



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Empleo de una impresora 3D en un Batallón de Cuartel General

Autor

Carlos Javier Curra Feijóo

Director/es

Director académico: Belinda López Galán
Director militar: Javier Fernández González

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2021



Agradecimientos

Agradecer primeramente el apoyo de mi familia a lo largo de estos años, especialmente a mi tío por su motivación constante.

En segundo lugar, a mis compañeros de promoción, por haberme hecho pasar tantos buenos momentos durante estos duros años de academia.

Al Capitán D. Javier Fernández González, mi tutor militar y jefe de la Compañía de Transmisiones de la Brigada Galicia VII, así como a todos sus componentes, en especial al Teniente Olivares por su constante apoyo, preocupación y motivación, y al Subteniente Saz, que se volcó conmigo a pesar de estar en la fase preparatoria de una misión con destino a Irak.

Por último, al profesor D. Eduardo Antonio Pina, por los comentarios y apoyo para la realización de este trabajo y a mi directora académica Doña Belinda López Galán.



RESUMEN

La impresión 3D es uno de los pilares que sustentan el concepto de la industria 4.0, concepto del que se nutre la idea de la Brigada 2035, que quiere implantar esta evolución en las Fuerzas Armadas, contemplando la creación de unidades especializadas en esta tecnología dentro del seno de Defensa, como el Centro de Fabricación de Piezas del Mando de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra (CEFAPIMALE).

La necesidad de reducción en los tiempos de espera de la cadena logística tradicional, así como, la carencia de ciertas piezas de repuesto por falta de proveedores o su elevado coste, sirven como punto de partida de este Trabajo de Fin de Grado (TFG). Cuyo objetivo principal es el análisis de la viabilidad técnico-económica del empleo de una impresora 3D en el Batallón del Cuartel General de la Brigada Galicia VII y las capacidades que le puede aportar.

Para ello, en este TFG, se ha llevado a cabo la identificación de los repuestos susceptibles de ser fabricados mediante la impresión 3D, su diseño empleando herramientas de diseño asistido por ordenador, posterior impresión y realización de pruebas y, finalmente, el análisis de los resultados obtenidos.

Los resultados ponen de manifiesto las funcionalidades o capacidades que esta tecnología puede aportar al Batallón del Cuartel General, así como al Ejército de Tierra, eliminando casi por completo los tiempos de espera para la reposición de repuestos gracias a la fabricación in situ de los mismos y, por consiguiente, manteniendo los sistemas de armas o equipos funcionales durante el desarrollo de las misiones de las unidades, tanto en Territorio Nacional, como en el Zona de Operaciones.

Si bien se detectan ciertas limitaciones que dificultan su empleo sin la preparación adecuada del personal, por la carencia de cursos o jornadas de formación oficiales, y debido a los materiales de impresión y medios necesarios.

Palabras clave

Impresión 3D, Repuesto, Diseño asistido por ordenador, Ácido poliláctico PLA, Deposición de material fundido FDM



ABSTRACT

3D printing is one of the pillars that support the concept of Industry 4.0, a concept that feeds the idea of Brigade 2035, which wants to implement this evolution in the Armed Forces, contemplating the creation of units specialised in this technology within the Defence, such as the Parts Manufacturing Centre of the Army Logistics Support Command (CEFAPIMALE).

The need to reduce waiting times in the traditional logistics chain, as well as the lack of certain spare parts due to a lack of suppliers or their high cost, serve as the starting point for this Final Degree Project (TFG). Its main objective is to analyse the technical and economic feasibility of using a 3D printer in the Headquarters Battalion of the Galicia VII Brigade and the capabilities it can provide.

To this end, in this TFG, the identification of spare parts that could be manufactured using 3D printing, their design using computer-aided design tools, subsequent printing and testing and, finally, the analysis of the results obtained have been carried out.

The results show the functionalities or capabilities that this technology can provide to the Headquarters Battalion, as well as to the Army, almost completely eliminating waiting times for the replacement of spare parts thanks to the in situ manufacture of the same and, consequently, maintaining the weapons systems or equipment functional during the development of the units' missions, both in National Territory and in the Area of Operations.

However, certain limitations have been detected that make their use difficult without adequate preparation of the personnel, due to the lack of official training courses or workshops, and due to the printing materials and means required.

KEYWORDS

3D Printing, Spare Parts, Computer Aided Design, Polylactic Acid PLA, FDM Melt Deposition



INDICE DE CONTENIDO

Agradecimientos	I
RESUMEN	II
Palabras clave	II
ABSTRACT	III
KEYWORDS	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE TABLAS	VII
ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Motivación	1
1.2 Estructura de la memoria	2
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	3
2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE	3
2.2 METODOLOGÍA	3
2.2.1 Identificación de las piezas	4
2.2.2 Herramientas de medición	4
2.2.3 Herramientas de diseño	4
2.2.4 Impresora 3D	6
2.2.5 Análisis técnico y económico	7
3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO	8
3.1 BREVE HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D:	8



3.2 TIPOS DE IMPRESORAS 3D:	10
3.2.1 Modelado por deposición fundida (FDM, fuel deposition modeling)	10
3.2.2 Fusión selectiva por láser (SLM, selective laser melting).	11
3.2.3 Sinterización selectiva por láser (SLS, selective laser sintering).	11
3.2.4 Sinterización directa con láser de metal (DMLS, direct metal laser sintering).	11
3.2.5 Estereolitografía (SLA, stereolithography).	11
3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA IMPRESIÓN 3D:	12
3.3.1 Impresión de metales	13
3.4 IMPRESIÓN 3D DEFENSA	15
4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS	16
4.1 IDENTIFICACIÓN DE PIEZAS.	16
4.2 Mediciones:	19
4.3 Diseño de las piezas:	21
4.3.1 Juntas de estanqueidad ATQH y TLB:	21
4.3.2 Indicador de recámara vacía:	22
4.3.3 Tapones PR4G:	23
4.4 VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA	24
4.4.1 Viabilidad técnica.	24
4.4.2 Viabilidad económica:	25
5 CONCLUSIONES	29
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
7 ANEXOS	34
7.1 Anexo I. GLOSARIO DE TÉRMINOS	34
7.2 Anexo II. ENTREVISTA	36
7.3 Anexo III. ESTIMACIÓN GASTO MATERIAL ULTIMAKER CURA	38



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de ejecución.	3
Figura 2. Nube puntos a partir de un escáner 3D. (Pointcloud, 2021)	5
Figura 3. Software CAD SolidWorks 2018	6
Figura 4. Impresora 3D disponible en el BCG VII	7
Figura 5. Evolución de la impresión 3D a lo largo de los años (Gartner, 2018).....	9
Figura 6. Crecimiento económico de los servicios de fabricación aditiva (Reporte Wohlers 2021)	9
Figura 7. Funcionamiento Impresora FDM (3dNatives, 2021)	10
Figura 8. Impresora SLS (ProtoLabs, 2021).....	11
Figura 9. Impresora SLA (3dNatives, 2021)	11
Figura 10. Inyector de combustible realizado mediante impresión 3D.	14
Figura 11. Terminal ATQH perteneciente al Ejército de Tierra.	17
Figura 12. Indicador de recámara vacía. (ArmeríaVarona, 2021).....	17
Figura 13. Tapón protector original de conectores del transceptor PR-4G.....	18
Figura 14. Medidas junta TLB	19
Figura 15. Medidas junta ATQH.....	19
Figura 16. Mediciones indicador de recámara vacía.....	20
Figura 17. Mediciones indicar de recámara vacía.....	20
Figura 18. Transceptor PR-4G.	21
Figura 19. Diseño realizado en base a las mediciones de las juntas originales.	22
Figura 20. Mediciones de las juntas recreadas mediante impresión 3D.....	22
Figura 21. Diseño de un indicador de recámara vacía.....	23
Figura 22. Indicador de recámara vacía impreso en 3D.	23
Figura 23. Diseño de tapones protectores en perspectivas diferentes	24
Figura 24. Estimación de tiempo y gasto de material del software Ultimaker Cura para las juntas del TLB.....	27



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tecnologías de Fabricación Aditiva.....	12
Tabla 2. Propiedades físicas de los termoplásticos disponibles para la impresora FMD. ..	13
Tabla 3. Mediciones conectores PR-4G.....	21
Tabla 4. Precio de los materiales empleados.....	26
Tabla 5. Tiempo estimado de impresión para cada pieza.....	27
Tabla 6. Estimación de las impresiones	28



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- ATQH: At the quick halt
- BCG: Batallón de Cuartel General
- CAD: Computer aided desing
- CUF: Conjunto de utilización final
- FAS: Fuerzas Armadas
- TN: Territorio Nacional
- TO: Teatro de operaciones
- ZO: Zona de operaciones



1 INTRODUCCIÓN

La tecnología de la impresión 3D, también conocida como fabricación aditiva, consiste en un conjunto de procesos que permiten la realización de objetos mediante la adición de material plástico, metálico o incluso tejido vivo. Esta tecnología tiene la capacidad de mejorar el rendimiento de los sistemas de armas de los ejércitos en el campo de batalla. Además, la impresión 3D le brinda una ventaja táctica y operacional, al disponer de la capacidad de fabricar y producir artículos lo más cerca posible del punto de necesidad. Independientemente de las capacidades operativas, desde el punto de vista logístico no solo aligerará la huella logística, sino que mejorará la eficiencia de los procesos de adquisición, sostenimiento, mantenimiento y el apoyo sanitario a prestar, entre otros. La impresión 3D está prácticamente consolidada en el ámbito logístico civil y doméstico en cuanto al uso de polímeros y resinas. En las Fuerzas Armadas (FAS) se encuentra en una fase experimental y cuya tendencia pasa por la ampliación hacia las aleaciones metálicas.

1.1 Motivación

En los fundamentos de la Brigada 2035 se dispone que ésta estará dotada de la tecnología más avanzada disponible (ET, 2021), lo que le permitirá contar con mayor potencia de combate a la vez que disminuye el personal necesario para ello. En este sentido, la impresión 3D puede contribuir a alcanzar este objetivo.

La fabricación aditiva otorga unas capacidades superiores a la vía logística tradicional en cuanto a la reposición de elementos de clase IX (repuestos) como se demostrará en este trabajo. Esta tecnología está orientada a reactivar cualquier sistema de armas o recurso que se encuentre inoperativo por falta de un repuesto o reparación. Si bien las piezas fabricadas mediante esta tecnología no sustituyen los repuestos originales, permiten el empleo de estos medios hasta cumplir su cometido o hasta su reparación.

Dentro de los motivos para recurrir a esta tecnología para la fabricación de los suministros de clase IX se pueden destacar los siguientes:

- Plazos de fabricación más cortos. Aspecto crítico en caso de urgencia.
- Ahorro respecto a los proveedores.
- Ausencia de proveedores.

En las Fuerzas Armadas (FAS), la fabricación aditiva es una tecnología emergente, aplicable en permanencia y en operaciones, que actualmente aporta una capacidad adicional o complementaria al actual suministro de recursos contemplado en el Sistema de Apoyo Logístico del Ejército de Tierra (SALE), viable económicamente cuando se fabrica en polímeros y siliconas (todavía no en aleaciones metálicas ni en biotintas o células madre). Posibilita cierta autonomía logística, es realista en su capacidad actual y, por ello, escalable en tecnología y volumen, además de compatible con otras tecnologías de la llamada logística 4.0 caracterizada por el empleo de medios digitales (Pisabarro, 2020).

Todavía no es posible comprender completamente lo que esta tecnología podrá hacer a corto, medio o largo plazo. La fabricación aditiva tiene un largo camino por recorrer para alcanzar su potencial y se encuentra en una etapa fundamental de desarrollo. El futuro de los ejércitos



pasa por desarrollar herramientas de fabricación aditivas que aprovechen el aprendizaje automático y las capacidades de la industria 4.0 para integrar a la perfección diseños y técnicas de fabricación digital para poder desarrollar el proceso desde la concepción hasta el diseño final de los componentes, de forma rápida y económica.

