



**Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar**

TRABAJO FIN DE GRADO

*Uso de técnicas de impresión 3D para sustitución de piezas en el
FUSA HK G36-E*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Pablo Martínez Truchaud

DIRECTORES: Carlos Casqueiro Placer

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Uso de técnicas de impresión 3D para sustitución de piezas en el
FUSA HK G36-E*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

La impresión 3D es el futuro, y debido a que el enemigo al que se enfrentan las Fuerzas Armadas modernas es cambiante, las tecnologías de Defensa también deben mirar hacia el futuro. El presente Trabajo de Fin de Grado pretende ayudar a mirar hacia ese futuro y con ello ahorrar costes logísticos y hacer de las Fuerzas Armadas unas más eficaces.

El objeto de estudio es la fabricación aditiva aplicada a armamento, en concreto al fusil de dotación de las Fuerzas Armadas Españolas, el G 36 modelo E, de la casa H&K.

El TFG se ha centrado en analizar las posibles vías para obtener modelos tridimensionales de piezas mediante ingeniería inversa y tras esto proceder a su impresión, realizando múltiples pruebas y tratando de comprobar la viabilidad de estas técnicas como una alternativa razonable en zonas donde las Fuerzas Armadas operan lejos de sus bases y cuya logística puede suponer un alto coste en dinero y tiempo.

No sólo ha servido para analizar la viabilidad del proyecto, si no que sirve de punto de partida para seguir investigando en esta línea que pretende reforzar la operatividad de las Fuerzas Armadas desplegadas fuera de sus bases.

PALABRAS CLAVE

Impresión 3D, Repuestos, H&K, G36-E, Defensa, Aditiva, Fabricación, Witbox, PLA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar debo agradecer, no sólo por el apoyo incondicional durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado, sino por todo su apoyo durante mi formación en la Escuela Naval Militar, a mis padres, José Luis y Pilar, así como a mi novia Patricia y a toda mi familia en general. Además, sería egoísta si no agradeciera la información aportada a este trabajo al Coronel de Intendencia de la Armada D. Antonio Galindo Ligeró, al Coronel de Intendencia de la Armada D. Jesús Martínez Palomo, al Capitán de Fragata D. Francisco José García Sánchez y al Comandante de Intendencia de la Armada D. Fernando Mingorance Martín.

También debo resaltar el apoyo mostrado por la Órgano Central del Servicio de Catalogación de Defensa (SECAT-OC) y a la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL), así como la información proporcionada por éstos para la realización de este TFG.

Por último, y sin cuya ayuda esencial no hubiera sido posible la realización de este trabajo, a mi tutor, D. Carlos Casqueiro Placer.

Contenido

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 ¿Impresión 3D en Defensa?	9
1.2 Objetivos del TFG.....	9
1.3 Organización de la memoria:	10
2 Estado del arte	11
2.1 ¿Qué es la impresión 3D?	11
2.1.1 Trabajos previos en el ámbito de Defensa.....	11
2.1.2 El progreso de la impresión 3D	12
2.1.3 Un mercado en constante aumento	14
2.1.4 Las diez claves de la impresión 3D	15
2.2 Requerimientos y atributos de rendimiento	16
2.3 La variedad del futuro, impresoras 3D.....	17
2.3.1 Tipos de impresoras 3D	17
2.3.2 Materiales más comunes usados en la fabricación aditiva	18
2.4 Rapid Manufacturing (RM), Rapid Tooling (RT) y Rapid Prototyping (RP).	20
2.5 El HK G36 E.....	21
2.5.1 El G36 E, de la empresa Heckler & Koch	21
2.5.2 El G36 E en las Fuerzas Armadas Españolas	22
3 Desarrollo del TFG.....	23
3.1 Metodología	23
3.1.1 Impresora 3D Witbox, de BQ.....	23
3.1.1.1 Características básicas de la impresora 3D modelo Witbox	24
3.1.2 Ingeniería inversa.....	25
3.1.2.1 Uso del escáner 3D Ciclop de BQ.....	25
3.1.2.2 Software Meshlab para generación de sólidos a través de nubes de puntos	28
3.1.2.3 STL, el lenguaje de las impresoras 3D.....	30
3.1.3 PLA, el principal material usado en la Witbox.....	31
3.1.1 Filaflex, el material elástico.....	32
3.1.2 Selección de los elementos a estudiar.....	33
3.1.3 Generación por Ciclop de elementos seleccionados.....	36
3.1.4 Generación por CAD de elementos seleccionados	40

3.1.4.1	Uso de pie de rey para medición	40
3.1.4.2	Uso de software NX 10.0 para generación de sólidos.....	40
3.1.5	Cura, el software de impresión 3D	45
3.1.6	Elementos y uso de Witbox	48
3.1.7	Cómo imprimir las piezas, una elección a tener en cuenta.....	49
3.1.8	Parámetros específicos de las impresiones	56
3.1.9	Primeras pruebas.....	57
3.1.10	Pruebas finales	61
3.2	Análisis de peso	63
4	Resultados y Validación.....	65
4.1	Resultados	65
4.1.1	Obtención de sólidos mediante escáner 3D Ciclop	65
4.1.2	Errores en la medición	66
4.1.3	Impresión 3D con Witbox	66
4.2	Prueba.....	67
4.3	Análisis económico	67
4.4	Análisis temporal	70
5	Conclusiones y líneas futuras	73
5.1	Conclusiones	73
5.2	Líneas futuras de investigación en impresión 3D aplicada a Defensa.....	74
5.2.1	Simulación FEM de las cargas que soporta el FUSA G36 E al efectuar un tiro	74
5.2.2	Estudio de viabilidad de uso de técnicas de impresión 3D en buques de la Armada	74
5.2.3	Integración de ficheros con formato STL en SIGAPEA	74
5.2.4	Estudio de otros materiales óptimos	76
5.2.5	Certificación	76
6	Bibliografía.....	79
7	Anexo: Planos no constructivos	81
8	Anexo: Fichas de piezas	99

Índice de Figuras

Figura 1-1 Fusil automático G36 E (Fuente: [1]).....	10
Figura 2-1 Logotipo del III Congreso I+D en Defensa y Seguridad (Fuente: [3])	12
Figura 2-2 Carl Decker y Joe Beaman con la primera impresora 3D en 1986 (Fuente: [4])	12
Figura 2-3 Impresora 3D modelo Witbox de la empresa española BQ (Fuente: [5])	13
Figura 2-4 Cargador del fusil AK-47 fabricado con impresión 3D (Fuente: [8])	19
Figura 2-5 Ejemplo de Rapid Prototyping (Fuente: [12])	20
Figura 2-6 Fusil G36 modelo E, modelo K y modelo C (Fuente: [3]).....	21
Figura 2-7 Militar de las Fuerzas Armadas Españolas con el fusil HK G36 E (Fuente: [3]).....	22
Figura 3-1 Logotipo de BQ (Fuente: [5]).....	23
Figura 3-2 Impresora Witbox FDM con su bobina de material (Fuente: [5]).....	23
Figura 3-3 Escáner 3D Ciclop de BQ (Fuente: [5])	25
Figura 3-4 Screenshot de la bienvenida de Horus, con la opción Wizard para calibración.....	26
Figura 3-5 Screenshot de wizard, con el patrón de calibración y la visualización de la cámara.	26
Figura 3-6 Screenshot del escaneo, con el desplegable a la izquierda y el ROI visible.....	27
Figura 3-7 Screenshot del escaneo con textura de una lata.....	28
Figura 3-8 Screenshot del cómputo de normales	29
Figura 3-9 Screenshot del sólido generado con Meshlab de la lata previamente escaneada	30
Figura 3-10 Bobina de PLA ofrecida como accesorio por BQ (Fuente: [5]).....	31
Figura 3-11 Bobina de Filaflex con el soporte necesario impreso con PLA (Fuente: [5])	32
Figura 3-12 G36 de adiestramiento	33
Figura 3-13 Perno o pasador de sujeción	33
Figura 3-14 Brocal o pozo del cargador	34
Figura 3-15 Selector compuesto de dos piezas que trabajan solidariamente	34
Figura 3-16 Guardamanos	35
Figura 3-17 Pistoleta	35
Figura 3-18 Protector de goma del visor (Fuente: [18]).....	35
Figura 3-19 Screenshot de los parámetros de escaneo en cuanto a adquisición de imagen.....	36
Figura 3-20 Screenshot de los parámetros de escaneo en cuanto a segmentación de imagen	37
Figura 3-21 Screenshot en Horus de nube de puntos generada con Ciclop en la primera prueba ...	37
Figura 3-22 Screenshot en Horus de la nube de puntos generada con Ciclop	38
Figura 3-23 Screenshot de la nube de puntos en Meshlab	38
Figura 3-24 Screenshot del perno o pasador generado con Meshlab	39
Figura 3-25 Screenshot de la nube de puntos del pozo o brocal del cargador	39
Figura 3-26 Screenshot de la nube de puntos del pozo o brocal del cargador	39
Figura 3-27 Screenshot del brocal o pozo del cargador generado con Meshlab.....	40

Figura 3-28 Pie de rey suministrado por el CUD de Marín	40
Figura 3-29 Pozo o brocal del cargador generada con NX 10.0	41
Figura 3-30 Guardamanos generado con NX 10.0.....	42
Figura 3-31 Perno de sujeción con agujero pasante.....	42
Figura 3-32 Perno de sujeción sin agujero pasante.....	42
Figura 3-33 Pistolete	43
Figura 3-34 Selector izquierdo del pistolete.....	43
Figura 3-35 Selector derecho.....	44
Figura 3-36 Protector de goma del visor	44
Figura 3-37 Desplegable de Cura para elegir la impresora	45
Figura 3-38 Área de impresión con Cura	46
Figura 3-39 Parámetros básicos de impresión.....	47
Figura 3-40 Elementos de la impresora 3D Witbox (Fuente: [5])	48
Figura 3-41 Screenshot de Cura con la posición nº 1 para el brocal o pozo con soportes	49
Figura 3-42 Screenshot de Cura con la posición nº 2 para el brocal o pozo del cargador	49
Figura 3-43 Screenshot de Cura con la posición nº3.....	50
Figura 3-44 Screenshot de Cura donde se aprecia la zona que no necesita de soporte.....	50
Figura 3-45 Screenshot de Cura con la primera posición posible para el guardamanos.....	51
Figura 3-46 Screenshot de Cura con la segunda posición para el guardamanos.....	51
Figura 3-47 Screenshot de Cura en la posición nº2 de los pernos de sujeción.....	51
Figura 3-48 Screenshot de Cura con la posición nº2 de los pernos de sujeción.....	52
Figura 3-49 Screenshot de Cura con la posición nº3 de los pernos de sujeción.....	52
Figura 3-50 Screenshot de Cura con la posición nº1 para el pistolete	53
Figura 3-51 Screenshot de Cura con la posición nº2 para el pistolete	53
Figura 3-52 Screenshot de Cura con la posición nº3 para el pistolete	53
Figura 3-53 Screenshot de Cura con la primera posición para el selector	54
Figura 3-54 Screenshot de Cura con la segunda posición para el selector.....	54
Figura 3-55 Screenshot de Cura con la tercera posición para el selector	55
Figura 3-56 Screenshot de Cura con la primera posición para el protector de goma del visor.....	55
Figura 3-57 Screenshot de Cura con la segunda posición para el protector de goma del visor	55
Figura 3-58 Parámetros específicos de las impresiones realizadas	56
Figura 3-59 Primera prueba a escala 1:2	57
Figura 3-60 Segunda prueba a la izquierda y tercera a la derecha	57
Figura 3-61 Primera impresión realizada correctamente a escala 1:2.....	58
Figura 3-62 Brocal del cargador a escala 1:1	58
Figura 3-63 Guardamanos impreso en 3D a escala 1:2.....	59

Figura 3-64 Pernos de sujeción con y sin agujero pasante.....	59
Figura 3-65 Selector y apoyo del visor.....	60
Figura 3-66 Selector que sufrió rotura debido a falta de relleno en su eje central	60
Figura 3-67 Brocal o pozo del cargador tras la impresión final	61
Figura 3-68 Pernos o pasadores de sujeción tras la impresión final.....	61
Figura 3-69 Prueba final de impresión de los selectores	62
Figura 3-70 Pistoleta impreso en 3D	62
Figura 4-1 Comparativa entre diseño CAD, sólido obtenido con Ciclop y perno original	65
Figura 4-2 Comparativa entre diseño CAD, sólido obtenido con Ciclop y brocal original	66
Figura 4-3 Screenshot de Cura del guardamanos con apoyo para evitar contracción.....	67
Figura 5-1 Segmento V del selector, facilitado por la JAL.....	75
Figura 5-2 Árbol de Elementos Configurados (AEC) en SIGAPEA (Fuente: [20]).....	76

Índice de Tablas

Tabla 2-1 Gráfico circular en 3D sobre el uso de fabricación aditiva por actividad (Fuente: [6]) ..	14
Tabla 2-2 Principales características del G36 E (Fuente: [1]).....	22
Tabla 3-1 Características básicas de Witbox (Fuente: [5])	24
Tabla 3-2 Características del PLA 100% (Fuente: [15]).....	31
Tabla 3-3 Características de Filaflex (Fuente: [17]).....	32
Tabla 3-4 Comparación de pesos en gramos de las piezas impresas y originales.....	63
Tabla 4-1 Coste monetario de la adquisición de los repuestos indicados con su NIIN.....	68
Tabla 4-2 Desglose de costes de transporte a Yibuti de 500 gramos de repuestos	68
Tabla 4-3 Gramos de materia prima requerido para la impresión de cada pieza	69
Tabla 4-4 Desglose del coste de transporte a Yibuti del peso de 28 Kg	69
Tabla 4-5 Precedencia Logística mediante el cruce de urgencia y prioridad (Fuente: [22]).....	71
Tabla 4-6 Tiempos de impresión de cada pieza	72

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 ¿Impresión 3D en Defensa?

