrada a fondo. Un acontecimiento que supuso un punto crítico en el conflicto fue el descifrado de la máquina “*Enigma*.” Los británicos encontraron en un avión alemán derribado las claves del sistema “*Enigma*”. Gracias a un estudio hacia atrás pudieron descifrar el complejo sistema de cifrado alemán. Además, cuando la tripulación de un *U-Boot* alemán tuvo que abandonar el submarino, dejaron a bordo la máquina de descifrado “*Enigma*” más avanzada del momento. Los británicos estudiaron a fondo su

funcionamiento y consiguieron descifrar el código de mensajería alemán, lo cual supuso una ventaja muy significativa para los aliados contra los submarinos alemanes [12]. No fue éste el único ejemplo de empleo de la ingeniería inversa de la segunda guerra mundial. Los japoneses decidieron construir un caza-interceptor propulsado por cohete denominado: J8M “*Shushi*” [Figura 2-1]. Esta necesidad surgió de la preocupación que generaban los bombarderos americanos. Ante el poco tiempo del que disponían para diseñar un prototipo, decidieron comprar la licencia del Messerschmitt Me 163 “*Komet*” a los alemanes [Figura 2-2]. Los submarinos que transportaban los materiales y planos no llegaron al archipiélago japonés por lo que los científicos tuvieron que echar mano de la ingeniería inversa para diseñar un prototipo ayudándose de unos manuales de vuelo y unos planos técnicos [13].

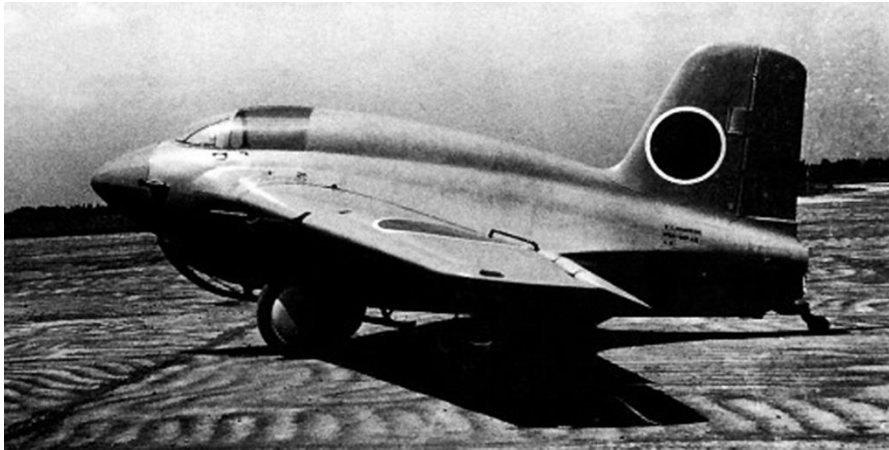


**Figura 2-1 Mitsubishi J8M "Shushi" [13]**



**Figura 2-2 Messerschmitt Me 163 "Komet" [14]**

También en la segunda guerra mundial, los rusos diseñaron mediante ingeniería inversa, gracias unas aeronaves requisadas a los Estados Unidos, una réplica del bombardero americano Boieng B-29 “*Superfortress*” [Figura 2-3] [Figura 2-4].



**Figura 2-3 Tupolev Tu-4 [15]**



**Figura 2-4 Boeing B-29 "Superfortress" [16]**

Durante la guerra fría se encuentran también ejemplos de uso de ingeniería inversa. Una aeronave taiwanesa disparó un misil AIM-9B estadounidense a un caza MiG-17 chino. El misil impactó en la aeronave pero no detonó, se quedó incrustado en el fuselaje del caza. Se entregó el misil a los soviéticos y éstos a través de ingeniería inversa desarrollaron el misil R-3 que fue exportado a multitud de países del Pacto de Varsovia [Figura 2-5] [17].

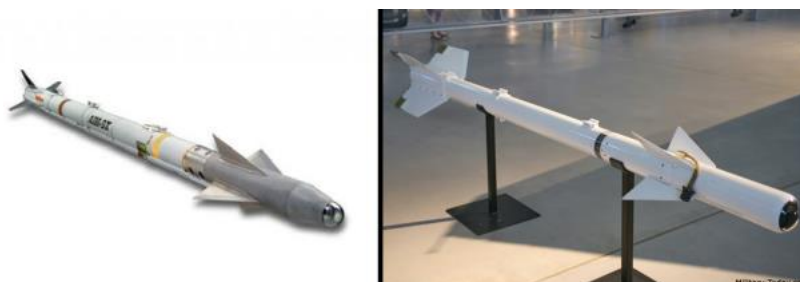


**Figura 2-5 Comparativa de misil SideWinder (izquierda) y misil R-3 (derecha) [17]**

Actualmente, las técnicas de ingeniería inversa se emplean en todos los campos. Sin embargo, a finales de siglo cobró especial importancia en la ingeniería de computación. Por aquellos entonces IBM poseía el monopolio del PC. Gracias al método de “habitación limpia” (*clean room design*) “Compaq” obtuvo la tecnología de su sistema operativo BIOS. El diseño en sala limpia es una metodología que se emplea para evitar infringir derechos de autor ni secretos comerciales. En otras palabras, se desarrolla un producto en un ambiente “limpio”, no emplea conocimientos del producto desarrollado por la competencia. Mediante ingeniería inversa se creaba el código desde cero. De esta manera se evadían los derechos de autores y se evitaba infringir leyes que acarren procesos jurídicos con la competencia por violación de patentes [18]. Sin embargo, no siempre se ha conseguido evitar quebrantar patentes del competidor. Los dos gigantes de la tecnología móvil, Samsung y Apple se vieron inmersos en un juicio en el que se sentenciaba a Samsung a pagar 1.050 millones de dólares por infracción de patentes de la empresa americana en 2012 y otros 539 millones de dólares en 2018 [19].

La ingeniería inversa también tiene su utilidad en el campo de la mecánica, en concreto en el ámbito de diseño. Permite obtener el archivo CAD de la geometría de piezas cuya producción está extinta para su análisis, mejora y mantenimiento, y la reducción en los procesos y tiempos de entrega de los productos.

### 2.1.2 Tipos de escáner 3D

Para la aplicación de la ingeniería de inversa en el ámbito del rediseño y de la mecánica lo primero es la reconstrucción de la geometría del objeto con técnicas como por ejemplo: los escáneres 3D. Esta técnica consiste en capturar la información geométrica de los objetos mediante diversas tecnologías de adquisición de datos en masa. Estas herramientas miden los objetos en 3 dimensiones y la almacenan para manipularla posteriormente [10]. Este proceso está compuesto por tres etapas [20]:

- Adquisición de la nube de puntos; ésta puede ser segmentada o no. En el caso de ser segmentada, se seleccionan los puntos manualmente y a través de ellos se generan las entidades de geometría de referencia. Por ultimo, se fijan las superficies que conforman el objeto en 3D. En caso de ser no segmentada, a través de los procesos de poligonización se formarán las superficies del objeto.
- Poligonización: se puede hacer mediante los modelos NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) y mallas poligonales (triángulos). El método más sencillo es hacer mallas de triangulos con el fin de obtener las características topológicas de la superficie del objeto partiendo de los puntos obtenidos de la nube de puntos [Figura 2-6].

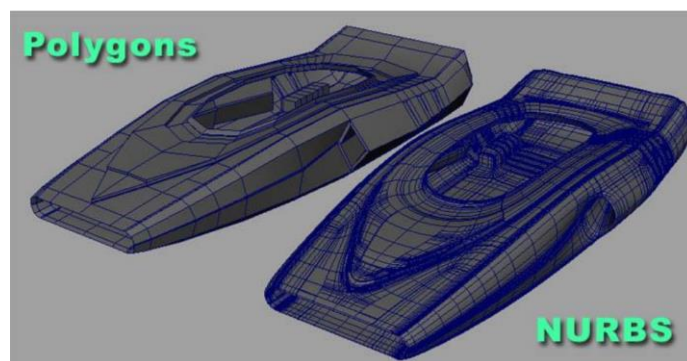


Figura 2-6 Archivos obtenidos de una base de puntos según método de poligonización [21]

- Refinado y creación del modelo: Existe la posibilidad de que en el primer resultado existan mallas superpuestas. Para ello existe el refinado: se depura el archivo hasta que se obtiene un resultado de buena calidad. Las superficies del objeto se convertirán en archivos CAD (*computed-aided design*) y archivos stl. Éstos últimos son los archivos con los que generalmente trabajan las impresoras 3D. La calidad depende del número de triángulos realizados. A mayor número de triángulos, mayor calidad pero es directamente proporcional al peso del archivo. Hay que llegar a un justo medio entre calidad y peso del archivo stl. Además, la calidad de los modelos dependerá de la precisión del instrumento de medición y del uso del software con el fin de mejorar el resultado inicial.

Los escáneres pueden dividirse en dos ramas principales [22]:

#### 1. Escáneres de contacto:

Estos digitalizadores están formados por un palpador que se encarga del contacto con la pieza y un sistema de medición del desplazamiento mediante sensores. La nube de puntos se obtiene determinando las coordenadas a través de dichos sensores. Es necesario determinar un origen de coordenadas para poder determinar la posición del palpador. El ejemplo más claro de este tipo de escáneres es la Máquina de Medición por Coordenadas (MMC) [Figura 2-7].

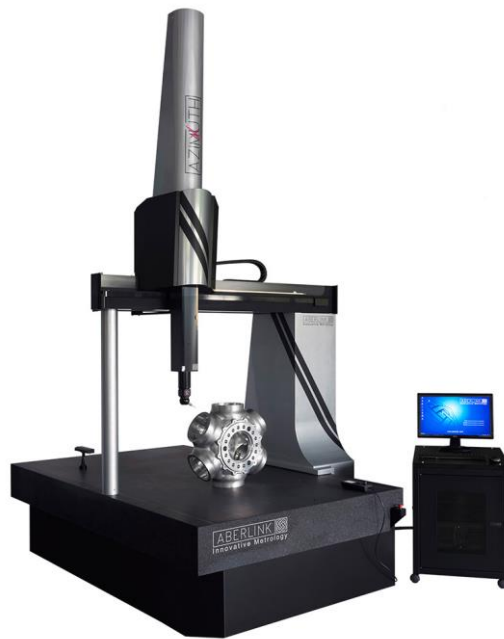


**Figura 2-7 Maquina de medición por coordenadas [23]**

2. Escáneres de no contacto:

Estas técnicas usan los principios físicos de la óptica, acústica, o magnetismo para la captura de información de los objetos, los más utilizados son los escáneres que utilizan el principio de triangulación debido a su sencillez y funcionalidad. La posición de los puntos se obtiene a partir de dos cámaras o una cámara y un haz de luz de una distancia conocida, estos obtienen un lado de un triángulo y después según los procedimientos de triangulación se obtiene la posición del punto [Figura 2-8]. Los más utilizados a nivel industrial son el escáner láser y el escáner óptico.

Obtienen la superficie de la pieza a través de la malla poligonal de triángulos. Esta malla conforma el objeto y se somete a un proceso de refinado para eliminar las mallas ocasionadas por el ruido superficies ajenas. Estos escáneres de no contacto son ideales para medir piezas con geometrías complejas y deformaciones puesto que no requieren contacto con el objeto.

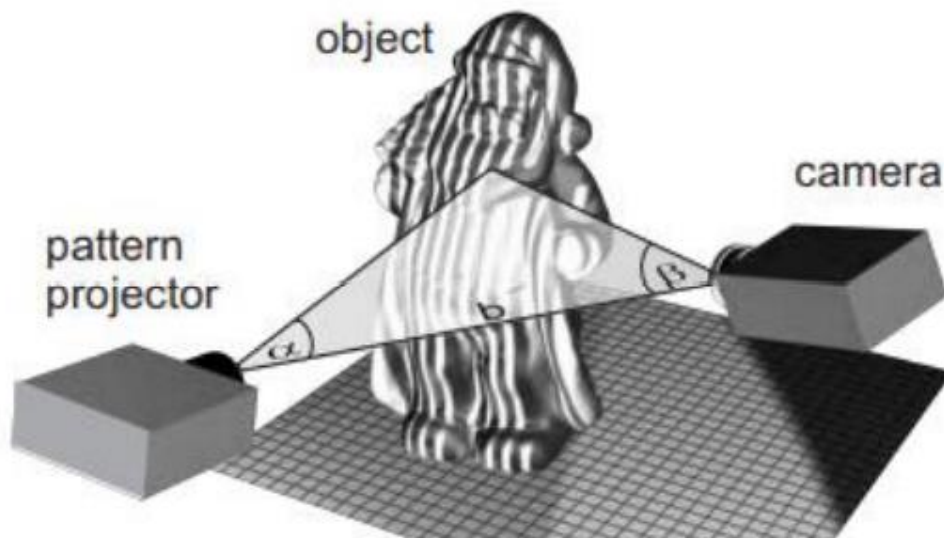


**Figura 2-8 Escáner de no contacto que emplea el principio de triangulación [24]**

### 3. Otros:

Aparte de los escáneres de no contacto que emplean el principio de triangulación, existen otras técnicas para conseguir una representación precisa del objeto. Los más conocidos son: los métodos basados en el tiempo de vuelo y los métodos *Shape-from-Shading*. El primero consiste en determinar la posición de un punto según el tiempo que tarda una onda (ultrasonidos, infrarrojo, un haz de luz laser) en reflejarse sobre la superficie del objeto y regresar al dispositivo. El segundo consiste en representar los modelos 3D mediante la asignación de colores a los píxeles. La superficie de un objeto se determina según la gama cromática. Empleando esta técnica no es posible determinar la geometría completa del objeto, es por ello que no suele utilizarse como metodología para aplicar ingeniería inversa.

Para la realización de este TFG se dispone de dos escáneres: el *Artec Space Spider* y el *Artec EVA*. Ambos son escáneres de no contacto que emplean el principio de triangulación [25].

El *Artec Space Spider* es un escáner constituido por una cámara y un haz de luz. A diferencia de los escáneres básicos, éste emplea tecnología de luz azul. Gracias a ello, puede capturar una mayor cantidad de puntos y obtener modelos de elevada precisión. Es por lo tanto considerado un escáner de alta resolución, hasta 0.1 mm. De acuerdo con [26], fue diseñado especialmente para ser empleado en la Estación Espacial, permite realizar escaneos con una precisión invariable durante el tiempo gracias al estabilizador de temperatura. Su rango de escaneo oscila entre los veinte y treinta centímetros y su precio es de 19.700 dólares [Figura 2-9].



**Figura 2-9** Escáner *Artec Space Spider* [27]

El *Artec EVA* es un escáner de portátil que emplea el principio de luz estructurada para realizar la triangulación. A diferencia del *Space Spider* que proporciona 7,5 fotogramas por segundo, el *EVA* proporciona 16 fps, lo que le permite capturar los objetos a una velocidad mayor. Además, gracias a su *software* interno que le permite superponer los sucesivos escaneos, el propio sistema realiza modelos bastante cercanos a la realidad. Conectado al ordenador, permite al usuario visualizar en tiempo real el escaneo que se está llevando a cabo para detectar errores y comprobar los resultados de este. Este sistema agiliza el escaneo pues tiene un rango de escaneo más elevado que el *Artec Space Spider*, alcanza hasta un metro. Sin embargo, por la misma razón, pierde definición. Su precio ronda los 20.000 dólares y fue nombrado en 2015 como el mejor escáner inferior a 50.000 dólares según la empresa iReviews [Figura 2-10].



Figura 2-10 Escáner Artec EVA [25]

A continuación, se va a realizar una comparativa entre ambos escáneres y sus respectivas aplicaciones. El *Space spider* es un dispositivo orientado hacia piezas más pequeñas y geometrías más complejas debido a su mayor resolución. Por otra parte, el escáner *Artec EVA*, como ya se ha mencionado anteriormente, permite una mayor flexibilidad a la hora de realizar el escaneo pues cubre una mayor superficie. Sin embargo, ofrece resultados de menos calidad. Se concluye que, por lo tanto, el *Artec EVA* es más adecuado para piezas de mayor tamaño [Figura 2-11]. Es también importante reseñar que el precio de ambos es prácticamente idéntico, siendo el *Artec EVA* 100 dólares más caro que el *Artec Space Spider*.



Figura 2-11 Empleo más adecuado de cada uno de los escáneres [25]

Se proporciona a continuación una tabla comparativa [Tabla 2-1] entre los parámetros de cada uno de los dispositivos [25]:

|                                                         |  |  |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Especificaciones generales                              |                                                                                   |                                                                                     |
| Resolución 3D                                           | Hasta 0,5 mm                                                                      | Hasta 0,1 mm                                                                        |
| Precisión de punto 3D                                   | Hasta 0,1 mm                                                                      | Hasta 0,05 mm                                                                       |
| Precisión 3D respecto de la distancia                   | Hasta 0,03% sobre 100 cm                                                          |                                                                                     |
| Colores                                                 | 24 bpp                                                                            |                                                                                     |
| Resolución de textura                                   | 1,3 mp                                                                            |                                                                                     |
| Fuente de luz                                           | Bombilla tipo flash (sin laser)                                                   | LED azul                                                                            |
| Distancia de trabajo                                    | 0,4 – 1 m                                                                         | 0,2 – 0,3 m                                                                         |
| Área de escaneado, Alto x Ancho en el rango más cercano | 214 x 148 mm                                                                      | 90 x 70 mm                                                                          |
| Área de escaneado, Alto x Ancho en el rango más lejano  | 536 x 371 mm                                                                      | 180 x 140 mm                                                                        |
| Campo de visión angular, Alto x Ancho                   | 30 x 21°                                                                          |                                                                                     |
| Relación de fotogramas de video                         | 16 fps                                                                            | 7,5 fps                                                                             |
| Tiempo de exposición                                    | 0,0002 s                                                                          | 0,0005 s                                                                            |
| Velocidad de obtención de datos                         | Hasta 2 000 000 puntos/s                                                          | Hasta 1 000 000 puntos/s                                                            |
| Procesador Multi core                                   | Si                                                                                |                                                                                     |
| Formatos de salida                                      |                                                                                   |                                                                                     |
| Formatos de malla 3D                                    | OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, Disney PTEX, E57, XYZRGB                          |                                                                                     |
| Formatos de salida para las medidas                     | CSV, DXF, XML                                                                     |                                                                                     |
| Formatos de nube de puntos 3D                           | BTX, PTX                                                                          |                                                                                     |
| Especificaciones comunes                                |                                                                                   |                                                                                     |
| Peso                                                    | 0,9 kg                                                                            | 0,8 kg                                                                              |
| Dimensiones Alto x Profundidad x Ancho                  | 262 x 158 x 63 mm                                                                 | 190 x 140 x 130 mm                                                                  |
| Consumo de energía                                      | 12V, 48W                                                                          | 12V, 24W                                                                            |
| Interfaz                                                | 1 x USB 2.0, <a href="#">compatible con USB 3.0</a>                               |                                                                                     |
| Capacidad de procesamiento                              | 40'000'000 triángulos/ 1 GB RAM                                                   |                                                                                     |

**Tabla 2-1 Tabla comparativa entre Artec EVA y Artec Space Spider [25]**

### 2.1.3 Softwares usados

Es indispensable antes de presentar los distintos *softwares* que se emplearán a lo largo de este TFG entender qué es un sistema CAD. *Computer-Aided Design* consiste en incorporar a las actividades de diseño distintas herramientas de computación, tanto *software* como *hardware*. Se emplean programas de ordenador para modificar, analizar o crear representaciones gráficas, ya sean en 2D o en 3D, de objetos físicos. Permite a los diseñadores interactuar con las variantes del modelo sin necesidad de crear un prototipo físico. El empleo de sistemas CAD permite reducir los costes de desarrollo de productos, agiliza el proceso de diseño mejorando la productividad y reduciendo el tiempo de lanzamiento al mercado; y asegura la calidad pues permite probar de forma interactiva los modelos diseñados [28].

El principal éxito del diseño asistido por ordenador (CAD) es la reducción del tiempo empleado en el ciclo de diseño. Gracias a poder interactuar gráficamente con el modelo se pueden visualizar al instante las modificaciones realizadas al modelo. También permiten realizar simulaciones, análisis y estudios tensionales FEM (*Finite Element Method*) con el objetivo de encontrar posibles problemas estructurales [Figura 2-12].

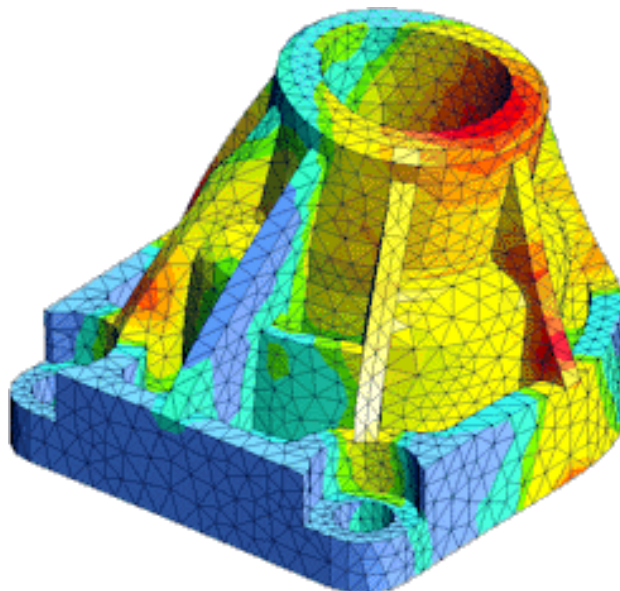


**Figura 2-12 Pieza sometida a estudio FEM para analizar posibles problemas estructurales [29]**

#### 2.1.3.1 Artec Studio 14

Es el *software* comercializado por la propia empresa Artec, está diseñado para representar los datos obtenidos mediante los escáneres de la marca. Procesa los datos instantáneamente lo que permite generar los resultados del escaneo con gran precisión [Figura 2-14]. El éxito de este programa reside en su fácil e intuitivo manejo, el usuario puede editar y procesar gran cantidad de datos 3D de manera sencilla. Destaca por su gran potencia y por su amplia gama de funcionalidades, permite realizar el filtrado, fusión y texturizado del modelo, tanto de manera manual como de manera automática. El procesado automático permite obtener de manera rápida y sencilla un resultado fiable; para casos complejos se emplearía el procesado manual. Además, puede procesar conjuntos de datos de hasta quinientos millones de polígonos generando resultados muy precisos y completos. Facilita el escaneo mediante un sistema Radar 3D que le otorga la posibilidad al usuario de ver lo que se está escaneando y la eficiencia con la que está realizando el escaneo, mostrando la distancia a la que se encuentra el dispositivo mediante una gama de colores. Esta herramienta muestra en verde la distancia óptima de escaneo, azul cuando se aleja y rojo cuando se acerca de más. De igual manera sucede en la escala vertical, siendo el blanco el color elegido para la distancia vertical óptima [Figura 2-13] [30].

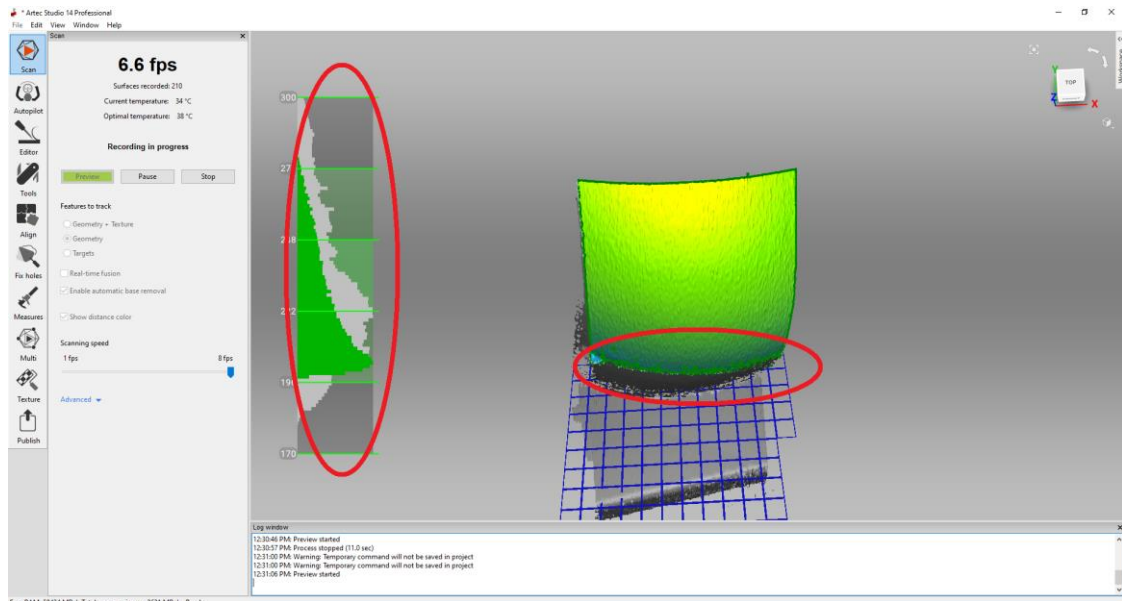


**Figura 2-13 Artec Studio mostrando gama de colores y precisión [7]**



**Figura 2-14 Visualización instantánea de proceso de escaneado [30]**

Una de las razones por las que tantos usuarios se decantan por este programa es su compatibilidad con otros softwares 3D como Autodesk Inventor o Geomagic Design X, programas que se van a emplear también en este TFG.