La introducción de esta tecnología en las FAS permitirá disponer de repuestos críticos para el funcionamiento de diversos sistemas de armas tanto en Territorio Nacional (TN), como en el Teatro de Operaciones (TO) gracias al sistemas “Just in Time” que garantiza un mínimo nivel de inventario para satisfacer las demandas en el momento necesario con el fin de completar el proceso productivo. De esta manera se reducen los problemas derivados de la inoperatividad de estos equipos. Estos problemas de inoperatividad pueden causar un impacto negativo en el cumplimiento de la misión de las unidades e incluso, en los casos más graves, pueden llegar a provocar accidentes con pérdidas de vidas humanas.

La transformación digital II de la industria llevada a cabo en el ámbito civil tiene que verse reflejada en las Fuerzas Armadas. Este trabajo de fin de grado pretende poner de manifiesto las ventajas de la fabricación aditiva evaluando la viabilidad técnica y económica de su empleo en un Batallón de Cuartel General (BCG), que no sólo facilitaría la labor logística, sino que sería parte de una evolución necesaria dentro las FAS.

1.2 Estructura de la memoria

La memoria está compuesta por 5 capítulos.

Los capítulos uno y dos corresponden con la introducción y la presentación de los objetivos del presente trabajo, así como la metodología empleada para su consecución.

En los capítulos tres y cuatro se presenta el estado del arte y el desarrollo del trabajo. En particular, en el apartado tres se proporciona una visión general acerca de la historia de la impresión 3D y las diferentes técnicas de impresión que la componen. En el apartado cuatro, se presentan los resultados obtenidos y el análisis técnico-económico de los mismos.

El capítulo cinco recoge las conclusiones obtenidas y limitaciones encontradas, además señala las posibles líneas futuras de investigación.



2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo general de este trabajo es estudiar y analizar las capacidades de mejora en términos de costes y tiempos de espera que el empleo de una impresora 3D le otorga al Batallón de Cuartel General de la Brigada Galicia VII. Los recursos de clase IX (piezas de repuesto) son uno de los pilares críticos en la logística de abastecimiento, ya sea en Zona de Operaciones o en Territorio Nacional. Con este Trabajo de Fin de Grado se pretende abordar esta problemática y darle solución mediante la fabricación aditiva, una de las bases tecnológicas de la llamada Cuarta Revolución industrial.

Los objetivos específicos son:

- Identificar repuestos susceptibles de ser impresos.
- Diseñar las piezas en 3D mediante un software de diseño asistido por ordenador.
- Analizar la viabilidad técnico-económica de esta tecnología.

Con los recursos de la unidad, el modelo de impresora 3D, el tiempo disponible y los conocimientos técnicos del personal usuario se pretende abarcar la creación de piezas críticas para el funcionamiento de sistemas, así como, detectar posibles problemas que quedan fuera del alcance de este Trabajo de Fin de Grado como, por ejemplo, problemas de homologación de los repuestos.

2.2 METODOLOGÍA

Se ha empleado el proceso de ingeniería inversa para llegar a la fabricación de piezas como las juntas de estanqueidad de los terminales y los tapones cubre-conectores de la PR-4G. Este proceso consiste en partir de una pieza ya existente y realizar su diseño, al contrario que la ingeniería tradicional, que parte del diseño y realiza la pieza.

La metodología de ingeniería inversa se compone de las siguientes fases: conocimiento preliminar del objeto de referencia, diseño de un plan de investigación, aplicación del plan al objeto de referencia, sintetizar la información generada, generar un modelo y demostrar que es igual al objeto de referencia, caracterizar el modelo generado, emplear el modelo (Vázquez, 2020). Para la realización de este trabajo de fin de grado se ha adaptado esta metodología como se recoge en la Figura 1.



Figura 1. Fases de ejecución.



2.2.1 Identificación de las piezas

Mediante entrevistas (Anexo II) con el personal designado para el empleo de la impresora 3D en el BCG se identificaron las piezas a diseñar y fabricar. Estas entrevistas tenían también como objetivo detectar los problemas técnicos a los que se enfrenta la unidad al trabajar con esta tecnología.

El personal entrevistado ha sido el destinado en el 2º Escalón del parque de Transmisiones del Batallón del Cuartel General de la Brigada Galicia VII, compuesto por un Subteniente, un Sargento y tres personas pertenecientes a la escala de tropa y marinería, todos ellos especialistas. Se seleccionó a este personal por ser el encargado de realizar el mantenimiento de los equipos y sistemas de armas de la Compañía de Transmisiones VII, además de ser los responsables del uso de la impresora 3D.

Las entrevistas constaban de diez preguntas abiertas, recogidas en un documento que fue remitido y respondido por correo, que buscaban detectar los problemas con los que se encontraban diariamente durante su labor de mantenimiento y cómo la impresión 3D podría afectar al desarrollo de sus tareas. Tenían también el objetivo de diferenciar las dificultades que aparecen con el uso de esta tecnología al no contar con ninguna formación oficial para su empleo.

Gracias a las entrevistas y conversaciones con el personal del 2º Escalón se fijaron una serie de criterios para la selección de estas piezas.

- Tienen que poder ser replicadas con la impresora y materiales disponibles.
- Tienen que proporcionar una solución a los problemas detectados.
- El empleo de las mismas no puede derivar en problemas de seguridad, ser causa de accidentes ni acarrear problemas legales por falta de homologación.

2.2.2 Herramientas de medición

Para llevar a cabo las mediciones de las piezas se ha empleado un pie de rey o calibrador. La precisión del calibre es de 0,002mm. Cuenta con una escala Vernier en la parte superior que se desliza a lo largo de la herramienta. Con este instrumento se han medido las longitudes, diámetros interiores, diámetros exteriores y la profundidad de las piezas.

2.2.3 Herramientas de diseño

Para el diseño 3D se ha empleado una herramienta de DAO (CAD, del acrónimo inglés), y un software de postprocesado para la creación del fichero de impresión como se explica en el apartado 2.2.3 de Herramientas de diseño.

El punto de partida de un proceso de impresión 3D es el diseño de un modelo digital que represente la pieza a fabricar mediante esta tecnología. Para la realización de este modelo existen multitud de posibles soluciones en el mercado, conocidas comúnmente como software de diseño asistido por ordenador, más o menos complejas en función de las necesidades de diseño e integración.



Existe además otra forma de generar estos modelos en 3D, el escaneado de piezas ya existentes, lo que se podría denominar como procesos de ingeniería inversa. Mediante un reconocimiento basado en el contacto físico o mediante la incidencia de haces luminosos se crea una nube de puntos en un software CAD como se observa en la figura 2.

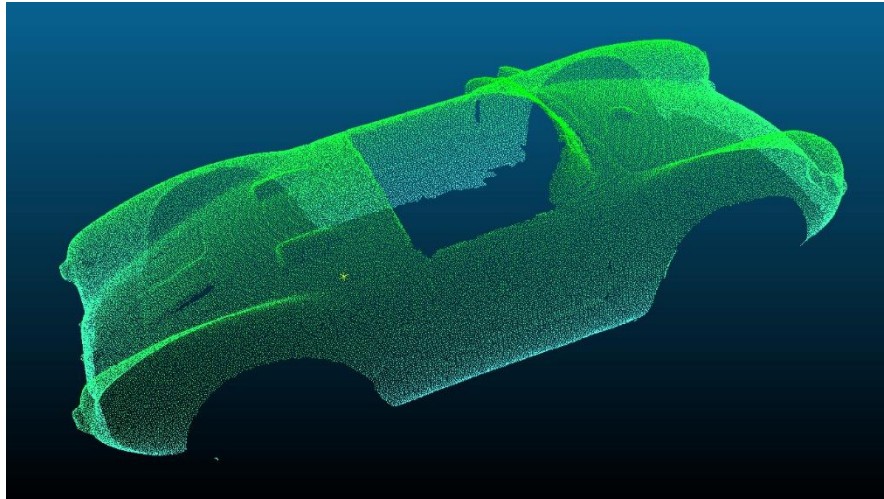


Figura 2. Nube puntos a partir de un escáner 3D. (Pointcloud, 2021)

El formato empleado para los archivos referidos a la fabricación aditiva es el *.stl* (Standard Triangulation Language), es un formato de uso universal para los sistemas de impresión 3D. Si bien presenta ventajas en pasos posteriores, la conversión de los modelados realizados mediante un software CAD a esta extensión conlleva una pérdida de información, lo que dificulta las modificaciones que se quieran realizar del modelo. Esto ocurre por la naturaleza de esta tecnología, la cual necesita que los modelos se transformen en una malla de triángulos adaptada a las superficies del objeto. Por lo tanto, este paso elimina la información acerca de las superficies del objeto, como por ejemplo radios, tangencias, etc.

La calidad del trabajo CAD realizado influirá directamente en la calidad del archivo *.stl*, así como el software empleado y la complejidad en el diseño. En diseños complejos es imprescindible una revisión y corrección de esta malla para asegurar la correcta topología de la pieza. Esto tendrá un impacto directo en la calidad del objeto, así como en sus propiedades mecánicas, etc.

Para llevar a cabo el diseño de las piezas el programa de diseño asistido por computador escogido en este TFG ha sido SolidWorks (Figura 3), en concreto la versión de 2018 (Dassault Systems, 2021) ya que, además de ser el software que se ha empleado durante el Grado en Organización Industrial, reúne todas las capacidades necesarias para la impresión 3D.

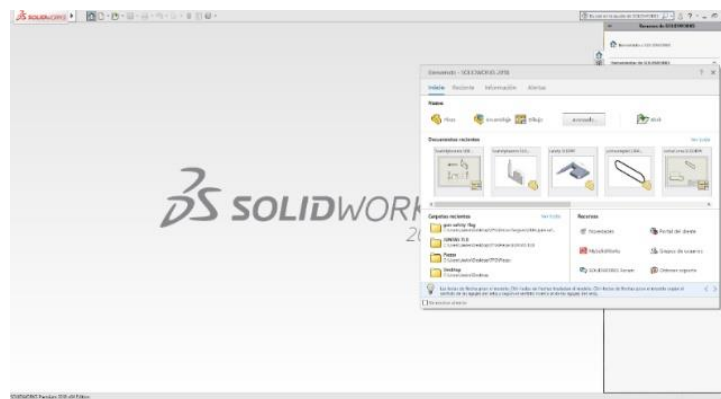


Figura 3. Software CAD SolidWorks 2018

Estas capacidades son Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM) y Computer-Aided Engineering (CAE), lo que lo convierte en una herramienta muy potente para el diseño de todo tipo de piezas. Por un lado, el Computer Aided Design, facilita al usuario la creación y modificación de un diseño. CAD es empleado normalmente para la realización de prototipos. El Computer Aided Manufacturing, genera los programas de control numérico para la fabricación de las piezas con control numérico computarizado (CNC), en los que se emplea un ordenador para controlar los movimientos de una herramienta, (mecnizzadossinc, 2021) y finalmente, Computer Aided Engineering, estudia mediante la simulación las características, propiedades y viabilidad de los diseños ya realizados.

Tras la conversión del modelo a .stl es necesario laminar el objeto. Esto se lleva a cabo a través de un software laminador, cuya función es la de separar en capas el objeto 3D a imprimir y generar el fichero de control numérico. El software seleccionado de entre los más conocidos para este paso es el CuraEngine, en su versión Ultimaker Cura 4.12.1. (Ultimaker, 2021).

CuraEngine es un software que permite convertir los archivos .stl realizados con los programas de diseño 3D en piezas físicas, generando un archivo .3mf, que es el que se carga en la impresora para realizar la impresión. Además, este programa, permite variar los parámetros de la impresión como, por ejemplo, relleno, temperatura de extrusión, velocidad, etc. Entrega además una estimación del tiempo de impresión, así como del coste de la misma.

2.2.4 Impresora 3D

La impresora 3D del Batallón de Cuartel General de la Brigada Galicia VII es la Creality Ender 5 (Figura 4). La técnica de impresión que emplea es el FDM, que consiste en la deposición de material fundido, empleando para ello materiales termoplásticos como base para las impresiones. (Creality, 2021).