La impresión 3D está considerada como la tecnología que permite crear objetos tridimensionales mediante la adición de capas de material a partir de un sólido digital. Las impresoras de fabricación aditiva son más rápidas y sencillas de usar que las tecnologías de fabricación tradicional.

Desde comienzos del siglo XXI ha ido en aumento la venta de este tipo de impresoras, gracias en parte a la reducción de costes y a su creciente popularidad.

La impresión en tres dimensiones es considerada la nueva revolución industrial y por ello todos los ámbitos de nuestra vida se verán supeditados a esta nueva forma de fabricación, incluida las tecnologías de Defensa.

Adaptarnos a la fabricación aditiva supone un reto tanto para las Fuerzas Armadas como para las empresas que producen y trabajan en el ámbito de la Defensa. El presente Trabajo de Fin de Grado pretende romper esa barrera que puede haber entre la impresión 3D y las tecnologías de Defensa. Esta revolución en la manufactura, además de suponer un arma competitiva para las empresas, puede llegar a reducir costes logísticos de la cadena de suministro para unidades desplegadas en teatros de operaciones alejadas de su base y, por tanto, reduciendo el riesgo para los militares desplegados. Éstos serían capaces de imprimir lo que necesitan en cuestión de horas, sin tener que esperar a recibir nuevo material, que podría tardar días. En definitiva, supone un gran paso para los Ejércitos disponer de estos métodos rápidos de obtención de repuestos y así mejorar su eficacia en el combate y en las diversas operaciones que les sean asignadas. Pero todo esto necesita un gran desarrollo, debido a los altos y exigentes requisitos necesarios para el material militar.

1.2 Objetivos del TFG

El estudio del uso de técnicas de impresión 3D para el HK G36 E pretende analizar la viabilidad de la adaptación de la fabricación aditiva al armamento usado por las Fuerzas Armadas Españolas, en concreto para el fusil de la empresa alemana Heckler & Koch, el G36 E. Los objetivos detallados son:

- Análisis de las piezas susceptibles de ser fabricadas mediante impresión en tres dimensiones.
- Estudio de las opciones para obtener modelos digitales mediante técnicas de escaneado 3D o mediante software CAD.
- Manufactura de las piezas con la impresora 3D Witbox.
- Montaje de dichas piezas impresas en el G36 E.
- Tiro donde se pueda evaluar su resistencia.

- Análisis económico para evaluar su viabilidad desde el punto de vista del coste monetario.
- Análisis de tiempos, para evaluar la viabilidad desde el punto de vista de tiempo de la cadena de suministro.



Figura 1-1 Fusil automático G36 E (Fuente: [1])

1.3 Organización de la memoria:

Este Trabajo de Fin de Grado se ha dividido en tres partes bien definidas:

La primera parte constituye el Estado del Arte, en el que se relatan los antecedentes en Defensa, la historia de la impresión en tres dimensiones, su mercado según las actividades, la variedad de impresoras en el mercado y los principales materiales con que trabajan. En este apartado también se describe brevemente el objeto de estudio de este TFG, el G36 modelo E, de la empresa Heckler & Koch.

En la segunda parte se centra en el desarrollo del TFG, donde se realizan los procesos de ingeniería inversa para obtención de sólidos 3D que posteriormente puedan imprimirse. Este proceso de ingeniería inversa se realiza mediante un escáner 3D o midiendo tradicionalmente las piezas con un pie de rey. Una vez seleccionadas las piezas a imprimir y obtenidos los sólidos 3D, se exportan a un formato especial del que se hablará más adelante. Con las piezas ya impresas y montadas sobre el G36 E sólo queda analizar si es viable tanto si nos referimos al coste como al tiempo, en comparación con los costes y el tiempo que supone para el Ministerio de Defensa el envío de material a zonas de operaciones.

En la tercera parte del TFG se responde a la cuestión que busca resolver el desarrollo del análisis de la manufactura aditiva a repuestos, extrayendo las conclusiones pertinentes y desarrollando las posibles líneas futuras de investigación de las técnicas de impresión tridimensional aplicada a Defensa.

Por último, en los anexos, se incluyen planos NO constructivos, que pretenden mostrar la geometría básica de las piezas que han sido seleccionadas. Además, se incluyen las fichas técnicas de cada pieza.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 ¿Qué es la impresión 3D?

2.1.1 Trabajos previos en el ámbito de Defensa.

El uso de la impresión 3D aplicada a la Defensa es, al igual que esta técnica de manufactura, algo nuevo y en constante desarrollo. Cuando es necesario disponer de equipamientos personalizados y los plazos de entrega no son negociables, la impresión 3D puede llegar a tener una importancia capital en la industria de Defensa. Esta técnica permite fabricar piezas bajo demanda en menor tiempo que la fabricación tradicional, por remoción de material, ya que en ésta última es necesario pasos previos para obtener la pieza final, tales como mecanizados, soldaduras, torneados... Estos pasos incrementan el tiempo de manufactura, así como el precio. Hay dos modos principales de realizar esta impresión dependiendo del requerimiento del resultado final:

1. Si el objetivo es manufacturar piezas con un alto grado de detalle, superficies suaves y variedad de materiales y colores en una misma pieza, se hace necesario el uso de impresoras 3D industriales, cuya principal desventaja es el tamaño que éstas ocupan, siendo por este motivo desaconsejado su uso en zonas de operaciones donde el espacio es un factor a tener en cuenta. Si bien su uso podría aplicarse a arsenales o bases militares que no disponen del repuesto requerido en un momento determinado.
2. Para prototipos resistentes que soporten pruebas funcionales exigentes y para piezas finales y piezas de repuesto rápido que se sometan a altas temperaturas, la tecnología Fused Deposit Modelling (FDM) utiliza materiales tales como ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) o PLA (Poliácido láctico), ente otros, siendo dicha tecnología de impresión la que se ha analizado en este TFG, con PLA como material principal de aplicación a los repuestos.

En la actualidad están surgiendo múltiples ejemplos del uso de estas técnicas en el ámbito civil, pero también están surgiendo en el ámbito militar en países de la Alianza Atlántica. De hecho, los días 28 y 29 de abril de 2016 tendrán lugar diversas conferencias en Estonia cuyo tema principal será "Additive Manufacturing for Military Hardware", para analizar las posibles aplicaciones de la fabricación aditiva a componentes de Defensa, así como desde el punto de vista desde el personal desplegado en operaciones en el extranjero, desde el punto de vista de los procesos de reparación y desde la sustitución de piezas obsoletas.

En cuanto al papel de la impresión 3D en el sector de Defensa español, recientemente, en Noviembre de 2015 se realizó en las instalaciones de la Escuela Naval Militar en Marín (Pontevedra) el III Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad, en el que un grupo de ingenieros del Centro

Universitario de la Defensa ubicado en la Academia General Militar de Zaragoza expusieron su investigación sobre la fabricación aditiva aplicada a Defensa, tratando dicho uso al vehículo Anfal Santana del Ejército de Tierra, a herramientas de desmontaje de equipos de comunicaciones y al HK G36 E. Para ello contaron con la participación de la Agrupación de Apoyo Logístico 41 (AALOG41) del Ejército de Tierra. [2] Con este TFG lo que se pretende es continuar en esta línea de investigación de la fabricación aditiva como un posible recurso en el uso de repuestos aplicados a Defensa, concretamente aplicada a armamento.



Figura 2-1 Logotipo del III Congreso I+D en Defensa y Seguridad (Fuente: [3])

2.1.2 El progreso de la impresión 3D

La impresión en 3D significa mucho más que un proceso de prototipado. Actualmente, las técnicas de impresión en tres dimensiones ofrecen ventajas de transformación en cada fase de la creación, desde el diseño conceptual inicial hasta la producción de los productos finales y todos los pasos intermedios. Sus potenciales usos son aplicados en múltiples ámbitos que van desde la Defensa, como es el caso del presente TFG, hasta la Educación, pasando por la Biomedicina, la Tecnología aeroespacial, la Automoción, la Construcción...

Para entender la importancia que tiene y tendrá en nuestras vidas las técnicas de impresión 3D es necesario remontarse a los orígenes de las mismas. En 1986, Carl Deckard y Joe Beaman, ambos investigadores de la Universidad de Texas (EEUU), crearon la primera impresora láser sinterizadora. [4] (Ver Figura 2-2).



Figura 2-2 Carl Decker y Joe Beaman con la primera impresora 3D en 1986 (Fuente: [4])

Desde entonces y sobre todo en la pasada década, la impresión 3D ha sufrido numerosos avances y se ha convertido en objeto de análisis y estudio en aquellas empresas que desean aumentar la competitividad, así como en gobiernos que ven una utilidad gubernamental a estas técnicas, como es el caso de la Defensa Nacional.

Sólo desde hace unos pocos años la impresión 3D empieza a estar al alcance de la mayor parte de la población, gracias en parte a la investigación y la reducción de los costes de las impresoras en el mercado. Actualmente son muchas las empresas especializadas en tecnología que ofrecen impresoras desde precios tan bajos que rondan los 700 euros hasta los 3000 euros, en cuanto a las domésticas, ya que los costes de las industriales son mayores. En el presente Trabajo de Fin de Grado nos centraremos en el uso de la impresora 3D de la empresa española BQ modelo Witbox, de la que se hablará más adelante.



Figura 2-3 Impresora 3D modelo Witbox de la empresa española BQ (Fuente: [5])

La impresión en 3D ha demostrado y sigue demostrando que genera un valor estratégico a largo plazo, ya que mejora las funciones de diseño así como de producción, además de reducir los plazos de comercialización de los productos.

Ahora, las empresas líderes utilizan la impresión en 3D para evaluar más conceptos en menos tiempo y así poder mejorar en la toma de las decisiones en el desarrollo del producto. En definitiva, lo que toda empresa desea, reducir costes.

Por este motivo y por otros relacionados con Defensa, como el mantenimiento de la operatividad en operaciones, se hace necesario analizar cuán útiles pueden llegar a ser estas técnicas de fabricación por capas para las Fuerzas Armadas

2.1.3 Un mercado en constante aumento

La disminución de los precios en las impresoras domésticas y la siempre creciente competitividad de las empresas son dos de los principales factores que han hecho que la venta de las impresoras 3D aumente exponencialmente. Una investigación llevada a cabo por la consultora y analista del sector de la producción llamada "Wholers Associates, Inc" refleja que las empresas relacionadas con la electrónica hacen un gran uso de los servicios de la fabricación aditiva. Los resultados de esta investigación revelan que el 40% de las impresoras del mundo se encuentran en Estados Unidos. Alemania y Japón ocupan un 10% del volumen cada uno, mientras que China representa un 8,7% y Corea del Sur un 3%. [6]

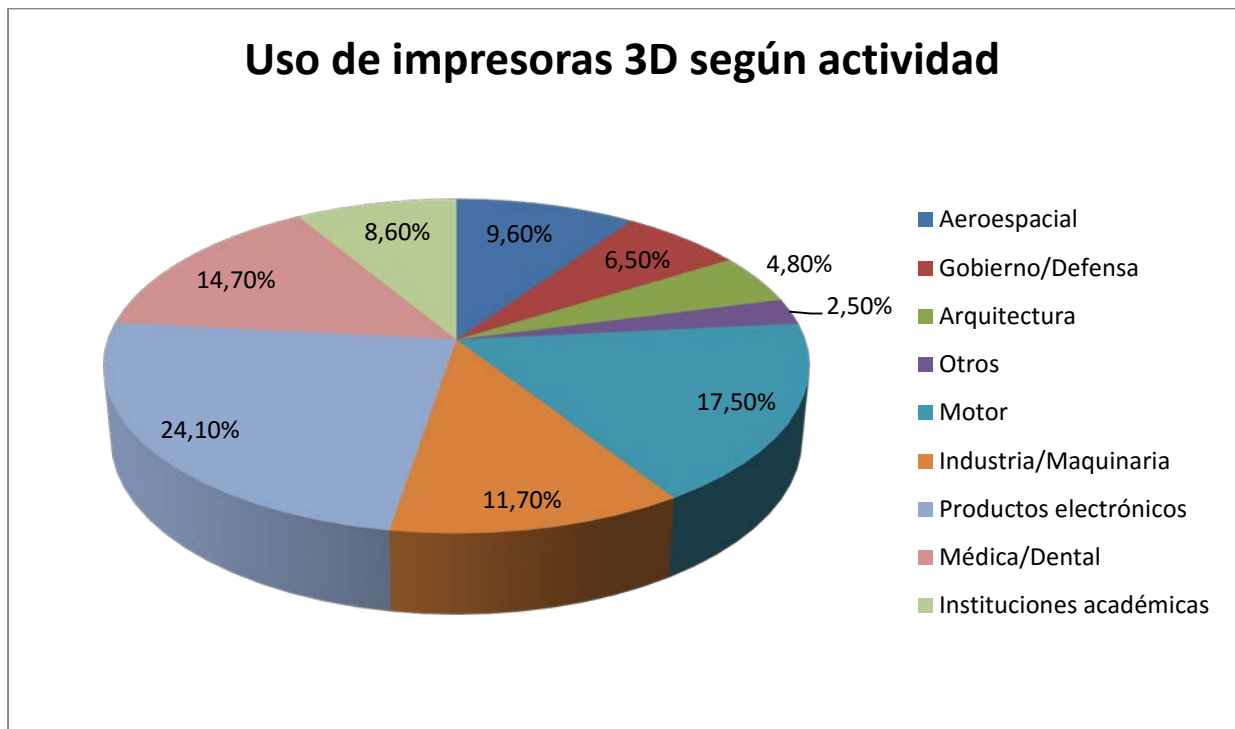


Tabla 2-1 Gráfico circular en 3D sobre el uso de fabricación aditiva por actividad (Fuente: [6])

En el gráfico presentado en la Tabla 2-1 es posible apreciar que la Industria de Defensa ocupa un 6,5 % del uso de este tipo de técnicas, siguiendo muy de cerca a la Industria Aeroespacial.