### 2.1.3.2 Autodesk Inventor Professional

Lanzado en 1999 por la empresa Autodesk, Inventor es uno de los programas líderes de diseño y modelado de sólidos 3D. El usuario puede realizar desde la generación y diseño del sólido, pasando por el modelado y ensamblado del mismo hasta la simulación del resultado final [31]. Como vemos en la Figura 2-15, el programa presenta un entorno de trabajo muy intuitivo y permite realizar modelos de distinta índole: diseño de una pieza, ensamblado de piezas, generación de dibujos y planos; y presentación de distintos modelos ya generados.

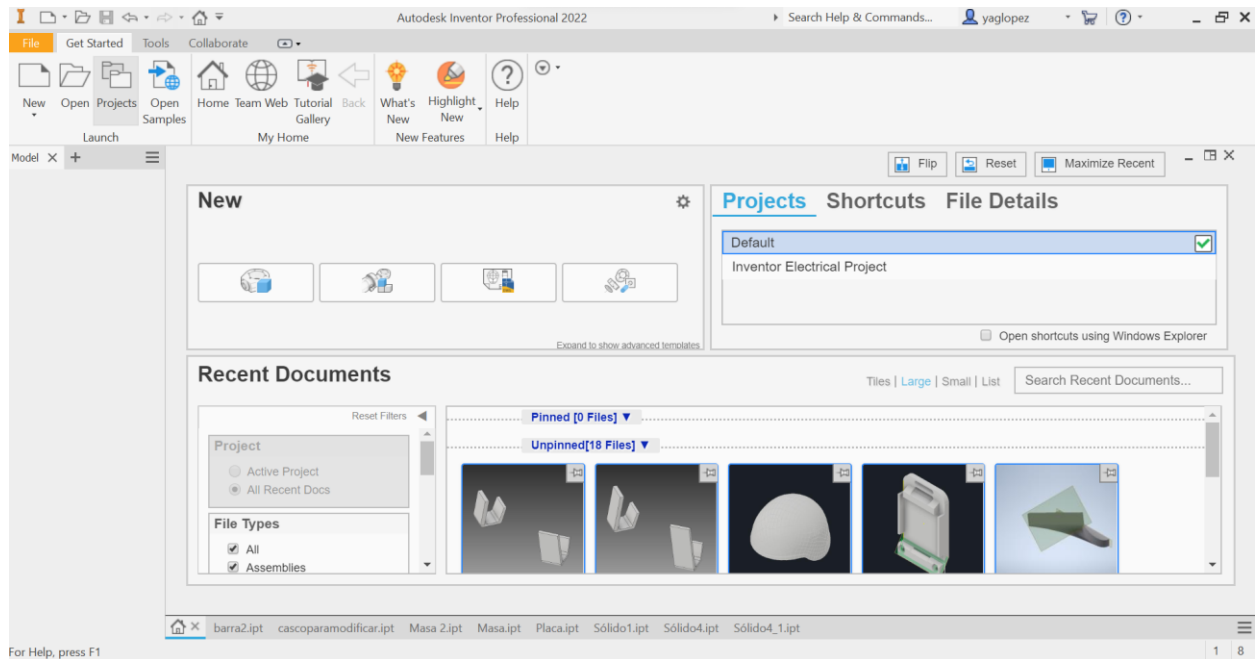


**Figura 2-15** Página inicial de Autodesk Inventor Professional

Inventor destaca por su gran productividad, debido a su sencillez permite al usuario ser productivo desde el primer día. Ser fácilmente manejable no le impide desarrollar un alto rendimiento, maneja ensamblajes de miles de piezas con una eficacia sobresaliente [Figura 2-16] [32]. Además, el *software* permite trabajar con gran cantidad de formatos de archivos. Durante este TFG se va a trabajar con la importación de archivos stl, los cuales son totalmente compatibles con el programa. Gracias al modo de trabajo de simulación y análisis de esfuerzos del que dispone el programa, se puede simular cómo responderán los objetos de estudio ante diferentes situaciones y cargas.

El mismo *software* ofrece capacidades CAD, CAE y CAM y permite trabajar con multitud de archivos (ipt, dwg, dwf, pdf, ...); esto sumado a su potente rendimiento convierten a Autodesk Inventor profesional en una herramienta puntera en el sector de diseño y modelado de sólidos 3D [31] [33].



**Figura 2-16** Ensamblaje de piezas realizado con Autodesk Inventor Professional [34]

### 2.1.3.3 Geomagic Design X

Geomagic design X es un software único en su clase, crea modelos CAD a partir de escaneos 3D de alta calidad. Es el programa de ingeniería inversa más rápido, preciso y confiable del mercado. Ofrece gran exactitud a la hora de ajustar superficies de escaneos 3D orgánicos. Este programa permite a su usuario reconstruir datos CAD para moldes y herramientas rotos, recrear datos CAD de moldes y piezas perdidas. Gracias a este *software* se pueden convertir piezas físicas en modelos CAD para crear nuevos productos. Posteriormente, se pueden hacer encajar las piezas existentes con las recién creadas [35].

Este software es compatible con 60 tipos de archivos distintos y permite exportar los proyectos de manera inmediata. Al igual que Artec Studio, puede trabajar de manera automática para facilitar el trabajo, pero también se pueden realizar multitud de operaciones de manera manual como diseñar bocetos o realizar modificaciones. Además, comprende operaciones como diáfanos, booleanos, o revoluciones propias de programas CAD.

En este TFG este programa cobrará especial importancia puesto que permite realizar ciertas operaciones cuya realización con otros programas es compleja. Principalmente, se usarán las herramientas de geometría de referencia cuyos comandos permiten crear planos de referencia, sistemas de coordenadas, etc. Concretamente, se aprovechará esta herramienta para alinear el modelo 3D con respecto a los planos principales (X, Y, Z) [Figura 2-17] [36].

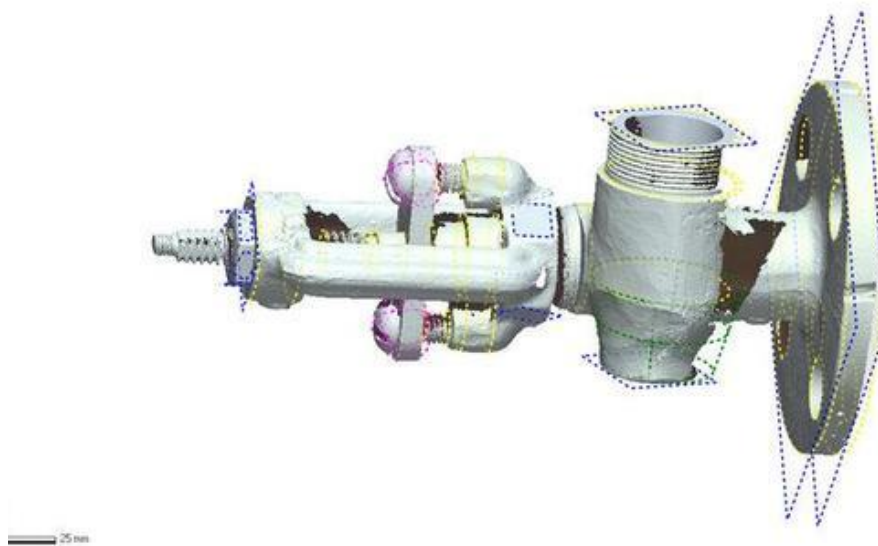


Figura 2-17 Modelo 3D alineado según planos de referencia [36]

## 2.2 Impresión 3D

También llamada fabricación aditiva, esta tecnología se creó hace ya más de cuarenta años. Hoy en día está en boca de todos y esto se debe a que ha ido evolucionando de manera exponencial a lo largo de la última década. Las impresoras 3D están ya al alcance de gran parte de la sociedad, es por ello que mucha gente las considera factor clave en la 4ª Revolución industrial. La fabricación aditiva y la industria 4.0 están obligados a ir de la mano ya que abren un mundo lleno de posibilidades.

La fabricación aditiva es el conjunto de procesos basados en la adición de uno o varios materiales en capas para la conformación de un objeto en 3 dimensiones. La clave de esta metodología está en que, a diferencia de otras, ésta no retira material, sino que lo añade. Permite crear geometrías complejas y supone un gran ahorro de material pues no se desperdicia material. Muchas industrias ya han adoptado la impresión 3D para desarrollar sus productos a nivel industrial. A continuación, se van a presentar cuales son, para la industria, los principales beneficios de la impresión 3D [37].

La mayor ventaja de la impresión 3D es la rápida creación de prototipos. Crear modelos, maquetas y conceptos de manera tradicional puede llevar a los diseñadores meses. Esta técnica permite crear prácticamente cualquier cosa en un tiempo mucho menor. Los grandes beneficiados son los particulares o las pequeñas empresas. Sin necesidad de subcontratar ni de tener almacenes llenos de maquinaria cara; pueden diseñar, fabricar y probar sus proyectos. En caso de tener que llevar a cabo modificaciones a los primeros prototipos, éstos pueden personalizarse fácilmente. Si se encuentran fallos, basta con realizar los cambios en el archivo CAD e imprimir la nueva versión de manera inmediata [Figura 2-18]. Aparte de que permite crear prototipos que se pueden tocar y probar físicamente, las impresoras 3D también pueden fabricar piezas reales. Funcionan con multitud de materiales, desde plásticos y materiales cerámicos con partículas de madera hasta metales.

El otro gran factor importante de la fabricación aditiva es el ahorro de costes, tanto directos como indirectos. Los métodos tradicionales como el moldeo de inyección o el mecanizado CNC generan costes laborales más altos, pues necesitan trabajadores con formación y además la maquinaria tiene un coste elevado. A pesar de que a priori el coste inicial de una impresora 3D es también bastante elevado, se puede reducir el precio de un prototipo de entre 300€ y 1000€ a entre 2€ y 10€. Hay que tener en cuenta también el coste ahorrado debido al empleo de materiales más baratos (y sin desperdicio) y debido a la reducción del tiempo empleado. En la mayoría de los casos, la amortización de la máquina puede realizarse en 2 meses. Esta nueva metodología se diferencia de las tradicionales en que permite la creación y fabricación de geometrías imposibles para las técnicas tradicionales; y consiguen hacerlo sin necesidad de moldes, matrices o plantillas. Otra diferenciación es la posibilidad de incluir múltiples materiales una misma pieza permitiendo mezclar texturas, colores y propiedades mecánicas [37].



**Figura 2-18 Prototipado rápido mediante impresión 3D [38]**

### *2.2.1 Tecnologías de impresión en 3D*

Existen multitud de formas de crear objetos mediante impresoras 3D, hoy en día existen más de 10 tecnologías de fabricación aditiva. Como se puede ver en la Figura 2-19, se han ordenado en 7 categorías distintas:

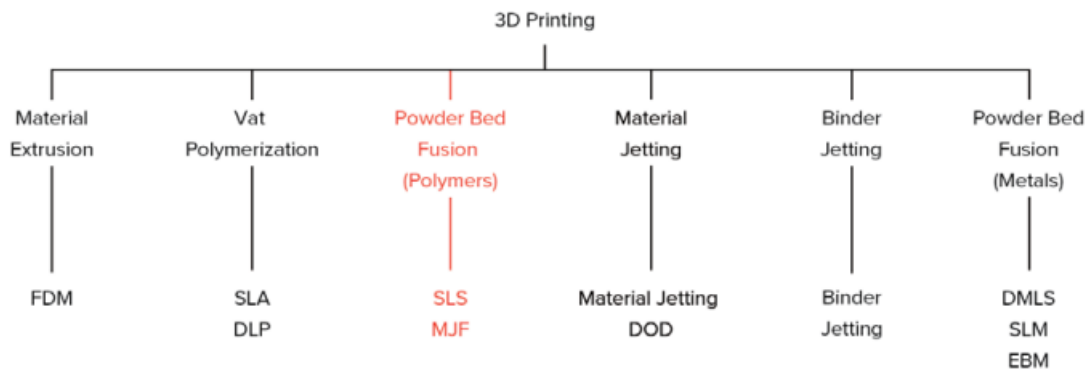


**Figura 2-19 Tipos de impresión 3D [10]**

Este trabajo se centrará únicamente en dos de ellas [39]:

### 1. Modelado por Deposición Fundida (FDM)

Se alimenta una boquilla dotada de un elemento calentador para fundir el filamento. La impresora mueve el cabezal de extrusión y va depositando el filamento fundido en capas sobre una base (o sobre una capa del mismo material depositada previamente) [Figura 2-20]. La boquilla se mueve en tres dimensiones respecto de la base depositando material en aquellos puntos del espacio que se requiera capa a capa hasta que el objeto quedé formado totalmente [Figura 2-21]. Son el tipo de impresoras más sencillas y de las más baratas. La materia prima que emplean es plástico en forma de filamento.

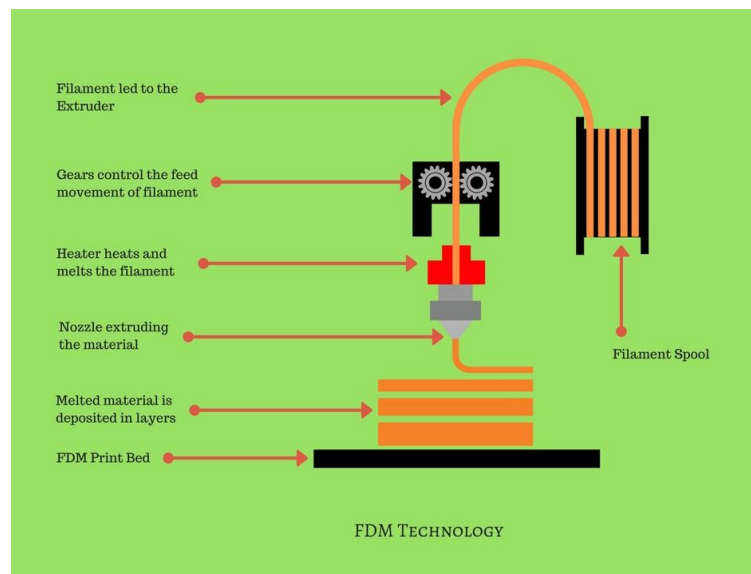


**Figura 2-20 Tecnología FDM [39]**

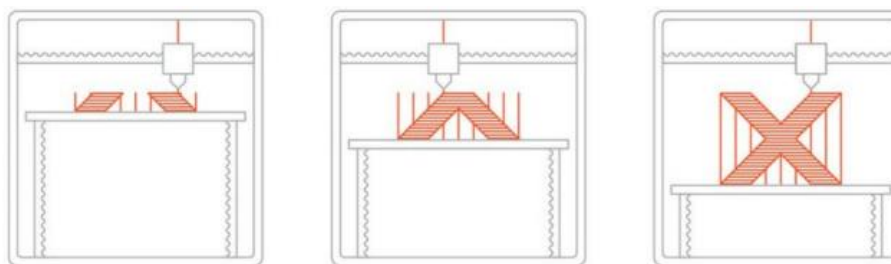


**Figura 2-21 Funcionamiento de impresora FDM [39]**

## 2. Estereolitografía (SLA)

La impresora está compuesta por un tanque de resina fotopolímera y un rayo láser UV. En un principio el tanque está relleno de resina líquida y a medida que se va “iluminando” la geometría capa por capa se va solidificando [Figura 2-22]. Por último, se retira la pieza y la resina sobrante. Suele necesitar de un post-curado para terminar de solidificar la pieza.

Las piezas obtenidas son de gran calidad. Sin embargo, son frágiles por lo que se suele emplear más esta técnica para realizar prototipos.

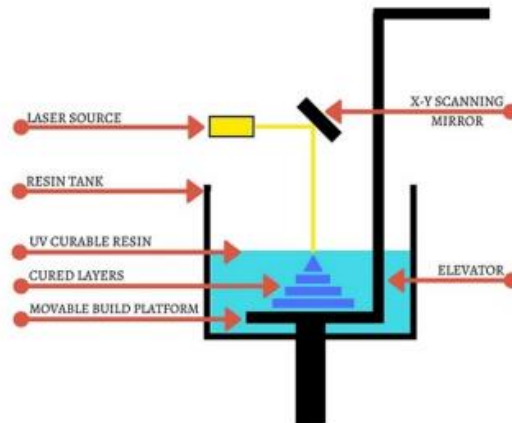


Figura 2-22 Funcionamiento impresora SLA [10]

A la hora de comparar ambas tecnologías, se podría decir que en cuanto a calidad dimensional y acabado es mejor en SLA. Sin embargo, el coste es menor en FDM puesto que la resina es más cara que el filamento. Otro punto a favor para el filamento es que permite mayor diversidad de materiales, algunos de ellos de altas prestaciones; como por ejemplo los de hilo continuo de carbono que presenta prestaciones similares al aluminio [39].

### 2.2.2 Materiales empleados

A día de hoy el material más empleado en la fabricación aditiva es el plástico y sus múltiples variaciones. Sin embargo, cada vez salen mayor número de materiales nuevos, como la cerámica o los metales, que gracias al continuo desarrollo de la impresión 3D están ganando muchos seguidores. Es un factor a tener en cuenta que no todos los materiales son compatibles con todas las técnicas de impresión, como se puede ver la Figura 2-23.

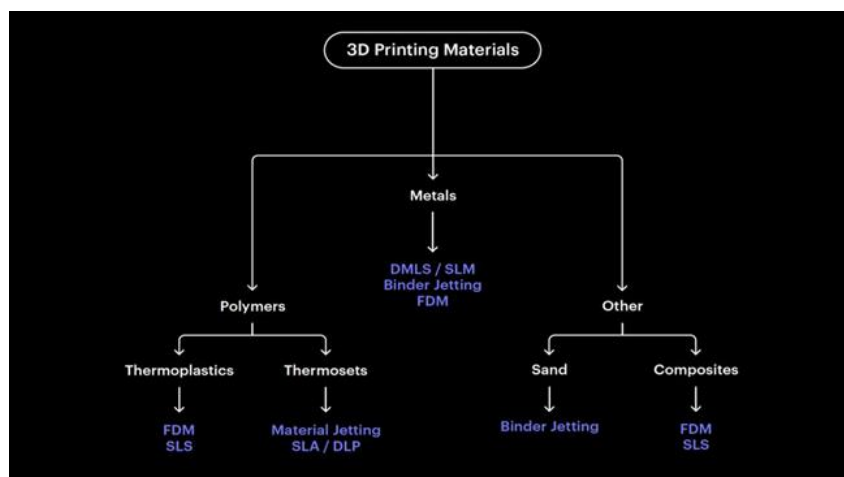


Figura 2-23 Esquema de materiales y técnicas utilizadas [40]

- PLA (Ácido Poliáctico)

Es el material ideal para iniciarse en el mundo de la impresión 3D; en tecnologías como la FDM es de los más usados gracias a su bajo coste y la gran cantidad de aplicaciones que tiene. Se suele usar para fabricar modelos no funcionales y destaca puesto que no necesita de una placa caliente como base y puede imprimir a bajas temperaturas de extrusión. El PLA es un derivado del maíz, lo que lo hace biodegradable.

En resumen, destaca por ser un material de bajo coste pero que tiene multitud de aplicaciones, la más significativa es la realización de prototipos no funcionales, ofrece buen rendimiento y sobre todo sencillez [41].

- NYLON

Este termoplástico puede ser utilizado para imprimir con tecnología SLS (Sinterizado Selectivo por Laser) en forma de polvo fino; y también mediante FDM (Modelado por Deposición Fundida) en forma de filamento. También denominado poliamidas, ofrece una impresionante durabilidad, flexibilidad y alta resistencia a los golpes gracias a sus estructuras semicristalinas. Es por ello que es un material bastante usado por los ingenieros para fabricar prototipos funcionales y piezas finales. Tiene como desventaja que se debe almacenar en un lugar hermético pues se degrada con la humedad.

En resumen, destaca por ser un material utilizado para la impresión de piezas finales gracias a su alta durabilidad y resistencia a los golpes [42] [43].

- ABS

El ABS fue de los primeros materiales usados para impresión 3D y a día de hoy sigue siendo muy popular entre los fabricantes gracias a su bajo precio y sus buenas propiedades mecánicas. Destaca por su dureza y resistencia a los impactos. A pesar de que soporta temperaturas entre -20°C y 80°C, necesita una plataforma caliente para evitar que se deforme cuando entra en contacto con el aire.

En resumen, el ABS tiene mejores propiedades mecánicas que el PLA pero necesita de una placa caliente para evitar el combamiento. Se utiliza para prototipos funcionales y partes complejas de uso final. Debido a todas estas características, LEGO decidió fabricar sus piezas con este material [43] [42].

- TPU

Este material termoplástico puede ser doblado y comprimido con facilidad, es por ello que es el más usado para fabricar modelos que necesiten poseer cierta flexibilidad y aquellos productos que exijan las calidades del caucho y plástico. Otro aspecto favorable del TPU es su resistencia a los productos químicos. Por otro lado, el TPU tiene como desventajas su alto coste y el largo tiempo de impresión de los modelos. Son ampliamente utilizados para artículos de moda y diseño [43] [42] [44].

- PETG

Es un derivado del PET (Tereftalato de polietileno) y es un termoplástico muy utilizado debido a que aporta la sencillez de impresión del PLA y la resistencia del ABS. Al PET propiamente dicho, se le añade glicol para hacer que gane resistencia. Es un material fácil de extruir, transparente, totalmente reciclable. Todo esto lo hace ideal para la fabricación de botellas ya que además es compatible con el contacto con los alimentos y agua. Como aspecto negativo destaca que es necesario el empleo de una placa calefactada para evitar la deformación producida por la contracción al enfriarse [43] [44].

- PET-CF

Es un material que posee una base de PET mezclado con fibra de carbono. Gracias a esta mezcla permite mantener las grandes cualidades del PET, pero mejorando sus propiedades térmicas y mecánicas. Al provenir del PET, una de sus características es que es capaz de imprimir piezas con un gran acabado de manera sencilla. El suplemento de fibra de carbono hace que estas piezas tengan gran

resistencia química, mecánica y térmica. Destaca también por su baja absorción de humedad. Todo ello lo hace ideal para realizar piezas funcionales [45] [46].

### 2.2.3 Impresión 3D en las FAS

Debido a que cada vez es más popular el uso de la fabricación aditiva en el ámbito civil, el mundo militar ha decidido investigar de que manera podrían serle útil estas nuevas tecnologías. El mundo de la impresión 3D es el futuro, los primeros en incorporar estas máquinas en sus fuerzas armadas fueron los americanos.

El concepto general de implementar la impresión 3D en los ejércitos es poder fabricar equipos o piezas de repuestos de forma rápida, sencilla y económica en zonas de combate. En las áreas de operaciones, el coste del traslado del material o repuestos para reparaciones es muy alto. El objetivo es desarrollar esta tecnología de forma que con impresoras 3D en las zonas de conflicto, las unidades desplegadas puedan fabricarse sus propios repuestos. Con ello ganarían tiempo, operatividad y dinero. Las posibilidades son múltiples: se pueden fabricar herramientas adecuadas para cada reparación, se puede crear la propia pieza de repuesto, moldes para fabricar piezas, etc. En el ámbito específico de las marinas del mundo, la idea es que cada buque disponga de una impresora 3D a bordo con la cual puedan fabricarse sus propias piezas según sus necesidades. De esta manera, se podrían reparar averías sin necesidad de tener que regresar a puerto. Sin embargo, a pesar de que esta metodología ofrece muchas posibilidades y el futuro es esperanzador, hay que recalcar que no se pueden utilizar para todo [47]. No se pueden abandonar los métodos actuales de fabricación de piezas y repuestos, pero sí que se pueden complementar con esta nueva tecnología. El principal problema que se encuentran los ejércitos al incorporar estos métodos es que, para su empleo en el ámbito militar, las piezas deben cumplir unos requisitos de resistencia debido al exigente escenario en el que van a ser utilizadas.