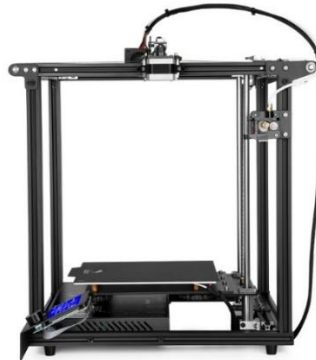


Figura 4. Impresora 3D disponible en el BCG VII

Se trata de una impresora cúbica que cuenta con unas dimensiones de impresión de 220x220x300mm y una precisión de ± 0.1 mm. La impresora no cuenta con cerramiento lo que dificulta y casi imposibilita el empleo de materiales como el acrilonitrilo butadieno estireno o ABS, tal como se explicará más adelante.

2.2.5 Análisis técnico y económico.

El análisis de viabilidad de un proyecto tiene como objetivo principal garantizar que es técnicamente factible, económicamente justificable y legal. En este TFG se han tenido en cuenta los aspectos técnicos económicos (Infinitia Research, 2021).

En lo referente a la viabilidad técnica se ha evaluado si los equipos, software y material disponible reunían las capacidades necesarias para llevar a cabo las impresiones. También se ha tenido en cuenta el factor humano, es decir, los conocimientos técnicos y la experiencia que necesita el personal del 2º Escalón para la utilización de esta tecnología.

En el apartado económico se ha evaluado si la implementación de esta tecnología derivaba en una reducción de costes respecto a la logística tradicional. Se han tenido en cuenta aspectos como el coste de la impresora 3D, los precios del software de diseño asistido por ordenador, los precios de cursos de formación para el empleo de este software, los costes de los materiales y el consumo energético de la impresora 3D.

Para el estudio de la viabilidad técnico-económica se empleó la revisión bibliográfica, además de entrevistas con el personal del 2º Escalón, encargados del mantenimiento y abastecimiento logístico de la compañía de Transmisiones del BCG VII.

Para la revisión bibliográfica se emplearon buscadores de Internet como Google utilizando las palabras clave como Impresión 3D, ingeniería inversa, modelado 3D, diseño asistido por ordenador, FDM, repuestos.

Para las comprobar que las piezas impresas cumplieran con las especificaciones requeridas se realizaron una serie de pruebas en situaciones reales.



3 ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1 BREVE HISTORIA DE LA IMPRESIÓN 3D:

Con raíces en la foto-escultura, fue en 1984 cuando Charles (Chuck) Hull inventó la estereolitografía (SLA), una forma de impresión que empleaba la luz ultravioleta para crear formas 3D capa tras capa (Vinod G. , et al., 2017). Si bien había habido intentos a comienzos de los ochenta, por parte del diseñador de automóviles japonés Hideo Kodama, de patentar un sistema capaz de fabricar objetos a partir de la incidencia de un haz de luz ultravioleta en un polímero líquido, no llegó a materializarse debido a la falta de apoyo económico al proyecto (Vinod G. , et al., 2017). Posteriormente, con la aparición de nuevos métodos como el Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) y la impresión por deposición de material fundido (FDM), la impresión 3D recibió otro impulso (3D, 2019).

A finales de los ochenta (1988) fue lanzada la primera impresora 3D, nombrada SLA-250, por la empresa 3D Systems, fundada por Chuck Hull en 1986. Esta impresora empleaba la tecnología de la estereolitografía y fue un éxito en el mundo industrial. Además, esta empresa estuvo detrás del origen del formato STL (Standard Tessellation Language), que se convertiría en el archivo estándar empleado en la fabricación aditiva. En 1989 sería patentado el FDM por la compañía Stratasys, siendo lanzadas al mercado las primeras impresoras en utilizar esta técnica. Este avance dará lugar, posteriormente, al desarrollo y comercialización de impresoras personales.

El término impresora 3D apareció como tal en 1996, cuando se lanzaron al mercado las primeras impresoras bajo esa nomenclatura (Vinod G. , et al., 2017). A lo largo de los siguientes diez años, fueron apareciendo nuevos procesos y evoluciones de los anteriores, pero todavía seguían asociadas al mundo industrial. Fue a partir de la oferta de empresas como Shapeways, que ofrecían un servicio online de impresión 3D para particulares, que se empezó a emplear esta tecnología en el ámbito del consumo individual.

En 2004, gracias a Adrian Bowyer, creador del proyecto RepRap (Replicating Rapid Prototyper) en la universidad de Bath (Inglaterra) surge la aplicación doméstica de esta tecnología. Este proyecto consistía en el diseño de una impresora capaz de imprimir todas las piezas necesarias para construir una réplica de sí misma. En 2008 salió a la luz con el nombre de Darwin, pero para su empleo, el usuario necesitaba los conocimientos para realizar el ensamblaje correctamente.

En 2012 caducó la patente de la tecnología FDM lo que provocó la bajada de precios de las denominadas impresoras domésticas, las cuales empezaron a comercializarse sin requerir un montaje previo, al contrario de lo que había sucedido con la impresora Darwin. Este hecho fue el que disparó las ventas de esta tecnología y la acercó al consumidor final.

A día de hoy, según un informe de la consultora británica Context (2021), el mercado de las impresoras 3D se encuentra en pleno auge ya que las ventas de las impresoras 3D industriales, que suponen un 52% de los ingresos por hardware de impresión, crecieron un 43% en el primer trimestre de 2021 (Context, 2021). Mientras que las impresoras personales incrementaron un 38% sus ventas en el mismo trimestre, Además, este informe señala una previsión de un crecimiento del sector del 19% hasta 2024.

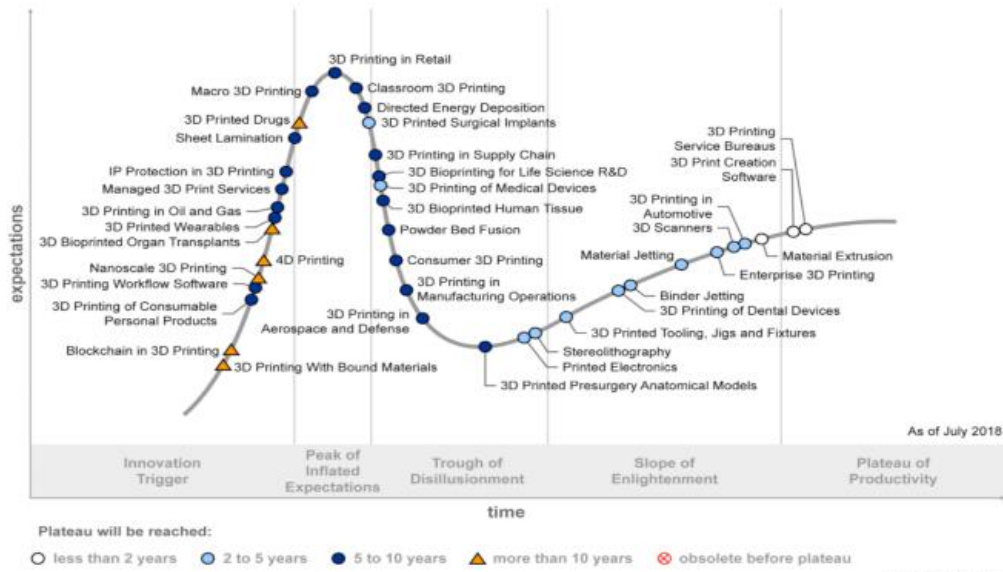


Figura 5. Evolución de la impresión 3D a lo largo de los años (Gartner, 2018)

Por otro lado, el sector de la impresión 3D ha aumentado un 27.4% anual durante los últimos diez años. Sin embargo, este pasado año (2020) el crecimiento fue solamente de un 7.5% (M., 2021) como se puede observar en la figura 6. Esto fue debido a la crisis sanitaria consecuencia de la pandemia originada por el SARS-CoV-2. Así mismo, la fabricación aditiva ha destacado durante esta emergencia gracias a su flexibilidad, siendo una herramienta de respuesta a la urgencia del sector médico mediante la fabricación de material como viseras, hisopos, respiradores, etc.

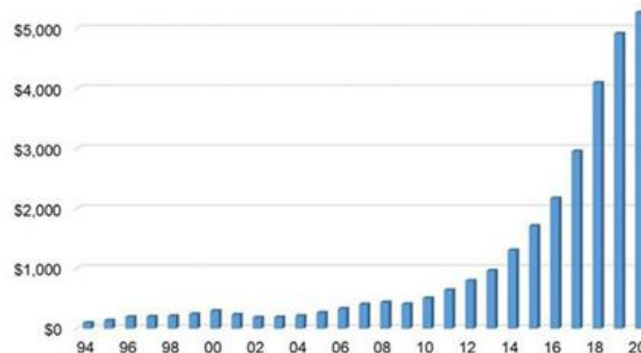


Figura 6. Crecimiento económico de los servicios de fabricación aditiva (Reporte Wohlers 2021)

El sector médico es uno de los que más puede aprovechar esta tecnología, gracias a la cual se pueden crear piezas funcionales como prótesis, ortopedia y modelos dentales. Diversos trabajos recogen las ventajas del uso de la impresión 3D señalando la viabilidad técnica de las prótesis impresas al cumplir con las especificaciones de las prótesis existentes en el mercado y, recalcando también, la reducción en los costes para los pacientes (Garrido Sánchez, 2019). Esta tecnología también presenta ventajas en el campo médico a la hora de la simulación en operaciones, es decir, conseguir una recreación fidedigna de un órgano en concreto antes de una intervención quirúrgica, como, por ejemplo, un estómago inorgánico, gracias al que se redujeron los tiempos en intervenciones reales, probando así, que la impresión 3D es un método



eficaz y de bajo coste para la creación de modelos de simulación (CASTILLO & PALERMO, 2021).

En el campo de la aeronáutica hay numerosos artículos que abalan su implementación, dado que no sólo posibilita la reducción de los productos almacenados y reduce la cadena logística dada la posibilidad de imprimir piezas con metales como el aluminio o el titanio, sino que también permite el rediseño de piezas existentes empleando estructuras reticulares optimizadas (Ceruti, et al., 2019).

3.2 TIPOS DE IMPRESORAS 3D:

Desde su aparición, esta tecnología ha evolucionado generando una amplia variedad de impresoras que emplean una diversidad de materiales y procesos para la reproducción de piezas. En este sentido, las impresoras pueden clasificarse mediante cuatro parámetros: el tipo de material empleado (polímeros, metálico, cerámico, compuestos...), por la forma de este material (hilo, láminas, polvo), por cómo se produce la adición de material (depositado, pre-depositado, proyectado) y en función de la fuente de energía que se emplea (laser, haz de electrones, resistencias, arco). A continuación, se describen las tecnologías empleadas comúnmente en la actualidad.

3.2.1 Modelado por deposición fundida (FDM, fuel deposition modeling)

Es una de las técnicas más sencillas de fabricación aditiva. Permite emplear materiales termoplásticos con un bajo punto de fusión. Este material se encuentra inicialmente en estado sólido, se funde y se expulsa mediante la boquilla en forma de hilos, se van solidificando capa a capa (figura 7).

Es la técnica más común en lo que se refiere a usuarios domésticos. Es la técnica con la menor resolución y precisión, por tanto, no tienen la misma calidad en términos de acabado y precisión que otros tipos de impresoras, pero ponen la impresión 3D al alcance de cualquier persona gracias a ser poco costosa en comparación con las demás técnicas. Con esta tecnología se pueden obtener piezas poco precisas pero funcionales y permite realizar prototipos y modelos a escala de forma ágil y barata. La impresora empleada en este TFG es de este tipo. Principalmente son las impresoras empleadas en el ámbito doméstico, pero existen variantes industriales.

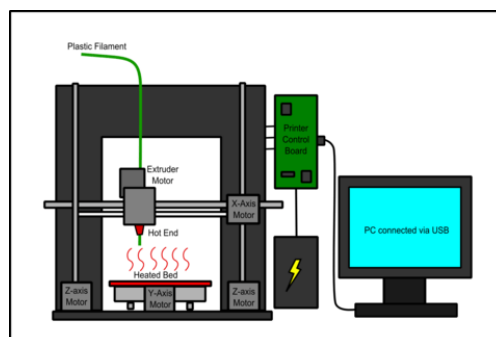


Figura 7. Funcionamiento Impresora FDM (3dNatives, 2021)



3.2.2 Fusión selectiva por láser (SLM, selective laser melting).

Tecnología de fusión de polvo. Este polvo precalentado se funde de forma selectiva mediante un haz láser. Permite trabajar principalmente con aleaciones metálicas, pero presenta inconvenientes debido a la complejidad de los diseños para las estructuras de soporte de la pieza por la aparición de problemas relacionados con la disipación de calor.