Aunque este tipo de producción en comparación con la producción masiva sigue siendo ínfimo, pues la producción masiva genera 11 billones de euros al año, frente a los 1300 millones de la fabricación aditiva, se estima que en unos años suponga un quinto de la producción total mundial, por las ventajas que ofrece. [4]

2.1.4 Las diez claves de la impresión 3D

Esta técnica de fabricación novedosa se basa en diez principios o claves, según [4], que le hacen destacar. A continuación se enumerarán dichas claves o ventajas para una mayor comprensión de esta técnica de impresión:

1. La complejidad de su fabricación no eleva el coste: Como en cualquier proceso de producción, el aumento de la dificultad en la manufactura de un objeto hace que éste incremente su precio. Pues bien, esto no es así en las impresoras en tres dimensiones, es decir, el coste de una forma compleja es exactamente el mismo que el de un simple bloque. Esto hace necesario un replanteo en las políticas de ventas de las empresas y cambia nuestro modo de ver los costes de fabricación. En el caso de este TFG se pretende demostrar que el coste y tiempo de la manufactura por capas es una ventaja para su uso en la sustitución de repuestos.
2. La variedad sale gratis: Una única impresora 3D puede crear múltiples formas, y para ello sólo necesita un diseño digital y un lote de materia prima. Con una única impresora cualquier unidad demandante de un repuesto será capaz de reponerlo partiendo de un diseño previamente realizado.
3. No es necesario ensamblaje: En la fabricación tradicional, el ensamblaje de las piezas es un proceso clave para la obtención del producto final. A mayor número de piezas en un producto, mayor será el coste de ensamblaje, el tiempo y el coste final del producto. En cambio, en una impresora 3D puede no ser necesario el ensamblaje. Se puede imprimir una pieza compuesta por muchas otras sin necesidad de ensamblado, reduciendo así la cadena de suministro, ahorrando costes de transporte y mano de obra.
4. Creación bajo demanda: Una impresora 3D puede fabricar siempre que sea necesario un objeto, reduciendo así los inventarios y los costes logísticos que estos puedan tener. Es una de las características que se han buscado para el desarrollo de este trabajo, es decir, crear piezas en zonas donde su uso sea necesario en cortos plazos y bajo la demanda que requieran.
5. Multitud de diseños: A diferencia de la fabricación tradicional, las piezas a crear no están limitadas en forma. Así, un torno solamente puede crear elementos de una forma determinada. Esto no es así en la fabricación aditiva. Con la impresión 3D los diseños y las diferentes formas son casi infinitos.
6. No es necesario experiencia previa: Con la impresión 3D no es necesario largos cursos para formar y perfeccionar al operador en cuanto al uso de la impresora, no siendo así con las máquinas de fabricación tradicional. Es decir, cualquier BUI (Buque, Unidad o Instalación) será capaz de fabricar el repuesto que demande sin necesidad de amplios conocimientos en fabricación aditiva.
7. Fabricación compacta y portátil: Teniendo en cuenta el espacio de producción, el de una impresora 3D es relativamente más pequeña que el de una máquina tradicional. Además, su portabilidad proporciona una gran ventaja, la movilidad. Este es el hecho principal del planteamiento de este TFG, ya que el transporte es sencillo y el espacio que ocupa es aceptable en zona de operaciones.

8. Menor generación de residuos: Las impresoras 3D cuyo material de trabajo es el metal, generan una menor cantidad de residuos que con las técnicas de producción con metal clásicas, ya que éstas últimas consisten en eliminar material a partir de una pieza base. Es decir, con la fabricación aditiva se incrementa el aprovechamiento de la materia prima de trabajo.
9. Infinitas variedades de material: Con la maquinaria de producción actual es complicado combinar diferentes materia primas en un mismo producto. Esto no se cumple para la impresión multimaterial 3D, pudiendo así obtener más fácilmente objetos multimateriales.
10. Reproducción física precisa: La fabricación aditiva permite crear objetos exactamente iguales al original tantas veces como se desee sin perder calidad.

Estas diez claves representan y añaden valor estratégico a la impresión en tres dimensiones aplicadas a las Fuerzas Armadas.

2.2 Requerimientos y atributos de rendimiento

La selección de la impresora 3D apropiada está determinada por los requisitos de aplicación y el cumplimiento de los criterios de rendimiento acorde a nuestro grado de calidad. Estos son algunos atributos de rendimiento específicos que se deben considerar, según [7], al comparar impresoras 3D:

1. **Velocidad de impresión:** La velocidad de impresión se define como el tiempo requerido en imprimir una distancia (en pulgadas o milímetros) determinada en el eje Z en un único trabajo de impresión... Una velocidad alta de impresión no es siempre garantía de éxito, ya que el grado de detalle y calidad se puede ver ligeramente alterado por este hecho, desventaja que no es permisible para los altos grados de certificación que requieren los materiales de Defensa, aunque es preciso encontrar el equilibrio deseado entre el tiempo requerido para obtener una determinada pieza y la calidad que se desea.
2. **Coste por pieza:** Se expresa mediante el coste por volumen, como el coste por pulgada cúbica o el coste por centímetro o milímetro cúbico. Los costes por piezas individuales pueden variar considerablemente incluso en la misma impresora 3D en función de la geometría de la pieza. En ocasiones es útil calcular el coste de la pieza basándose en su propio conjunto de archivos STL (Así es como se nombran los archivos digitales usados para imprimir con la mayoría de impresoras en 3D. Se explicará en detalle más adelante.) que representan sus piezas habituales para determinar los costes de piezas esperados. El coste por pieza está calculado en función de la cantidad de materia prima consumida por la impresora 3D. Los costes por pieza más económicos son las de aquellas impresoras cuyo elemento base es el polvo. En este TFG se analizará el coste de todas las piezas en base a esta cantidad de materia prima y se comparará con los costes comerciales de cada pieza, es decir, el coste unitario de cada repuesto según la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL).
3. **Función de resolución de detalles:** Uno de los valores más confusos que aparecen en las impresoras 3D es la resolución. Ésta se puede indicar, por ejemplo, en puntos por pulgada (PPP), el tamaño de píxel, el tamaño del punto de haz y el diámetro de la esfera, entre otros. La mejor comparación de resolución entre distintas impresoras es la inspección visual de las piezas manufacturadas.
4. **Precisión:** La impresión en 3D produce piezas de forma aditiva, capa por capa, utilizando materiales que se procesan de una forma a otra para crear la pieza impresa. Este proceso puede introducir variables como la contracción del material que se debe compensar durante

el proceso de impresión para garantizar la precisión de la pieza final. Las impresoras 3D con base de polvo que utilizan aglomerantes cuentan con una distorsión de contracción menor que se atribuye al proceso de impresión y en general son muy precisas. Normalmente, las tecnologías de impresión 3D para plásticos utilizan calor, luz ultravioleta o ambos métodos como fuentes de energía para procesar los materiales de impresión, lo que añade variables adicionales que pueden afectar a la precisión.

5. **Propiedades de los materiales:** Conocer las aplicaciones previstas y las características de los materiales necesarios es importante en la selección de una impresora 3D. Cada tecnología tiene ventajas e inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta. Para aplicaciones de modelado conceptual, las propiedades físicas reales pueden ser menos importantes que el coste por pieza y el aspecto del modelo. Los modelos de verificación pueden necesitar simular los productos finales y deben contar con las características funcionales que se parecen mucho a los materiales de producción final. Las piezas de uso finales necesitan permanecer estables durante periodos de tiempo más largos. En el caso de repuestos aplicados a Defensa es necesario contar con características funcionales que se asemejen a las características que debe reunir el material original. Para ello se han realizado pruebas con la impresora 3D Witbox, cuya tecnología de funcionamiento es la FDM (Fused Deposit Modelling).
6. **Color:** Para el caso del estudio que se va a realizar, este último parámetro no es de vital importancia, pues el color, si bien en ocasiones en que es necesario mimetizarlo, no es necesario para obtener un repuesto de urgencia. Actualmente existen tres categorías básicas de impresoras 3D a color:
 - Impresoras de elección de color que imprimen un solo color a la vez.
 - Impresoras de colores básicos que pueden imprimir varios colores en una sola pieza.
 - Impresoras a color de espectro completo que pueden imprimir miles de colores en una sola pieza.

2.3 La variedad del futuro, impresoras 3D

2.3.1 Tipos de impresoras 3D

Principalmente las impresoras 3D pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Impresoras de adición (el término adición hace referencia al vertido de materia prima en capas para formar el objeto tridimensional deseado), que pulverizan o hacen pasar el material por algún tipo de boquilla. Este es el tipo de impresoras que denominamos domésticas, ya que los láseres o las pistolas de calor de uso industrial pueden llegar a ser demasiado frágiles y peligrosas. El nombre técnico que se suele usar para este tipo de impresoras es FDM, cuya creación se debe a Scott Crump en la década de 1980. La base de FDM es la extrusión del material, creando el hilo que se irá depositando de manera que se "dibuje" cada capa. Para este "dibujo" suelen usar una serie de raíles horizontales y verticales, también denominados "grúa de caballete", que desplazan el cabezal hasta el punto adecuado. Este proceso de adición por capas se repite una y otra vez hasta completar la pieza u objeto. La ventaja que ofrece es su simplicidad, su bajo coste y su uso para una amplia variedad de materiales. Su inconveniente principal es que no es posible su uso para materiales que no puedan ser depositados por una boquilla, como son el vidrio fundido o el metal (excepto con la tecnología LENS, que se verá más adelante). El material usado en FDM suele venderse en forma de bobinas cuyo extremo se introduce en la impresora,

donde el plástico es fundido. A continuación se explican diferentes tipos de impresoras FDM:

- Impresora PolyJet: Surgida en el año 2000 por la empresa israelí Object Geometries, fusionada con Stratasys en 2012 y cuya ventaja principal radica en su precisión así como la rapidez de impresión, pudiendo usar varias boquillas a la vez.
 - Impresora LENS (Laser Engineered Net Shaping): Consiste en la fundición de materiales en polvo mediante un rayo láser de alta potencia. Así, conforme el punto del láser recorre el contorno del objeto y la boquilla inyecta más polvo, la pieza se va creando. Su ventaja esencial es el hecho de poder trabajar con materiales duros como el titanio o el acero inoxidable, incluso pudiendo realizar aleaciones.
 - Impresoras LOM (Laminated Objects Manufacture): Estas impresoras, a diferencia de las anteriores, no trabajan sobre una boquilla o un láser, sino que laminan hojas de material.
- Impresoras de compactación, donde sobre las materias primas suelen aplicarse polvos o pegamento. Este tipo de impresoras usan calor o luz para solidificar el polvo o un polímero fotosensible. Entre las impresoras de compactación destacan:
 - Estereolitografía (SLA): Fue uno de los primeros métodos para imprimir objetos tridimensionales. Se usa una cuba de polímero líquido (resina epoxi, por ejemplo) la cual es colocada dentro de la impresora. Ésta barre con un láser la superficie con un fotopolímero sensible a los rayos UV que se endurece cuando se expone a radiación ultravioleta, obteniendo con cada barrido el trazado y la sección del objeto mediante capas sucesivas. Su ventaja radica en la rapidez del láser, así como la obtención de una resolución mayor que con la impresión FDM. El inconveniente principal es que los vapores que desprende son altamente tóxicos y los fotopolímeros presentan menor resistencia que los termoplásticos.
 - Sinterizado por láser (SLS): Creado en la década de 1980, como se expuso en 2.1.2, sigue una técnica similar a la de las impresoras SLA, pero su diferencia es el uso de polvo en lugar del fotopolímero. El polvo tiene el inconveniente de crear objetos demasiado porosos, además de que deben ser tratados en cámaras selladas rellenas de Nitrógeno, por su tendencia a explotar.
 - Impresión tridimensional: En este tipo de fabricación el cabezal de impresión aplica pegamento sobre una materia prima en polvo, convirtiéndolo en un método de impresión en 3D de bajo coste, rápido y sencillo de usar. [4]

Tras analizar los tipos de impresión 3D en el mercado y debido a la accesibilidad de una impresora 3D en la Escuela Naval Militar, se establece que será dicha impresora basada en la técnica FDM será la que se usará para llevar a cabo el estudio de esta técnica como alternativa a la obtención de repuestos.

2.3.2 Materiales más comunes usados en la fabricación aditiva

Los principales materiales usados actualmente varían en función de múltiples factores que pueda demandar el cliente del objeto tridimensional, como pueden ser la estética o los diferentes requerimientos dentro del ámbito de la resistencia de materiales.

La mayoría de las impresoras actuales trabajan con plástico, si bien la gama es muy variada, desde metales a cerámica, pasando por vidrio e incluso hormigón. Los polímeros que componen el plástico usado en la fabricación aditiva pueden dividirse en dos categorías:

- Termoplásticos: Se funden al aplicar calor, pero no cambian su composición interna, por lo que no son de un sólo uso.
- Termoestables: Estos se solidifican al aplicar calor sobre ellos y sólo pueden ser usados una sola vez, pues su composición interna sí cambia con el calor.