En lo que refiere al ejército español, los departamentos de logística son los grandes protagonistas de esta revolución. Se ha empleado en unidades de mantenimiento como la AALOG 41 que usaron una impresora 3D para fabricar una pieza que sufría constantes averías. Uno de los atractivos de la fabricación aditiva es el poder construir piezas que ya no se pueden conseguir. Existen repuestos que el vendedor ha descatalogado o que no vende por independiente. Este es el caso de la sujeción del elevallunas del vehículo Anibal Santana del ejército de tierra [Figura 2-24]. Es una pequeña pieza que se rompía continuamente y era necesario comprar todo el conjunto del elevallunas pues el proveedor no la suministraba como pieza independiente. El precio del conjunto ascendía a 100€ mientras que la obtención de la pieza mediante fabricación aditiva (*Rapid manufacturing*) suponía un coste de material de alrededor de 3 céntimos de € [48].

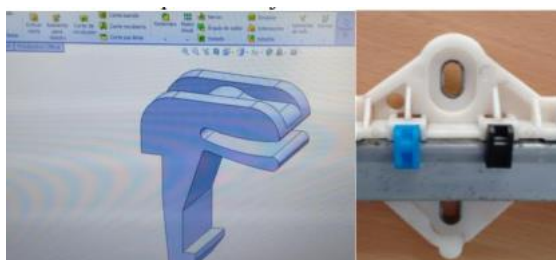


**Figura 2-24** En azul, pieza de sujeción del elevallunas impresa en 3D [48]

También en las fuerzas armadas españolas, se ha empleado la impresión 3D para realizar *Rapid Tooling* (herramientas rápidas). Existe una herramienta que sirve para desmontar equipos de comunicaciones que son difíciles de encontrar, cuya pérdida es muy frecuente y supone un retraso grande en el mantenimiento [Figura 2-25]. Gracias a la instalación de impresoras 3D en las bases y cuarteles del ejército se pueden imprimir este tipo de piezas en cuestión de horas [48].



**Figura 2-25 Herramientas de desmontaje de equipos de radiocomunicaciones [48]**

Las principales ventajas de incluir la impresión 3D en la cadena logística de las fuerzas armadas son por lo tanto: poder producir piezas descatalogadas, fabricar repuestos en zonas de operaciones, fabricar herramientas adecuadas a la necesidad y permite reducir el stock, ya que no es necesario tener almacenes llenos de repuestos sin usar.

## **2.3 Visión nocturna**

### *2.3.1 Historia y funcionamiento*

El ser humano siempre ha tenido miedo a lo desconocido, de ahí su temor a la oscuridad. Desde siempre, el ser humano ha intentado iluminar los espacios oscuros; ya sea con linternas, focos o fuego. Es por ello que se ideó un dispositivo que permita al ser humano ver en la oscuridad. Desde la guerra de Vietnam, la tecnología relacionada con la visión nocturna ha sufrido un enorme desarrollo. El resultado son los visores nocturnos. Permiten al usuario ver sin ser detectado en ambientes de total oscuridad. El principio de su funcionamiento es captar la luz residual del ambiente y convertirla en luz visible para el ser humano.

A pesar de que existen otras formas de ver en la oscuridad, como las cámaras térmicas, este TFG se va a centrar únicamente en las gafas de visión nocturna. Al contrario de lo que perciben los ojos, en la oscuridad sí hay luz. Sin embargo, es extremadamente débil por lo que el ojo humano no es capaz de ver nada. Las gafas de visión nocturna captan esa luz residual y la multiplican por 25000 gracias a un intensificador de imagen. El principio es sencillo, captan la luz y la convierten en electricidad, posteriormente la amplifican y por último vuelven a convertirla en luz. Básicamente, se transforma la luz en electricidad porque ésta es más fácil de amplificar. La imagen reconvertida es verde debido a que el ojo humano es especialmente sensible al color verde, distingue mejor las diferentes tonalidades de verde. Existe la posibilidad de que el lugar que se están usando las gafas tenga ausencia total de luz, como por ejemplo las profundidades de una cueva o un hangar cerrado. En ese caso, la mayoría de las gafas de visión nocturna disponen de una lámpara de infrarojos que iluminaría el espacio. Dicha luz infraroja es invisible para el ojo humano, pero sí que lo es para estos dispositivos. Existen cuatro generaciones de gafas de visión nocturna. A mayor generación, mayor nitidez de imagen y mayor vida útil del visor. Todos ellos funcionan como se ha mencionado anteriormente, captan la luz del ambiente y mediante unos sensores infrarojos intensifican esa luz hasta transformarla en iluminación [49].

### *2.3.2 Equipos de visión nocturna y cascos del Cuerpo de Infantería de Marina.*

Las unidades de Infantería de Marina disponen actualmente de los siguientes modelos de intensificadores de luz: PVS 23 F50F50, PVS-14C, PVS-7B, PVS-7D y Mini N-SEAS NVLS XD4.

- **PVS 23 F50F50 [Figura 2-26]**



**Figura 2-26 PVS-23 F50F50 [50]**

Es un derivado de unas gafas de visión nocturna (ANVIS-6 y ANVIS-9) utilizadas en aviación que fueron diseñadas para ambientes controlados como cabinas de aviones o helicópteros. Pronto las unidades de operaciones especiales quisieron emplearlas también, por lo que se creó este modelo, que comparte las cualidades de una visión nocturna tipo aviación y una de tipo terrestre. Brinda la calidad de imagen y percepción de profundidad de la aeronáutica, pero con un paquete más resistente que soporta las duras condiciones de las zonas de operaciones. Es un dispositivo de generación 3. En el TEAR suelen ser utilizados por los conductores de vehículos [50].

- **PVS-14C [Figura 2-27]**



**Figura 2-27 Visor PVS-14C [51]**

Es el visor más empleado en las distintas unidades de Infantería de Marina ya que es el modelo del que se poseen más ejemplares. Otro factor destacable de este legendario visor nocturno es su gran polivalencia, puede ser empleado para llevar a cabo multitud de operaciones. Tiene la ventaja de poder ser acoplado tanto al casco, como al fusil y también se le pueden acoplar aumentos para extender su alcance. Es un dispositivo de generación 3. En el TEAR suelen ser utilizados por las compañías de fusiles principalmente. Es el visor que emplean actualmente los alumnos de Infantería de marina en la Escuela Naval Militar [51].

- **PVS-7B/D [Figura 2-28]**



**Figura 2-28 Infante de Marina con visor PVS-7B [52]**

Fueron de los primeros visores en llegar a las unidades de Infantería de Marina. A día de hoy, apenas se utilizan pues han sido reemplazados progresivamente por los ya mencionados PVS-14C. Sin embargo, durante sus años operativos, fueron unas gafas de visión nocturna que destacaron por su fiabilidad. Son considerados también de generación 3. La principal diferencia con los demás visores es que, a pesar de ver la imagen a través de dos tubos, capta la imagen por una única entrada. Tiene un rango de visión limitado: 40°.

- **Mini N-SEAS NVLS XD4 [Figura 2-29]**



**Figura 2-29 Visor Mini N-Seas [53]**

Es el visor más avanzado del que dispone actualmente el TEAR. Fue diseñado por *Elbit Systems* aunque la compañía *Night Vision Laser Spain* (NVLS) se hizo con la patente y ha comenzado a fabricarlos en España. Destaca por su diseño compacto, ligero y robusto. Es un dispositivo de generación 3. Actualmente son los visores con los que despliegan las compañías de fusiles en la misión de la Unión Europea en Malí.

En cuanto a los cascos empleados por las unidades de Infantería de Marina se encuentran: el casco “*Armor source LLC Mod. 501*” [Figura 2-30] del cual hay en torno a una centena de unidades y está destinado ciertas unidades específicas como puede ser el personal *Join Terminal Attack Controller* (JTAC); casco MARTE [Figura 2-31] el cual dotó a la FAS españolas durante décadas y cuya fecha de caducidad ya está sobrepasada y por último el casco COBAT 01 [Figura 2-32] que está reemplazando al MARTE en casi todas las unidades de los tres ejércitos de España.



**Figura 2-30 Casco Armor source LLC Mod. 501**



**Figura 2-31 Casco MARTE**



**Figura 2-32 Casco COBAT 01**

Sobre este último, el COBAT 01, cabe reseñar que es el casco con el que se va a trabajar en este TFG. Actualmente, es el casco que se está implementando en la mayoría de las unidades de las fuerzas armadas españolas incluida la compañía de alumnos de Infantería de Marina de la Escuela Naval Militar.

### 2.3.3 Incompatibilidad de atalajes de intensificadores de luz con casco modelo COBAT 01

Este casco está pensado para trabajar en todo tipo de ambientes, además mejora sustancialmente la protección contra esquirlas, impacto de proyectiles, proyecciones y otros objetos, y sobre todo el operador o soldado de Infantería de Marina tiene una mejor percepción situacional respecto a lo que ocurre a su alrededor.

Sin embargo, debido a su estructura y configuración, se ha apreciado por el personal de las unidades de fusiles del TEAR la imposibilidad de acoplar la mayor parte de los diferentes modelos de intensificadores de luz en servicio en dichas unidades. Únicamente el atalaje del casco bitubo del visor Mini N-SEAS NVLS XD4 es compatible con el mismo [Figura 2-33] [Figura 2-34]. Existen numerosos informes que ponen en conocimiento la no capacidad de realizar un combate nocturno efectivo con el casco COBAT 01.



Figura 2-33 Atalaje Mini N-SEAS bitubo sobre casco COBAT 01 [6]



Figura 2-34 Uñas frontal atalaje Mini N-SEAS bitubo sobre casco COBAT 01 [6]

El casco modelo “Armor Source” permite el acople de los elementos de puntería nocturna sin presentar deficiencias o problemas. Esta consideración es extrapolable al casco MARTE.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente el casco de combate modelo COBAT 01 no permite el acople efectivo de ninguno de los atalajes de casco de los diferentes modelos de intensificadores de luz (más “antiguos”) en servicio; a saber: PVS 23 F5050, PVS-14C, PVS-7B, PVS-7D (siendo conveniente reseñar que estos tres últimos modelos comparten el mismo atalaje de casco, por lo que en adelante se referirá a este atalaje como atalaje PVS-14C, de manera general). Como ya se comentó en la introducción de este trabajo, en el caso de los atalajes de los visores PVS23 y PVS-14C la deficiencia se debe a que las uñas de la parte frontal de los dos modelos de atalajes no llegan a “morder o abrazar” el casco con una superficie suficiente para permitir que el soporte del visor quede trincado o sujeto de una forma efectiva [Figura 2-35].



**Figura 2-35 Incompatibilidad casco COBAT 01 con atalaje de PVS-14C [6]**

Del mismo modo, los atalajes del Modelo Mini N-SEAS NVLS XD4 monocular tampoco permiten la correcta utilización del intensificador, siendo el único atalaje de gafas que serviría para este caso, el modelo de atalaje bitubo del Mini N-SEAS NVLS XD4, como ya se comentó anteriormente, de los que se dispone únicamente de 16 unidades por batallón. Estos intensificadores de luz se asignan normalmente a los conductores de vehículos del batallón y personal de la Sección de reconocimiento (SERECO) con lo cual la disponibilidad de este modelo de visor para ser utilizado en el casco COBAT 01 por las compañías de fusiles de los batallones es muy baja.

El atalaje del Mini N-SEAS versión monotubo presenta los mismos problemas de agarre en la parte frontal que el atalaje del PVS-14C y además el intensificador queda en una posición que no permite el correcto empleo del mismo; el visor queda inclinado hacia el suelo y no permite el ajuste óptimo en distancia al ojo [Figura 2-36].



**Figura 2-36 Parte frontal atalaje Mini N-SEAS sobre casco COBAT [6]**

En el caso de la fijación WILCOX, a pesar de que encaja perfectamente en lo referente a las uñas [Figura 2-37] y la forma con el casco [Figura 2-38], no se puede sujetar ya que esta fijación se realiza mediante un tornillo que atraviesa la parte frontal del casco, como se puede observar en la Figura 2-39.



**Figura 2-37 Uñas frontales placa WILCOX sobre casco COBAT 01 [6]**



**Figura 2-38 Placa Wilcox sobre casco COBAT 01 [6]**



**Figura 2-39 Fijación WILCOX sobre casco *Armor Source* [6]**

Con toda la información anteriormente presentada se puede concluir, que en la actualidad sólo se dispone de un modelo de atalaje (Mini N-SEAS bitubo) para realizar un combate nocturno efectivo con el casco de combate COBAT 01, lo que limita de manera sustancial la capacidad de combatir de una forma eficaz en condiciones de visibilidad reducida (con este casco y en concreto con los medios de los que disponen los batallones actualmente).

Es importante reseñar que este atalaje permite únicamente el empleo de los intensificadores de luz modelo Mini N-SEAS, siendo incompatible con el resto de intensificadores de luz. Como se mencionó anteriormente no se pueden emplear de manera óptima los visores PVS-23, PVS-14C y PVS-7B/D con el casco de combate COBAT 01 [6].

### 3 DESARROLLO DEL TFG

Las unidades del TEAR necesitan encontrar una solución al problema expuesto anteriormente. Surgen a priori las siguientes soluciones:

1. Realizar un estudio por parte de la casa fabricante del casco COBAT 01 (FECSA) o por personal cualificado de la Armada o del Ministerio de Defensa. Con el fin de contemplar la posibilidad de perforar el casco en su parte frontal y hacerlo así, compatible con el montaje WILCOX, sin que el casco pierda sus propiedades estructurales. Ésto permitiría utilizar en este casco todo tipo de gafas/intensificadores de visión nocturna en servicio en el Tercio de Armada.
2. Estudiar, supeditado a la disponibilidad económica, la posible adquisición progresiva de mayor número de gafas Mini N-SEAS (con sus atalajes bitubo). De manera que se pueda obtener utilidad a la utilización del nuevo casco en condiciones de visibilidad reducida y se resuelva el problema de baja disponibilidad de las gafas Mini N-SEAS.
3. “Doblar” las uñas de los diferentes atalajes (distintos al Mini NSEAS bitubo) para intentar adecuarlos al casco COBAT 01. Esta solución puede generar el debilitamiento y la posible rotura de la estructura metálica del atalaje, por lo que no se recomienda (a priori) a no ser que sea imprescindible.
4. Estudiar la posibilidad de la adquisición, o sustitución en el futuro, del modelo COBAT SF, diseñado para unidades especiales, y que sí que cuenta con atalajes para acoplar distintos elementos de puntería y visión nocturna, aparte de una estructura más compacta y calidades superiores.

Este TFG propone una solución distinta a las mencionadas anteriormente. Se pretende diseñar, mediante Autodesk Inventor Profesional, un atalaje de casco reutilizando piezas del ya existente, que se adapte a la forma del casco COBAT 01 y agarre con suficiente superficie permitiendo una correcta fijación.

El proceso de creación de las piezas consta de tres pasos principales:

1. Proceso de escaneado del casco
2. Diseño del modelo
3. Impresión 3D del modelo

### 3.1 Proceso de escaneado y generación del modelo sólido del casco

#### 3.1.1 Generalidades

El proceso de escaneado sigue una secuencia, lo primero que se ha de realizar es el escaneo propiamente dicho [Figura 3-1]. Para ello, en los laboratorios del Centro Universitario de la Defensa (CUD) se dispone de los dos escáneres mencionados anteriormente en la memoria. El *Artec Space Spider* es idóneo para el escaneo de piezas pequeñas que requieran una calidad de escaneo mayor. Sin embargo, tiene la desventaja que el escaneo es más laborioso pues la distancia entre el escáner y el objeto debe ser casi constante y no permite mucho movimiento. Por otra parte, el escáner *Artec EVA* se suele emplear para objetos de mayor tamaño y que no requieran una calidad de escaneo tan alta. Su principal ventaja es la facilidad con la que se pueden escanear los objetos pues a diferencia del *Space Spider*, éste permite escanear a distancias más variables. Con el escáner lo que se busca generar es una nube de puntos en el programa Artec studio.



Figura 3-1 Visión general del proceso de escaneado mediante escáneres Artec

Se pueden tomar tantas tomas del escaneo como se necesite. La nube de puntos definitiva surgirá de aunar todos esos diferentes escaneos. Para conseguir crear una correcta nube de puntos, hace falta primero tratar, mediante diferentes *softwares* (Artec Studio, Geomagic Design X), esos puntos generados durante el escaneo. Existen herramientas para borrar puntos, eliminar zonas escaneadas no deseadas, alinear puntos, referenciar esa nube de puntos con respecto a unos planos de referencia, etc. Una vez generada la nube de puntos con los diferentes escaneos tratados y alineados, se genera la malla y se pasa a referenciarla respecto de unos planos de referencia. Una malla es la generación de triángulos de mayor o menor dimensión, según se quiera mas o menos calidad, que adoptan respecto a la nube de puntos la geometría más adecuada. A mayor número de triángulos, mejor será el mallado.

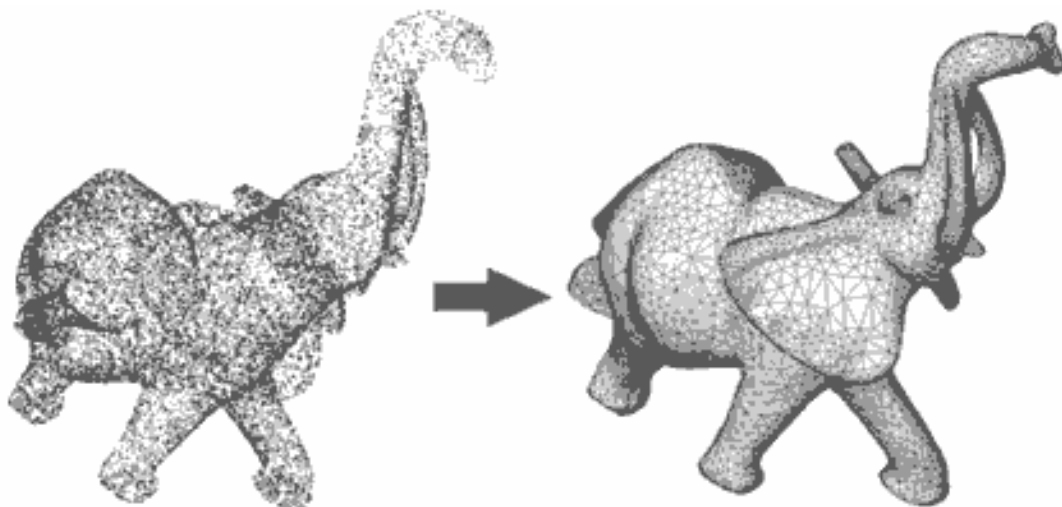


Figura 3-2 Conversión de nube de puntos a malla [54]

Como se puede observar en la Figura 3-2 el objetivo es convertir la nube de puntos en una malla. La malla está hecha, generalmente, a base de triángulos. La representación de todos los triángulos unidos conforma la superficie del sólido que se busca generar. El modelo sólido generado a raíz de dicha malla se puede exportar a programas como Autodesk Inventor Professional, desde el cuál se le pueden realizar modificaciones, usar dicho sólido como base para ensamblar otras piezas o generar piezas según la forma del sólido y que se adapten a él.

El proceso recién descrito es un claro ejemplo de ingeniería inversa ya que se utiliza una objeto ya existente y conocido, para modificarlo o generar otros en base a él [Figura 3-3]. El objeto escaneado no ha sido diseñado por la persona que lo escanea, se busca reproducir dicho objeto en un soporte informático para poder trabajar con él. Se trata de un aprendizaje hacia atrás puesto que, en el caso de generar una pieza en base al sólido escaneado, no se está empezando un diseño desde cero, sino que ya se conocen las medidas necesarias para que la pieza se adapte al mismo.



Figura 3-3 Proceso de ingeniería inversa a través de escaneo 3D [55]

En este TFG se sigue este mismo proceso para importar a un programa como Autodesk Inventor Professional el casco COBAT 01, y así poder generar en base a la forma del casco, unas uñas frontales para el atalaje del intensificador de luz PVS-14C que se acoplen y agarren con la suficiente superficie. Para ello, primero se trató de escanear el casco con la funda, pero como se expone a continuación, no fue posible convertir la nube de puntos en un modelo sólido. Se decidió entonces repetir el escaneo del casco, pero esta vez sin la funda.

### 3.1.2 Proceso de escaneo del casco con funda

Para llevar a cabo el escaneo del casco con la funda, se decidió emplear el escáner *Artec Space Spider* debido a que la funda hace que la superficie del casco sea muy irregular y requiera una mayor calidad de escaneo. El escáner, se conecta mediante un USB a un ordenador y se enchufa también a la corriente. Tiene un funcionamiento muy sencillo y el *software* de procesamiento de datos (*Artec Studio*) es muy intuitivo. Este programa procesa instantáneamente los datos que envía el escáner y genera los modelos de las piezas mediante algoritmos de digitalización. Para escanear el casco se colocó encima de una mesa y se tomaron numerosas tomas. El programa permite visualizar lo que se está escaneando en la pantalla del ordenador. Además, tiene un sistema de ayuda al operario para mejorar la eficacia del escaneo.

Se ha utilizado de apoyo el TFG del ahora Alférez de Navío Gonzalo Torralbo [10] pero a diferencia del suyo en este TFG no se utiliza ninguna plataforma giratoria para realizar el escaneo [Figura 3-4], sino que es necesario moverse alrededor del casco debido a sus dimensiones [Figura 3-5].



**Figura 3-4** Plataforma giratoria 360° TFG AN Torralbo [10]

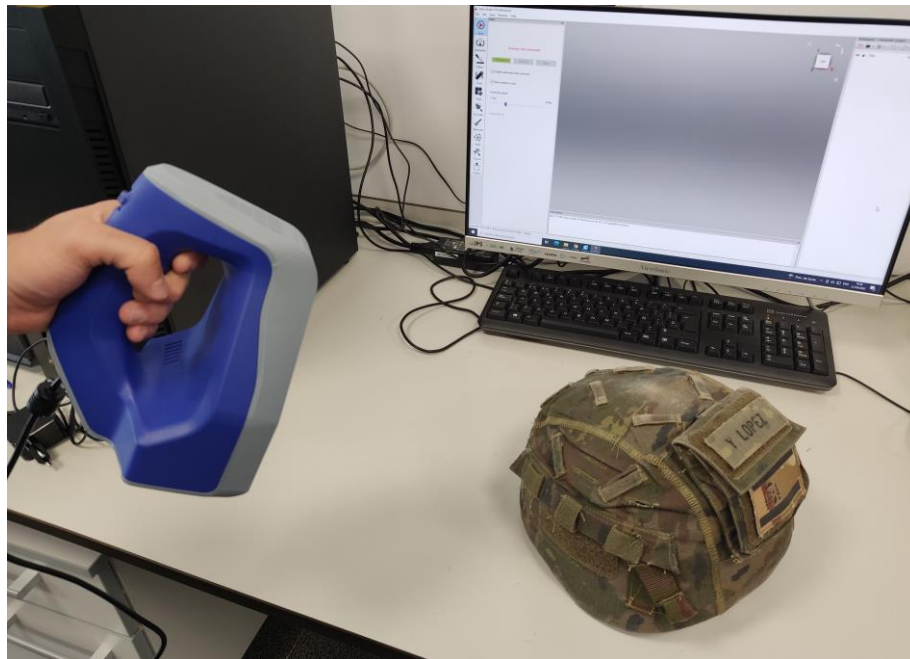


**Figura 3-5** Disposición sobre mesa para escaneado con Artec Space Spider

En este tipo de escaneados en los que el operario ha de moverse alrededor de la pieza, cobra mayor importancia el sistema de Radar 3D que integra el escáner que mediante una gama de colores y una barra vertical indica la distancia óptima de escaneo. Como se ha mencionado antes, el programa permite visualizar en pantalla de manera instantánea lo que se está escaneando, si la pieza aparece en color verde significa que estamos escaneando a una distancia óptima. Las partes más alejadas de la pieza aparecen en azul y las más cercanas en rojo. La barra vertical también sirve de ayuda a la hora de colocar el escáner a una distancia óptima. En blanco se muestra la distancia idónea a la que se debería colocar el escáner según la parte de la pieza a la que se está apuntando y en verde la distancia actual. Se trata de hacerlas coincidir como se ve en la Figura 3-6.