3.2.3 Sinterización selectiva por láser (SLS, selective laser sintering).

Se parte de una capa de polvo precalentado, al igual que en la SLM. En cambio, esta tecnología permite la fabricación sin soportes ya que la pieza se encuentra siempre rodeada de polvo que realiza la función de soporte. Permite usar un gran número de materiales (nylon, cerámica, poliestireno, metal, etc), pero los más empleados son los termoplásticos.

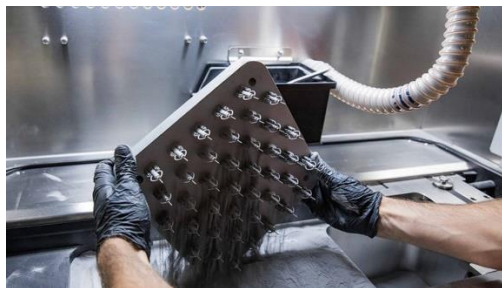


Figura 8. Impresora SLS (ProtoLabs, 2021)

3.2.4 Sinterización directa con láser de metal (DMLS, direct metal laser sintering).

Análogo al SLS, pero los materiales empleados son metales comunes como el hierro, estaño y cobre y aleaciones metálicas, tales como bronce, latón, acero inoxidable y níquel cobalto. Su uso es más común en los sectores aeroespacial y aeronáutico, arquitectura y automoción.

3.2.5 Estereolitografía (SLA, stereolithography).

Mediante la aplicación de luz ultravioleta a una resina líquida fotosensible. Al incidir la luz sobre la resina, ésta comienza a solidificarse capa por capa como se puede observar en la figura 9. Proporciona una alta calidad en los acabados de las impresiones. Esta tecnología se emplea por ejemplo en campos como la odontología e incluso, gracias a la diversidad de los materiales para ingeniería, empresas como Airbus, Boeing y Rolls-Royce están desarrollando proyectos de investigación con el Centro de Investigación de Fabricación Avanzada (AMRC) de la Universidad de Sheffield. (Formlabs, 2021).



Figura 9. Impresora SLA (3dNatives, 2021)



En la siguiente tabla se puede observar una comparativa entre estas diferentes tecnologías.

Tabla 1 Tecnologías de Fabricación Aditiva

	FDM	SLM, SLS, DMLS	SLA
Fortalezas	Poco costoso	Amplio rango de materiales	Alto nivel de precisión
	Puede ser empleado en ambientes de oficina	El polvo actúa como soporte	Acabado superficial suave
	Las piezas tienen buenas propiedades estructurales		
Materiales	Filamentos termoplásticos	Plásticos, metales, polvos cerámicos y arena	Resinas fotocurables mediante luz UV

3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA IMPRESIÓN 3D:

Gracias a la evolución de la fabricación aditiva, actualmente es posible imprimir en metales, hormigón, polvos cerámicos, incluso comida y células humanas. La selección del material será realizada en función de las necesidades del fabricante, bien en cuanto a resistencia o a estética.

Los materiales más comunes en la impresión 3D son los plásticos y pueden distinguirse dos grandes grupos. El primer grupo, los plásticos termoestables presentan una alta estabilidad térmica y rigidez, alta estabilidad dimensional y resistencia a la deformación bajo carga. No obstante, debido a la estructura de red molecular de estos materiales, una vez adquirida una forma, es imposible alterarla.

El segundo grupo, los termoplásticos son materiales cuyos enlaces moleculares varían con la temperatura. Por lo que, con el aumento de temperatura se puede producir un desplazamiento entre capas. Estos materiales pueden deformarse al aplicarle calor para poder darles la forma deseada, al enfriarse mantendrá su nueva forma. A diferencia de los termoestables, los termoplásticos pueden reciclarse. Esta categoría de materiales son las más empleadas en las impresoras FDM. Los termoplásticos más empleados son el políácido láctico (PLA) y el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

El PLA, creado a partir del almidón de plantas como el maíz, es, posiblemente, el material más popular y fácil de imprimir. Tiene un punto de fusión más baja que los demás materiales de la lista, lo que implica también una baja resistencia a la temperatura, a partir de los 60°C comienza a perder resistencia mecánica. Al ser biodegradable, tener baja resistencia a la temperatura, a la luz ultravioleta (UV) y ser quebradizo dada su rigidez, no se aconseja su uso en exteriores o en piezas que vayan a sufrir desgaste.



El ABS presenta una resistencia mecánica y temperaturas superiores a las del PLA, cualidades que lo hacen adecuado para piezas que vayan a estar sometidas a esfuerzos mecánicos y/o piezas de ingeniería. La impresión es más compleja que con el PLA, por lo que la impresora requiere de un cerramiento para mantener una mayor temperatura ambiente durante la impresión, lo que puede implicar una deformación de piezas plásticas de la impresora. Además, las piezas impresas en ABS tienden a reducirse ligeramente al enfriarse. Este material es el predecesor del Acrylic Styrene Arylonitrile (ASA), con él comparte muchas de sus características, destacando este último por poseer una mayor resistencia a la luz UV, lo que lo hace apto para uso en exteriores.

Además de estos materiales, PLA y ABS, existen otros con características más específicas como, por ejemplo, una mayor resistencia a productos químicos o mayor flexibilidad. El CPE, un copoliéster a base de ácido tereftálico, tiene propiedades similares a las del ABS, pero mayor resistencia química. En caso del poliuretano termoplástico (TPU) nos encontramos con un material con una excelente resistencia química y mecánica, pero, además, éste nos ofrece una gran flexibilidad, haciéndolo ideal para piezas que estén sometidas a una alta tensión, arandelas espaciadoras, etc. Como contraparte, la impresión de estos materiales resulta más complicada.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, el modelo de impresora 3D condiciona el alcance de este trabajo ya que reduce las opciones de materiales a utilizar. Así que para seleccionar los materiales más adecuados ha de considerarse las propiedades físicas que deben cumplir las piezas a reproducir. La tabla 2 muestra las propiedades de los diferentes termoplásticos que se pueden emplear con una impresora FDM:

Tabla 2. Propiedades físicas de los termoplásticos disponibles para la impresora FMD.

Material	PLA	ABS	CPE	TPU 95A
Temperatura de Fusión	145°-160° C	225°-245° C	No relevante	220° C
Resistencia al impacto	5,1 KJ/m ²	58 KJ/m ²	4 KJ/m ²	34,5 KJ/m ²
Resistencia a temperatura	~60° C	~97° C	~82° C	/
Tracción de rotura	45,6 MPa	33,9 MPa	37,7 MPa	39,0 MPa
Resistencia a la flexión	103,0 MPa	70,5 MPa	79,5 MPa	4,3 MPa

3.3.1 Impresión de metales

Direct Metal Laser Sintering (DMLS) y Selective Laser Melting (SLM) son los métodos más comunes en cuanto a la impresión 3D con metales. Estas dos tecnologías funcionan de forma similar, mediante la fusión selectiva de partículas de polvo metálicas que van construyendo la figura capa a capa.

La impresión de metales ha ido cobrando importancia a lo largo de los últimos años debido a las ventajas que ofrece ante las técnicas más tradicionales como, por ejemplo: el moldeado al vacío. Ventajas como la de fabricar piezas complejas abaratando el coste y reduciendo la



complejidad han convertido este tipo de impresión en la más popular en las industrias médica y aeroespacial.



Figura 10. Inyector de combustible realizado mediante impresión 3D.

El caso más famoso de impresión 3D en metales en la industria aeronáutica es el de GE Aviation (2018), una compañía líder a nivel mundial en motores y componentes aeronáuticos, tanto en materia civil como militar, que mediante la fabricación aditiva con metales consiguió desarrollar un inyector de combustible más eficiente, un 25% más ligero y en una sola pieza, frente a las 20 necesarias mediante los métodos tradicionales (Figura 10).



3.4 IMPRESIÓN 3D DEFENSA

Dentro del Ejército de Tierra surge el proyecto tecnológico denominado Base Logística del ET, anteriormente COLCE (concentración de órganos logísticos centrales), que considera el alto componente tecnológico que necesitará la logística presente y futura. La fabricación aditiva tiene un papel fundamental dentro del concepto Logística 4.0. Este concepto consiste en un nuevo modelo digitalizado y eficiente que se apoye en las tecnologías de la cuarta revolución industrial, como, por ejemplo, el internet de las cosas (IoT, acrónimo en inglés) y la tecnología Big Data.

El órgano designado para convertirse en el Centro de Excelencia o Centro de Abastecimiento en lo relativo a la impresión 3D será el PCMAYMA (Parque y Centro de Mantenimiento de Armamento y Material de Artillería), en el cual se pretende llevar a cabo todo el proceso de fabricación aditiva.

En este órgano se contempla además la posible gestión de un repositorio certificado de archivos facilitados por el fabricante original. Esto supondría una mayor autonomía del ET frente a los fabricantes en lo que respecta al abastecimiento de repuestos, pero conllevaría una modificación del actual sistema de adquisición ya que, en los pliegos de prescripciones técnicas de los nuevos sistemas de armas, se debería incluir una cláusula de obligatoriedad por parte de los fabricantes de adjuntar los archivos en formato digital de los diferentes componentes de un conjunto de utilización final (CUF).

La Agrupación Logística (AALOG) 41 ubicada en Zaragoza fue la primera en ser dotada con estas capacidades. La creación del proyecto "Shelter 3D" responde a la idea de la fusión de esta tecnología con la movilidad y capacidad de despliegue en el Teatro o Zona de Operaciones (TO,ZO). La DGAM, en base a este concepto, poniendo como unidad piloto a esta AALOG, concibe el proyecto PROMETEO, integrando estas capacidades en un contenedor de 20 pies para la fabricación y postprocesado de piezas de repuesto con objetivos como la reducción de la dependencia de la cadena logística o la reducción de tiempos de mantenimiento.



4 DESARROLLO: ANÁLISIS Y RESULTADOS

El 2º Escalón de Mantenimiento de la Compañía de Transmisiones VII es un órgano que se dedica al mantenimiento y puesta a punto de todos los equipos y material específico de la Compañía de Transmisiones. La importancia de su labor está implícita en el hecho de que la Cía. de Transmisiones es la única que cuenta con un escalón de estas características para su material dentro de la Brigada Galicia VII, mientras que las demás unidades derivan sus incidencias al Grupo Logístico VII.

Mediante la realización de entrevistas (Anexo II) con el personal destinado en el escalón se han identificado los siguientes problemas relacionados con la tecnología de la impresión 3D:

- Lentitud en repuestos críticos para el funcionamiento de diversos equipos y sistemas.
- Falta de formación en el uso de la fabricación aditiva, así como en el empleo de medios CAD para el diseño de las piezas.
- Posibles problemas legales por falta de homologación y contratos con las empresas proveedoras.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE PIEZAS.

De las entrevistas se ha recogido que las piezas escogidas responden a necesidades como la estanqueidad de estaciones y equipos y repuestos que, por la vía logística tradicional, tardarían demasiado tiempo en reponerse; lo que causaría perjuicio en el uso de los sistemas o su completa inoperatividad. En estas entrevistas se detecta además que los tiempos de espera para la reposición de estos recursos pueden llegar a sobrepasar los 6 meses, tiempo en el que los sistemas pueden estar totalmente inoperativos.

Siguiendo los criterios mencionados en la metodología, se han tenido en cuenta para la selección de estas piezas los posibles problemas derivados de la falta de homologación de las mismas y se han omitido todas aquellas que pudiesen causar accidentes y daños materiales o personales.

Juntas de estanqueidad para los terminales satélites ATQH y TLB 50 IP:

Por ejemplo, el SATCOM AT THE QUICK HALT (ATQH) (Figura 11), este terminal satélite es el terminal más avanzado en el campo de las transmisiones del Ejército de Tierra (ET) dadas las altas prestaciones y movilidad que ofrece a las unidades, pero, en el caso de uno de los terminales de los que dispone la Brigada Galicia VII, ha tenido que ser ingresado en un Escalón de mantenimiento superior varias veces por problemas de humedad en la guía de ondas, lo que implica desprenderse de las capacidades que aporta este terminal durante toda la estancia en los parques de mantenimiento, cuya duración puede superar el año dependiendo de la gravedad de las averías. Estos problemas de acumulación de humedad pueden derivar en un mal funcionamiento del sistema, atenuando, por ejemplo, las diferentes señales emitidas/recibidas por terminal y, en casos más graves, llegando a provocar averías importantes.