La mayoría de las impresoras domésticas, las de FDM como ya se expuso, usan un tipo de termoplástico denominado ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), muy resistente al impacto. Otras usan PLA (Poliácido láctico), del que se hablará posteriormente.

Sin embargo, la mayoría de las impresoras de estereolitografía (SLA) usan, como ya se expuso, polímeros termoestables fotosensibles. Las impresoras de sinterizado láser (LS) utilizan termoplástico en polvo.

Las impresoras 3D también pueden trabajar con otro tipo de plásticos, llamados elastómeros, los cuales poseen propiedades elásticas. Éstos, como por ejemplo la silicona, se hacen pasar por una boquilla y se dejan secar. Es el caso del Filaflex de BQ, que se explicará en apartados posteriores.

Durante los comienzos de la fabricación aditiva, surgió un escepticismo en cuanto a los materiales que podrían usarse, alegando que el metal sería imposible de implementar como materia prima de estas impresoras. Actualmente, se puede imprimir acero, titanio e incluso wolframio/tungsteno, que son metales pesados cuya conformación mediante técnicas de fabricación tradicionales es costosa y complicada. Esto todavía no es posible para impresoras domésticas, aunque la investigación en esta línea está en desarrollo.

Otro material a resaltar es la cerámica, con numerosas aplicaciones en medicina, como son las prótesis de cerámica a partir de TAC realizados a pacientes.

El último material a destacar en uso es el vidrio. El vidrio es aplicado en polvo por su característica hidrofóbica y su principal desventaja es que es impredecible al aplicar calor sobre él. [4]

En el presente TFG se trabajará con Filaflex de BQ y PLA, siendo éste último similar al ABS, pero de peores características, siendo las temperaturas de transición vítreas de ambos materiales muy diferentes.



Figura 2-4 Cargador del fusil AK-47 fabricado con impresión 3D (Fuente: [8])

2.4 Rapid Manufacturing (RM), Rapid Tooling (RT) y Rapid Prototyping (RP).

Una de las características que posee la fabricación aditiva es el hecho de que su aplicación es posible tanto a prototipos como a elementos funcionales. Este último caso es el que interesa en el estudio del uso de impresión 3D aplicada a Defensa, pues, como se ha dicho, puede llegar a permitir obtener repuestos funcionales en tiempos y costes ínfimos en comparación con dichos costes en la cadena de suministro tradicional.

En estas tres categorías son en las que se divide la fabricación aditiva, explicándose a continuación cada una de ellas.

- Rapid Manufacturing o Fabricación rápida (RM), se entiende según [9] "*como el conjunto de técnicas, tecnologías y métodos que permiten la fabricación rápida, flexible y competitiva de piezas, ya sean prototipos, moldes, matrices o productos finales, directamente a partir de información digital*". Se usa para validar geometrías y montajes, para fabricar prototipos, para fabricar piezas en series cortas, para fabricar piezas con nuevas funcionalidades, para acortar tiempos de desarrollo... La técnica que se ha desarrollado en este TFG, la FDM (ver 2.3.1) se encuentra de esta categoría.
- Rapid Tooling o Herramientas rápidas (RT), que consiste en construir moldes de inyección de plástico u otro material que disminuyen los tiempos de fabricación y su complejidad. [10]
- Rapid Prototyping o Prototipado Rápido (RP), el cual trata de fabricar objetos de diversos materiales, tales como plástico, metal o incluso cerámica para prototipos de ingeniería con mínimos tiempos de entrega, con base un modelo realizado mediante CAD. [11] FDM también se podría incluir dentro de esta categoría, pero para el caso de este TFG no se pretende hacer prototipos, sino piezas que puedan sustituir a las reales. Los tipos de RP según [11] pueden ser:
 - De diseño: Sirven para evaluar aspectos estéticos y/o de ergonomía.
 - Prototipos geométricos: Se usan para analizar la geometría de la pieza.
 - Prototipos funcionales: Se utilizan para mostrar las características de funcionamiento de una pieza.
 - Prototipos técnicos: Se usan para analizar al completo una pieza.

La principal característica que reúne a estas tres categorías es el ahorro de tiempo en desarrollar productos que antes eran más tediosos y caros, siendo un referente para muchas empresas, y debe serlo también para las tecnologías de Defensa.



Figura 2-5 Ejemplo de Rapid Prototyping (Fuente: [12])

2.5 El HK G36 E

2.5.1 El G36 E, de la empresa Heckler & Koch

El Gewehr 36, más conocido como G36 es un fusil de asalto diseñado por la compañía armamentística de nacionalidad alemana Heckler & Koch a principios de la década de los 90. El proyecto de diseño comenzó en 1990, cuando el Bundeswehr (Ejército alemán) requería una arma larga que reemplazara el rifle G3, cuyo diseño era de la época de los 50's y cuyo calibre era 7.62×51 mm OTAN. [13] El motivo de este cambio fue su antigüedad, además de que la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte) estaba estandarizando todos los fusiles de las naciones aliadas para el calibre $5,56 \times 45$ mm. Surgidos un par de prototipos que pudieran sustituir al anticuado G3, como fueron el G11 y el G41 durante los años 80, ambos fueron rechazados por no cumplir las especificaciones requeridas. Es entonces cuando nace el G36. El G36 E es el modelo estándar (el que se analizará en este TFG) con un cañón de 480 mm de longitud y un peso de 3.3 kilos en vacío, pero existen otras tres variantes de uso militar, según [1]:

- El G36K (kurz o corto).
- El G36C (compacto o comando) con cañón extra-corto y miras ajustables.
- El MG36 con cañón pesado (bull barrel), bípode y cargadores de tambor de 100 cartuchos.



Figura 2-6 Fusil G36 modelo E, modelo K y modelo C (Fuente: [3])

El G36 E está fabricado, en su cubierta exterior, en su mayor parte de plástico, en concreto de poliamida reforzada con fibra de carbono. Este hecho junto a que es el fusil de dotación de las Fuerzas Armadas Españolas han contribuido a que se seleccionara dicho arma para comprobar si la fabricación aditiva resulta eficiente en la obtención de repuestos rápidos en zonas de operaciones.

2.5.2 El G36 E en las Fuerzas Armadas Españolas

El G36 modelo E es actualmente el fusil en servicio para las Fuerzas Armadas Españolas, siendo así desde 1999, año en el que sustituyó al CETME Modelo L de fabricación nacional. Es en diciembre de 2000 cuando se le asignan a la Armada concretamente, con un coste unitario de 780,59 euros, según datos consultados en la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL). Actualmente los G36 E son cofabricados por la empresa española General Dynamics - Santa Bárbara Sistemas y su adjudicatario, Heckler & Koch, en la fábrica de La Coruña, según datos de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM). A continuación se muestra una tabla con las principales características de este fusil:

Fabricación	España
Calibre	5,56 x 45 mm
Alimentación	Cargador
Cadencia de fuego	750 dpm
Sistema de cierre	Toma de gases
Peso	3,3 kg
Cargador	30 cartuchos

Tabla 2-2 Principales características del G36 E (Fuente: [1])

Además de las Fuerzas Armadas Españolas, es usado también por los Grupos Especiales de Operaciones (GEO), la Unidad de Intervención Policial (UIP), así como por la Guardia Civil. El Ejército Alemán también es usuario de dicho fusil, así como unidades policiales de operaciones especiales como el GIGN y RAID francés o el Grupo de Intervención Especial (GIS) italiano, entre otros. [3]



Figura 2-7 Militar de las Fuerzas Armadas Españolas con el fusil HK G36 E (Fuente: [3])

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Metodología

3.1.1 Impresora 3D Witbox, de BQ

BQ es una empresa española dedicada al diseño, venta y distribución de todo tipo de objetos electrónicos, tales como tabletas, smartphones e impresoras y tiene su sede central en Madrid (España).



Figura 3-1 Logotipo de BQ (Fuente: [5])

La impresora que se ha utilizado para desarrollar el presente TFG es la llamada Witbox, de este fabricante, que se encuentra en las instalaciones que ocupa el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar. Witbox utiliza el método de fabricación por adición más conocido como FDM (Fused Deposit Modelling), que se explicó en el apartado 2.3.1.

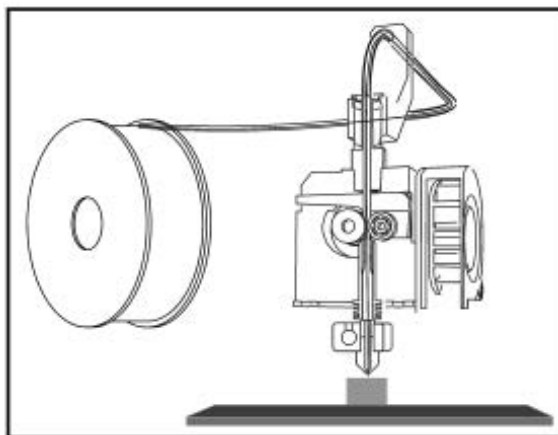


Figura 3-2 Impresora Witbox FDM con su bobina de material (Fuente: [5])

3.1.1.1 Características básicas de la impresora 3D modelo Witbox

Dimensiones	<ul style="list-style-type: none"> • Impresora: (x)505 x (y)388 x (z)450 mm • Área de impresión: (x)297 x (y)210 x (z)200 mm
Mecánica general	<ul style="list-style-type: none"> • Bastidor de acero pintado al polvo • Cadenas portacables Igus • Husillo Igus para eje Z con acoplamiento a motor flexible
Calidad de impresión	<ul style="list-style-type: none"> • Muy alta: 50 micras • Alta: 100 micras • Media: 200 micras • Baja: 300 micras
Mecánica extrusor	<ul style="list-style-type: none"> • Extrusor de diseño propio • Boquilla de 0,4 mm • Tobera de refrigeración de pieza
Velocidad de impresión	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendada: 50 mm/s • Máxima recomendada: 80 mm/s
Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> • Ramps 1.4 • Pantalla de LCD • Termistores de 100 K en extrusor
Comunicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Lector de tarjetas SDHC • Tarjeta de 4 GB • Puerto USB tipo B
Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Filamento PLA de 1,75 mm
Condiciones de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas de funcionamiento óptimo entre 15°C y 25° C

Tabla 3-1 Características básicas de Witbox (Fuente: [5])

3.1.2 Ingeniería inversa

El proceso de fabricación de piezas mediante técnicas de impresión 3D va íntimamente ligado a la ingeniería inversa.

La ingeniería inversa consiste en obtener el diseño 3D de una pieza para desarrollar productos que sean compatibles con otros productos, sin tener acceso a los detalles técnicos de esos otros productos, ya sea mediante técnicas tradicionales de medición (pie de rey o flexómetro) o mediante escáneres en 3D, los cuales usan triangulación láser o luz estructurada, que no es más que proyectar un patrón de luz en el objeto y analizan la deformación que se ha producido por la geometría del objeto [14]. En este Trabajo de Fin de Grado se han estudiado las dos posibles vías de obtención del diseño 3D.

3.1.2.1 Uso del escáner 3D Ciclop de BQ

Debido a la imposibilidad de conseguir los planos de las piezas que componen el fusil G36 E, ya que esta documentación está sujeta a una licencia de exportación de las autoridades alemanas de acuerdo con la legislación vigente en materia de transferencia tecnológica, se planteó la vía del escaneo digital mediante un escáner digital, llamado Ciclop (ver Figura 3-3) de la compañía española BQ. Probablemente el uso de escáner para adquirir la geometría y fabricar piezas requiera autorización del fabricante, pero en este caso se pretende mostrar un procedimiento y su validez, y el uso de las geometrías es puramente investigador y no comercial.

Este escáner se compone básicamente de dos láseres, una cámara de la empresa Logitech, y una pequeña plataforma con un motor que la hace girar.

La cámara se encarga de capturar el haz de luz que proyecta el láser sobre el objeto y con un postprocesado se genera una nube de puntos. Para dicha generación de la nube y para el uso de Ciclop es necesario el software Horus. Tanto Horus como Ciclop son proyectos que están liberados bajo la licencia GPL, es decir, sin coste alguno. Si bien, BQ ofrece este escáner por un precio de 249,90€



Figura 3-3 Escáner 3D Ciclop de BQ (Fuente: [5])

La idea es colocar en la plataforma, a ser posible en su centro geométrico, las piezas deseadas para su obtención en un archivo digital en tres dimensiones.

Una vez descargado el software Horus y el software de la cámara Logitech el proceso a seguir es el siguiente:

1. Calibración: Para que los láseres puedan tomar datos correctos de altura y profundidad es necesario una calibración previa. Para ello nada más abrir el programa Horus, éste nos recibirá con una ventana de bienvenida. Para realizar la calibración se hará clic en la

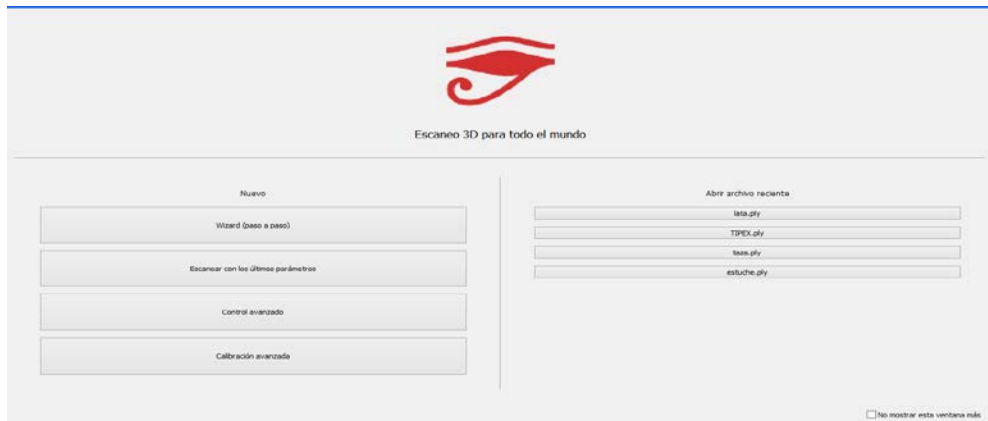


Figura 3-4 Screenshot de la bienvenida de Horus, con la opción Wizard para calibración.

pestaña de "wizard (paso a paso)". A la derecha es posible observar perfiles que se han escaneado previamente.