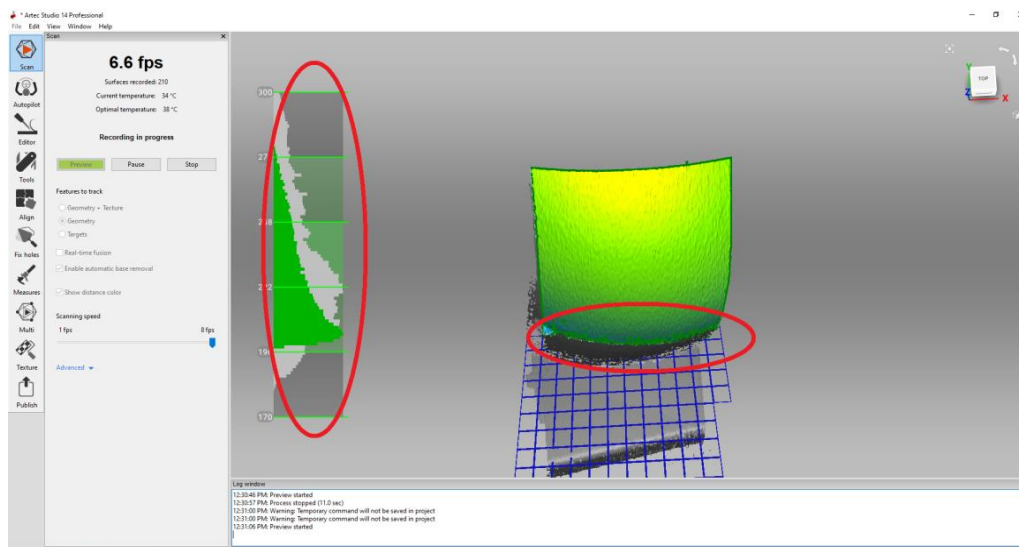


**Figura 3-6 Proceso de escaneado del casco**

Para poder captar todas las geometrías y superficies del casco, se tuvieron que realizar numerosos escaneos. El mayor problema se encontró a la hora de escanear el interior del casco. El color negro suele generar problemas puesto que brilla [Figura 3-7] y refleja parte de la luz del escáner confundiendo a este sobre la profundidad de la superficie.

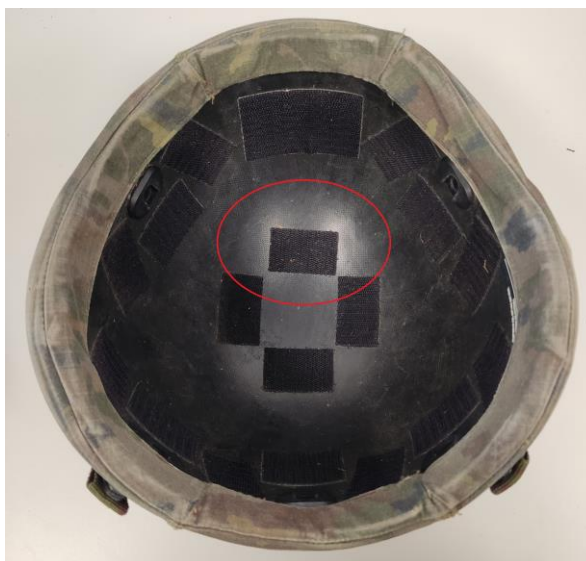


**Figura 3-7 Interior casco COBAT 01 iluminado**

Los diferentes escaneos deben alinearse y unirse mediante un postprocesado a través del programa Artec Studio. Se utilizan herramientas como “Alinear” que se puede ejecutar de manera manual o mediante la herramienta “Piloto automático” [Figura 3-8]. Esta última realiza todas las operaciones de postprocesado de los escaneos de manera automática, rápida y eficaz [Figura 3-9]. Algunas de estas operaciones son: auto alineación de los diferentes escaneos, filtrado para eliminar el ruido generado durante el escaneo, fusión de las diferentes partes, texturizado, etc. Se obtiene un resultado preciso y rápido, y sirve de gran ayuda. Para que el autopiloto sea efectivo es necesario que los escaneos sean claros, tengan el menor ruido posible y se puedan apreciar bien las formas. Al tener que mover el escáner alrededor del casco en vez de rotar la pieza con una plataforma, se genera más cantidad de ruido. Es por ello que, a diferencia del TFG del AN Torralbo, durante este TFG se ha tenido que recurrir múltiples veces, como se verá en el escaneo del casco sin funda, a las herramientas manuales para conseguir un buen acabado.

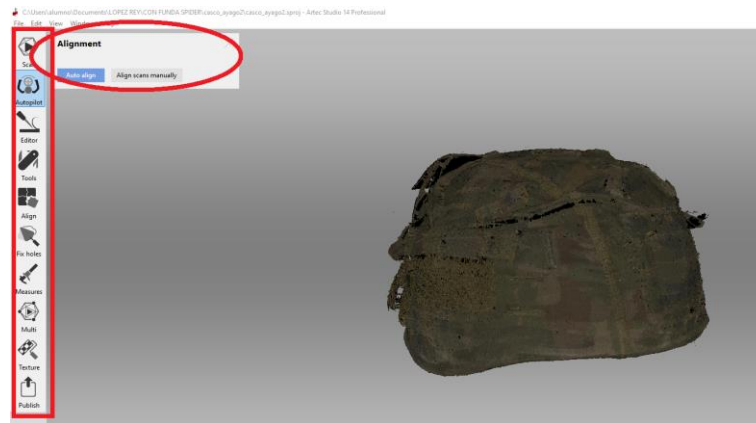


**Figura 3-8 Proceso de autoalineado (arriba) y operaciones manuales (izquierda)**



**Figura 3-9 Operaciones realizadas por el autopiloto**

Una vez se han editado y fusionado los distintos escaneos el programa genera una nube de puntos en el que se puede apreciar la textura, colores y dimensiones del objeto escaneado [Figura 3-10]. En definitiva, se ha empleado Artec Studio para generar una nube de puntos limpia de ruido, con diferentes escaneos alineados y, con la textura y colores del casco. Aunque el resultado se asemeja bastante al objeto original, se pueden observar ciertas imperfecciones [Figura 3-11]. En este caso concreto, se debe a que la funda del casco tiene una parte de tela móvil que durante dos escaneos distintos estaba colocada de forma distinta. Es por ello que el programa lo reconoce como puntos distintos y representa ambos.



**Figura 3-10 Modelo en el que se ven la textura y colores generado con Artec Studio**



**Figura 3-11 Imperfección en el escaneo**

Artec Studio, además de ser un programa muy intuitivo, tiene la ventaja de que es compatible con Geomagic Design X. Permite exportar directamente la nube de puntos a éste [Figura 3-12]. En este TFG esta herramienta fue de gran ayuda pues la versión que estábamos empleando (Artec Studio 14) no respondía cuando se ejecutaba la opción de “exportar mallas”. En este punto se tenían dos opciones: exportar directamente las mallas desde Artec Studio para generar directamente el modelo sólido (opción que no funcionaba en la versión utilizada) o exportar la nube de punto a Geomagic Design X para seguir refinándola y generar el modelo sólido desde Geomagic Design X.

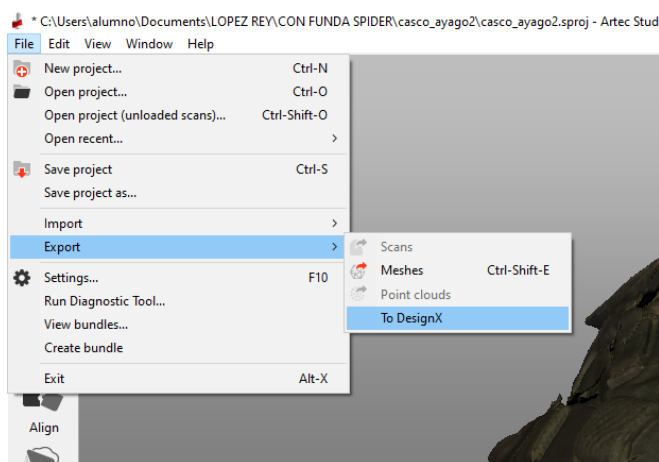


**Figura 3-12 Exportar nube de puntos a Geomagic Design X**

Geomagic Design X ofrece una serie de herramientas que superan en sencillez a las de Artec Studio. Permite refinar la nube de puntos y mejorar la malla creada con relativa facilidad gracias a herramientas como “asistente de reparación” o “diezmar”. Además, permite alinear el modelo con los planos de referencia de manera mucho más sencilla. Cabe recordar que la nube de puntos generada al escanear el casco con funda es muy compleja debido a las irregularidades en la superficie de ésta. Por ello, y porque Artec Studio 14 no permitía exportar la malla directamente, se decidió exportar la nube de puntos a Geomagic Design X y generar la malla desde dicho software.

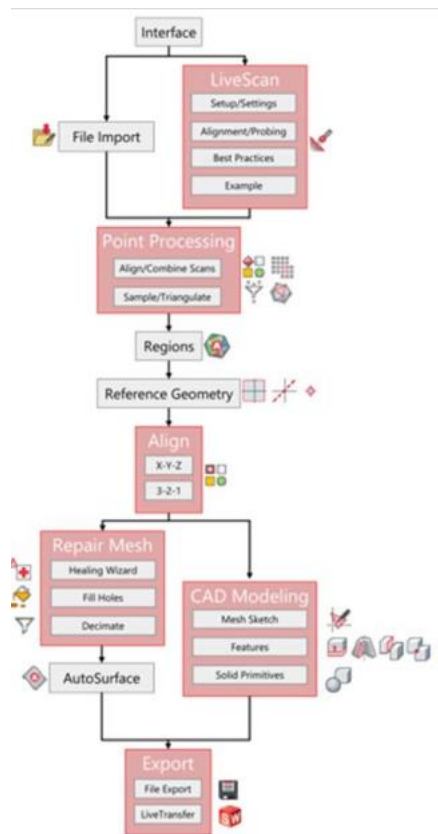


**Figura 3-13 Proceso de modelado de Geomagic Design X**

Siguiendo la Figura 3-13, lo primero que se realizó tras importar la nube de puntos fue refinarla y generar la malla. Posteriormente se utilizó la herramienta “Segmentar automáticamente” que genera en la malla diferentes regiones, coloreadas en diferentes colores según la curvatura y las características de la misma [Figura 3-14]. El siguiente paso, fue alinear la malla con respecto a unos planos de referencia mediante la herramienta “Alineamiento interactivo” [Figura 3-15]. La sencillez de esta operación en Geomagic Design X fue una de las razones por las que se decidió exportar la nube de puntos a dicho *software*. Por último, se emplearon las herramientas “Diezmar” y “Asistente de reparación” con la intención de simplificar la complejidad de la malla y de corregir posibles errores y cavidades de la misma.

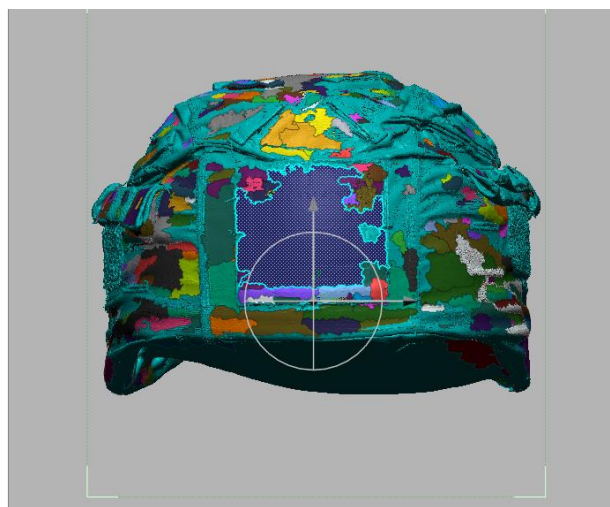


**Figura 3-14 "Segmentar automáticamente" de Geomagic Design X**

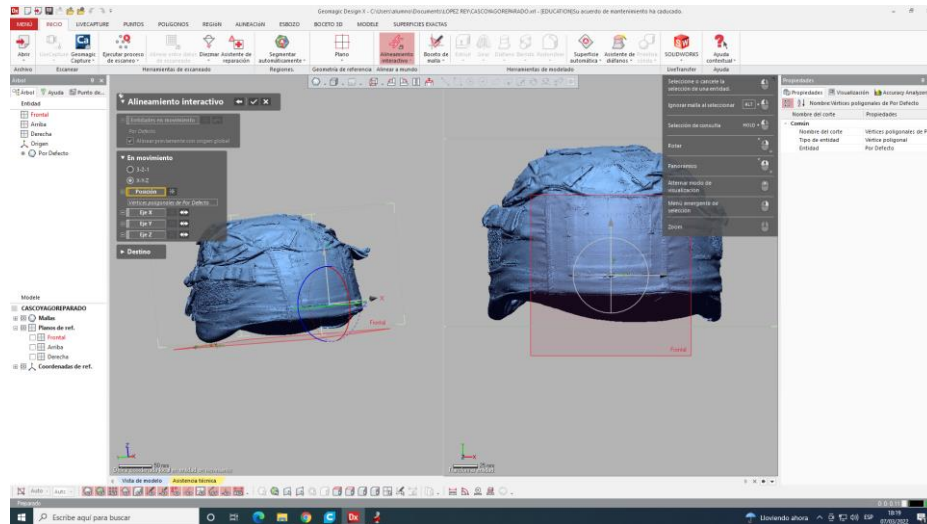


**Figura 3-15 "Alineamiento interactivo" Geomagic Design X**

En este punto del trabajo fue cuando se empezó a estudiar la posibilidad de repetir el escaneo, pero esta vez sin funda debido a que cuando se ejecutaba el asistente de reparación, el programa informaba de que existían errores que era incapaz de resolver. A pesar de ello, se intentó ejecutar el comando “Superficie automática” pero éste avisaba de que se trataba de una superficie “*Non manifold*”. Dicho error proviene de que nuestra malla, como ya había avisado previamente el asistente de reparación, tenía errores sin resolver. Estos errores generaban cavidades en el mallado que no permiten generar un sólido cerrado. En definitiva, al ser un único objeto, el *software* identifica que el mallado debería ser cerrado. Debido a la complejidad de la superficie del casco con funda, el programa no es capaz de generar un mallado “*manifold*”, es decir, una superficie que se comporta como un único sólido.

Geomagic Design X permite exportar los modelos sólidos generados de manera eficiente y rápida a multitud de programas de diseño, entre ellos destacan: Siemens NX, Solid Edge, Solidworks y Autodesk Inventor Professional. A pesar de ser conscientes de que el mallado tenía imperfecciones se decidió exportarlo a AutoDesk Inventor. Dicho programa exportó con éxito la malla, pero no fue capaz de generar el sólido; pues como se puede observar en la Figura 3-16 el mallado tiene cavidades tanto en su parte frontal como en su parte trasera impidiendo que pueda cerrarse y generar un único sólido. Es importante reseñar que para este TFG es necesario generar el modelo sólido del casco, pues en base a la forma y superficie del mismo se diseñarán unas uñas en la parte frontal que agarren el atalaje. El escaneado con la funda del casco es por lo tanto inválido para este trabajo puesto que la parte delantera tiene cavidades y porque no se pudo generar el modelo sólido correctamente.

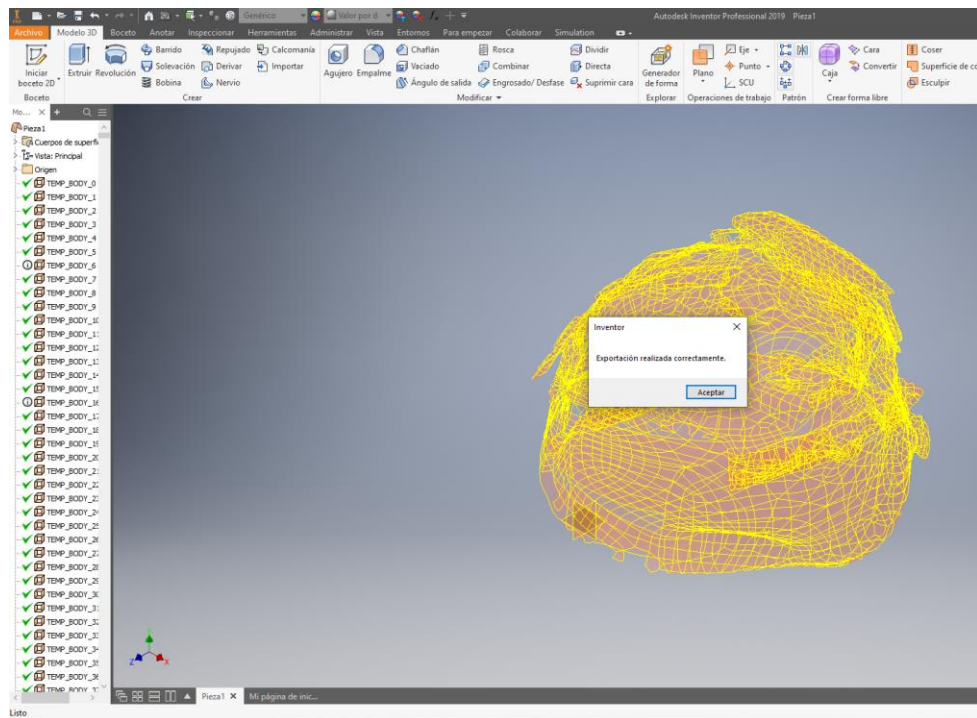


**Figura 3-16 Exportación mallado a AutoDesk Inventor profesional**

### 3.1.3 Proceso de escaneado del casco sin funda

Para resolver el problema surgido a la hora de generar el modelo sólido del casco, se decidió repetir el proceso de escaneado del casco sin la funda [Figura 3-17]. Por dos motivos distintos se decidió escanear el objeto con el Artec EVA. El primero, por la sencilla razón de trabajar y aprender a usar distintos escáneres. El segundo, y más importante: el casco sin funda presenta una forma mucho más sencilla que no necesita la calidad y resolución del Artec Space Spider. Además, durante el primer escaneo se experimentó la dificultad que conlleva escanear un objeto moviendo el escáner alrededor de él, es decir, sin utilizar una plataforma giratoria. El Artec Eva facilita esta tarea pues, como se ha mencionado anteriormente, permite una mayor variación en la distancia de escaneo y al estar pensado para objetos grandes, soporta mejor el movimiento.

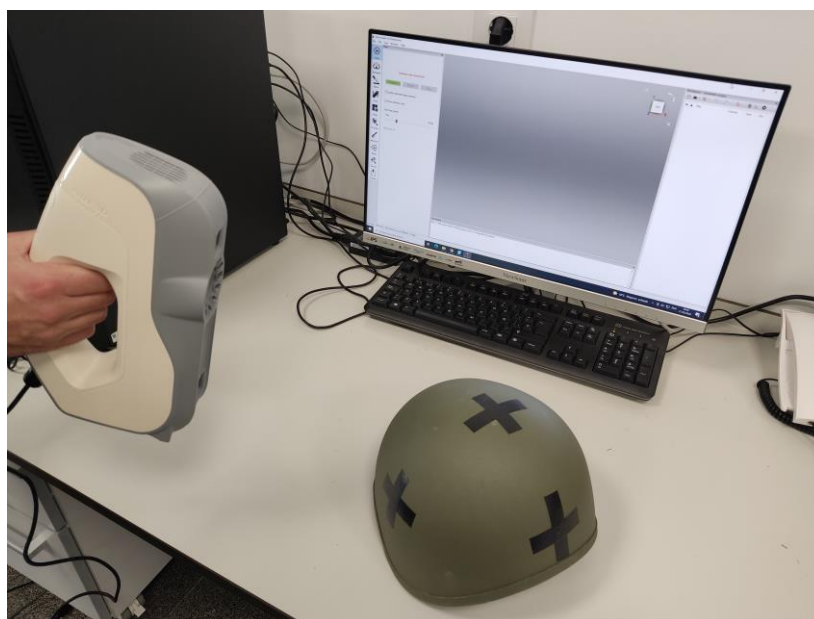


**Figura 3-17 Disposición sobre mesa para escaneado con Artec EVA**

Durante este escaneo se va a seguir el mismo proceso que el mencionado en el punto anterior, por lo que no se desarrollará con tanto detalle. Se comenzó también tomando diferentes tomas durante el escaneo. Sin embargo, es importante recalcar que, debido a la experiencia cogida durante, anteriores escaneos, no se deben tomar excesivas muestras pues a la hora de alinearlas cuantos más se hayan tomado más complejo serán de alinear. En la Figura 3-18 se pueden observar que en este caso, solo se realizaron tres escaneos (cada color representa una muestra). Además, se puede observar claramente como las nubes de puntos generadas justo después de escanear necesitan pasar por un postprocesado para refinarlas. El escáner identifica la base en la que está apoyada el objeto pero aún así, como podemos observar en la Figura 3-18, el software no es capaz de eliminarla entera durante el escaneo y se genera mucho ruido.

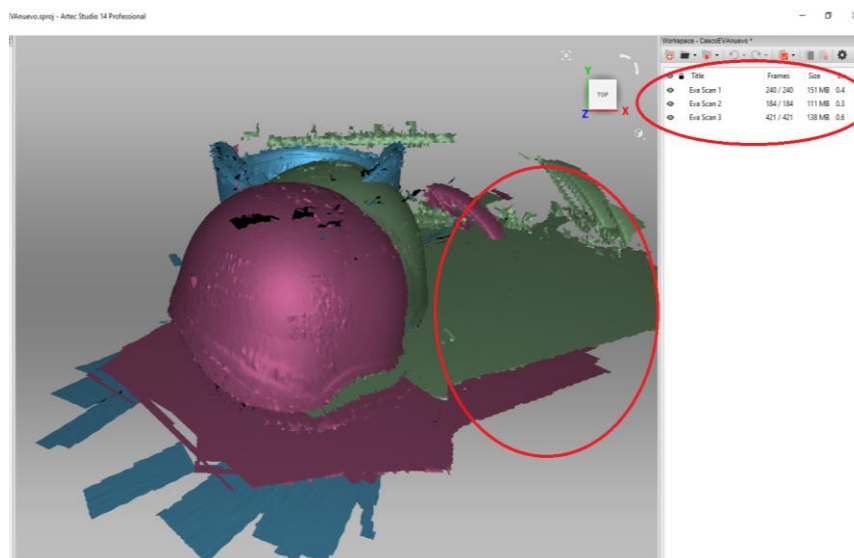


**Figura 3-18 Diferentes escaneos con Artec EVA y ruido generado**

Para eliminar el ruido y conseguir una nube de puntos que permitiese generar un sólido que se asemeje lo máximo posible a la realidad, se emplearon principalmente dos herramientas manuales. Como se mencionó anteriormente, el “Piloto automático” es muy eficiente cuando los escaneos son claros y libres de ruidos. En este caso, se decidió realizar las operaciones manualmente debido a la gran cantidad de ruido de los escaneos. Primero se empleó la herramienta “Borrador” para seleccionar los puntos no deseados de cada escaneo y eliminarlos. Como se puede observar en la Figura 3-19, aquellos puntos seleccionados manualmente no deseados se marcan en color rojo para poder previsualizar lo que va a ser eliminado. El objetivo de esta operación es eliminar todos aquellos puntos que no pertenecen al casco.

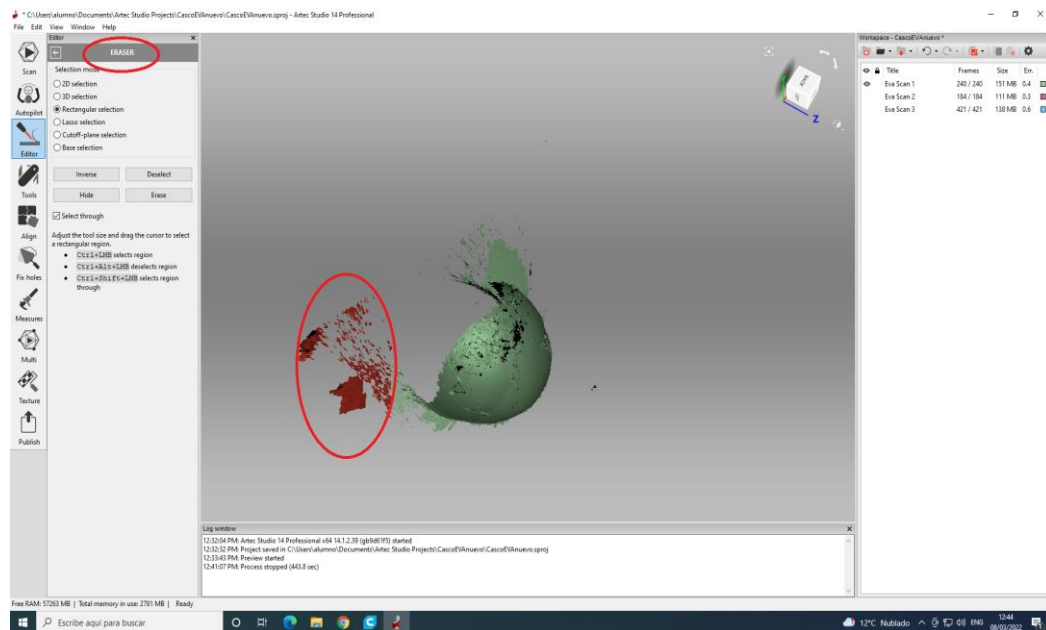


**Figura 3-19 Borrado manual de puntos no pertenecientes a la superficie del casco**

Una vez terminado el borrado, se lleva a cabo la operación de “Alinear”. Como podemos ver en la Figura 3-20, se tienen los tres escaneos superpuestos, pero con diferente orientación y posición. Se trata de rotar y trasladar cada escaneo hasta que coincida con los demás. De primeras, se intentó realizar mediante la herramienta “Piloto automático” pero tras dos intentos en los que el modelo final no era satisfactorio [Figura 3-21], se decidió realizar el alineado manual. Seguramente, la razón por la que no se pudieron alinear los escaneos correctamente de manera automática, fuese debido a que se trata de una superficie muy similar y del mismo color en casi todos sus puntos. La superficie escaneada debe tener puntos característicos que sirvan como referencia para que luego el *software*, los identifique y los superponga. Las diferentes partes de la superficie del casco sin funda son difíciles de identificar debido a que todos los puntos, a excepción de los bordes, presentan el mismo aspecto y geometría. Además de decidir hacer uso de la herramienta manual, se colocaron en el casco unas tiras de cinta aislante negra que sirviesen de referencia [Figura 3-21] para que fuese más sencillo reconocer aquellos puntos comunes a los diferentes escaneos.