Figura 11. Terminal ATQH perteneciente al Ejército de Tierra.

Las entrevistas también han dejado de manifiesto los problemas de reabastecimiento de determinadas piezas, por ejemplo, las juntas de estanqueidad tienen que ser compradas al proveedor en lotes de 1000 juegos, por lo que el Parque Central de Mantenimiento (PCMMT) no suele suministrarlos dado su elevado precio. Estas juntas no se encuentran registradas ni disponibles en la plataforma SIGLE (Sistema Integrado de Gestión Logística del Ejército), por lo que su precio no aparece indicado en la misma. El PCMMT sólo contempla su compra en caso de que haya varios terminales afectados, por lo que, actualmente, éstas no pueden obtenerse mediante la vía logística tradicional.

Indicador de recámara vacía:

En la instrucción, al tratar con armamento real, la seguridad es lo más importante. Uno de los momentos críticos en los cuales se pueden producir accidentes es en la entrega de armamento al finalizar los ejercicios. El Sargento Primero de la Compañía de Defensa Contra Carro del BCG VII (Cía. DCC), encargado del núcleo de armamento del BCG VII, es decir, es el encargado de lo que comúnmente se conoce como armería en las unidades, propuso la idea de realizar una pieza para mejorar la seguridad del personal que se encuentre realizando instrucción y de los que estén llevando a cabo los cometidos del núcleo del armamento del BCG VII. Los cometidos (Sgto. 1º y 2 personas de tropa) que llevan a cabo este núcleo pasan desde la custodia del armamento individual hasta el mantenimiento del armamento colectivo y específico de compañías como la de DCC.



Figura 12. Indicador de recámara vacía. (Armería Varona, 2021)

Esta pieza se introduce en la recámara (Figura 12), asegurando que la misma se encuentra vacía, es decir, indica que el arma no está alimentada. Cuenta, además, con un orificio que



permite introducir un elemento para facilitar la visibilidad, como puede ser una cinta de color llamativo, etc. Esto permitiría, durante ejercicios de tiro, por ejemplo, realizar una primera inspección visual y así realizar la comprobación de seguridad de una forma mucho más rápida. En la actualidad, el ET no dispone de esta pieza, por lo que su fabricación con tecnología 3D supondría una innovación que mejoraría la seguridad en el empleo de armas durante los ejercicios.

Tapones PR-4G:

Los transceptores PR4G son empleados, principalmente, por los batallones de la Brigada, ya sea en su configuración portátil o vehicular. Si bien es cierto que la Cía. de Transmisiones VII cuenta con estas radios para facilitar el mando y control de estas unidades en los Puestos de Mando, tanto en el principal como en el alternativo, siendo estas empleadas para la transmisión del BMS (Battlefield Management System), que permite la visualización de las unidades en el plano de la maniobra.

Estas piezas son esenciales para preservar la integridad de las conexiones de los equipos y, normalmente, dado el uso de las radios, las cuales tienen que soportar todas las vicisitudes a las que se enfrentan las unidades de Infantería y Zapadores, suelen perderse o romperse durante la realización de ejercicios. La fabricación aditiva puede ser la solución a este problema, ya que el tiempo de reposición de estos elementos suele durar de dos a cuatro meses, e incluso pudiendo llegar a los seis meses desde el inicio de solicitud de reposición, según la información obtenida en las entrevistas. Los precios de los tapones oscilan entre los 20 y 80 euros, dependiendo del tipo de tapón, ya que algunos cuentan con un revestimiento interior metálico (Figura 13).



Figura 13. Tapón protector original de conectores del transceptor PR-4G.



4.2 Mediciones:

Las mediciones se llevan a cabo con la herramienta definida en el apartado 0, obteniéndose los siguientes resultados que se pueden observar en las siguientes figuras.

Juntas de estanqueidad TLB/ATQH:

Con estas medidas se llevó a cabo un barrido de perfil circular de 3 mm de diámetro para ambas juntas.

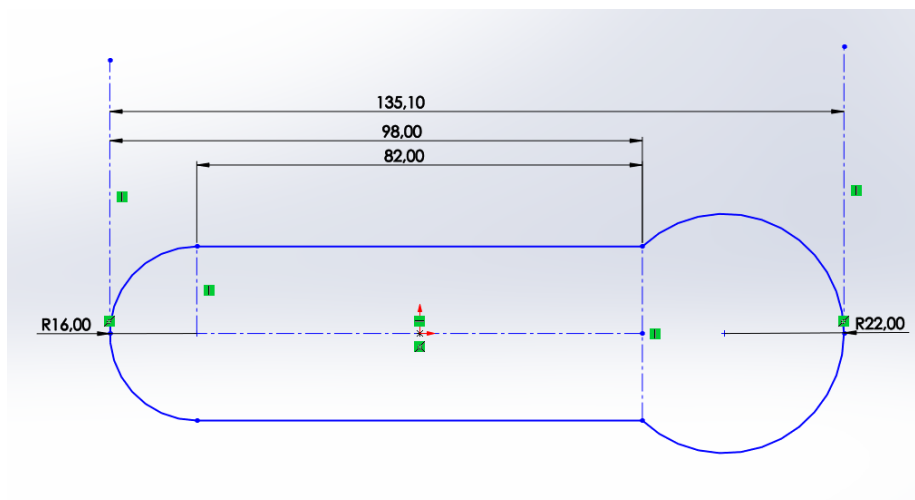


Figura 14. Medidas junta TLB

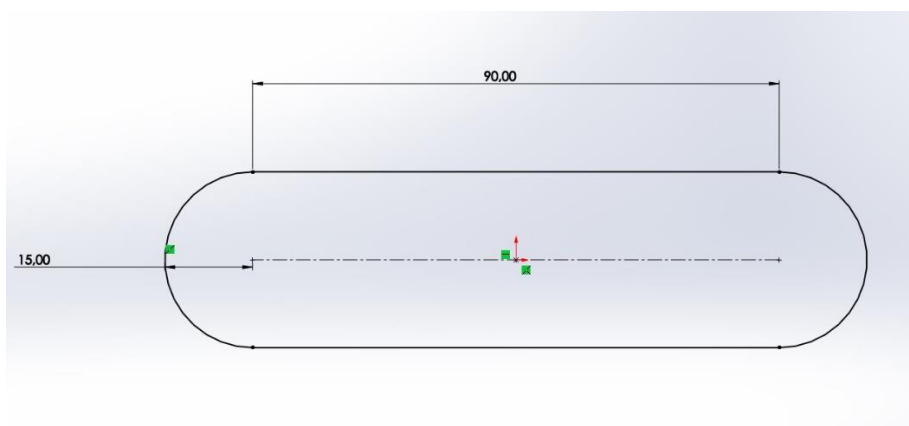


Figura 15. Medidas junta ATQH



Para el indicador de recámara vacía se realizaron medidas con el fusil HK G36E y se buscaron diseños similares para este tipo de pieza

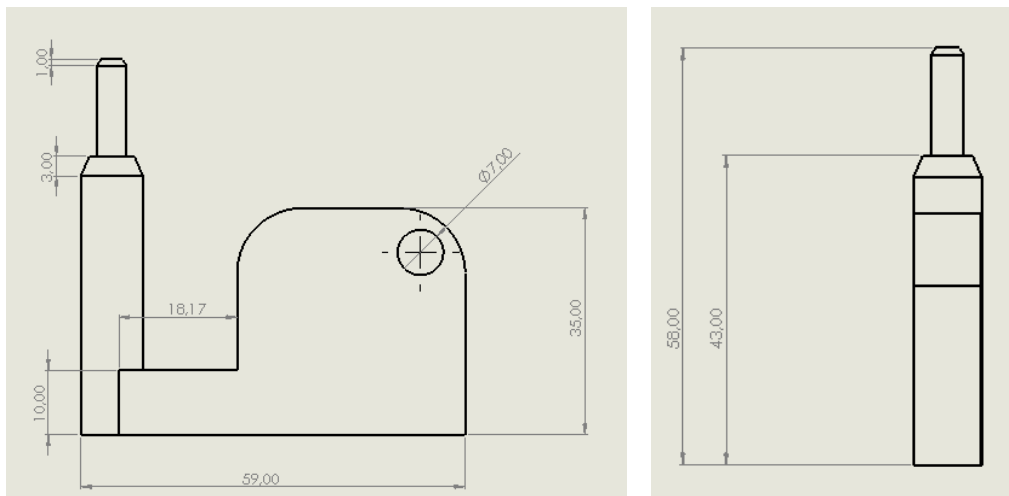


Figura 16. Mediciones indicador de recámara vacía.

Estas son las medidas finales, puesto que el diámetro de 9.50 mm se redujo en 1.00 mm para facilitar la inserción de la pieza en el ánima del fusil HK G36 E. Debido a problemas con el acabado de la impresión 3D como se menciona más adelante.

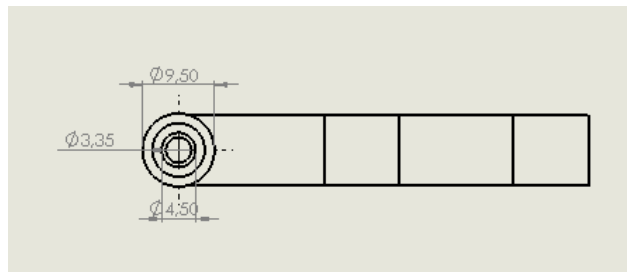


Figura 17. Mediciones indicar de recámara vacía.

Para los tapones del transceptor PR-4G se tomaron medidas de los originales, los aparecen en cuatro tamaños diferentes (A/B, C, el conector de antena y el conector GPS) como se puede observar en la Figura 18.

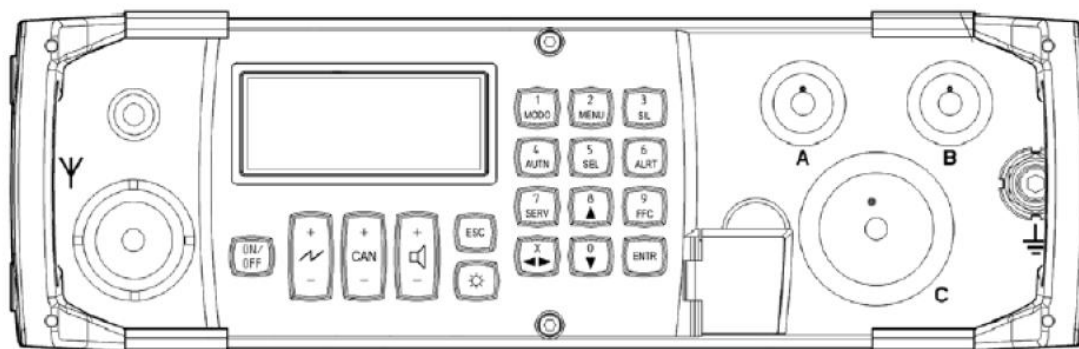


Figura 18. Transceptor PR-4G.

La siguiente tabla recoge la información de las medidas realizadas.

Tabla 3. Mediciones conectores PR-4G.

Conector	A/B	Datos (C)	Antena	GPS
Diámetro int/ext (cm)	3,00/2,90	5,1/4,8	4,00/3,90	1,60/1,50
Profundidad (cm)	2,50	2,50	2,50	2,00

4.3 Diseño de las piezas:

Después de haber identificado de las entrevistas las piezas seleccionadas y de haber realizado las mediciones de las mismas se procede al diseño con la ayuda del programa SolidWorks.

4.3.1 Juntas de estanqueidad ATQH y TLB:

Uno de los problemas identificados es la falta de estanqueidad de la guía de ondas de los terminales satélite. Como solución se propone la fabricación de juntas mediante el empleo de la fabricación aditiva. Esto solucionaría, además del problema de la falta de estanqueidad, el problema del tiempo de reposición de estas piezas mediante la vía logística tradicional.