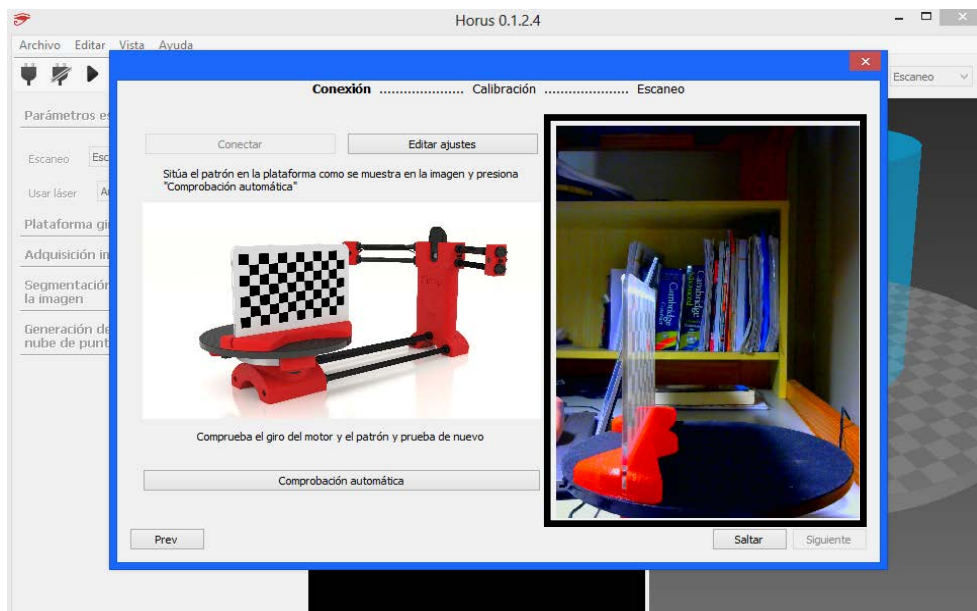


Figura 3-5 Screenshot de wizard, con el patrón de calibración y la visualización de la cámara.

Una vez entrado en "wizard (paso a paso)", conectamos la cámara Logitech y la placa controladora. De esta manera veremos el vídeo en tiempo real a la derecha. Para dicha calibración es necesario el uso de un patrón. El patrón por defecto que facilita BQ es con forma de ajedrez, donde la alternancia de blancos y negros facilita la detección de las esquinas de los cuadrados.

Además, es necesario introducir la distancia desde el extremo inferior de la base a la parte superior de la primera línea de blancos y negros, midiendo tal distancia 37,8 mm en nuestro caso. Tras colocar el patrón en la plataforma giratoria con la forma indicada lo calibramos, y terminada la calibración se eligen las preferencias de escaneo, es decir, resolución, el uso de uno o ambos láseres así como el escaneo con textura o sin textura. Para una mejor calibración se debe ajustar también la luminosidad en función de la del ambiente.

2. Generación de la nube de puntos: Una vez realizada la calibración con éxito, se presentará en pantalla una doble imagen (ver Figura 3-6) con lo visualizado por la cámara a la izquierda y el cuerpo escaneado a la derecha. A la izquierda se puede observar los desplegables donde es posible editar los parámetros del escaneo, tales como:

- Parámetros de escaneo: Donde es posible seleccionar el escaneo con o sin textura, así como el uso de uno o ambos láseres. (Ver Figura 3-6).
- Plataforma giratoria: Aquí se puede establecer el paso en grados que es preciso para la generación de la nube de puntos.
- Adquisición de la imagen: Es en este desplegable donde es posible seleccionar el brillo, contraste, saturación...
- Segmentación de la imagen: Aquí se establece el umbral deseable para evitar el "ruido". Por ruido se entiende como todos aquellos puntos indeseables que no representan fielmente al objeto.
- Generación de la nube de puntos: Por último, para centrar los láseres alrededor de la figura a escanear es necesario ajustar el ROI (Region of Interest), que es el cilindro de color azul que se puede observar a la izquierda y a la derecha (Ver Figura 3-6).

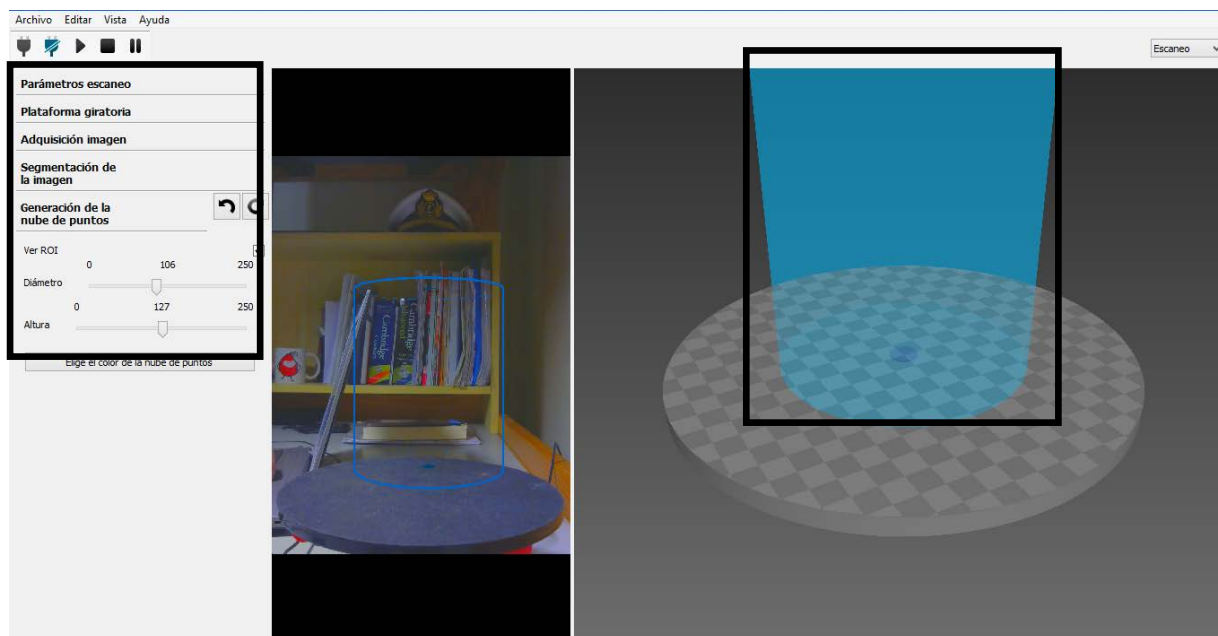


Figura 3-6 Screenshot del escaneo, con el desplegable a la izquierda y el ROI visible.

Una vez introducidos los parámetros deseados y colocados el objeto en el centro de la plataforma, se inicia el escaneo. El resultado de dicho escaneo será esa nube de puntos (ver Figura 3-7), que contiene la información de los ejes x, y y z de la superficie del cuerpo escaneado.

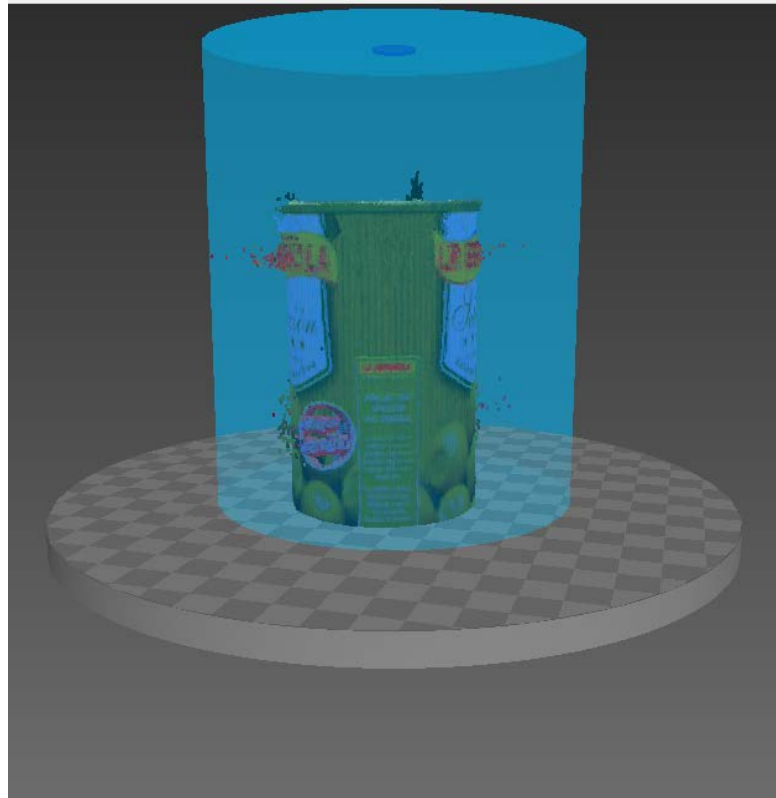


Figura 3-7 Screenshot del escaneo con textura de una lata

Se han realizado diversos escaneos de prueba, como se puede apreciar en la Figura 3-7, con el fin de analizar la viabilidad de escanear las piezas que componen el FUSA G 36 modelo E frente a su diseño en un software CAD. Pero para poder imprimir esta nube de puntos es necesario transformarla en un sólido, y para ello necesitamos otro software, Meshlab, del que se hablará a continuación.

3.1.2.2 Software Meshlab para generación de sólidos a través de nubes de puntos

Como ya se ha explicado, un archivo en formato PLY (Stanford Polygon File Format), que es así como se denominan a los archivos de nube de puntos generados con Ciclop y el software Horus, no es suficiente para imprimir un objeto, para ello necesitamos transformar dicha nube de puntos a un sólido y es por esta razón que se hace imprescindible el uso de un software de postprocesado, como puede ser Meshlab.

Como Horus, Meshlab también es un software libre, es decir, de código abierto. También cabe destacar que es multiplataforma, por lo que es apto para cualquiera de los sistemas operativos más comunes. Además, presenta una interfaz sencilla y está recomendado por BQ, por lo que se ha seleccionado para el postprocesado de nubes de puntos.

El proceso a seguir para la generación del sólido es el siguiente:

- Una vez arrancado el programa y cargado el archivo PLY del cual se necesita generar el sólido es necesario calcular las normales de los puntos usando el filtro de cómputo de normales. El número de vecinos óptimo es entre 10 y 100, y el que se aplicará es el de 50.

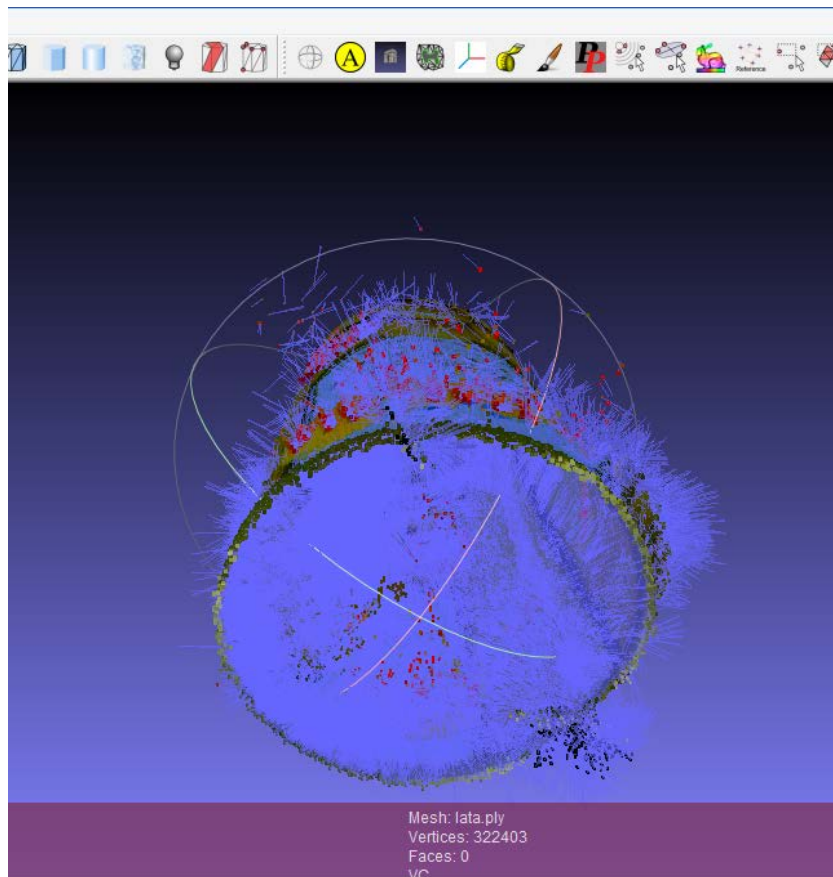


Figura 3-8 Screenshot del cómputo de normales

- Posteriormente y generadas las normales es necesario visualizarlas, ya que deben estar todas hacia el exterior del objeto, ya que si no el objeto es posible que se genere en sentido inverso.
- El siguiente filtro necesario para la reconstrucción es el filtro de Poisson, que usa los puntos y la normal para construir una superficie usando las aproximaciones de reconstrucción de superficies de Poisson. El valor normal suele estar entre 6 y 12 para la división y la profundidad de los octantes. En este caso se usará 8 como valor óptimo. A mayor valor los costes computacionales son mayores.
- Una vez generado el sólido es necesario ocultar la nube de puntos. A esto es lo que comúnmente se le denomina proceso de mallado.