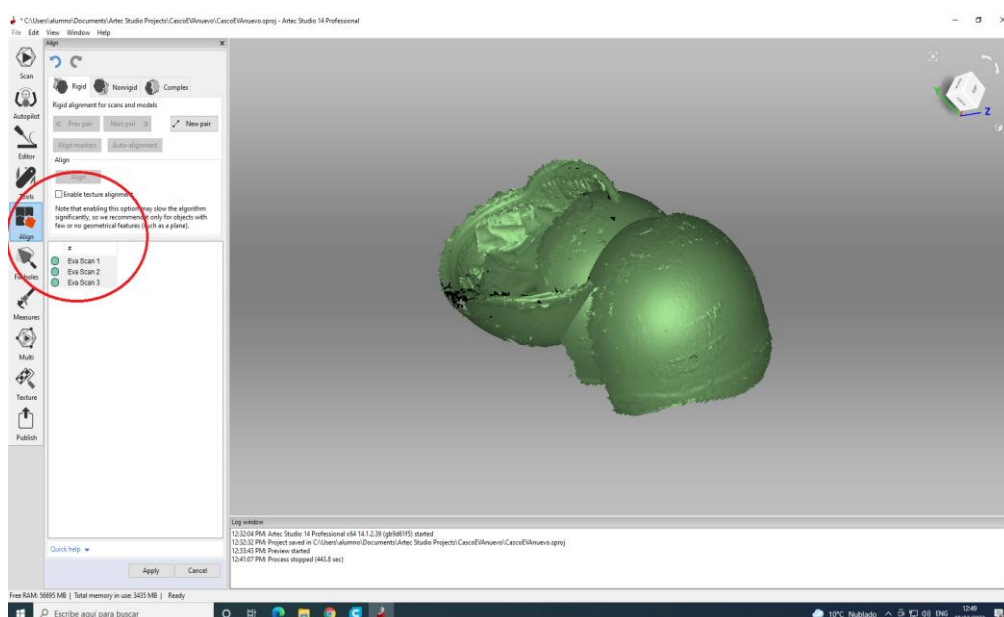


**Figura 3-20 Alineamiento manual de la nube de puntos generada en los diferentes escaneos**



**Figura 3-21 Fallos en el proceso de autoalineamiento**

Por otra parte, para evitar el problema surgido durante el escaneo del casco con funda referente al brillo del interior del casco, se optó por colocar un relleno en el interior del casco. De esta manera, únicamente se escaneaba el borde de la parte interna del casco, que es lo realmente relevante para este trabajo [Figura 3-22]. En esa misma figura, se puede apreciar el modelo final generado por Artec Studio. Tras realizar las operaciones manuales mencionadas se ejecutó el “Piloto automático” para ejecutar las demás operaciones de postprocesado y generar el modelo. El resultado obtenido es de gran calidad y resolución y es prácticamente idéntico al casco original. Se concluye que fue un acierto decidir repetir el escaneo, esta vez con el escáner *Artec EVA* y sin funda.

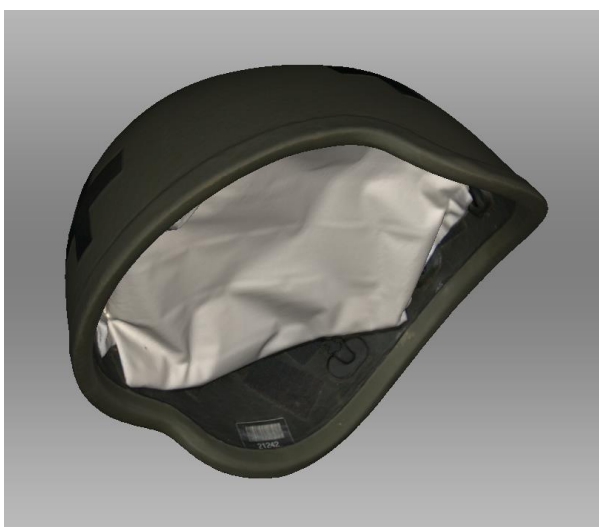


**Figura 3-22 Casco escaneado sin funda con relleno interno**

Siguiendo el mismo proceso realizado durante el escaneo del casco con funda, lo siguiente que se hizo fue exportar la nube de puntos directamente a Geomagic Design X y generar el modelo desde dicho *software*. Como se puede ver en la Figura 3-23, el programa ha asignado un punto aleatorio de la superficie del casco como origen de coordenadas. Siguiendo los pasos de la Figura 3-13, la primera operación que se realizó con este programa fue el “Alineamiento interactivo”. Gracias a esta herramienta se colocó el origen de coordenadas en la parte frontal del casco [Figura 3-24].

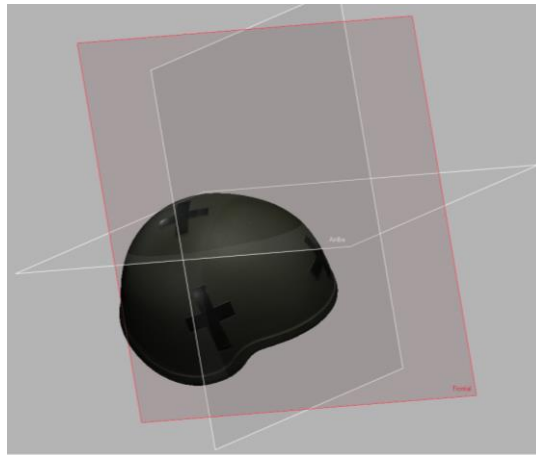


**Figura 3-23 Casco escaneado sin alinear con planos de referencia**



**Figura 3-24 Casco escaneado alineado con planos de referencia**

Lo siguiente que se realizó, fue refinar la malla gracias a las sencillas herramientas que tiene el programa para ello. Primero, se ejecutó el “Asistente de reparación” [Figura 3-25] que corrige y simplifica la malla; esta vez el programa no avisó de la existencia de errores sin resolver. Esto significa que el mallado generado constituía un sólido sin cavidades. Por último, se ejecutó el comando “Superficie automática”, que permite visualizar el sólido sin color ni textura, archivo preparado para ser exportado a otros programas de diseño CAD. Esta herramienta crea en la malla redes de curvas automáticamente, es decir, genera superficies NURBS. Este sólido puede verse también en la Figura 3-25. En definitiva, a diferencia del mallado del casco con funda, éste sí que generaba una superficie *manifold* y pudo ser exportado, sin contratiempos, a Autodesk Inventor Professional para comenzar a modificar dicho sólido y empezar a crear piezas en base a sus dimensiones [Figura 3-26].

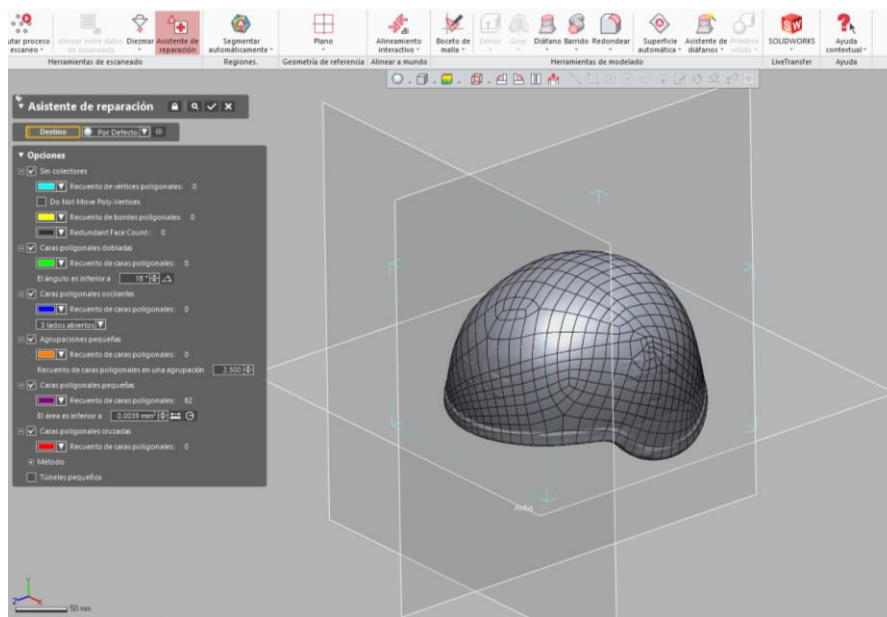


**Figura 3-25 Ejecución de la herramienta "Asistente de reparación"**

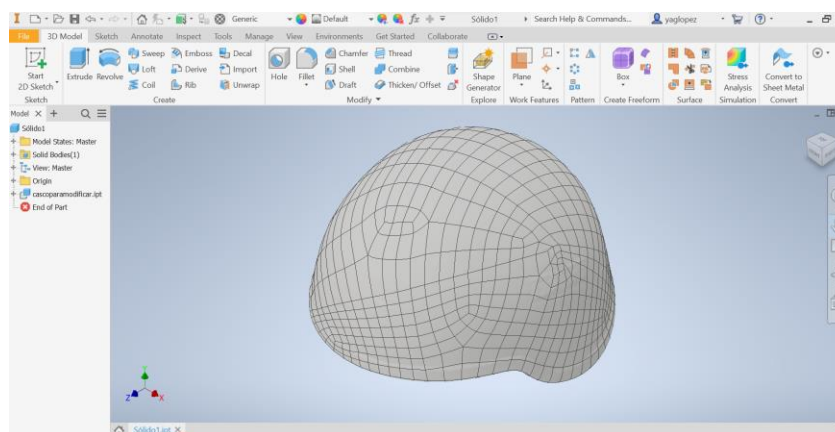


**Figura 3-26 Modelo sólido del casco exportado a Autodesk Inventor Professional**

En resumen, el escáner más adecuado para escanear este objeto fue el *Artec EVA* debido que se trata de una geometría sencilla y no necesita tanta resolución. El software más indicado para realizar el alineado de las muestras es *Artec Studio*. Sin embargo, existen ciertas operaciones como el refinado de la malla y la alineación del sólido con los planos de referencia, que son menos complejas de realizar en *Geomagic Design X*. Por último, gracias a la gran compatibilidad de este último programa mencionado, el modelo sólido que se ha generado se puede exportar a otros programas de diseño CAD. En el caso de este TFG, se exportó a *Autodesk Inventor Professional*, pues es el programa que manejan los alumnos de la Escuela Naval Militar a lo largo de su formación. Así pues, en este punto del trabajo se tiene un cuerpo sólido que se corresponde con el casco COBAT 01 representado en un programa de diseño, gracias al cual se podrán crear modificaciones o piezas nuevas en base a las dimensiones de este.

### 3.2 Diseño en Autodesk Inventor Professional

Es importante reseñar que el trabajo realizado hasta ahora no es más que una actividad secundaria de este TFG. El principal objetivo de este trabajo es diseñar un elemento que sea capaz de acoplar un dispositivo intensificador de luz al casco COBAT 01 de recién adquisición por las fuerzas armadas españolas. Es necesario escanear el casco puesto que se persigue diseñar unos componentes que se adapten a la forma y superficie de este. La principal ventaja de poder generar un modelo sólido del casco

es que, gracias a *softwares* de diseño CAD se pueden realizar mediciones, acoples, ensamblajes y demás operaciones sobre él. Se concluye por lo tanto que el énfasis del escaneo debía ir orientado a generar la geometría del casco lo más parecida a la realidad posible. Siendo de menor importancia la resolución, textura y acabado del escaneo. En la siguiente fase de este TFG, el diseño del prototipo, sí que se va a perseguir la calidad y exactitud en las tareas pues es lo que va a determinar la funcionalidad del atalaje.

### 3.2.1 Atalaje existente e inconvenientes

A continuación, se va a argumentar por qué este atalaje ha dejado de ser funcional y que piezas deben ser sustituidas. Además, se va a presentar tanto el atalaje existente en su conjunto, como cada uno de sus componentes por separado.

Como ya se ha expuesto anteriormente, en las Figura 1-8 y Figura 1-9 se puede comprobar que las uñas frontales del atalaje existente para el PVS-14C no contacta con el borde del casco con una superficie suficiente como para generar un buen agarre. Miembros de las FAS optaron como solución interina a doblar las uñas frontales hasta conseguir que encajasen con el casco COBAT 01. En la Figura 2-35 se puede comprobar que, incluso doblándolas, el acople no es adecuado. Además, aplicar fuerza sobre las uñas de tal manera que se consiga doblar el metal, puede generar que pierda propiedades estructurales e incluso puede causar la rotura de la pieza.

Sin embargo, uno de los factores que determina claramente la inutilidad de este atalaje con el casco COBAT 01 es que, aunque se consiguiese doblar las uñas de manera que encajasen en el casco, la placa base en la que se acopla el visor queda una determinada altura que impide que el visor quede a la altura de los ojos cuando se instale. En la Figura 3-27 puede verse como, aún flexando las uñas, la posición de la placa no permite un correcto ajuste del visor nocturno a los ojos.



**Figura 3-27 Imposibilidad de colocar PVS-14C a la altura de los ojos**

En definitiva, la pieza que produce la incompatibilidad es la uña que agarra la parte frontal del casco. A continuación, se muestra cada componente del atalaje por separado:

- **Uñas frontales [Figura 3-28]:** diseñadas en base a la forma del casco MARTE, encajan en la parte frontal del casco. Como se ha mencionado anteriormente y se puede ver en la Figura 3-29, muchos usuarios doblan la pieza para modificar su geometría. Esto puede producir la rotura de la misma.



**Figura 3-28 Uñas frontales atalaje PVS-14C**

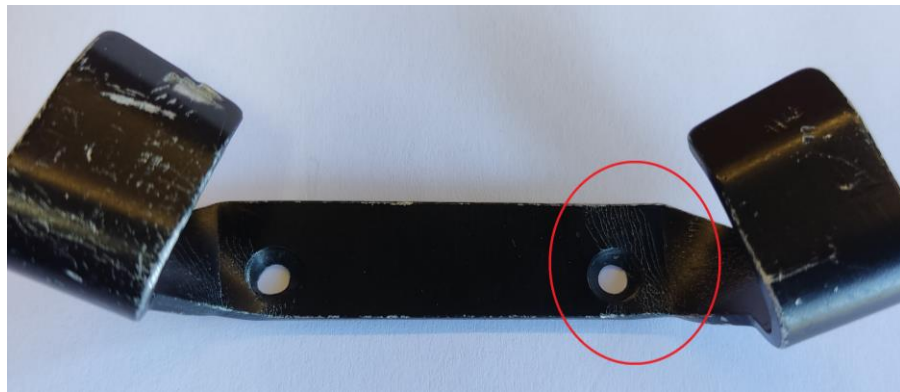


**Figura 3-29 Grietas generadas al doblar las uñas de agarre**

- Placa de acople [Figura 3-30]: va unida a las uñas mediante dos tornillos. Su función es la de soportar y encajar el “Brazo Rhino” [Figura 3-31]. Esta pieza será de vital importancia en este TFG debido a que, de su correcta colocación en la superficie del casco dependerá que el visor se adapte adecuadamente a la altura de los ojos. A diferencia del casco, como se justificará más adelante, el modelo sólido de esta pieza se generará diseñando manualmente la pieza en Autodesk Inventor Professional a base de mediciones.



**Figura 3-30 Placa de acople**



**Figura 3-31 Brazo Rhino acoplado a placa**

- Tensor [Figura 3-32]: la uña trasera se ajusta a la parte trasera del casco y mediante un sistema de tensado permite ajustar el atalaje a las dimensiones del casco. Esta pieza tiene la ventaja de servir tanto para el casco MARTE como para el casco COBAT 01.



**Figura 3-32 Tensor atalaje PVS-14C**

### *3.2.2 Diseño del prototipo*

Tras conocer los distintos componentes del atalaje y estudiar la problemática de cada uno, se decide que hay que rediseñar las uñas frontales. Dicha pieza ha de diseñarse en base a dos factores:

- Conforme a la geometría frontal del casco para que pueda envolver y agarrar correctamente el casco.
- Conforme a la colocación de la placa. Es sumamente importante pues como se mencionó anteriormente, de ella depende que el visor nocturno quede correctamente adaptado a la altura de los ojos.

Por este último motivo, el primer paso a completar es crear un modelo sólido digital de la placa de acople. Una vez se haya creado ésta, mediante la función “ensamblaje” de Inventor se colocará en una determinada posición de forma que cuando se acople el visor, éste quede bien adaptado.

Se podría haber escaneado la placa y haber generar el modelo sólido siguiendo el mismo proceso que con el casco. Sin embargo, se decidió diseñar la pieza directamente desde Inventor. puesto que no consta de geometrías muy complejas y, como se ha podido experimentar, el escaneado 3D es un proceso laborioso. El “Brazo Rhino” debe encajar a la perfección en la pieza por lo que sería necesario realizar un gran postprocesado de la nube de puntos para conseguir el modelo sólido adecuado. Todas las medidas fueron tomadas con el calibre de la Figura 3-33. Como veremos más adelante, la pieza diseñada [Figura 3-34] es el resultado de múltiples modificaciones. Más adelante, se expondrán los errores que presentaban los primeros diseños y como se fueron resolviendo.



**Figura 3-33 Calibre**

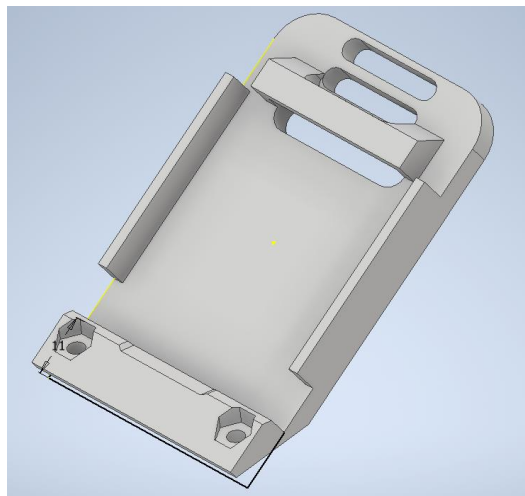


**Figura 3-34 Placa de acople diseñada con Autodesk Inventor Professional**

Las principales dificultades encontradas a la hora de reproducir las dimensiones de la pieza fueron dos:

- La zona señalada en la Figura 3-35: al tratarse de una cavidad, no fue sencillo medir las dimensiones de la misma. Se tuvieron que realizar numerosos diseños hasta que se consiguió acoplar el “Brazo Rhino” con exactitud.
- La extrusión señalada en la Figura 3-35: es la principal diferencia entre el sólido que se ha diseñado y la pieza real. Aunque es posible generar un roscado, las prestaciones de los roscados generados mediante impresión 3D no suelen ser buenas. Se decidió crear un hueco para alojar una tuerca y anclar la placa de esta manera a las uñas frontales.

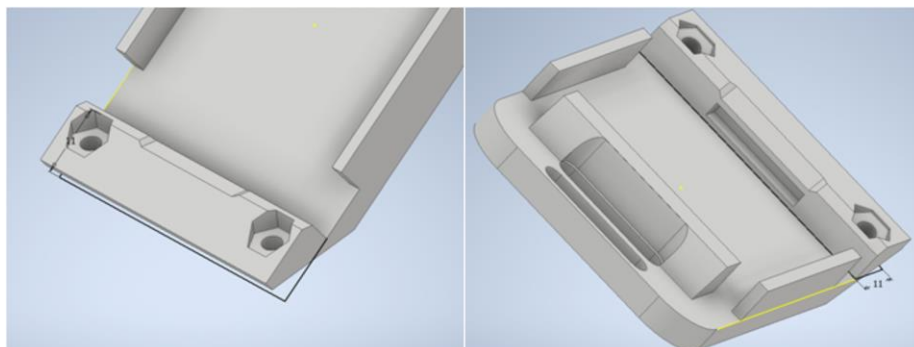


**Figura 3-35 Cavidad redimensionada (izquierda) y extrusión para alojar tuerca (derecha)**

El siguiente paso en llevarse a cabo fue el diseño de las uñas frontales, tomándose como referencia la geometría del casco. Para ello, se crearon planos de trabajo en las zonas en las que se desean colocar las uñas. Gracias a esos planos se pudieron esbozar bocetos y dibujar sobre ellos la forma más adecuada para agarrar el casco [Figura 3-36].

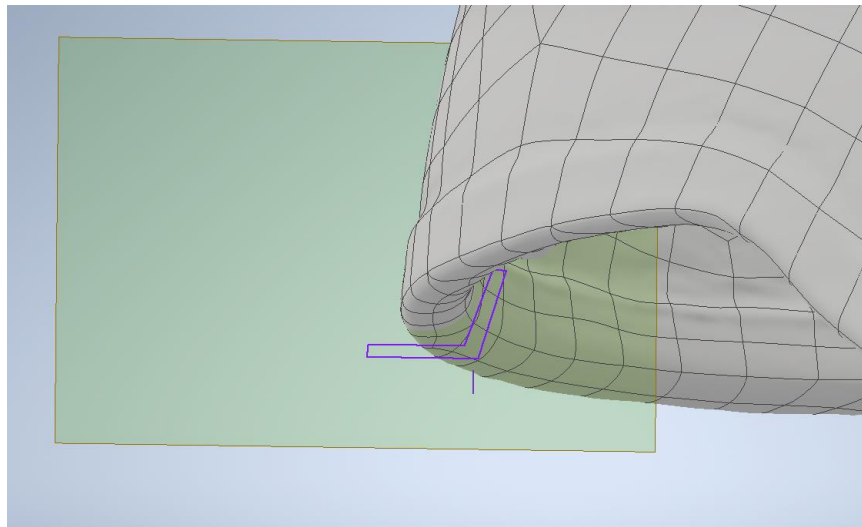


**Figura 3-36 Bocetos realizados en base a la geometría del casco**

Aquí queda patente la importancia de tener escaneado el casco, el resultado es el diseño de unas uñas que se adaptan perfectamente a la forma del casco [Figura 3-37]. Tener el modelo sólido importado a Inventor facilitó en gran medida las operaciones pues, a grosso modo, consistía simplemente en dibujar alrededor de la superficie del casco. Al igual que la placa de acople, estas uñas fueron rediseñadas tras hasta llegar al modelo de la Figura 3-37. Más adelante, se expondrán los errores encontrados.