Para el diseño de piezas primero se lleva a cabo una medición de las originales con el pie de rey. Posteriormente se lleva a cabo el diseño mediante SolidWorks (Figura 19). Aunque se trata de unas piezas sencillas, la dificultad de su realización no recae en el diseño, si no en la elección de material para realizar la impresión, en este caso, este debe tener unas características concretas, como flexibilidad, estanqueidad y resistencia a efectos climatológicos (sol, lluvia, humedad, etc).

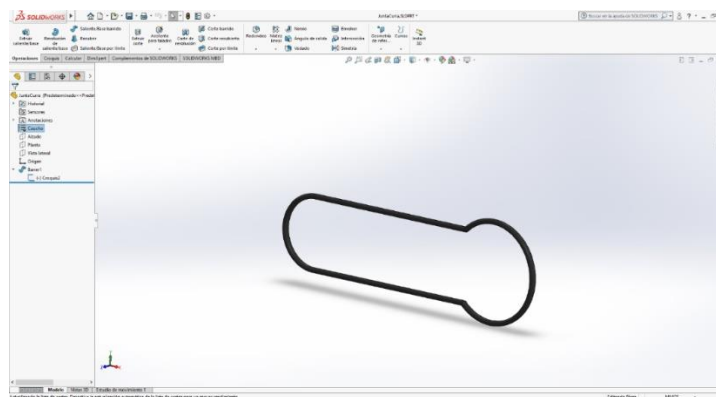


Figura 19. Diseño realizado en base a las mediciones de las juntas originales.

Después de la realización del diseño el archivo se guarda con la extensión .stl (Standard Tessellation Language), esta extensión es la que nos permite trabajar en el software Cura.

La impresión fue realizada con dos tipos de materiales, ABS, y TPU 95A, para comparar las ventajas que ofrecía cada uno. Manteniendo parámetros similares en cuanto a relleno, la única diferencia entre estos dos materiales fue el tiempo de impresión, menor en el caso del ABS.

Finalmente, se optó por la impresión con TPU 95A, ya que, además de que la impresora disponible no contaba con un cerramiento adecuado. En este sentido, de haber utilizado ABS la impresora habría sufrido daños o en caso de realizar la impresión de una pieza mayor podrían aparecer problemas de adherencia entre capas al no mantener una temperatura ambiente constante en el interior de la zona de impresión. Por tanto, las piezas deberían ser capaces de aguantar las inclemencias climáticas y cumplir su función a la intemperie, solventando el problema de estanqueidad detectado, por ello el material óptimo para su realización es el TPU 95A. Si bien, cabe destacar que, dado el tamaño y el tiempo de fabricación de estas piezas, se podrían realizar las impresiones de forma individual sin perjuicio, en principio, para la máquina.



Figura 20. Mediciones de las juntas recreadas mediante impresión 3D.

Se realizaron una prueba a lo largo de una semana de instrucción con climatología adversa.

4.3.2 Indicador de recámara vacía:

La selección de esta pieza responde a una mejora en la seguridad y a la agilización en las actividades de instrucción en las que se emplee el fusil de asalto HK-G36E (5.56x45mm), por ejemplo, en ejercicios de tiro o en la recepción/entrega de armamento en los armeros.

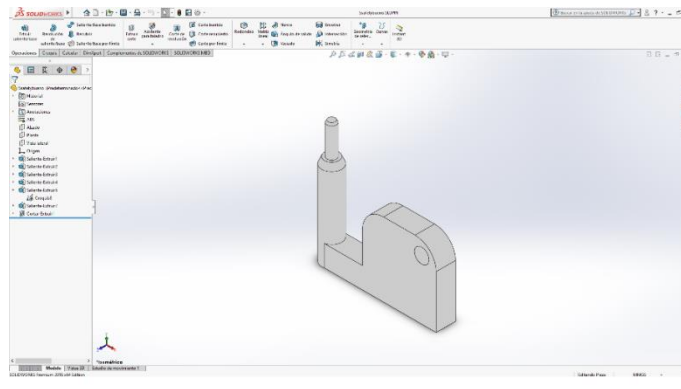


Figura 21. Diseño de un indicador de recámara vacía.

Para el diseño de esta pieza se realizaron mediciones sobre el fusil HK-G36E y se realizó una búsqueda de productos similares que ya se encuentran en el mercado.



Figura 22. Indicador de recámara vacía impreso en 3D.

Para la realización de prototipos se empleó PLA, para poder comprobar si las medidas eran las correctas ya que, los materiales pueden sufrir deformaciones al enfriarse o calentarse durante y después de la impresión, además de la posible aparición de defectos en la superficie de las piezas.

Se realizaron dos pruebas con el fusil HK G36E y hubo que realizar correcciones de los prototipos en lo referente diámetro y la cantidad de relleno.

4.3.3 Tapones PR4G:

Las condiciones de empleo de estas radios requieren que la pieza tenga unas características determinadas:

- Resistencia mecánica a impactos.
- Estandaridad y tolerancia a las inclemencias meteorológicas.

Para ello el material seleccionado es el TPU 95A que reúne estas características. El problema vuelve a ser la dificultad de impresión de este material con la impresora disponible en el 2º Escalón. Se realizaron dos impresiones de estas piezas variando la temperatura de extrusión y de la cama de la impresora

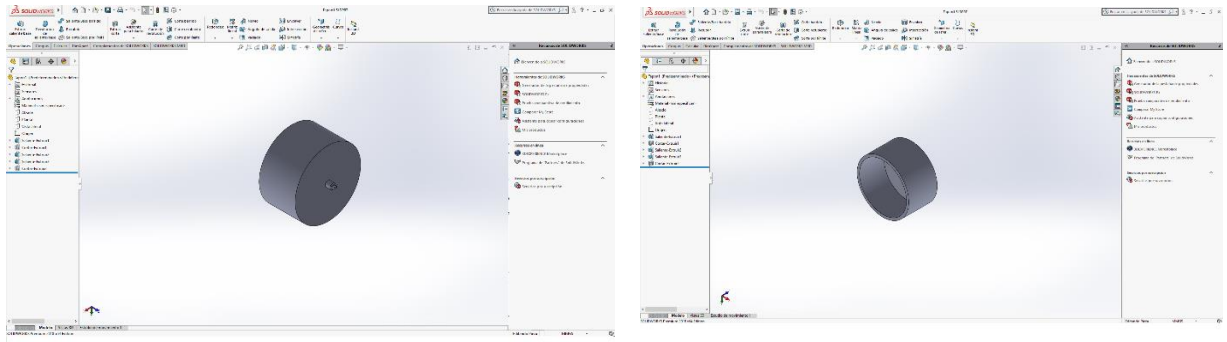


Figura 23. Diseño de tapones protectores en perspectivas diferentes

Con este diseño sencillo (Figura 23) se podrían fabricar tapones para cualquier conexión de la PR4G o protectores para los extremos de la fibra óptica, simplemente habría que variar el diámetro del diseño, sin que esto supusiese un aumento en el coste de fabricación como lo haría mediante métodos de manufacturación tradicionales.

4.4 VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

En este apartado se realiza un estudio de la viabilidad técnico-económica del empleo de una impresora 3D en el seno de un BCG.

4.4.1 Viabilidad técnica.

En cuanto a la viabilidad técnica se estudian los siguientes aspectos:

- Dificultad en el diseño de las piezas y manejo de software, así como el de la propia impresora.
- Resultados obtenidos con las piezas impresas y capacidades de la impresora.
- Posibles problemas en cuanto a homologación.

Dificultad en el diseño:

Las entrevistas reflejan problemas en cuanto a la formación de los usuarios para aprovechar al máximo las capacidades de la impresora. La formación con la que cuenta el personal ha sido obtenida gracias al propio interés de los encargados de su uso, pero carecen de cursos o jornadas de formación impartidos por el Ejército de Tierra.

El manejo de programas de diseño asistido por ordenador requiere de unos conocimientos mínimos, si bien es cierto que en la actualidad es muy sencillo encontrar información al respecto, los diseños que se pueden llevar a cabo sin esa formación limitan el empleo de la impresora a la creación de repuestos simples.



Resultados obtenidos con las piezas impresas:

Los resultados obtenidos con las piezas impresas son consecuencia directa de las capacidades de la impresora. Este modelo sin cerramiento limita el uso de materiales más resistentes como el ABS y dificulta la impresión con TPU 95A, volviéndose a desaprovechar parte de las capacidades que brinda esta tecnología.

- Juntas de estanqueidad ATQH y TLB 50 IP:

La impresión de las juntas de los terminales satélites realizadas con TPU 95A fueron empleadas en un escenario real durante la ejecución de un ejercicio en una zona geográfica de pluviometría alta (Campo de maniobras y tiro de Parga, Lugo) y al regreso del ejercicio se comprobó el estado de la guía de ondas, siendo éste correcto. Por lo tanto, cumplen con las necesidades de estanqueidad requeridas, solucionando así, uno de los principales problemas del equipo.

- Indicador de recámara vacía:

Con el primer prototipo, impreso con un relleno del 20%, se realizaron pruebas reales con el fusil HK y se rompió al ser sometido a la presión ejercida por el conjunto muelle-cierre, quedando una de las partes de la pieza atorada en la recámara. Por lo que se decidió realizar un aumento del relleno en la construcción de la pieza para poder soportar la presión ejercida por el cierre. Además, se disminuyó en 1.00 mm el diámetro de la pieza para facilitar la inserción.

La segunda impresión, a la que se le aumentó el relleno hasta el 60%, resistía esta presión, siempre que fuese aplicada de forma progresiva, pero seguía presentando problemas dada la rigidez del material, además de sufrir una ligera deformación por el calor de la recámara tras realizar unos disparos con cartuchos de fogeo.

- Tapones PR-4G:

La impresión de los tapones del transceptor PR-4G se intentó realizar con TPU 95A, pero los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, ya que se produjeron deformaciones en las dos impresiones realizadas. Se probaron diversas temperaturas de extrusión y de la cama de la impresora 3D, pero apareció un fenómeno conocido como warping, que consiste en una contracción del material al contacto con la plataforma o con un medio a una temperatura inferior. Al no contar con cerramiento la impresora, las corrientes de aire pueden afectar a la impresión de las piezas, por lo que no pudo llevarse a cabo de forma satisfactoria.

4.4.2 Viabilidad económica:

Con la tecnología de la impresión 3D aparecen nuevos costes derivados del proceso de fabricación aditiva, que no encontramos con los métodos tradicionales:

- El coste de la propia impresora.
- Coste del Software CAD.
- Coste de los materiales y consumo energético de los equipos.

Por último, se hará una comparación entre el coste estimado de las piezas impresas frente al coste de la vía logística tradicional.



Precio de la impresora 3D:

Para determinar el precio de la impresora se realizó una búsqueda del modelo en Internet.

El precio de la impresora oscila entre los 350 y 400 euros, dependiendo de la página (Impresoras3d, 2021).

Precio software de diseño asistido por ordenador:

El precio las licencias de programas de diseño asistido por ordenador como SolidWorks pueden oscilar entre los 6000€ y 10000€ para uso profesional. Muchos cuentan además con una suscripción anual de alrededor de 2000€ (cimworks, 2021). No obstante, existen alternativas gratuitas menos potentes que permiten el diseño de piezas simples de forma sencilla. Por ejemplo, TinkerCAD (Autodesk, 2021).

En el 2º Escalón empleaban la versión gratuita de Fusion360.

Coste cursos de formación para el empleo del software de diseño asistido por ordenador:

Los precios de los cursos varían en función de las diversas academias que los ofertan, así como de la duración del mismo y de su complejidad. Se encuentran entre los 190€/200h los cursos más básicos hasta los 600€/450h de los cursos más avanzados (formacad, 2021).

Precio de los materiales y consumo energético:

Los precios de los materiales empleados y estudiados en este Trabajo de Fin de Grado se presentan continuación. Las marcas empleadas por el 2º Escalón fueron: Sunlu (Sunlu, 2021) para PLA y SaintSmart (SaintSmart, 2021) para TPU 95^a. Los precios oscilan entorno a los valores mostrados a los 20€ y 44€ por kilo (Tabla 4).