Finalmente se ha obtenido el sólido a través de la nube de puntos y este objeto ya es apto para imprimir en tres dimensiones. Para ello, es necesario guardar el archivo en formato STL, que se explicará en el siguiente apartado.

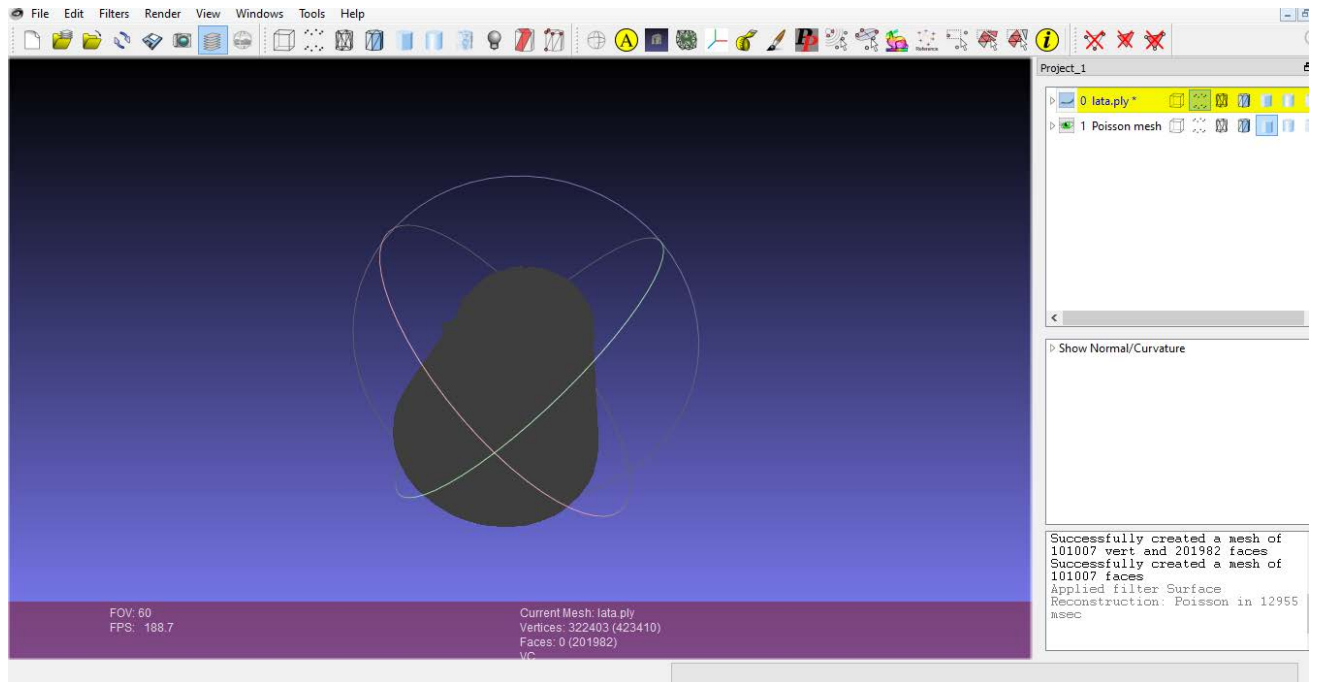


Figura 3-9 Screenshot del sólido generado con Meshlab de la lata previamente escaneada

3.1.2.3 STL, el lenguaje de las impresoras 3D

Los formatos de archivo son el lenguaje vehicular de la tecnología, requisitos imprescindibles para la interoperabilidad entre sistemas. Ejemplos de ello son los formatos MP3, JPEG, WMV...

El estándar actual en el entorno de las impresoras 3D es el STL (Standard Tessellation Language o Lenguaje de Mosaico Estándar). Este formato tiene su origen en la década de 1980 y fue diseñado para simplificar la transferencia de archivos de diseño a las impresoras 3D. Es actualmente el tipo más habitual de archivo usado en impresión 3D, pero no necesariamente el único (recientemente el formato AML está en desarrollo). STL usa una malla triangular para definir la forma de los objetos. Cuanto menores sean esos triángulos, mayor será la resolución, pero el peso del archivo será mayor, y su carga requerirá mayor coste computacional, luego es necesario llegar a un compromiso entre detalle y tamaño del archivo. La superficie mallada es única y se identifica de forma inequívoca mediante una normal unitaria y tres vértices. Dado que la normal y cada uno de los tres vértices se definen con tres coordenadas, cada cara es definida con un total de doce números. [4]

Tiene como ventaja no ser de un fabricante determinado (no es un formato propio de softwares CAD como Autocad, o de Soliworks, o de NX) y estar implementado en la gran mayoría de los softwares de diseño 3D como opción de exportación.

Una vez hemos guardado el objeto a imprimir en formato STL éste ya está preparado para su última tarea: el objeto es leído por el firmware de la impresora, que se encarga de analizar y dividir el diseño digital envuelto en la malla en múltiples capas virtuales que corresponden con las capas físicas a imprimir.

Normalmente las impresoras suelen llevar una herramienta de visualización integrada que revisa la conversión sólido-STL.

3.1.3 PLA, el principal material usado en la Witbox

Como se expuso en el apartado 2.3.2, el PLA junto al ABS constituyen los dos materiales más comunes en el uso de las impresoras 3D basadas en la técnica FDM, la cual se explicó en el apartado 2.3.1.

El PLA o ácido poli-láctico es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico.

Su proceso de creación pasa por la extracción de azúcares, entre ellos dextrosa, glucosa y sacarosa del almidón, obteniéndose dicho termoplástico tras un proceso que gracias a la tecnología se ha conseguido abaratar.

Característica	Valor
Densidad (g/cm ³)	1,25
Punto de fusión (°C)	130-175
Temperatura de Transición vítrea (°C)	65
Alargamiento (%)	35
Módulo de Young (GPa)	3,37

Tabla 3-2 Características del PLA 100% (Fuente: [15])

La temperatura de transición vítrea es de 65°C, por lo que habrá que tener en cuenta que es probable que haya problemas de precisión dimensional y contracción debido a ello. Sin embargo, con ABS estos problemas no existirían ya que su temperatura de transición vítrea es de 110°C según [16], pero debido a las complicaciones que resultan de la impresión en 3D con ABS se ha descartado la vía de impresión con este material, a pesar de que su rendimiento es mayor que el PLA.

Uno de sus mayores usos del PLA es la fabricación aditiva, tema principal de este TFG. El uso de PLA está extendido y las empresas que se dedican a la venta de impresoras 3D y accesorios venden el material en forma de bobinas en función de los colores deseados y el grosor del filamento. En este caso el grosor permisible por la boquilla extrusora de la Witbox es de 1,75 mm.

El precio de una bobina de 1 kg de peso, en el caso del fabricante BQ, es de 19,95 € indiferentemente del color deseado. El diámetro de la bobina es de 195 mm, y la altura de 85 mm.[5] (Ver Figura 3-10).



Figura 3-10 Bobina de PLA ofrecida como accesorio por BQ (Fuente: [5])

En este TFG se trabajará con PLA y con Filaflex de BQ, del que se hablará en el siguiente apartado.

3.1.1 Filaflex, el material elástico

Filaflex es un filamento que permite crear piezas con propiedades elásticas sin necesidad de hacer ninguna modificación importante en la Witbox.

Es un TPE (termoplástico elastómero) con base de poliuretano y ciertos aditivos para hacerlo imprimible en 3D. Sus características básicas en la impresora son, según [5]:

- Tolerancia del diámetro: 0.05 mm.
- Temperatura de impresión: 225-260 °C.
- Velocidad de impresión: 20-110 mm/s.
- Gran adherencia con la mesa de impresión.
- No necesita laca o cualquier otro adhesivo en espray para asegurar dicha adherencia.
- Inodoro.
- Resistente a disolventes, acetona o combustible.

Se vende, al igual que el PLA, en bobinas, pero su peso es de 0,5 Kg, y su coste es algo mayor, 35,90 €/bobina.

En cuanto a sus características técnicas:

Característica	Valor
Densidad (g/cm ³)	1,21
Resistencia a la tracción (MPa)	39
Alargamiento (%)	700

Tabla 3-3 Características de Filaflex (Fuente: [17])

Como se puede apreciar, posee 20 veces más alargamiento en porcentaje que el PLA, siendo ambas densidades similares.

El uso de Filaflex en este TFG es para imprimir el protector de goma del visor en un material que se asemeje al material del recubrimiento del visor real.

El principal problema que presenta el Filaflex de BQ es que es necesario imprimir con PLA previamente un soporte específico, ya que el soporte de bobina no es el mismo que al imprimir PLA, debido a que el material necesita tener cierta tensión para evitar que haya problemas de extrusión.

Dicho soporte se puede descargar de la página principal de BQ, y para instalarlo es necesario quitar pantalla de metacrilato que se encuentra en la parte superior de la impresora, como se puede ver en la Figura 3-11.

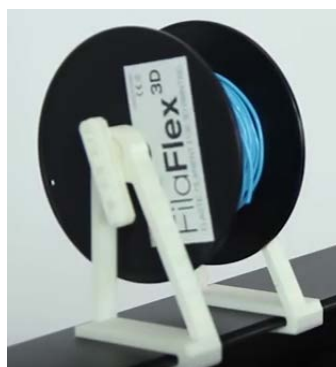


Figura 3-11 Bobina de Filaflex con el soporte necesario impreso con PLA (Fuente: [5])

3.1.2 Selección de los elementos a estudiar

El fusil con el que se van a estudiar las piezas y su escaneo es el fusil G36 E de adiestramiento, disponible en el Pañol del Condestable de la Escuela Naval Militar. El fusil real está fabricado en su mayor parte con poliamida con fibra de carbono, que reduce su peso frente al uso de metales comunes.

Del fusil de adiestramiento se desconoce qué tipo de plástico lo compone, sin embargo las propiedades de ambos materiales son similares, siendo el diseño de las piezas idéntico.



Figura 3-12 G36 de adiestramiento

Debido a la complejidad que presenta analizar todos los elementos del G36 y la falta de sentido, ya que no se pretende duplicar con impresión 3D el fusil completo, sino aquellas piezas que tengan mayor frecuencia de fallo, pérdida o consume acorde a los datos facilitados por la Dirección de Abastecimiento y Transporte (DAT) (Ver Anexo: Fichas de piezas), y cuyo fallo sería crítico en ausencia de repuestos, se han seleccionado una serie de piezas para su estudio:

- Pernos o pasadores de sujeción: El G36 dispone de 3 pasadores que hacen que su desmontaje sea más sencillo que con tornillos convencionales, ya que no se necesita ninguna herramienta auxiliar. Está fabricado en acero, según normativa alemana DIN, 42CrMo4 o más conocido como acero AISI 4140, según denominación americana [18]. Se ha seleccionado esta pieza debido a que en ocasiones, con el montaje y desmontaje hay probabilidades de que se pierda pero al ser una pieza metálica, con su repuesto de PLA se presenta la duda de si se van a cumplir los requerimientos técnicos que debe tener esta pieza.



Figura 3-13 Perno o pasador de sujeción

- Pozo o brocal del cargador: Constituye la pieza principal donde se inserta el cargador. Está fabricada, al igual que muchas otras piezas, como ya se ha expuesto, de poliamida con fibra de carbono. Se ha seleccionado dicha pieza debido a que su rotura o pérdida supone que el cargador no podrá ser insertado y el fusil será inservible. Por su forma e instalación, es factible rediseñar la pieza para reforzarla y así lograr que fabricada en PLA sea suficientemente robusta.

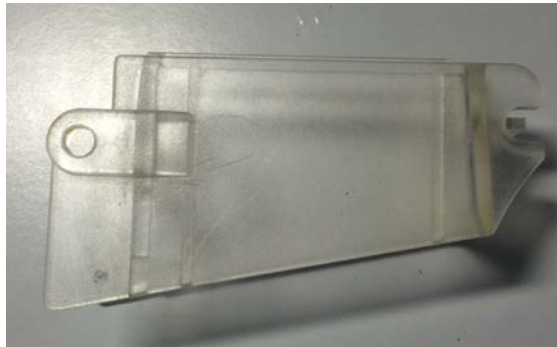


Figura 3-14 Brocal o pozo del cargador

- Selector de fuego: Se ha seleccionado dicha pieza debido ya que su fallo es crítico para el funcionamiento correcto del fusil y supone un fallo de seguridad, ya que la aguja percutora podría activar el mecanismo de fuego al no estar el seguro disponible. Está compuesto por dos piezas con una serie de ejes que al introducirse en el pistolete giran solidariamente, como puede verse en la Figura 3-15. Tiene tres posiciones:
 - Tiro a tiro: Marcada con la letra T o E.
 - Ráfaga: Marcada con la letra R o F.
 - Seguro: Marcada con la letra S.



Figura 3-15 Selector compuesto de dos piezas que trabajan solidariamente

- **Guardamanos:** Es la pieza sobre la que el usuario hace la sujeción de todo el fusil cuando realiza el tiro, como se puede ver en la Figura 3-16. Esta pieza es clave para que se realice el tiro correctamente, pues sin ella el usuario podría quemarse la mano debido a las altas temperaturas a las que está sometido el cañón durante un tiro continuado.