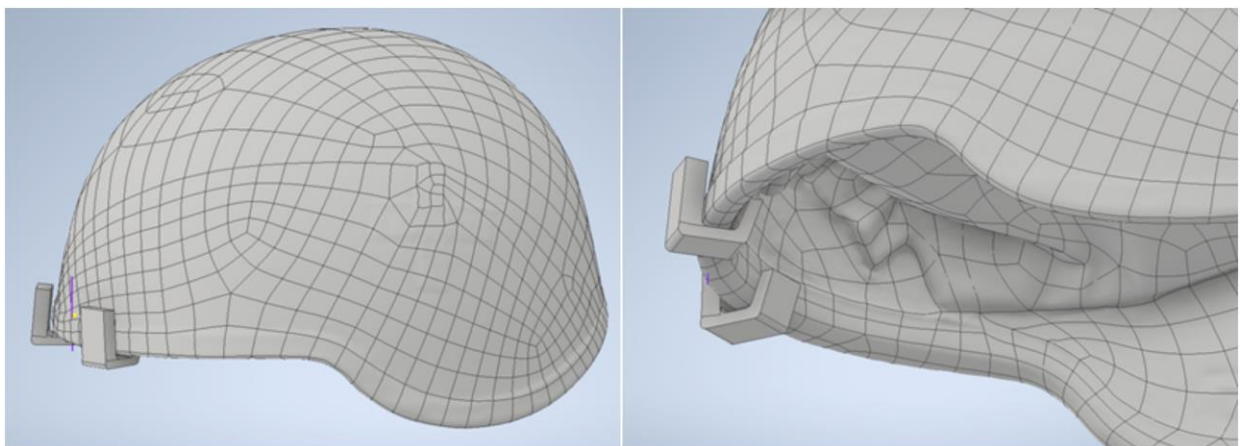


**Figura 3-37 Uñas diseñadas en base a la forma del casco**

Una vez se tiene en un mismo archivo el casco y las uñas frontales diseñadas, se creará un ensamblaje con la intención de posicionar la placa de acople en la situación necesaria para que el visor nocturno quedé bien ajustado. El resultado es la Figura 3-38, donde se puede ver la placa colocada en el lugar idóneo para adaptar correctamente el visor al ojo.

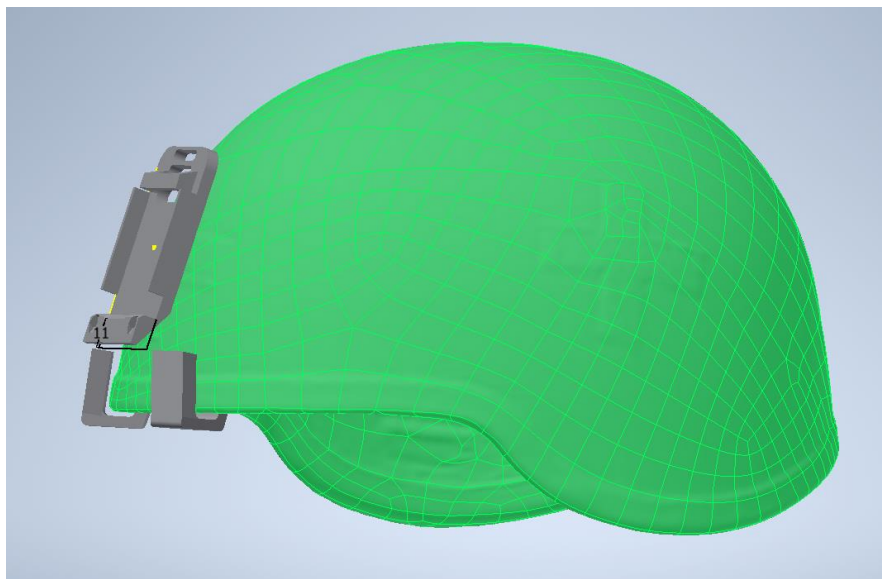


**Figura 3-38 Ensamblaje del casco con la placa de acople**

Una vez fijada la placa en su posición, se trata únicamente de diseñar un sólido que una dicha pieza con las uñas previamente diseñadas [Figura 3-39].

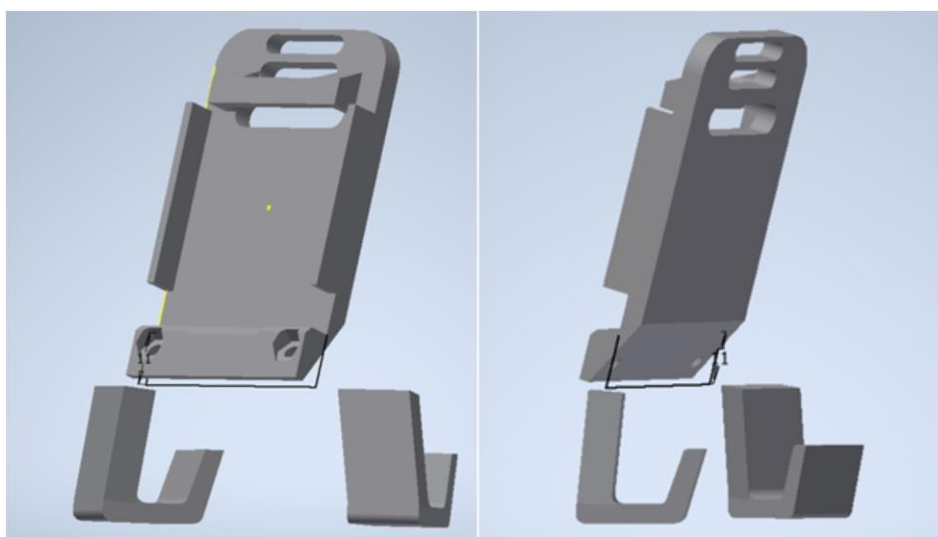


**Figura 3-39 Placa y uñas antes de ser unidas por otro sólido**

Lo primero que se diseñó fue una placa que se pudiese atornillar a la placa de acople [Figura 3-40]. Posteriormente, dicha placa recién creada, se unirá a las uñas de forma que conformen un único sólido. La unión de ambas piezas supuso la mayor dificultad encontrada hasta el momento en el diseño del prototipo. Se realizó mediante una operación de “*Loft*”. Permite unir dos caras de distintas superficies mediante una masa creada [Figura 3-41]. Al igual que la placa y las uñas, esta operación también fue realizada numerosas veces hasta conseguir el diseño actual. Más adelante, se expondrán los errores encontrados.

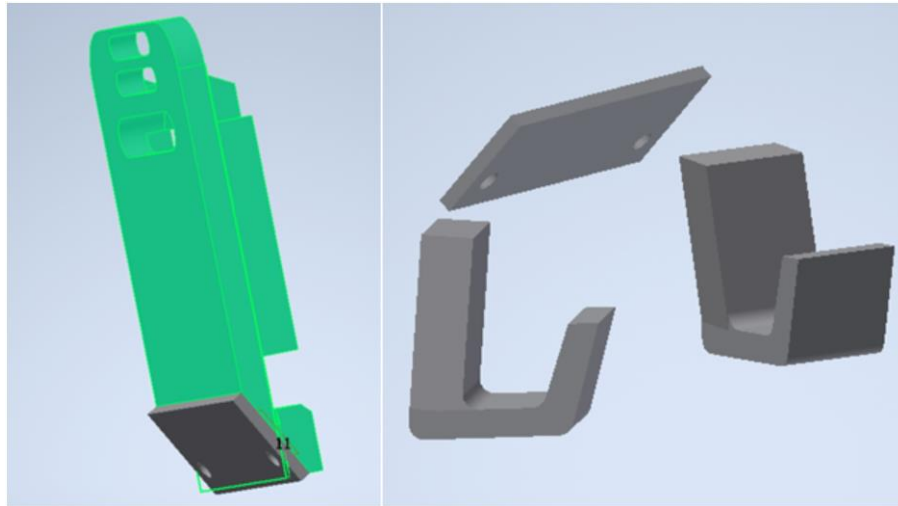


**Figura 3-40 Placa que debe unirse a las uñas para conformar un único sólido**

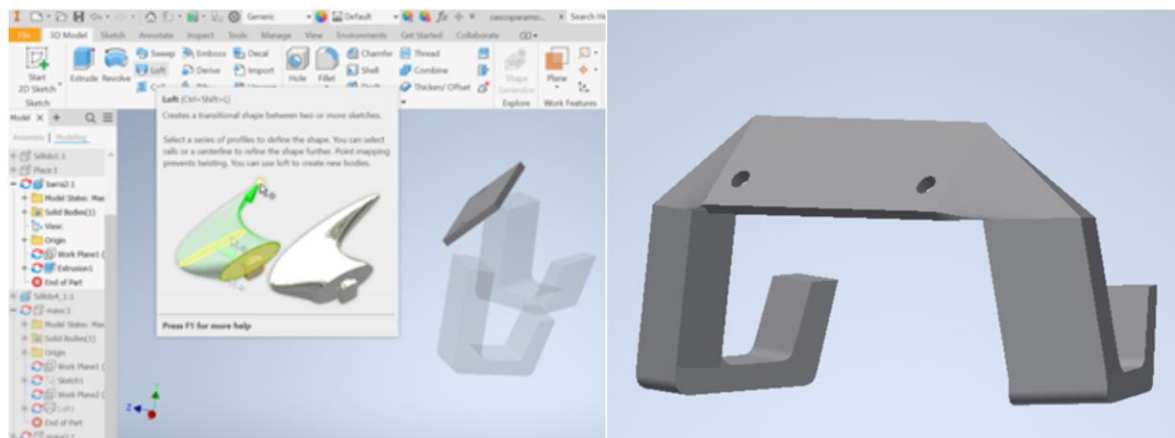


**Figura 3-41 Operación que permite unir ambos sólidos (izquierda). Uñas definitivas (derecha)**

Tras realizar el diseño de las piezas, se puede observar como todas las piezas quedan ensambladas y se acoplan a la geometría del casco [Figura 3-42]. Es importante reseñar que se trata de un proceso de ingeniería inversa pues, a raíz de un sólido conocido se ha diseñado algo nuevo. Es decir, conociendo unas dimensiones, se ha creado una pieza que se adapte a ellas.

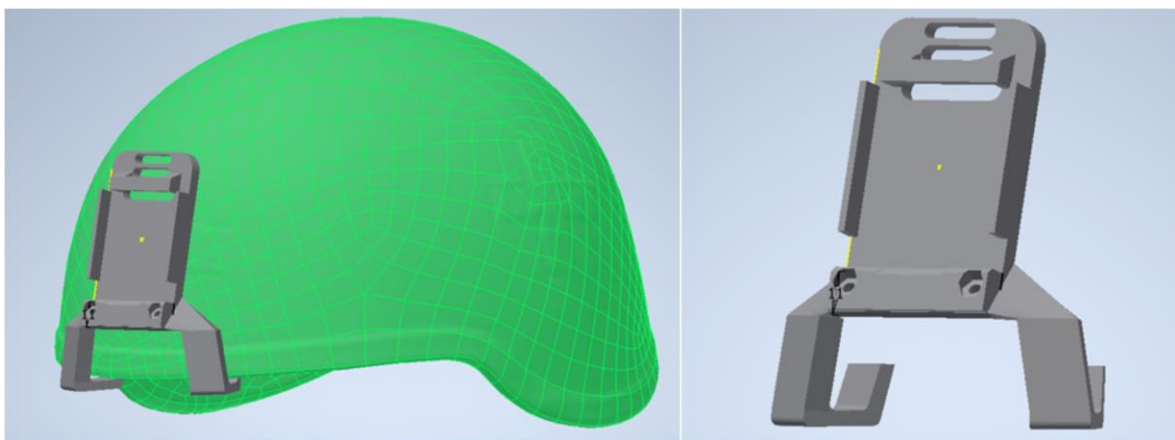


**Figura 3-42 Ensamblaje definitivo**

### 3.3 Impresión 3D

#### 3.3.1 Generalidades

Para realizar las impresiones de los distintos prototipos y piezas definitivas se empleó el software de impresión Ultimaker Cura [Figura 3-43]. Dicho programa pertenece a la casa Ultimaker, una conocida marca de impresoras 3D. Aunque está programado para su utilización con impresoras de la marca, también es compatible con otras marcas. Es, además, compatible también con una gran variedad de archivos: stl, png, obj, x3d, bmp, gif y jpg. El programa divide la configuración de la impresión en tres fases:

- Preparar: sirve para importar el archivo, ajustar la orientación de la pieza, configurar los parámetros de impresión, seleccionar la impresora y para calcular los movimientos que ha de realizar el extrusor.
- Vista previa: el programa permite ver una previsualización del movimiento del cabezal. Muestra como se va a ir generando la pieza capa a capa.
- Supervisar: el *software* crea una barra de progreso que calcula el progreso de la impresión e indica el tiempo restante hasta la finalización de la misma.

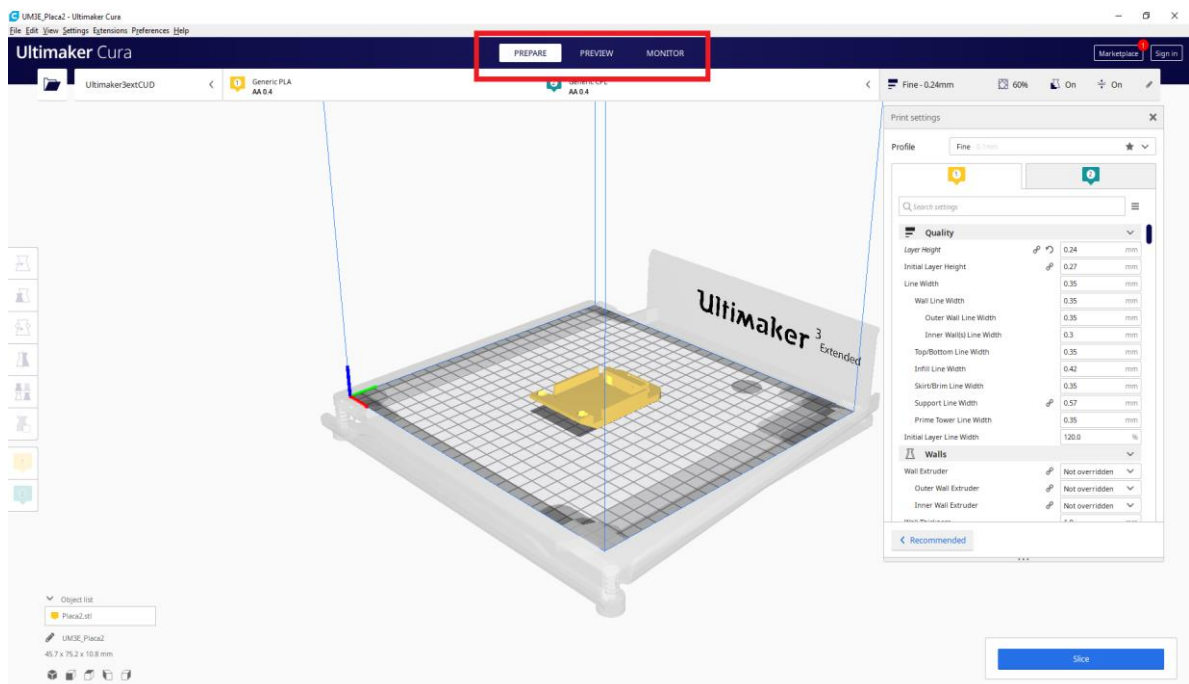


Figura 3-43 Interfaz del programa Ultimaker Cura

La impresora que se utilizó durante este TFG fue la *Ultimaker Extended 3* [Figura 3-44]. Emplea tecnología de fabricación con filamento fundido, FDM (30). Permite crear objetos con dos materiales distintos pues tiene dos extrusores. Sin embargo, durante este TFG las piezas impresas fueron creadas con un único material. Soporta múltiples materiales tales como: PLA, ABS, PVA, TPU, PET CF, NYLON, etc.



**Figura 3-44 Impresora 3D Ultimaker Extended 3**

### 3.3.2 Impresión de prototipos

EL primer paso para poder empezar a imprimir es exportar desde Autodesk Inventor Professional el archivo .stl e importar el objeto 3D al *software* Ultimaker Cura. Debido a que se trata de un trabajo de ingeniería inversa en el que hay que medir las dimensiones de un objeto conocido, no es de extrañar que haya que rediseñar numerosas veces las piezas. Tras diseñar por primera vez las piezas, se imprimieron para identificar errores de diseño. La impresión y el diseño han sido procesos paralelos a lo largo del trabajo. Durante esta fase del trabajo, que se trata de imprimir prototipos, todas las impresiones se realizaron empleando como material PLA, puesto que como se mencionó en el apartado “Materiales empleados” es el más idóneo para realizar prototipos no funcionales. Tanto el soporte como el cuerpo fueron impresos en PLA. Se descartó emplear PVA para el soporte debido a sus complejidades a la hora de imprimir. Los parámetros de impresión más destacados fueron los que aparecen en la Tabla 3-1.

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Temperatura de impresión | 215°C  |
| Velocidad de impresión   | 50mm/s |
| Temperatura de la cama   | 60°C   |
| Ancho de línea           | 0,4mm  |

**Tabla 3-1 Parámetros de impresión PLA**

Puesto que la primera pieza que se diseñó fue la placa de acople, se imprimió en primer lugar. Tardó en torno a dos horas en imprimirse y al terminar, se analizó y se probó en busca de posibles errores de diseño. Se recuerda que la placa de acople ha de encajar perfectamente con el “Brazo Rhino” puesto que en caso contrario el visor nocturno no estaría bien anclado al casco y podría soltarse. Se imprimieron un total de tres prototipos.

El primer prototipo tenía el problema que las dimensiones con las que se diseñó, no eran lo suficientemente grandes y el “Brazo Rhino” ni siquiera encajaba [Figura 3-45]. Tras rediseñar la pieza, se imprimió el segundo prototipo y se consiguió resolver dicho problema [Figura 3-46]. Sin embargo, se tuvo que realizar otra corrección en la cavidad en la que se incrusta la pestaña del “Brazo Rhino” pues ésta no era lo suficientemente grande. En la Figura 3-47 se puede ver como al aumentar la extrusión, la pestaña entra por completo.



**Figura 3-45 Primer prototipo placa de acople**



**Figura 3-46 Segundo prototipo placa de acople**

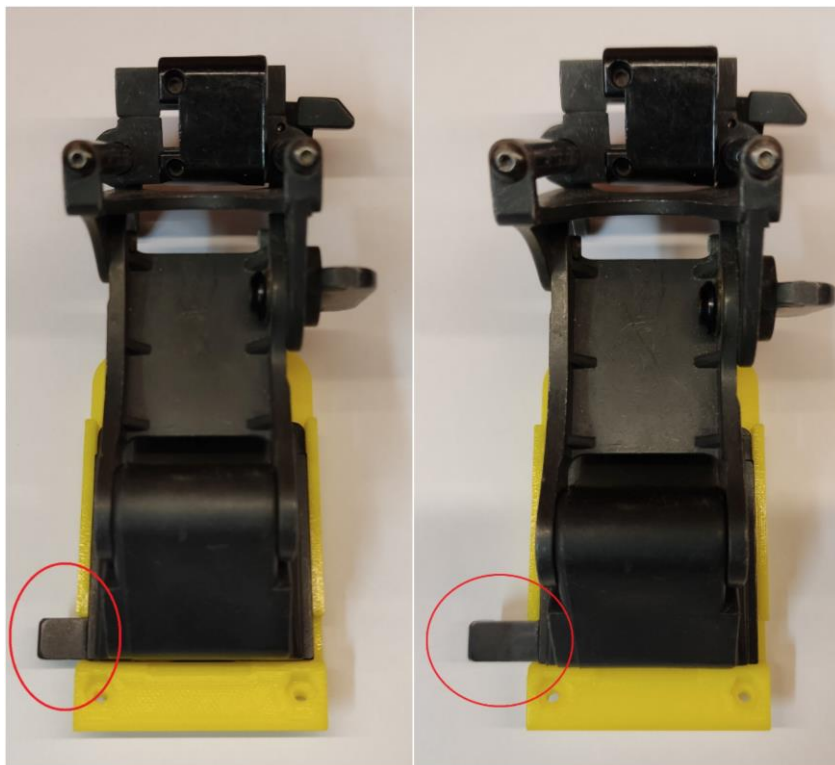


**Figura 3-47 Tercer prototipo placa de acople (derecha)**

Las uñas frontales fueron las siguientes en ser impresas. Al igual que la placa de acople, tardó aproximadamente dos horas en imprimirse. Esta fue la pieza que sufrió mayores modificaciones durante el proceso de prototipado. En un primer momento, se había diseñado la unión de la pieza creando unas masas curvas entre las partes separadas [Figura 3-48]. Al imprimirse, se comprobó que, efectivamente, la uña agarraba perfectamente la superficie del casco, pero las uniones eran demasiado curvas y no eran lo suficientemente resistentes [Figura 3-49].

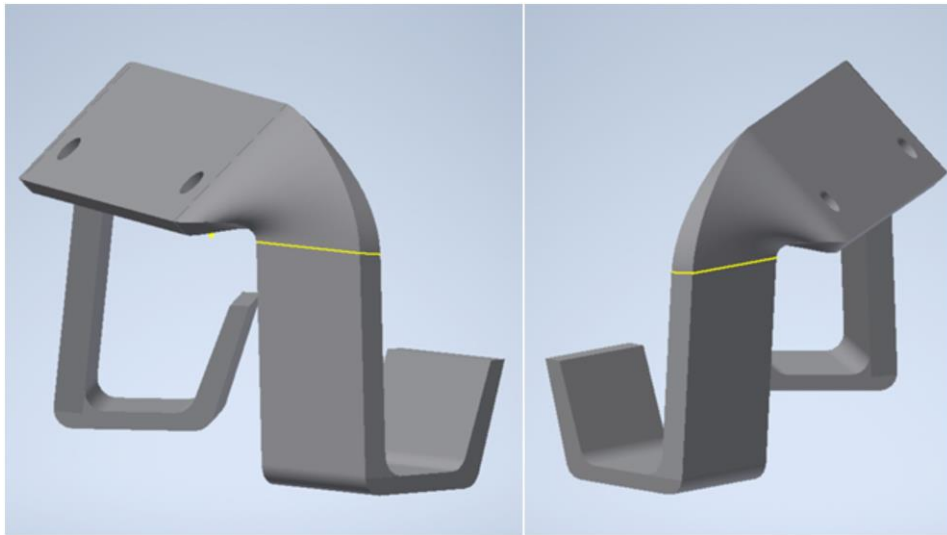


**Figura 3-48 Diseño original de las uñas frontales**

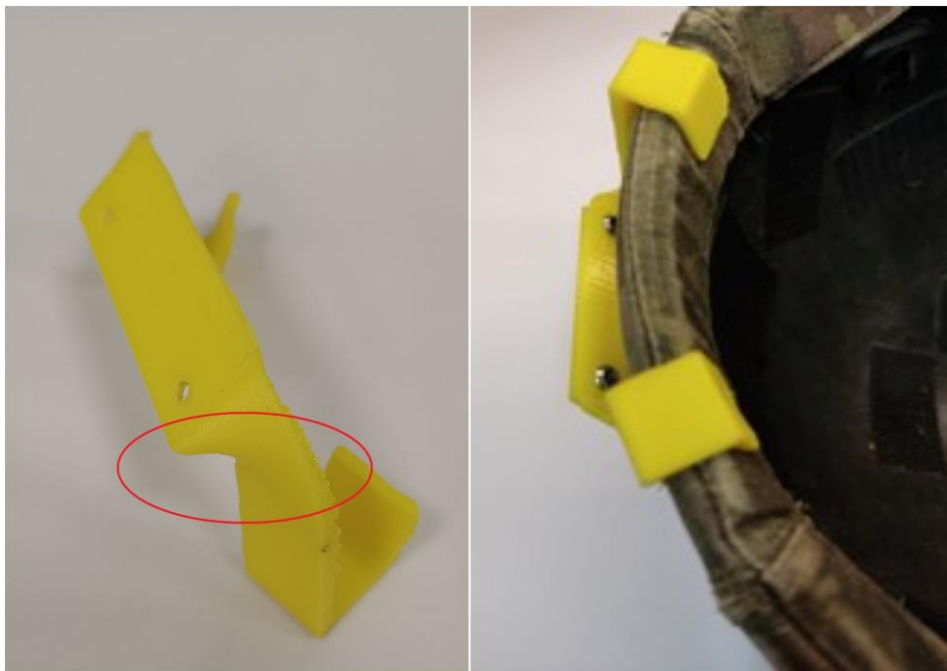


**Figura 3-49 Primer prototipo uñas frontales**

La pieza necesitaba ser rediseñada de forma que no fuese tan endeble. Se decidió, por lo tanto, ensanchar la pieza y sustituir las uniones curvas por unas sin curvaturas. En el primer intento de impresión de la pieza rediseñada, se orientó como se muestra en la Figura 3-50. El resultado fue una pieza cuyo acabado era defectuoso debido a que, según esa orientación, la pieza presentaba ciertas caras que la impresora no fue capaz de imprimir con éxito [Figura 3-51]. Se llevó a cabo un segundo intento, pero esta vez orientada como se puede ver en la Figura 3-52. De esta manera, sí que se consiguió imprimir la pieza con éxito [Figura 3-53].