Tabla 4. Precio de los materiales empleados

Materiales	PLA	ABS	TPU 95A
Precio	20€/kg	20€/kg	22€/500g

La cantidad de material empleado viene dada por la estimación que realiza el software Ultimaker Cura. Como se puede observar (Figura 24), para la fabricación de las piezas, el programa presenta la cantidad en gramos. La cantidad de material varía en función del relleno que se le quiera dar a la pieza. En el caso de esta pieza, el relleno de las juntas del TLB es de un 15%.

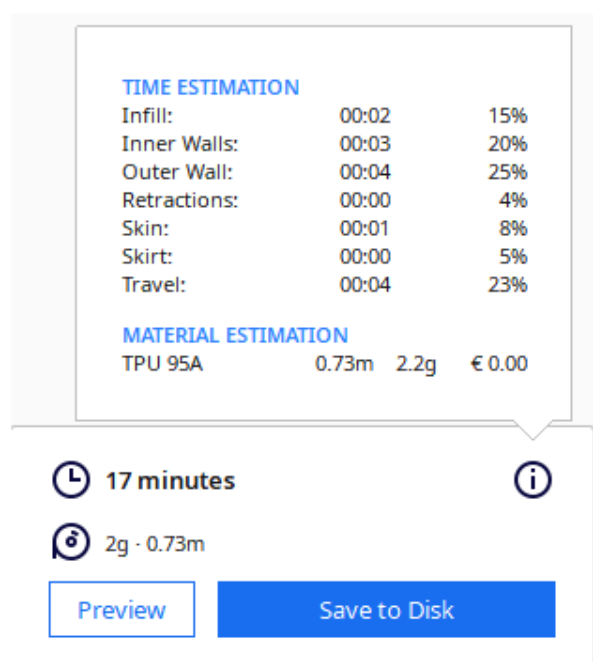


Figura 24. Estimación de tiempo y gasto de material del software Ultimaker Cura para las juntas del TLB.

La tabla 5 muestra el tiempo estimado de impresión para cada pieza. La pieza que menor tiempo requiere es la junta ATQH/TLB (17 minutos) y la que más tiempo requiere es el tapón PR 4G (117 minutos).

Tabla 5. Tiempo estimado de impresión para cada pieza.

Pieza	Juntas ATQH/TLB	Indicador de recámara vacía	Tapón PR 4G
Tiempo de impresión (minutos)	17	74	117

Finalmente, hay que tener en cuenta costes como el de la electricidad para obtener una estimación real del precio de cada pieza. El consumo energético de una impresora 3D suele estar en torno a los 0,225Kw (Anon., 2016) y el precio medio del kWh es actualmente de 0,15017€ (Papernest, 2021). Por lo tanto, durante una hora de trabajo, la impresora consumirá alrededor de 0,03€. (Núñez, 2021).

Precio de los repuestos originales:

Los repuestos originales proporcionados a través de la vía logística tradicional, realizando peticiones en la plataforma SIGLE, cuentan con un precio en la misma.

En el caso de las piezas identificadas en este TFG solamente los tapones cubre-conectores de la PR-4G están disponibles para su pedido. Dentro de la aplicación, los precios de estos tapones oscilan entre los 20€ y 80€ dependiendo del modelo del mismo.

Las juntas de estanquidad no aparecen registradas en la aplicación, aun cuando son un elemento crítico para el funcionamiento del sistema. Como se puede extraer de las entrevistas,



la empresa desarrolladora del terminal vende los juegos de las mismas en lotes de 1000, por lo que, el Parque Central de Mantenimiento (PCMMT) no suministra este repuesto dado su elevado precio y estas no pueden obtenerse mediante la vía logística tradicional.

El precio no pudo obtenerse mediante las entrevistas ya que el personal encargado de su compra pertenece al PCMMT, no a la Brigada Galicia VII, por lo que estos últimos no tienen acceso a esa información.

En el caso del indicador de recámara vacía los precios varían entre los 2€ a los 3€ por unidad, dependiendo del material y el calibre del arma. (Mildot, 2021)

Con los datos anteriores y el coste del consumo energético por parte de la impresora se obtiene una estimación del precio por pieza y el ahorro por pieza que le supondría a la BCG si utilizase la impresora 3D. Como se puede observar en la tabla 5, el empleo de una impresora 3D supone un ahorro de entre el 86% y 91% para el caso del indicador recámara vacía y de entre un 95% y del 98% para los tapones. Lo que demuestra la viabilidad económica de esta propuesta.

Tabla 6. Estimación de las impresiones

Pieza	Juntas ATQH/TLB	Indicador recámara vacía	Tapón PR 4G
Material empleado	TPU 95A	PLA	TPU 95A
Precio material por gramo (€)	0,044€	0,02€	0,044€
Cantidad material (gr.)	2,2	12,9	18,3
Coste material por pieza (€)	0,09	0,25	0,8
Coste consumo energético por pieza (€)	0,00425	0,0185	0,02925
Precio pieza (€)	0,09	0,26	0,82
Precio proveedor (€)	-	Entre 2€ y 3€	Entre 20€ y 80€
Ahorro por pieza (€)	-	Entre 1,73€ y 2,73€	Entre 19,17€ y 79,17€

En el análisis no se contempla el sueldo de los operarios de la máquina, por tratarse de ser personal perteneciente al Ejército de Tierra.



5 CONCLUSIONES

Durante la realización de este TFG se han llevado a cabo pruebas con la impresora 3D del BCG VII y se ha trabajado conjuntamente con el personal encargado de su empleo para la realización de piezas de repuesto. De este proceso se pueden extraer una serie de conclusiones.

En función de los resultados obtenidos tras la impresión de los repuestos se ha podido solventar el problema de la ausencia de proveedores en el caso de las juntas de estanqueidad para la guía de ondas de los terminales ATQH y TLB 50 IP.

Gracias al análisis técnico-económico ha sido posible identificar que el coste de fabricación de repuestos como los tapones del transceptor PR 4G supone un ahorro con respecto a la adquisición de los mismos mediante los proveedores. Esto supone que el empleo de esta tecnología conlleva una reducción de costes y de los tiempos de reposición, siendo esto último primordial para la consecución de los cometidos asignados a las unidades, tanto en Territorio Nacional como en Zona de Operaciones. Ayudando a eliminar casi por completo los tiempos de inoperatividad de estos sistemas, ya que el tiempo de impresión es de apenas minutos frente a los meses que puede tardar un repuesto solicitado mediante la plataforma SIGLE.

Han aparecido problemas a la hora de realizar las impresiones del indicador de recámara vacía con materiales como ABS y TPU 95A. El mayor desafío a la hora de diseñarlo fue la elección del material, éste tenía que ser capaz de resistir el efecto mecánico ejercido en forma de presión por el conjunto muelle-cierre del arma además de no sufrir deformaciones por efecto del calor de la recámara tras realizar un ejercicio de tiro. Por ello el material empleado debería ser ABS, pero al no contar con un cerramiento la impresora 3D, no se podía emplear.

Se han identificado también problemas a la hora de diseñar piezas por parte del personal del Escalón de mantenimiento, que no cuenta con ninguna formación oficial para el empleo de esta tecnología. Este último podría solventarse mediante jornadas de formación o cursos para el personal destinado en órganos de mantenimiento, así como la adquisición de un escáner 3D que facilitaría el diseño de las piezas mediante la ingeniería inversa. El esfuerzo no debe centrarse solamente en la parte de ingeniería como las máquinas, procesos, materiales, etc, sino también en el usuario de la misma, formándolo en las capacidades de esta tecnología y capacitándolo para su empleo, convirtiéndolo así en parte activa para la resolución de problemas que puedan surgir durante el cumplimiento de una misión. Esta parte activa podrá además desarrollar iniciativas y aportar ideas basadas en la experiencia de uso y manejo de los sistemas. Como es el caso del personal de la Compañía de Defensa Contra Carro (Cía. DCC) que propuso la idea del indicador de recámara vacía, pero no tenía los conocimientos para desarrollarla.

No se encontró necesaria la adquisición de un software específico para el diseño asistido por ordenador, ya que las piezas que se pueden reproducir con el modelo de impresora 3D disponible tienen un nivel de complejidad que puede abarcarse con la versión gratuita del software que están empleando actualmente, Fusion360 (Autodesk, 2021).

Otro de los principales problemas identificados, aunque se queda fuera del alcance de este proyecto, es el tema de la homologación, normalización y certificación de estos repuestos. Este fue uno de los criterios que se siguieron para la identificación y selección de las piezas susceptibles de ser impresas. Para solventarlo sería beneficioso contar con un órgano dentro del Ejército dedicado a la homologación de las piezas. Así como contratos con las empresas proveedoras para obtener los diseños originales de ciertas piezas.



Esto último abre la puerta a la interoperabilidad, una capacidad que permitiría intercambiar servicios para operar de forma conjunta y efectiva en la ejecución de los cometidos asignados, traducido al empleo de la fabricación aditiva se contempla como una posible línea futura de investigación la creación de una plataforma para compartir de forma telemática el catálogo de piezas diseñadas, que a su vez podría tener un impacto en el Teatro de Operaciones si las unidades desplegadas contasen con medios de fabricación aditiva, ya sean plásticos o metálicos.



6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3D, H. D. L. I., 2019. *HISTORIA DE LAS IMPRESORAS 3D*. [En línea]
Available at: <http://impresorad3d.com/impresoras-3d-historia/>
[Último acceso: 10 9 21].

3dNatives, 2021. *3dNatives.com*. [En línea]
Available at: www.3dNatives.com
[Último acceso: 10 9 21].

Anon., 2016. *filament2print.com*. [En línea]
Available at: https://filament2print.com/es/blog/18_costes-impresion-3D.html
[Último acceso: 10 11 21].

ArmeríaVarona, 2021. *armeriavarona.com*. [En línea]
Available at: <https://armeriavarona.com/accesorios/1392-indicador-de-recamara-vacia.html>
[Último acceso: 15 09 21].

Autodesk, 2021. *www.autodesk.com*. [En línea]
Available at: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
[Último acceso: 10 09 21].

Autodesk, 2021. *www.tinkercad.com*. [En línea]
Available at: <https://www.tinkercad.com/>
[Último acceso: 12 10 21].

Belman-Lopez, J.-G. H.-G., 2020. Análisis exhaustivo de los principios de diseño en el contexto de Industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Issue 17, pp. 432-447.

CASTILLO, A. R. R. & PALERMO, M. V., 2021. MODELO INORGÁNICO DE SIMULACIÓN DE GASTROSTOMÍA LAPAROSCÓPICA CON IMPRESIÓN 3D, PARA ADQUIRIR HABILIDADES EN SUTURA INTRACORPÓREA. ESTUDIO CUASI-EXPERIMENTAL ANDRÉS RODRIGO RUBIN CASTILLO1 MIGUEL VASSALLO PALERMO2 INORGANIC MODEL OF LAPAROSCOPIC GASTROST. *Revista Venezuela de Cirugía*, Issue 419, pp. 28-34.

Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A. & Bil, C., 2019. Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), pp. 516-526.

cimworks, 2021. *www.cimworks.es*. [En línea]
Available at: <https://www.cimworks.es/precios-solidworks/>
[Último acceso: 10 09 21].

Context, 2021. *www.contextworld.com*. [En línea]
Available at: www.contextworld.com
[Último acceso: 05 10 21].

Creality, 2021. *www.creality.com*. [En línea]
Available at: <https://www.creality.com/es/goods-detail/ender-5-3d-printer>
[Último acceso: 20 10 21].



Dassault Systems, 2021. *www.solidworks.com.* [En línea]
Available at: <https://www.solidworks.com/>
[Último acceso: 15 10 21].

ET, 2021. *ejercito.defensa.gob.es.* [En línea]
Available at: https://ejercito.defensa.gob.es/estructura/briex_2035/male/index.html
[Último acceso: 10 11 21].

formacad, 2021. *formacad.es.* [En línea]
Available at: <https://formacad.es/cursos-solidworks/>
[Último acceso: 19 10 21].

Formlabs, 2021. *Formlabs.com.* [En línea]
Available at: <https://formlabs.com/es/blog/guia-definitiva-estereolitografia-sla-impresion-3d/>
[Último acceso: 15 10 21].

Garrido Sánchez, G., 2019. *Trabajo de Fin de Grado: Diseño y fabricación de un dedo protésico articulado mediante impresión 3D*, Valladolid: Escuela de Ingenierías industriales.