Figura 3-16 Guardamanos

- **Pistolete:** Conjunto de piezas que constituyen la parte principal para efectuar el disparo. En su interior se encuentra el mecanismo de accionamiento de la aguja percutora. Sin esta pieza es, también, inviable efectuar el tiro. Esta pieza se imprimirá pero no se podrá realizar ningún tiro de prueba durante este TFG por motivos de requerimientos de seguridad de los que no se disponen. Es necesario destacar que la fabricación por impresión 3D de este elemento es especialmente interesante por permitir el uso de geometrías personalizadas para el usuario que puedan mejorar la ergonomía.



Figura 3-17 Pistolete

- **Protector de goma del visor:** Constituye el recubrimiento elástico del visor (Ver Figura 3-18) protegiendo al visor de posibles impactos. Su pérdida es frecuente y en la Escuela Naval Militar no se disponen de repuestos suficientes. Está fabricado en caucho. Su repuesto será impreso en Filaflex, permitiendo avanzar en el conocimiento de este material.



Figura 3-18 Protector de goma del visor (Fuente: [18])

Estas seis piezas (siete si tenemos en cuenta que el selector son dos piezas), forman el conjunto a diseñar e imprimir, como forma de comprobar si son o no aplicables estas técnicas a la sustitución de repuestos de Defensa.

3.1.3 Generación por Ciclop de elementos seleccionados

Se ha optado, y ya que se tiene la posibilidad, de generar sólidos mediante Ciclop de aquellas piezas cuya geometría es compleja, debido a que con las sencillas el tiempo para generar el sólido es menor con cualquier software CAD. Se comienza con una geometría sencilla a modo de comprobación. Es el caso de los pernos o pasadores de sujeción. Se comienza a escanear con los siguientes parámetros, en función de la luz ambiente, que es baja.

- Brillo: Ya que la luminosidad ambiental es media, se han seleccionado valores intermedios.
- Contraste: Ya que el color del objeto es oscuro se han seleccionado valores bajos.
- Saturación: Se ha seleccionado una saturación media, ya que el color del objeto no es intenso.
- Exposición: Es la cantidad de luz por unidad de área, y al estar en un ambiente poco iluminado se ha seleccionado un valor bajo.

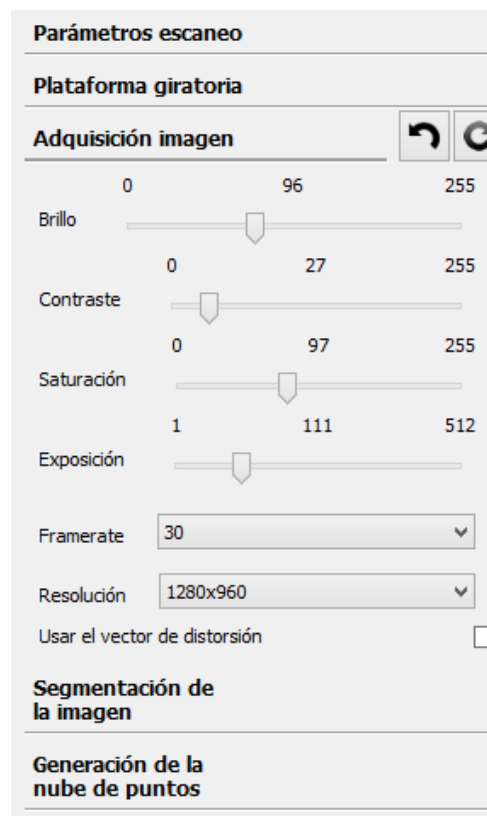


Figura 3-19 Screenshot de los parámetros de escaneo en cuanto a adquisición de imagen

Además el escaneo será con textura, ya que se ha comprobado que el resultado es mejor que escaneo sin textura. En cuanto a la segmentación de la imagen, se establecerán los siguientes parámetros para filtrar el "ruido". Dicho filtro no debe ser menor de 3 ni mayor de 5 en el caso del "Open" ni mayor de 50 ni menor de 10, en el caso de "Umbral", ya que en casos inferiores el escáner perderá zonas de la pieza y en caso superior no se filtrará el suficiente "ruido" con lo que la nube de puntos será errónea.

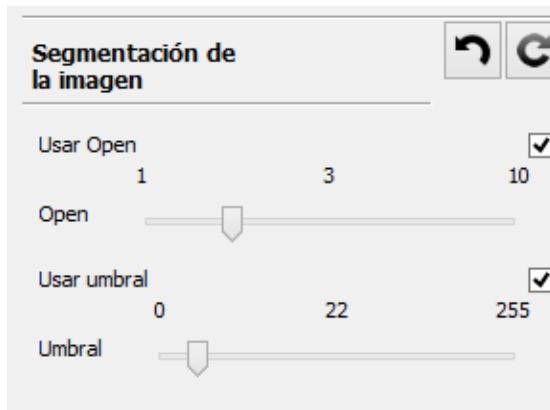


Figura 3-20 Screenshot de los parámetros de escaneo en cuanto a segmentación de imagen

Con dichos parámetros se obtiene la siguiente figura:



Figura 3-21 Screenshot en Horus de nube de puntos generada con Ciclop en la primera prueba

Como se puede apreciar en la Figura 3-21, hay una zona en la que el escáner no ha sido capaz de generar su nube de puntos. A continuación se variarán los parámetros de segmentación de la imagen para la misma pieza.

El filtro "open" y "umbral" se elevan, con el fin de que el láser capte esas zonas que antes no ha sido capaz de recoger. Ahora estarán en 5 y 50 respectivamente.

Con dichos parámetros se obtiene (Ver Figura 3-22):

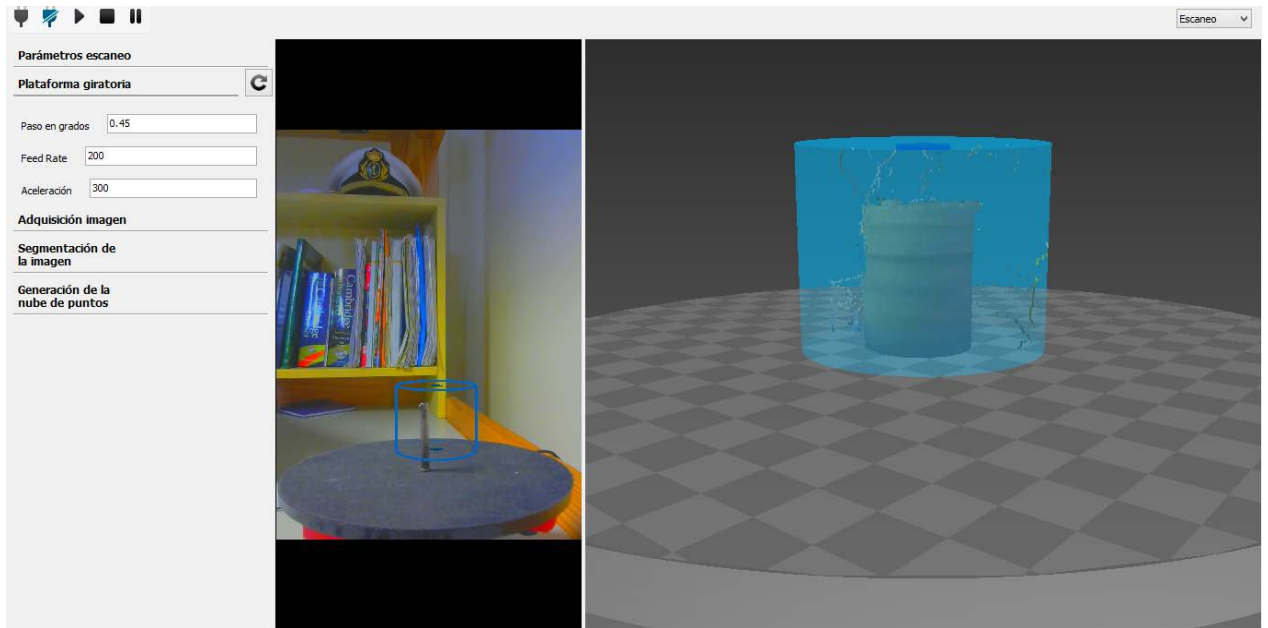


Figura 3-22 Screenshot en Horus de la nube de puntos generada con Ciclop

Como se puede observar en este caso no hay ninguna zona del cilindro que haya sido obviada por el láser, si bien en las zonas de alrededor hay mayor ruido que en el primer escaneo.

Una vez generada la nube de puntos, se exporta ésta a Meshlab, con el fin de generar un sólido.

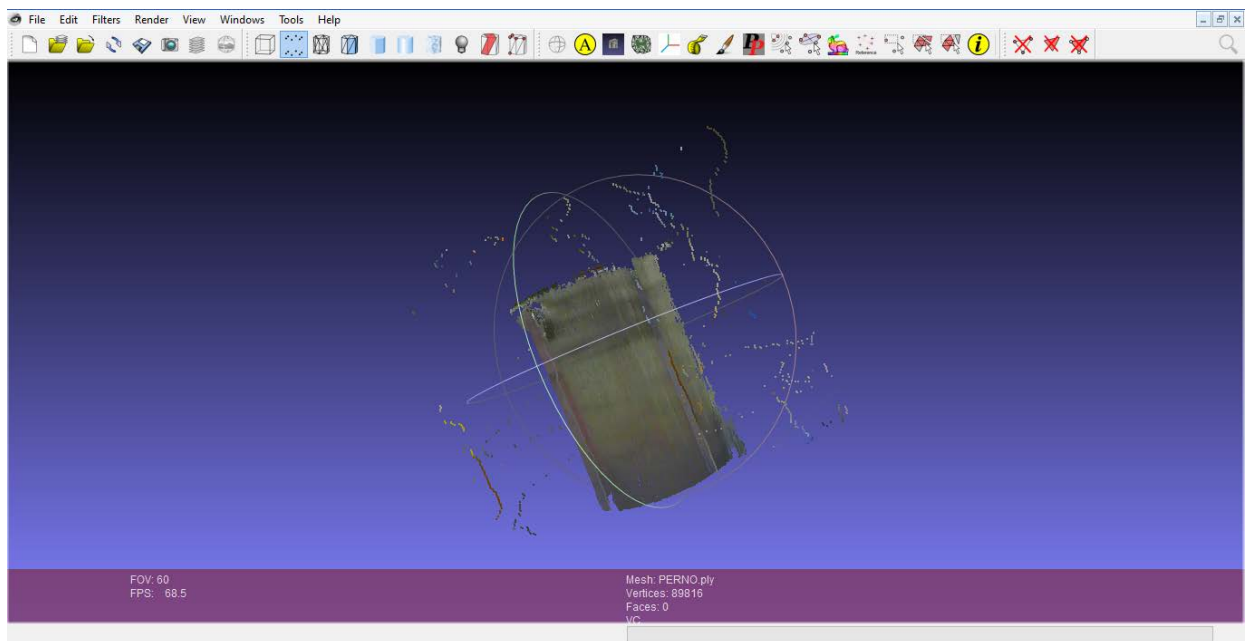


Figura 3-23 Screenshot de la nube de puntos en Meshlab

Una vez generadas las normales y el filtro de reconstrucción de Poisson, como se realizó en el apartado 3.1.2.2, se obtiene el sólido que se muestra en la Figura 3-24:

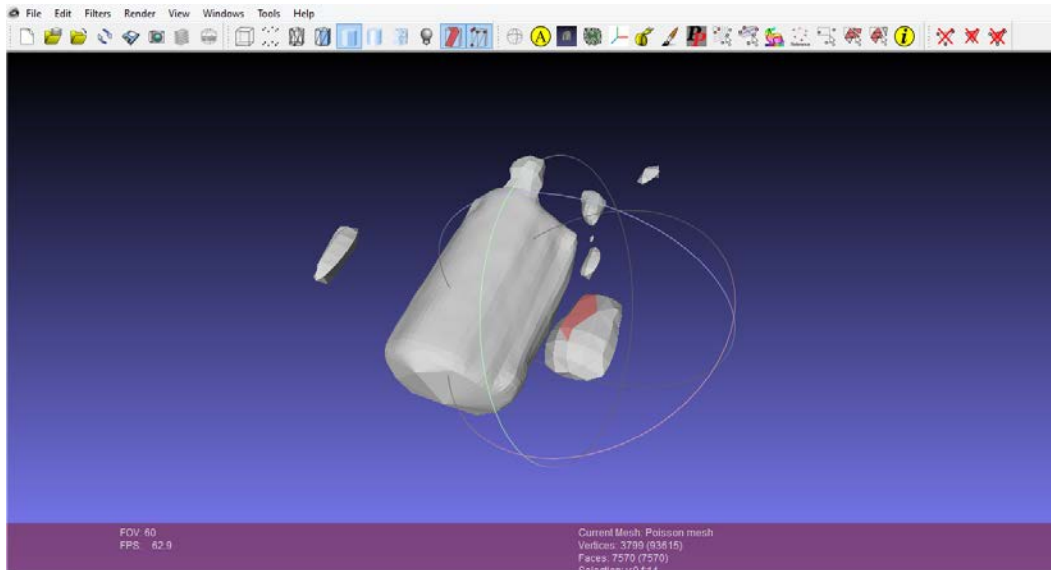


Figura 3-24 Screenshot del perno o pasador generado con Meshlab

Ahora se realizará el mismo procedimiento con una pieza de geometría más compleja, como es el pozo o brocal del cargador. Se escaneará con los parámetros anteriores, con los que se realizó el segundo escaneo del perno de sujeción.