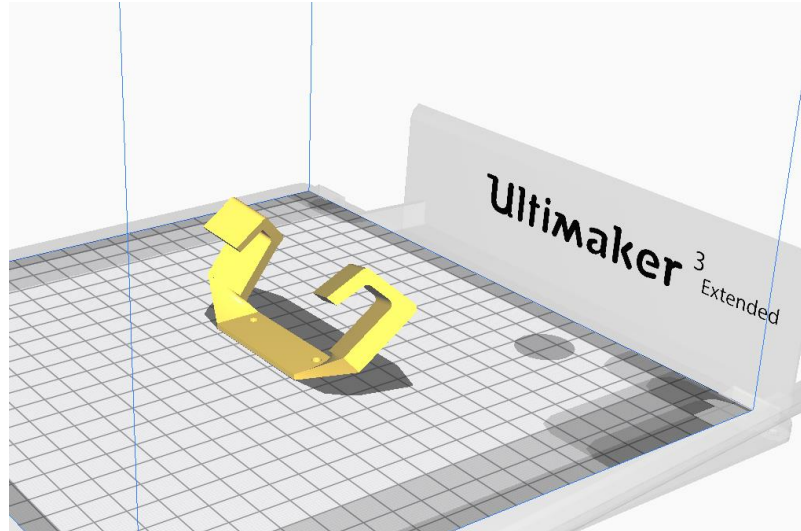


**Figura 3-50 Orientación de la pieza rediseñada (primer intento)**

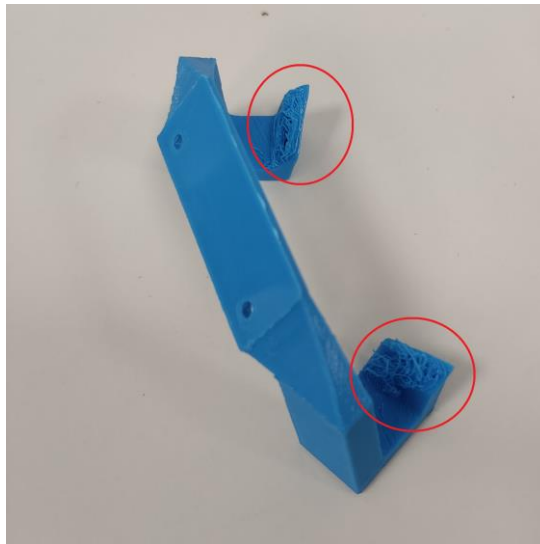


**Figura 3-51 Resultado del primer intento de impresión de la pieza rediseñada**

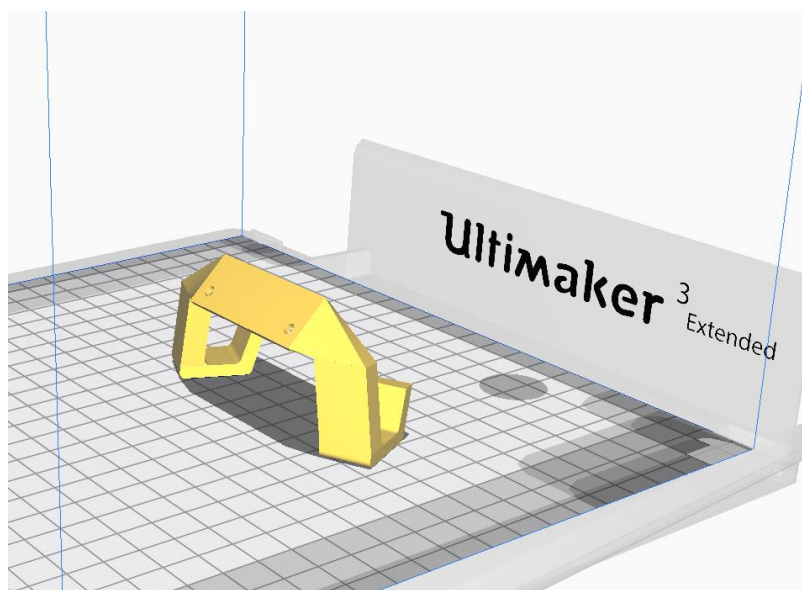


**Figura 3-52 Orientación de la pieza rediseñada (segundo intento)**

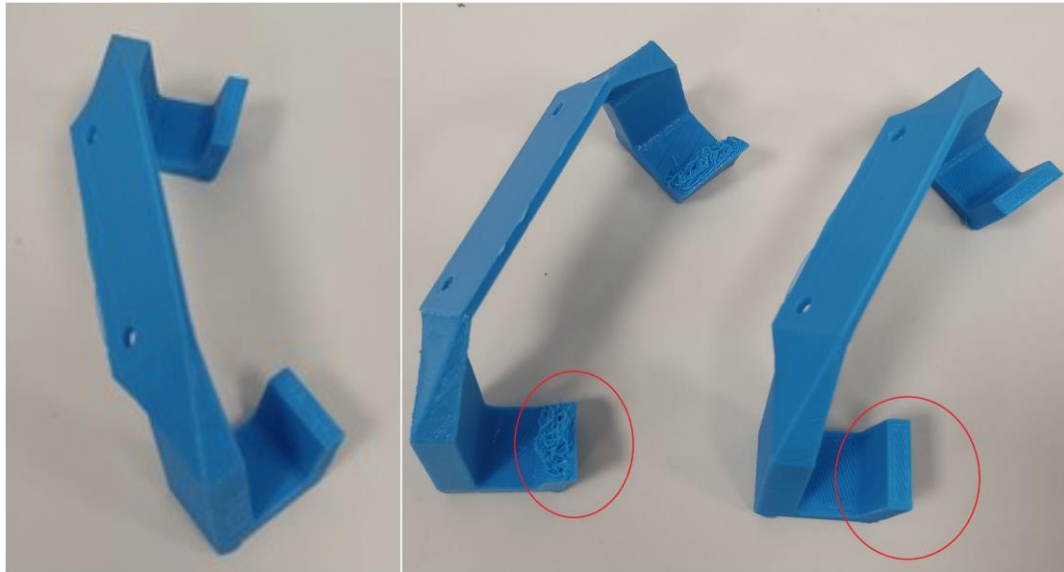


Figura 3-53 Resultado del segundo intento de impresión (izquierda) y comparación (derecha)

### 3.3.3 Impresión modelo definitivo

Tras corregir los errores detectados durante las impresiones de los prototipos, se dió paso a la impresión del modelo definitivo. El material elegido para la impresión de éste fue PET-CF (31). Es un material con elevada resistencia mecánica y térmica, puede soportar temperaturas de 100 °C de manera continua. Además, tiene gran resistencia química y baja absorción de humedad. Todos estos factores hacen del PET-CF un material adecuado para imprimir el modelo definitivo pues debe ser capaz de aguantar el exigente entorno en el que se desarrollan las operaciones militares.

Este material requiere unas condiciones de impresión exigentes, es necesario utilizar un dispositivo adecuado para imprimir. El extrusor debe ser capaz de alcanzar los 270 °C y es necesario emplear boquillas de acero endurecido o rubí debido a que es un filamento muy abrasivo por culpa de la fibra de carbono. La impresora empleada durante este TFG, la *Ultimaker Extended 3* (posee una boquilla de rubí), cumple con todos estos requisitos. Los parámetros de impresión del PET-CF aparecen en la Tabla 3-2 [56].

|                          |        |
|--------------------------|--------|
| Temperatura de impresión | 270°C  |
| Velocidad de impresión   | 50mm/s |
| Temperatura de la cama   | 70°C   |
| Ancho de línea           | 0,57mm |

Tabla 3-2 Parámetros impresión PET-CF

La primera pieza en ser impresa fue la placa de acople. Tras introducir los parámetros de impresión en Ultimaker Cura, el software calculó que tardaría 1 hora y 6 minutos. Se configuró la impresión con un 20% de densidad de relleno. Se utilizarón 16g de material, el equivalente a 2,02m de filamento.

El resultado fue una pieza con las mismas dimensiones que el último prototipo diseñado, pero con un acabado muy superior [Figura 3-54]. Como se puede ver en la Figura 3-55, el “Brazo Rhino” se acopla a la perfección.



**Figura 3-54 Placa de acople impresa con PET-CF**



**Figura 3-55 Placa de acople y "Brazo Rhino" encajados**

Posteriormente, se imprimieron las uñas frontales. Esta vez se orientó la pieza correctamente desde el primer momento para evitar los errores ya mencionados anteriormente. El tiempo de impresión fue de 1 hora y 4 minutos. Al igual que la placa de acople se empleó un 20% de densidad de relleno. Se utilizaron 13g de material, el equivalente a 1,65m de filamento.

Una de las características del PET-CF es un acabado superficial perfecto. Las uñas frontales son un claro ejemplo de ello. Debido a la complejidad de la geometría de la pieza, el prototipo presentaba algún pequeño defecto de impresión. Sin embargo, llama la atención el sensacional acabado superficial del modelo definitivo impreso en PET-CF [Figura 3-56].



**Figura 3-56 Uñas frontales impresas con PET-CF**

Ambas piezas se unen mediante dos tornillos de métrica tres que se enroscan en unas tuercas alojadas en unas cavidades creadas en la superficie de la placa de acople. Se decidió emplear este sistema debido a las roscas impresas en 3D son delicadas y no suelen ser ni duraderas ni reutilizables [57]. En la Figura 3-57 se pueden observar ambas piezas ensambladas y con el “Brazo Rhino” acoplado.



**Figura 3-57 Modelo final ensamblado (izquierda) y “Brazo Rhino” acoplado (derecha)**

Al concluir todo este desarrollo, se obtiene un modelo final que consigue cumplir todas las expectativas de este TFG, es resistente, funcional y con geometrías fácilmente imprimibles que se adaptan con gran precisión a la forma del casco [Figura 3-58] [Figura 3-59]. De esta manera, se consigue acoplar el visor nocturno PVS-14C al casco COBAT 01, recuperando la capacidad de desarrollar operaciones nocturnas de manera eficaz.



**Figura 3-58 Modelo final colocado sobre el casco COBAT 01**



**Figura 3-59 Modelo final con visor PVS-14C acoplado**



## 4 RESULTADOS

En este apartado, se analizará todo el proceso de ingeniería inversa llevado a cabo para modelar un atalaje compatible con el casco COBAT 01, centrándose en las etapas de escaneado, diseño e impresión y mostrando los resultados de cada una de ellas. Se sacarán una serie de lecciones aprendidas en cada etapa y se comentarán los resultados de las pruebas de conjunto realizadas.

### 4.1 Escaneado

El uso de esta metodología para adquirir dimensiones y formas de objetos ha resultado clave para este TFG. Gracias a ella, se consiguió recrear en un programa de diseño como Autodesk Inventor Professional el casco COBAT 01, empleándose como referencia para posteriores diseños.

A pesar de que se trata de un método muy simple para obtener la geometría de los objetos, es necesaria cierta experiencia para conseguir escaneados con buen acabado. Prueba de ello fue el primer intento de escaneo cuyo resultado es el que se puede ver en la Figura 4-1. A pesar de que a primera vista su apariencia sea muy parecida a la del objeto original, este modelo generado tenía gran cantidad de errores [Figura 4-2]. Prueba de ello es que el mallado que se consiguió exportar a Inventor no era válido para este TFG, pues no se consideraba un único sólido y por lo tanto no se podía editar correctamente [Figura 4-3]. Dicho escaneo se realizó con el escáner Artec Space Spider cuyo funcionamiento es más complejo. Sin embargo, la principal causa por la que no se consiguió importar correctamente el mallado a Autodesk Inventor Professional fue la funda del casco, que generaba una superficie muy irregular y difícil de representar mediante triángulos.



**Figura 4-1 Resultado de escaneo del casco con funda**



**Figura 4-2 Fallos en el escaneado del casco con funda**

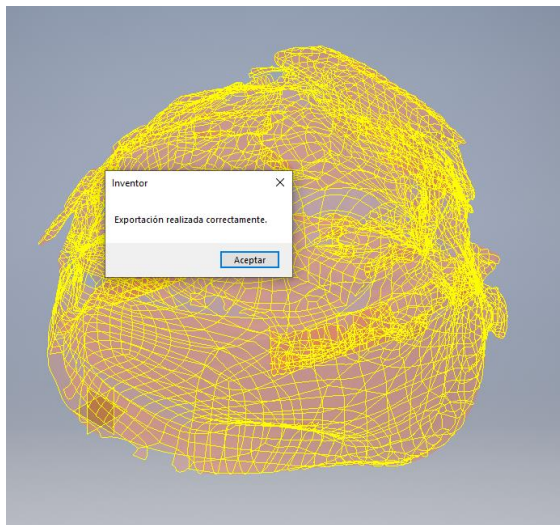


**Figura 4-3 Errores en el mallado que impiden generar el modelo sólido**

Tras coger experiencia en el empleo del escáner y de los softwares de postprocesamiento, se repitió el escaneado y los resultados esta vez fueron excelentes [Figura 4-4]. El hecho de escanear el casco sin funda permitió el empleo del escáner *Artec EVA* cuyo funcionamiento es mucho más sencillo. Los errores cometidos durante el primer intento fueron corregidos, consiguiendo de esta manera importar un sólido al *software* de diseño sin, aparentemente, ningún defecto y de apariencia muy similar a la realidad [Figura 4-4].

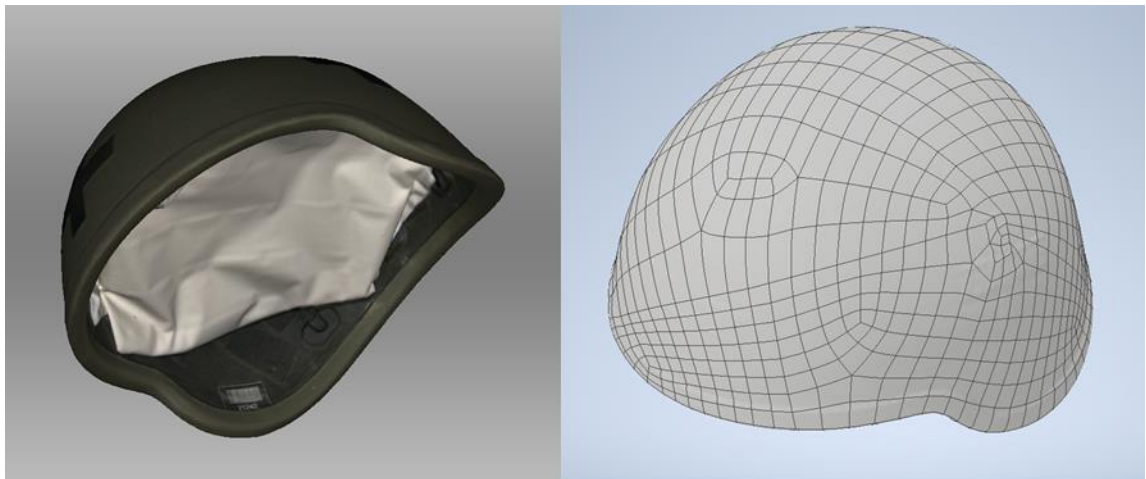


**Figura 4-4 Resultado del escaneado (izquierda) y modelo sólido generado en Inventor (derecha)**

Tras analizar el resultado obtenido, destaca el empleo de los escáneres 3D por la capacidad de adquirir dimensiones de forma fidedigna y rápida, en concreto, el escáner *Artec EVA*. Tanto el escáner como el *software* Artec Studio fueron capaces de procesar los puntos de una manera muy aproximada, consiguiendo una adquisición de los ángulos y distancias con errores mínimos. También destaca por la representación de los colores y de la textura del objeto escaneado gracias a la herramienta “Piloto automático”. Se generó un objeto prácticamente idéntico que el original. Por su parte, el *software* Geomagic Design X fue de vital importancia para conseguir generar una nube de puntos depurada, alineada y capaz de crear un mallado que se importase correctamente a Autodesk Inventor Professional.

## 4.2 Diseño

Como se vió en el punto 3.2, una vez obtenido el modelo sólido del casco en un programa CAD, se diseñó un atalaje que fuese compatible con las formas y geometrías del casco COBAT 01. Antes de llegar al modelo definitivo se realizaron múltiples prototipos.

Autodesk Inventor permite trabajar con las piezas en archivos separados o bien juntándolas todas en un mismo ensamblaje (archivo.iam). En este TFG, se trabajó la mayor parte del tiempo desde el propio ensamblaje pues permite visualizar todas las piezas juntas, y la correcta colocación de la placa de acople con respecto al casco era de vital importancia para poder diseñar las uñas frontales.

Hay que recordar que el objetivo primordial de este TFG era adaptar el atalaje existente, compatible con el casco MARTE, al casco COBAT 01. Es por ello que se tuvieron que diseñar finalmente dos piezas: la placa de acople y las uñas frontales. Tras tener que rediseñar las dimensiones y formas de las piezas para mejorar sus prestaciones, los resultados son los diseños que se pueden ver en las Figura 4-5 y Figura 4-6.

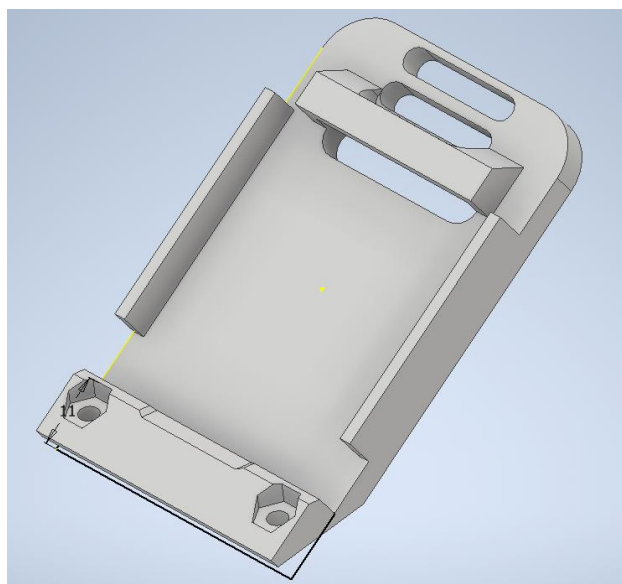


**Figura 4-5 Resultado del diseño de la placa de acople**

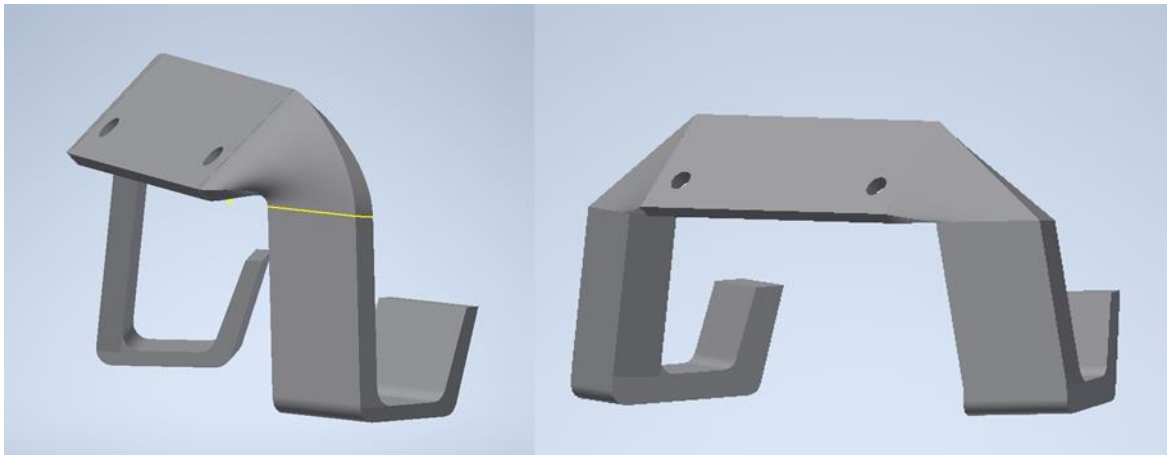


**Figura 4-6 Primer diseño de las uñas frontales (izquierda) y diseño definitivo (derecha)**

En el ensamblaje de la Figura 4-7 se puede apreciar como ambas piezas quedan perfectamente alineadas, son compatibles con la forma del casco y la placa de acople queda situada en el lugar determinado para que el visor nocturno quede ajustado a la altura de los ojos. En la Figura 4-8 se pueden ver de manera aislada las dos piezas definitivas que serán impresas.

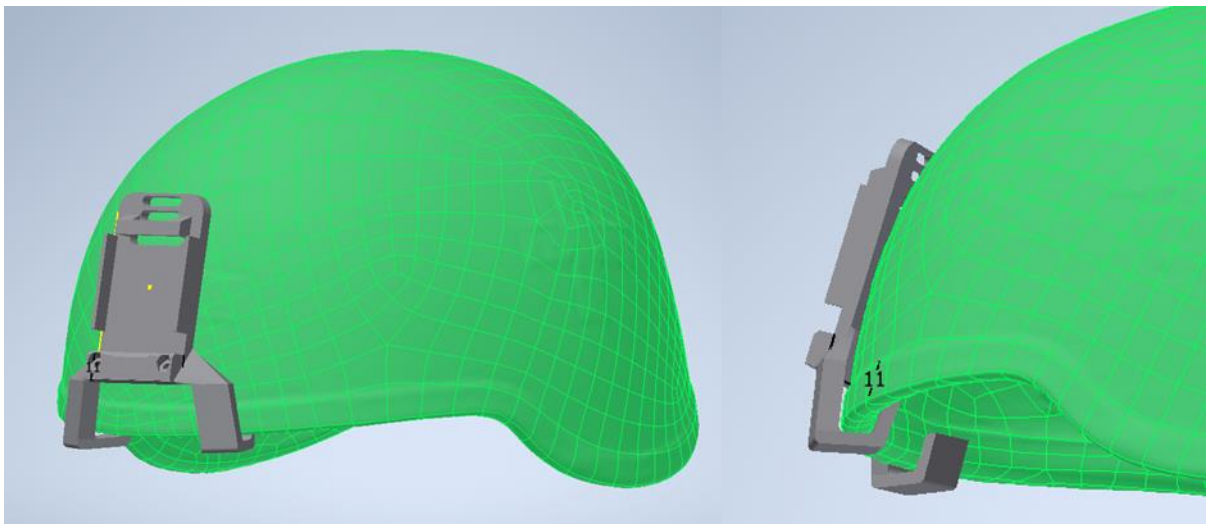


**Figura 4-7 Vista de las piezas definitivas desde el ensamblaje creado en Autodesk Inventor**



**Figura 4-8 Conjunto definitivo**

### 4.3 Impresión

La gran ventaja de la impresión 3D es que permite iterar, es decir, debido a su sencillez y bajo coste se pueden imprimir los distintos prototipos y llevar a cabo pruebas con ellos. Según los resultados de dichas pruebas, se imprimirán de nuevo habiendo corregido los errores; o bien si no tiene fallos de diseño, se imprimirá el modelo definitivo. Este proceso se denomina “Rapid Prototyping”. Durante este TFG se ha empleado esta metodología para llegar al diseño definitivo, que es aquel que cumple con todos los requisitos y que permite un correcto acople del visor nocturno al casco COBAT 01. En la Figura 4-9 se puede ver el prototipo de la placa de acople y la posterior impresión del modelo definitivo. Por otra parte, en la Figura 4-10 se pueden ver los diferentes prototipos que se realizaron de las uñas frontales hasta llegar al modelo definitivo.



**Figura 4-9 Prototipo y modelo definitivo de la placa de acople**

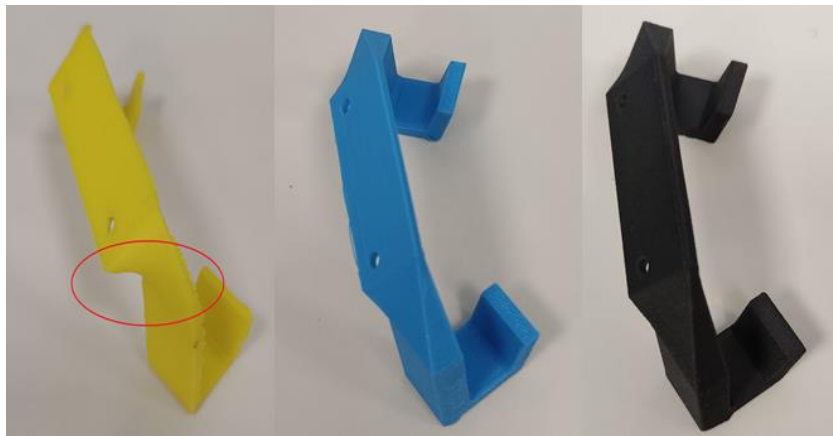


**Figura 4-10 Prototipos y modelo definitivo de las uñas frontales**

Para la impresión de los prototipos el material empleado fue el PLA con unos parámetros de impresión que se pueden ver en la Tabla 3-1 mientras que los modelos definitivos se imprimieron en PET-CF según los parámetros de la Tabla 3-2. Es de especial relevancia colocar las uñas frontales según la orientación de la Figura 3-52. El tiempo de impresión de la placa de acople es de 1 hora y 6 minutos mientras que el de las uñas frontales es de 1 hora y 4 minutos. Es decir, se tarda aproximadamente 2 horas y media en imprimir cada atalaje.