GE Aviation, 2018. */www.ge.com.* [En línea]
Available at: <https://www.ge.com/additive/stories/new-manufacturing-milestone-30000-additive-fuel-nozzles>
[Último acceso: 14 9 2021].

Impresoras3D, 2021. *impresoras 3d.* [En línea]
Available at: <https://www.impresoras3d.com/producto/impresora-3d-creality-ender-5/>
[Último acceso: 10 12 21].

Impresoras3d, 2021. *www.impresoras3d.com.* [En línea]
Available at: <https://www.impresoras3d.com/producto/impresora-3d-creality-ender-5/>
[Último acceso: 10 12 21].

Infinitia Research, 2021. *www.infinitiaresearch.com.* [En línea]
Available at: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/estudio-de-viabilidad-de-un-proyecto-como-realizarlo/>
[Último acceso: 10 10 21].

M., A., 2021. *3Dnatives.* [En línea]
Available at: <https://www.3dnatives.com/es/reporte-wohlers-2021-180320212/>
[Último acceso: 10 9 21].

mecanizadossinc, 2021. *www.mecanizadossinc.com.* [En línea]
Available at: <https://www.mecanizadossinc.com/sistema-cnc-control-numerico-por-computadora/>
[Último acceso: 10 11 21].

Mildot, 2021. *https://www.mildot.es/pack-6-indicadores-de-recamara-vacia-utg-leapers.html.* [En línea]
Available at: <https://www.mildot.es/pack-6-indicadores-de-recamara-vacia-utg-leapers.html>
[Último acceso: 25 09 21].

Núñez, J. L., 2021. *of3lia.com.* [En línea]
Available at:



https://docs.google.com/spreadsheets/d/1v_hkQdeXtpQ5D3LFBnTjrlnPsGIEGbV3ggkkEhdmNE/edit#gid=0

[Último acceso: 12 12 21].

Papernest, 2021. www.companias-de-luz.com. [En línea]
Available at: <https://www.companias-de-luz.com/precio-de-la-luz/kwh/espana/>
[Último acceso: 14 12 21].

Pisabarro, S., 2020. Pieza a Pieza. *Tierra*, Issue 60, p. 36.

Pointcloud, 2021. <https://pointcloud.es/nube-de-puntos/>. [En línea]
Available at: <https://pointcloud.es/nube-de-puntos/>
[Último acceso: 10 12 21].

ProtoLabs, 2021. www.protolabs.es. [En línea]
Available at: <https://www.protolabs.es/servicios/impresion-3d/sinterizado-selectivo-por-laser/>
[Último acceso: 10 9 21].

SaintSmart, 2021. www.sainsmart.com. [En línea]
Available at: <https://www.sainsmart.com/>
[Último acceso: 20 09 21].

Sunlu, 2021. www.sunlu.com. [En línea]
Available at: <https://www.sunlu.com/es>
[Último acceso: 20 9 21].

U.S. Army Research , Development and Engineering Command, 2017. www.army.mil. [En línea]
Available at: <https://www.army.mil/standto/2017-08-08>
[Último acceso: 30 9 21].

Ultimaker, 2021. ultimaker.com. [En línea]
Available at: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>
[Último acceso: 10 9 21].

Vázquez, j. j. D., 2020. [Itasca.edu.mx](http://itesca.edu.mx). [En línea]
Available at: <https://www.itesca.edu.mx/investigacion/foro/carp%20ponencias/28.pdf>
[Último acceso: 15 10 21].

Vinod G. , G., N. Raut, D. D. & K. Shinde, D. D., 2017. A Review paper on 3D-Printing Aspects and. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6 5, p. vol.6.



7 ANEXOS

7.1 Anexo I. GLOSARIO DE TÉRMINOS

“AD HOC”:

Que está hecho especialmente para un fin determinado o pensado para una situación concreta.

AUTONOMÍA LOGÍSTICA:

Cantidad de recursos y capacidades logísticas asignados a una organización operativa para el cumplimiento de las misiones encomendadas con el objeto de garantizar su supervivencia y capacidad de combate sin apoyo externo durante el plazo de tiempo que se determine. Esta autonomía logística dependerá de factores como la seguridad de las líneas de comunicaciones o las propias necesidades de movilidad, sin que pueda establecerse con carácter general cuáles la autonomía que corresponde a cada escalón logístico, sino que para cada operación o fase de la misma se asignará a cada organización operativa la necesaria para asegurar el cumplimiento de su misión (Doctrina de fuerzas terrestres). Se mide en días de abastecimiento (DOS) y se compone del nivel más la dotación. (PD3-005 “Apoyo Logístico”).

CONJUNTO DE UTILIZACIÓN FINAL (CUF)

Artículo que puede ser usado independientemente, al margen de que esté incluido como componente en otros.

DISPONIBILIDAD OPERATIVA:

Relación existente entre el tiempo de funcionamiento real de un sistema de armas o material y el tiempo esperado de funcionamiento de este. Constituye una medida de tiempo en la cual el sistema está operando o es capaz de operar, en un tiempo dado, cuando es utilizado en las condiciones operativas establecidas y con el apoyo adecuado. Se mide, a efectos prácticos, como el tanto por ciento de los días en que el material ha estado operativo u operativo con limitación con respecto a los días totales posibles. (PD3-005 “Apoyo Logístico”).

“JUST IN TIME”:

El método justo a tiempo, «JIT», de origen japonés, es un sistema de organización de la producción en la cadena de suministros de una empresa. También conocido como “método Toyota”, permite reducir costes, especialmente de inventario de materia prima, partes para el ensamblaje, y de los productos finales. El “JIT” es una política de mantenimiento de inventarios al mínimo nivel posible donde los suministradores entregan justo lo necesario en el momento necesario para completar el proceso productivo. La gestión de los inventarios es una parte importante de la gestión logística.

HUELLA LOGÍSTICA:

Acción y efecto de la presencia física de personal, equipamiento, recursos e infraestructura, incluyendo los procedentes de contratistas civiles, inherente al despliegue de fuerzas de combate, de apoyo al combate y de apoyo logístico al combate en un TO.



INDUSTRIA 4.0:

El concepto Industria 4.0, también llamada “Cuarta Revolución Industrial” o “industria inteligente”, supone un nuevo hito en el desarrollo industrial aspirando a la digitalización de los procesos productivos aumentando su eficiencia, calidad y seguridad. Busca transformar a la empresa en una organización “inteligente” para conseguir los mejores resultados de negocio.



7.2 Anexo II. ENTREVISTA

Como especialista de mantenimiento en el parque de transmisiones, ¿qué experiencia previa tenía con la impresión 3D? Cursos de formación, ya sea en la academia, impartidos en el seno del ET o interés personal.

Interés personal, ganas de conocer nuevas tecnologías que nos faciliten la labor

Trabajando en el escalón de mantenimiento, ¿qué piezas ha identificado como susceptibles de ser creadas mediante la fabricación aditiva?

Todo tipo de juntas de estanqueidad, tapones de protección de conectores, y piezas útiles para organización de cableado (soportes, organizadores, separadores, etc.)

De las piezas identificadas, ¿eran piezas críticas para el funcionamiento de algún sistema o equipo?

En determinadas circunstancias (lluvias, clima local), las juntas de estanqueidad son fundamentales para evitar que se acumule humedad en los equipos de comunicaciones. Especialmente crítico es la acumulación de humedad en las guías de onda de los terminales satélites, ya que puede provocar averías además de impedir el correcto funcionamiento de la estación al atenuar las diferentes señales.

¿Cuáles han fabricado? ¿con qué problemas se han encontrado a la hora de su realización? (problemas con el diseño, calidad percibida, durabilidad y adecuación al uso).

Es una tecnología nueva para nosotros, actualmente hemos fabricado juntas de estanqueización para guías de onda (principal problema con el que nos hemos encontrado, ya que el PCMMT no suministra juegos de juntas debido a su elevado precio y que la empresa no le vende un juego, le vende 1000)

Referente al coste económico y al tiempo de diseño e impresión, ¿cree que la impresora 3D aporta una ventaja en la fabricación de repuestos frente a la logística de abastecimiento tradicional? (Tiempo de espera al solicitar una pieza de forma tradicional, precio de esa pieza, packs, etc.).

El coste económico es prácticamente nulo (un juego de juntas son unos céntimos, a los que se le suma el tiempo de realización hombres/hora) si tenemos en cuenta que el ET tendría que comprar 1000 juegos. Otro ejemplo es el coste de fabricación de tapones de protección, estos son unos céntimos frente a los entre 20€ y 80€ que suelen costar dependiendo del modelo.

¿Qué impacto ha tenido el uso de la fabricación aditiva en su trabajo?, si esta tecnología se integrase en la logística del ET, ¿cómo cree que repercutiría en su trabajo?

Al ser una tecnología nueva en la Unidad, no ha tenido un gran impacto, ya que el desarrollo de los distintos proyectos es complicado, requiere mucho tiempo de diseño si son complejos. Si existiese una base de datos de libre acceso con diseños ya elaborados sería un gran avance en las tareas de mantenimiento



Tras su experiencia diseñando e imprimiendo las piezas, ¿cree que es necesaria la formación de personal en diseño 3D y empleo de esta tecnología? (cursos, etc.).

Si.

¿Qué problemas cree que puede conllevar el diseño in situ de las piezas?, por ejemplo, referentes a temas de seguridad, homologación de las mismas, etc.

La falta de homologación podría dar lugar en caso de accidente a problemas judiciales

¿Conoce algún programa similar la unidad o en el ET? Si es así, ¿cuál?

Actualmente se están desarrollando unos SHELTER con impresoras y escáner 3d con el fin de ser desplegados en las distintas zonas de operaciones. Existe una “base de datos” con las distintas piezas realizadas en las AALOG, la AALOG de Zaragoza, digamos es la precursora del proyecto para la realización de estos equipos.

https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Zaragoza/aalog41/Noticias/2019/2019_07_08_ejercicio_3d.html

https://ejercito.defensa.gob.es/unidades/Zaragoza/aalog41/Noticias/2020/2020_10_09_jornadas3d.html

Este apartado es para que escriban cualquier cosa que se haya quedado fuera de las preguntas que crean que puede ser de utilidad.

El principal problema con el que nos encontramos a la hora de realizar las piezas es la necesidad de un escáner 3d, el precio del mismo es prohibitivo para que sea adquirido por la unidad. Además, la homologación de las piezas no se puede realizar, con lo que la sustitución de una pieza que pueda dar lugar a digamos cualquier tipo de accidente puede generar problemas importantes a la hora de usarlas, aunque sean totalmente fiables no están homologadas.



7.3 Anexo III. ESTIMACIÓN GASTO MATERIAL ULTIMAKER CURA

TIME ESTIMATION

Infill:	00:26	36%
Inner Walls:	00:16	23%
Outer Wall:	00:05	8%
Retractions:	00:04	6%
Skin:	00:11	15%
Skirt:	00:00	1%
Support:	00:00	0%
Support Interface:	00:00	1%
Travel:	00:08	11%

MATERIAL ESTIMATION

ABS 4.86m 12.9g € 0.00

1 hour 14 minutes

13g - 4.86m

Save to Disk

Ilustración 1 Estimación Indicador recámara

TIME ESTIMATION

Infill:	00:02	15%
Inner Walls:	00:03	20%
Outer Wall:	00:04	25%
Retractions:	00:00	4%
Skin:	00:01	8%
Skirt:	00:00	5%
Travel:	00:04	23%

MATERIAL ESTIMATION

TPU 95A 0.73m 2.2g € 0.00

17 minutes

2g - 0.73m

Preview Save to Disk

Ilustración 2 Estimación juntas estanqueidad



TIME ESTIMATION

Infill:	00:26	23%
Inner Walls:	00:19	17%
Outer Wall:	00:20	17%
Retractions:	00:06	5%
Skin:	00:21	19%
Skirt:	00:00	1%
Travel:	00:21	19%

MATERIAL ESTIMATION

TPU 95A 6.23m 18.3g € 0.00

1 hour 57 minutes

18g - 6.23m

[Preview](#) [Save to Disk](#)

Ilustración 3 Estimación Tapones PR 4G

12% 30% 50%



Ilustración 4. Diferentes tipos de relleno.