#### 4.4 Prueba de conjunto

El resultado final de este TFG son dos piezas unidas entre sí mediante dos tornillos que se acoplan a la superficie del casco COBAT 01 y cuyas piezas son compatibles con el atalaje existente del visor nocturno PVS-14C.

Como se mencionó en el apartado 3.2.1, el tensor del atalaje existente se reutiliza en este TFG. Es decir, el nuevo atalaje está compuesto por dos piezas de nueva creación y una reutilizada. En la Figura 4-11, se puede observar desde distintos puntos de vista el atalaje entero colocado sobre el casco COBAT 01.



Figura 4-11 Nuevo atalaje creado colocado sobre casco COBAT 01

Uno de los requisitos de este TFG es que las piezas creadas tengan la suficiente resistencia para aguantar las fuerzas y momentos generados por el peso del visor nocturno. Además, debe ser lo suficientemente rígido como para no doblarse cuando se modifica la posición del visor nocturno. En la Figura 4-12 puede verse el “Brazo Rhino” acoplado al atalaje en distintas posiciones. Se puede comprobar que modelo impreso no ha sufrido ningún daño y ha aguantado sin dificultades.



Figura 4-12 Nuevo atalaje creado con "Brazo Rhino" en diferentes posiciones

Otro requisito del nuevo atalaje que tenía que ser diseñado es que permitiese una correcta colocación del visor nocturno. Se recuerda que con el atalaje del casco MARTE el visor nocturno no quedaba a la altura de los ojos, sino a la de los mofletes. El resultado de este TFG es un atalaje que permite acoplar el visor nocturno PVS-14C sobre el casco COBAT 01 permitiendo su correcta colocación a la altura de ambos ojos [Figura 4-13] [Figura 4-14]. Por último, en la Figura 4-15 y la Figura 4-16 se ve como el atalaje aguanta sin problemas la modificación de la posición del visor nocturno.



**Figura 4-13** Posibilidad de colocar PVS-14C en ambos ojos



**Figura 4-14** PVS-14C colocado a la altura de los ojos



**Figura 4-15 Colocación del PVS-14C en posiciones distintas (I)**



**Figura 4-16 Colocación del PVS-14C en posiciones distintas (II)**

Con el producto final, se llevaron a cabo una serie de pruebas para probar la efectividad y resistencia del atalaje. Con el visor acoplado al casco mediante el atalaje creado, se probó a realizar la pista militar para comprobar que aguanta las exigentes condiciones del campo de batalla [Figura 4-17]. También, se llevaron a cabo movimientos simulando un combate urbano para comprobar que el atalaje no suponía una molestia a la hora de apuntar y moverse [Figura 4-18].

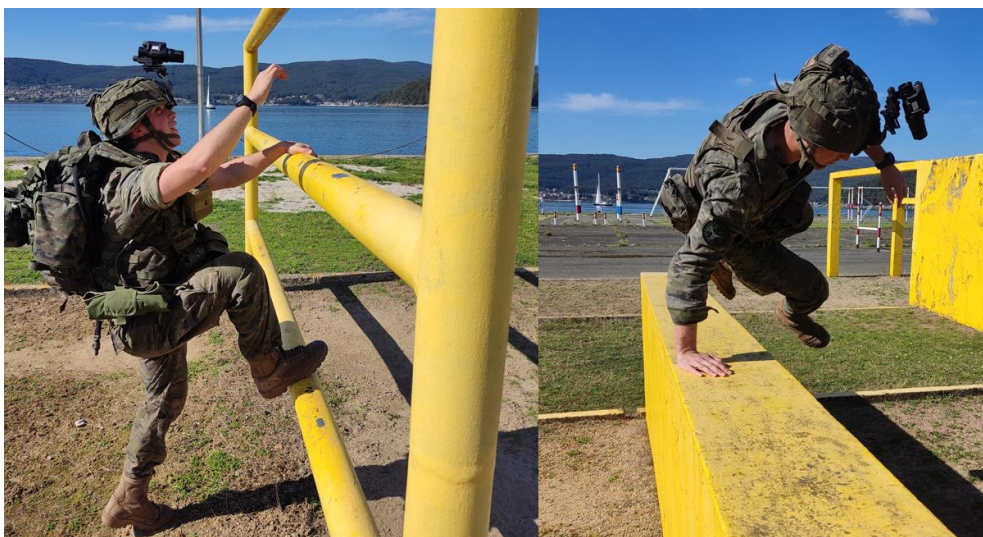


**Figura 4-17 Alumno pasando la pista militar con el visor**



**Figura 4-18 Alumno apuntando el fusil simulando un combate urbano**

Ambas pruebas fueron superadas en cuanto al aspecto funcional y estructural. En lo referente a lo estructural, el atalaje aguantó las fuerzas y momentos generados por el peso del visor durante movimientos bruscos y caídas. En cuanto a lo funcional, el atalaje permitía colocar el visor nocturno de tal manera que se aprovechaba toda la óptica, alcanzando los 40° de campo de visión que ofrece el PVS-14C monocular.

#### **4.5 Análisis económico**

Las unidades de Infantería de Marina no poseen ahora mismo ningún atalaje que permita la utilización correcta de la gran mayoría de sus intensificadores de luz. Como se expuso en el apartado: “Incompatibilidad de atalajes de intensificadores de luz con casco modelo COBAT 01”, actualmente, únicamente se pueden emplear con el casco modelo COBAT 01 los intensificadores de luz modelo Mini N-SEAS bitubo. Es por lo tanto una necesidad para unidades como el Tercio de Armada, hacerse con un sistema que permita utilizar los demás visores nocturnos con el casco COBAT 01 para poder recuperar la capacidad de realizar operaciones de combate en condiciones de visibilidad reducida de manera efectiva.

Este es el problema que ha pretendido resolver este TFG. La solución propuesta es una modificación del atalaje ya existente. Se pretende reutilizar ciertas piezas de este con la intención de abaratar costes y facilitar su introducción en las unidades. El Tercio de Armada posee en sus pañosles gran cantidad de estos atalajes sin utilizar en buen estado, la intención es que mediante la impresión de las piezas diseñadas en este TFG se puedan volver a utilizar.

Lo atractivo de este TFG es que podría suponer una solución real al problema que tiene ahora mismo la Fuerza de Infantería de Marina. Se podrían imprimir tantas placas de acople y uñas frontales como atalajes hay en las unidades. Hay que recordar que la placa de acople permite encajar el “Brazo Rhino”, que a su vez es compatible con la mayoría de los visores de los que dispone el Tercio de Armada, por lo que esta podría ser la solución que necesita esta unidad.

Por lo tanto, un factor a tener en cuenta es el coste total de cada atalaje. Para calcular dicho coste, se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- El coste de la energía: se considera 0,415€/kWh el precio de la energía en el mercado español a día de hoy [58] y que ambas piezas tardan 2 horas y 10 min en imprimirse. Se redondea a 2 horas y media por el tiempo que tarda en calentarse la placa de impresión y el extrusor.
- El coste del material: una bobina de 500g de PET-CF en el mercado cuesta 47,25€ [59]. Por lo tanto, el gramo de PET-CF cuesta 0,0945€. Ambas piezas suman 29g.
- Coste de mano de obra: no se tiene en cuenta pues es una tarea sencilla que podría ser realizada por personal de la unidad.

En la Tabla 4-1 se puede ver el precio final que supondría realizar un atalaje.

|                                           |               |                  |       |
|-------------------------------------------|---------------|------------------|-------|
| <b>Coste de PET-CF</b>                    | 0,0954€/gramo | 29 gramos        | 2,77€ |
| <b>Coste energético</b>                   | 0,415€/kWh    | 2,5 horas / 221W | 0,23€ |
| <b>Coste total de un (1) atalaje</b>      |               | 3€               |       |
| <b>Coste total de cien (100) atalajes</b> |               | 300€             |       |

**Tabla 4-1 Cálculo de costes del atalaje diseñado**

Este presupuesto representa una de las mayores ventajas de este TFG. El reducido coste de un atalaje puede suponer una oferta muy atractiva para los mandos de las distintas unidades a la hora de decantarse por este diseño. Como se ha ido mencionando anteriormente, la clave de este atalaje reside en su bajo coste y rapidez de producción.

Una compañía de fusiles de un batallón de desembarco de la Brigada de Infantería de Marina dispone de entre 10-15 atalajes de PVS-14C para casco MARTE. En un máximo de 37 horas y media y por un precio no mayor de 45€ podría modificar dichos atalajes y hacerlos compatibles con el casco COBAT 01. En definitiva, por menos de 50€ una unidad de combate puede recuperar la capacidad de realizar operaciones de combate nocturnas con total efectividad. Además, en el caso de una posible pérdida, o incluso rotura, podrían imprimirse repuestos en cualquier momento por el insignificante precio de 3€ cada atalaje. Incluso podrían imprimirse atalajes de más y llevarlos de respeto a la propia operación.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este apartado, se presentarán las conclusiones extraídas a lo largo del trabajo realizado. Además, se explicará si se alcanzaron o no los objetivos principales y específicos establecidos en el primer apartado de este TFG. Por último, se propondrán unas posibles líneas futuras en las que se podría seguir trabajando para mejorar y ampliar este TFG.

### 5.1 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se han llevado a cabo diversos procesos (escaneado 3D, diseño e impresión 3D) que pueden parecer independientes, pero que se combinan para llevar a cabo un proceso de ingeniería inversa en búsqueda del objetivo principal de este TFG. Tanto del proceso general en sí, como de los diferentes subprocesos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- Se han manejado los dos escáneres del laboratorio, el *Space Spider* y el *EVA*. A pesar de que con ambos escáneres se consiguieron captar las geometrías y formas del casco de manera bastante exacta, se concluye que el *Space Spider* es más complejo de utilizar pues requiere un control muy exhaustivo de la distancia de escaneo. Para un escaneo como el de este TFG, en el que no es necesaria una resolución tan alta como la del *Space Spider*, es mucho más óptimo el *EVA* pues facilita mucho el proceso. También se ha llegado a la conclusión de que no es favorable realizar un gran número de escaneos, puesto que a la hora de postprocesar la nube de puntos, es mucho más complejo conseguir un resultado bueno debido a los errores de alineamiento.
- Se ha conseguido escanear un objeto real y exportarlo como modelo sólido 3D a un programa CAD. Sin embargo, se concluye que es estrictamente necesario realizar un postprocesado empleando diferentes herramientas para alinear los escaneos, simplificar la nube de puntos, alinear con respecto a unos planos de referencia la nube de puntos, etc.
- Se estudió la posibilidad de escanear, además del casco, otras piezas del atalaje para poder exportar el modelo 3D. Se llegó a la conclusión de que no siempre es necesario usar el escaner de mano para obtener el modelo de una pieza. En el caso de la placa de acople cuyas geometrías son sencillas, se puede obviar el laborioso proceso de escaneado y diseñar la pieza directamente en Inventor.
- Se diseñaron dos piezas en base a la geometría del casco: la placa de acople y las uñas frontales. Gracias a poder trabajar con el modo de “ensamblaje” de Inventor, se pudieron colocar y diseñar de manera que permitiesen la correcta colocación y sujeción del visor nocturno. Se concluye que, el éxito de este trabajo reside en haber importado a un programa

CAD, el modelo 3D del casco COBAT 01. Sin esa referencia, diseñar unas piezas que se adaptasen a la superficie del casco hubiese resultado mucho más complejo.

- Se imprimieron prototipos del primer diseño realizado. Se comprobó que las piezas tenían que ser rediseñadas y posteriormente se imprimieron de nuevo. Se repitió el proceso hasta que el diseño fuese correcto. Se llega a la conclusión de que la impresión 3D es una tecnología ideal para realizar “*Rapid Prototyping*”. La sencillez de rediseño que ofrecen los programas CAD y la rapidez con la que se imprimen este tipo de piezas pequeñas, hacen que sea ideal llevar a cabo iteraciones hasta conseguir el diseño adecuado.
- Tras analizar diversos materiales se llega a la conclusión de que el PET-CF es el material idóneo para imprimir el atalaje. Tiene una elevada resistencia mecánica (ideal para aguantar el peso del visor), térmica (soporta temperaturas de 100°C) y baja absorción de humedad. Todos estos factores lo hacen ideal para aguantar las exigentes condiciones del entorno en que se desarrollan las operaciones militares. Además, genera un acabado de gran calidad, factor importante en la impresión de las piezas diseñadas en este TFG.

Teniendo en cuenta todas las conclusiones específicas, que se han ido obteniendo a lo largo de los diferentes subprocesos, se concluye que se ha alcanzado el objetivo principal de este TFG: mediante ingeniería inversa, crear un atalaje compatible con el casco COBAT 01 que permita el empleo correcto de la mayoría de los visores nocturnos de la FIM (entre ellos el PVS-14C). Se ha demostrado la validez para su uso, tras ser probado en diferentes situaciones y comprobarse que permite un empleo totalmente funcional del intensificador de luz.

## 5.2 Líneas futuras

Una vez extraídas y mencionadas las conclusiones de este TFG, es interesante mencionar que investigaciones futuras podrían mejorar y seguir desarrollando el atalaje para el casco COBAT 01.

- La primera línea de investigación consiste en la realización de un análisis FEM de ambas piezas para demostrar que las tensiones generadas por el peso del visor nocturno están por debajo de los límites del PET-CF (80 MPa) [56]. Además, gracias a dicho análisis FEM podría predecirse en que área es más probable que se produzca una rotura en la pieza. En base a dichos resultados podría rediseñarse la pieza con el objetivo de reforzar aquellas zonas más propensas a fallar.
- La segunda línea de investigación consistiría en desarrollar una pieza que sustituya al tensor del atalaje de casco. Se recuerda que, en este TFG, dicha pieza es reutilizada del atalaje existente para el casco MARTE. La intención sería diseñar un tensor, basándose en el sistema existente, compatible con el casco COBAT 01, que pudiese ser impreso por una impresora 3D. De esta manera, se crearía un atalaje compatible con el casco COBAT 01 independiente de cualquier otro atalaje existente. Mediante la impresión 3D podrían imprimirse tantos atalajes como fuese necesario y podrían ser repartidos a cada soldado de una compañía de fusiles.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Blog Todo electrónica,» [En línea]. Available: <https://blog.todoelectronica.com/8-puntos-tener-en-cuenta-para-escoger-el-dispositivo-de-vision-nocturna-mas-adecuado/>. [Último acceso: 28 01 2022].
- [2] O. D. Cámara, «Tactical online,» [En línea]. Available: <https://tacticalonline.es/visores-aimpoint-micro-y-supresores-bt-rotex-v-la-eleccion-de-la-fuerza-de-guerra-naval-especial/13-fg-ne-octavio-diez-camara/>. [Último acceso: 29 Enero 2022].
- [3] «Casco OPS CORE FAST CARBON,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=vxwVxfjRqQ>.
- [4] «TCH SPAIN,» [En línea]. Available: <https://www.tchspain.com/inicio/atalaje-a-casco-marte-soporte-monocular-vision-nocturna/226>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [5] A. Española, «<https://armada.defensa.gob.es>,» [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/iniciohome/prefLang-es/>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [6] T. C. D. S. B. D. D.-. V. G. Navarro, «ATALAJES INTENSIFICADORES DE LUZ. INCOMPATIBILIDAD CON CASCO MODELO “COBAT”.,» San Fernando, 2018.
- [7] E. L. Ordoñez, «Generación de modelos tridimensionales de diferentes artefactos explosivos mediante la adquisición de geometrías con dispositivos escaner 3D,» CUD Univervisad de Vigo, 2018-2019.
- [8] L. GP, «Digitalización 3D,» [En línea]. Available: <https://www.digitalizacion-3d.com/que-es-y-para-que-sirve-un-escaner-3d/>. [Último acceso: 31 Enero 2022].
- [9] «Ingenieros asesores,» 27 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://ingenierosasesores.com/actualidad/ingenieria-inversa-concepto-aplicaciones/>. [Último acceso: 01 Febrero 2022].
- [10] G. T. Candía, «Diseño e impresión 3D de empuñaduras personalizadas para,» CUD Universidad de Vigo, 2019-2020.

- [11] «Listas de historial,» [En línea]. Available: <https://historylist.wordpress.com/2008/05/06/reverse-engineering-for-war/>. [Último acceso: 6 Mayo 2008].
- [12] P. G. Berejano, «eldiario.es,» 6 Febrero 2014. [En línea]. Available: [https://www.eldiario.es/turing/criptografia/alan-turing-enigma-codigo\\_1\\_5038272.html](https://www.eldiario.es/turing/criptografia/alan-turing-enigma-codigo_1_5038272.html).
- [13] «aces flying high,» 4 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://acesflyinghigh.wordpress.com/2017/02/04/the-survivors-mitsubishi-j8m-shusui-imperial-japans-rocket-powered-interceptor/>.
- [14] D. Salvador, 20 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.segundaguerramundialteatralizada.es/tag/messerschmitt-me-163-komet/>. [Último acceso: 4 Febrero 2022].
- [15] «Blog de Exordio,» 11 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.exordio.com/blog/otros-temas/la-historia-poco-conocida-del-bombardero-tu-4-sovietico-copia-del-b-29.html>.
- [16] C. Gardner, «WBKO,» 23 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.wbko.com/content/news/Boeing-B-29-Superfortress-lands-in-Bowling-Green--423720714.html>. [Último acceso: 4 Febrero 2022].
- [17] «Taringa,» [En línea]. Available: [https://www.taringa.net/+militares\\_en\\_t/misil-vympel-r-3\\_rid7z](https://www.taringa.net/+militares_en_t/misil-vympel-r-3_rid7z).
- [18] M. Schwartz, «Computer world,» 12 Noviembre 2001. [En línea]. Available: <https://www.computerworld.com/article/2585652/reverse-engineering.html>.
- [19] «Samsung y Apple zanján su último litigio sobre patentes,» El País, 28 Junio 2018. [En línea]. Available: [https://elpais.com/economia/2018/06/28/actualidad/1530171611\\_308527.html](https://elpais.com/economia/2018/06/28/actualidad/1530171611_308527.html).
- [20] M. B. RODRIGUEZ, «INGENIERÍA INVERSA APLICADA,» Medellín, 2011.
- [21] [En línea]. Available: <http://www.3dtutorialzone.com/tutorial?id=67>. [Último acceso: 5 Febrero 2022].
- [22] F. B. a. H. Rushmeier, «The 3D Model Acquisition Pipeline,» NY, 2002.
- [23] Tecnimetal, «Máquinas de medición por coordenadas,» [En línea]. Available: <https://maquinasdemedicionporcoordenadas.com/2020/04/13/que-es-una-maquina-de-medicion-de-coordenadas-mmcc/>. [Último acceso: 5 Febrero 2022].
- [24] «Semanthic scholar,» [En línea]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Model-based-analysis-and-evaluation-of-point-sets-Teutsch/32439e90d1ed288c0abc9dcea9bfb31f1f820765/figure/10>.
- [25] «Artec 3D,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/portable-3d-scanners>.
- [26] Y. Ponomareva, «Artec 3D,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/cases/nasa-hybrid-reality-lab>. [Último acceso: 5 Febrero 2022].
- [27] N. Lievendag, «3D Scan Expert,» [En línea]. Available: <https://3dscanexpert.com/artec-space-spider-3d-scanner-review/>.

- [28] «Siemens,» [En línea]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>. [Último acceso: 5 Febrero 2022].
- [29] «Ingeniero de la crisis,» 7 Septiembre 2012. [En línea]. Available: <https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/09/07/postproceso-otro-paso-mas-en-el-analisis-mediante-elementos-finitos/>.
- [30] «Artec 3D,» [En línea]. Available: <https://www.artec3d.com/es/3d-software/artec-studio>.
- [31] «Technopedia,» Agosto 2011. [En línea]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/24055/autodesk-inventor>.
- [32] J. L. S. Pomazunco, «Creación de Estándares para planos mediante el software CAD Autodesk Inventor Professional 2011,» Lima, 2012.
- [33] «Autodesk,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.es/products/inventor/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [34] «3D CAD portal,» [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor.html>.
- [35] «3D Systems,» [En línea]. Available: <https://es.3dsystems.com/software/geomagic-design-x>. [Último acceso: 6 Febrero 2022].
- [36] «3D Systems,» [En línea]. Available: <https://es.3dsystems.com/software/geomagic-design-x/features>. [Último acceso: 8 Febrero 2022].
- [37] «ABAX,» [En línea]. Available: [https://abax3dtech.com/2021/01/14/impresion-3d-en-la-industria/#Principales\\_beneficios\\_de\\_la\\_impresion\\_3D\\_en\\_la\\_industria](https://abax3dtech.com/2021/01/14/impresion-3d-en-la-industria/#Principales_beneficios_de_la_impresion_3D_en_la_industria). [Último acceso: 8 Febrero 2022].
- [38] «Impresion 3d,» 26 Febrero 2009. [En línea]. Available: <https://impresioni3d.com/test/que-es-un-prototipo-y-para-que-funciona/>.
- [39] C. Casqueiro, «Curso de introducción a la impresión 3D,» Pontevedra, 2020.
- [40] «HUBS,» [En línea]. Available: <https://www.hubs.com/guides/3d-printing/#3d-printing-materials>. [Último acceso: 13 Febrero 2022].
- [41] «Simplify 3D,» [En línea]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/pla/>. [Último acceso: 13 Febrero 2022].
- [42] «3D new world,» [En línea]. Available: <https://3dnewworld.com/filamentos-ultimaker/#abs2>. [Último acceso: 14 Febrero 2022].
- [43] S. S. Restrepo, «3D Natives,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/plasticos-impresion-3d-22072015/#!>. [Último acceso: 17 Junio 2020].
- [44] «Simplify 3D,» [En línea]. Available: <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/petg/>. [Último acceso: 14 Febrero 2022].
- [45] «SERVITEC3D,» [En línea]. Available: <https://servitec3d.com/materiales-tecnicos/innovatefil-pet-fc/>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].

- [46] «BIGREP,» [En línea]. Available: <https://bigrep.com/filaments/pet-cf/>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [47] «El Ejército español se plantea introducir impresoras 3D para uso militar,» *El Confidencial*, 17 Agosto 2018.
- [48] R. D. R. M. M. S. C. J. M. P. C. Rafael Asorey Cacheda, «III Congreso Nacional de i+d en Defensa y Seguridad,» Marin, 2015.
- [49] «Black Recon,» [En línea]. Available: <https://www.blackrecon.com/blog/visores-nocturnos/>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [50] «Night Vision Home,» [En línea]. Available: <https://nightvisionhome.com/product/f5050-binocular-night-vision-goggle-gen-3/>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [51] «GSCI,» [En línea]. Available: <https://www.gsci1.com/pvs-14c.html>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [52] A. Española, «Armada Española,» [En línea]. Available: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/buquesinfanteria/prefLang-en/05material-armamento-infanteria-marina--07material--04-visor-nocturno-an-pvs-7b>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [53] E. systems, «MINI N/SEAS Mk-II».
- [54] L. Llamas, «Luis Llamas. Ingeniería, informática y diseño,» 8 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/conversion-de-mallas-solidos-y-superficies-para-impresion-3d/>.
- [55] «Metromecánica,» [En línea]. Available: <https://www.metromecanica.com/ingenieria-inversa>. [Último acceso: 15 Marzo 2022].
- [56] Innovatefil, «Smart material 3D,» [En línea]. Available: [www.smartmaterials3d.com](http://www.smartmaterials3d.com).
- [57] Formlabs, «Formlabs,» [En línea]. Available: <https://formlabs.com/es/blog/anadir-rosca-tornillo-piezas-impresas-3d/>. [Último acceso: 20 Marzo 2022].
- [58] «Tarifadeluz,» [En línea]. Available: <https://www.tarifadeluz.com/>. [Último acceso: 22 Marzo 2022].
- [59] «Impresoras3D,» [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/producto/pet-cf-pet-carbono-innovatefil-175-mm-500g/>. [Último acceso: 22 Marzo 2022].
- [60] «Ultra Lab,» [En línea]. Available: <http://ultra-lab.net/producto/ultimaker-3-extended/>. [Último acceso: 22 Marzo 2022].

## **ANEXO I: VISTA GENERAL DEL MODELO FINAL**

Debido a que estas piezas serán impresas mediante tecnología 3D, se incluyen únicamente las dimensiones más básicas. Estas piezas no están diseñadas para ser fabricadas mediante métodos convencionales.