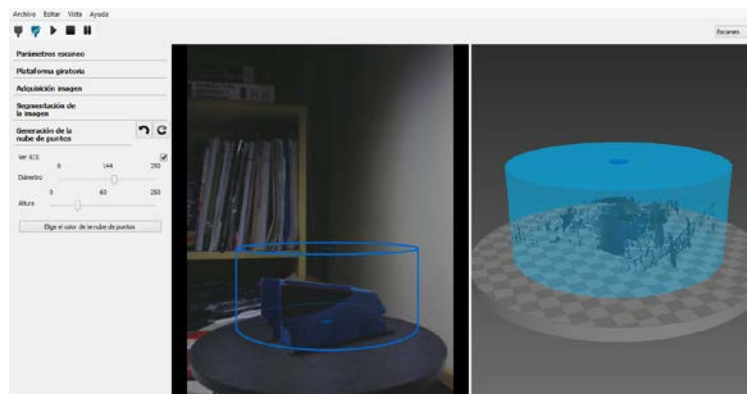


Figura 3-25 Screenshot de la nube de puntos del pozo o brocal del cargador

A continuación, debido a que el ruido es excesivo, se disminuirán los parámetros de segmentación de la imagen. En este caso el "open" se disminuirá a 2 y el "umbral" a 20, obteniendo el resultado que se muestra en la Figura 3-26:

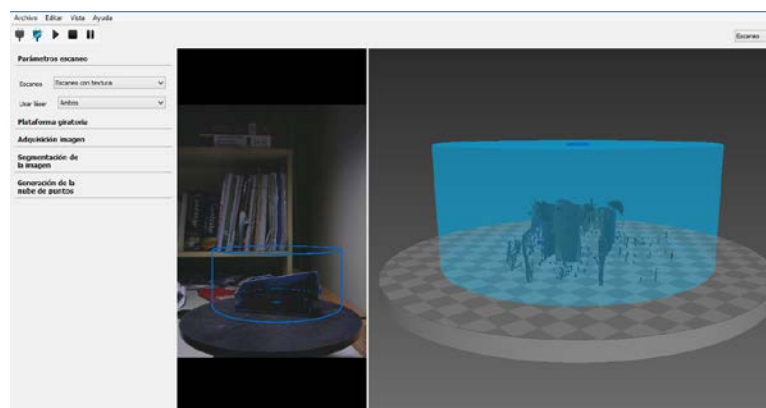


Figura 3-26 Screenshot de la nube de puntos del pozo o brocal del cargador

En ambos escaneos se obtienen "ruidos" que no son aceptables, pero en el segundo caso el escaneo ha resultado de mejor calidad. Con esta nube de puntos se genera el sólido, como puede verse en la siguiente figura:

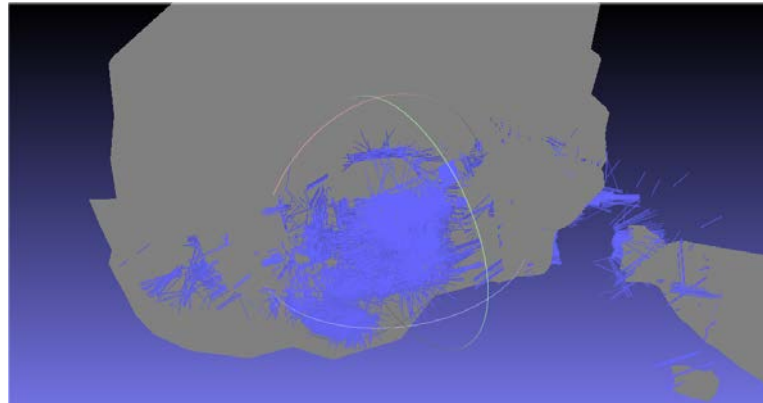


Figura 3-27 Screenshot del brocal o pozo del cargador generado con Meshlab

Tras probar con diferentes combinaciones en parámetros, el sólido generado no cumple con las expectativas esperadas, con lo que queda descartado el uso de Ciclop para generación de sólidos, y por ello se diseñarán las piezas con software CAD.

3.1.4 Generación por CAD de elementos seleccionados

Debido a la complejidad que presenta para Ciclop el escaneo de todas las geometrías, se ha optado por la vía de la generación de las mismas mediante técnicas de diseño asistido por ordenador. Para ello se ha usado el software CAD NX 10.0, de la marca SIEMENS.

3.1.4.1 Uso de pie de rey para medición

Para comenzar a realizar las piezas y debido a la ausencia de planos disponibles, es necesario efectuar una medición las mismas. Para ello se usará como instrumento de medida un pie de rey, también conocido como calibre ajustador, pudiendo usarse otros, como por ejemplo un micrómetro. Si bien el micrómetro es más preciso (0,01 mm), la calidad dimensional que se requiere no exige su uso. Dicho calibre ha sido facilitado por el Centro Universitario de la Defensa de Marín y tiene una apreciación (máxima precisión) vigesimal (1/20 mm) y está fabricado en acero inoxidable templado, como se puede ver en Figura 3-28.



Figura 3-28 Pie de rey suministrado por el CUD de Marín

Una vez realizadas las mediciones y obtenidas las cotas necesarias para la generación de un sólido se acude a SIEMENS NX 10.0.

3.1.4.2 Uso de software NX 10.0 para generación de sólidos

Para generar un sólido y posteriormente exportar dicho sólido a formato STL, explicado en el apartado 3.1.2.3, se pueden usar una gran variedad de Software, algunos de código libre y otros no.

Para el presente TFG se ha hecho uso de SIEMENS NX 10.0, por estar disponible en el Centro Universitario de la Defensa y dado que han sido varias asignaturas del Grado en Ingeniería Mecánica en las que se ha hecho uso de este Software de CAD/CAE/CAM.

NX 10.0 es un software con una interfaz sencilla y dispone de tres modos de operación:

- CAD: Computer-Aided Design o diseño asistido por ordenador. (Diseño de sólidos, realización de planos, ingeniería inversa, modelación de ensamblajes...)
- CAE: Computer-Aided Engineering o ingeniería asistida por ordenador, donde es posible realizar simulaciones de análisis de cargas, simulación FEM y simulación cinemática.
- CAM: Computer-Aided Manufacturing o fabricación asistida por ordenador, donde se puede realizar programación de Control Numérico (CNC).

Además, este software está disponible previa adquisición de licencia en los principales sistemas operativos (Mac OS, Linux o Windows)

Tras las mediciones con el pie de rey se comienzan a generar los sólidos previamente seleccionados en el apartado 3.1.2.

1. Pozo o brocal del cargador: Se comienza con dicha pieza (Ver Figura 3-29) Para generar la pieza se realiza un croquis del perfil y se realiza una extrusión, y a continuación, al ser simétrica, se obtiene su parte simétrica con la opción figura de patrón. La zona que une ambas simetrías se diseña con otro croquis y se extruye. La pieza final tiene una longitud total de 99,4 mm y una altura de 51,5 mm. Una vez generada la pieza y tras realizar los planos y comprobar posibles fallos, es necesario exportar la pieza en STL para su futura impresión.

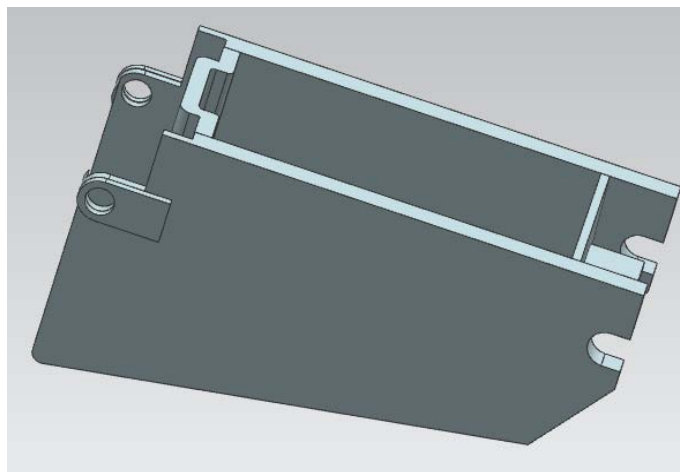


Figura 3-29 Pozo o brocal del cargador generada con NX 10.0

Una vez generada la pieza y tras realizar los planos y comprobar posibles fallos, es necesario exportar la pieza en STL para su futura impresión.

2. Guardamanos: La segunda pieza que se ha seleccionado es el guardamanos (ver Figura 3-30). Para realizar esta pieza y que sea posible su impresión en la Witbox ha sido necesario rediseñarla respecto a la original, ya que por longitud total no entraba dentro del área de impresión, que es de (x) 297 x (y) 210 x (z) 200 mm. Por ello se ha tenido que acortar 3 cm, siendo las dimensiones finales de longitud 290,4 mm y altura total 75 mm. Para obtener la pieza final se ha realizado una extrusión longitudinal partiendo del croquis

inicial de la parte delantera de la pieza, y posteriormente múltiples extrusiones para diseñar el resto de la pieza. También se ha recurrido a los redondeos de borde, para obtener la pieza final

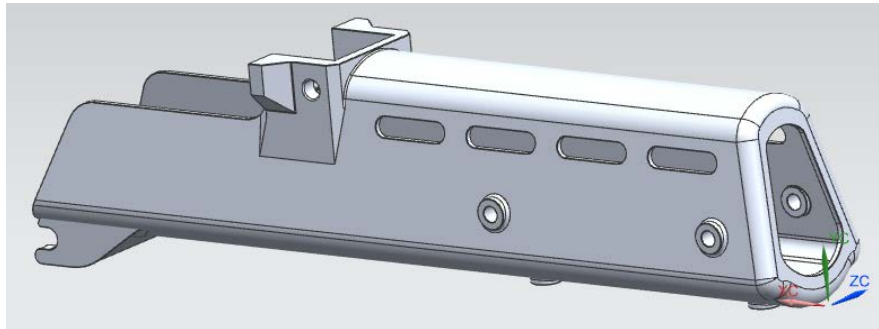


Figura 3-30 Guardamanos generado con NX 10.0

3. Perno o pasador de sujeción con agujero pasante: A continuación se ha diseñado un perno con un agujero pasante. (Ver Figura 3-31). Dicha pieza ha sido diseñada partiendo de un croquis y extruyendo longitudinalmente dicho croquis, a la que posteriormente se le ha realizado otra extrusión para realizar el agujero pasante. La pieza mide 45,8 mm de longitud y tiene un diámetro exterior de 7,9 mm.



Figura 3-31 Perno de sujeción con agujero pasante.

4. Perno o pasador de sujeción sin agujero pasante: Posteriormente se ha diseñado el mismo perno pero sin agujero pasante, como se puede ver en la Figura 3-32 En esta ocasión sólo han hecho falta dos extrusiones. La medida de la pieza es igual que en el caso anterior.

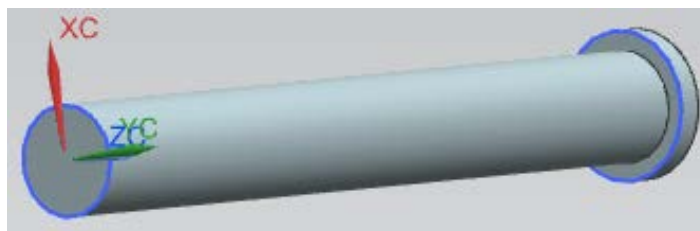


Figura 3-32 Perno de sujeción sin agujero pasante.

5. Pistolete: La siguiente pieza que se ha diseñado es el pistolete, como se puede apreciar en la Figura 3-33. Para realizar dicha pieza se ha realizado una extrusión principal del perfil de la pieza a partir del croquis. Posteriormente en la empuñadura se ha aplicado redondeo de borde, y se han realizado los agujeros necesarios. A continuación, y con extrusión se ha eliminado el relleno interior donde se aloja el mecanismo del disparador. La longitud total de la pieza es de 148,3 mm y la altura de 134 mm.

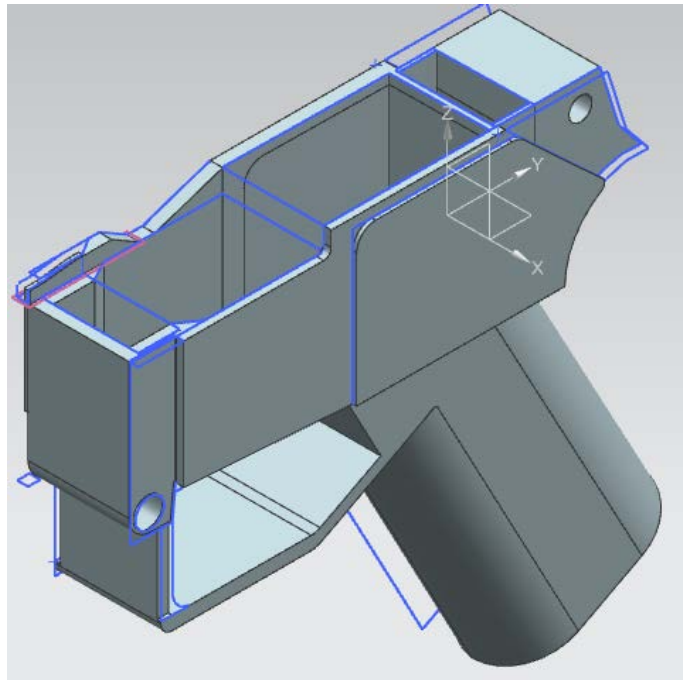


Figura 3-33 Pistoleta

6. Selectores del pistoleta: En la Figura 3-34 es posible observar el diseño del selector izquierdo del pistoleta. Dicha pieza consta de un sólo cuerpo compuesto por un eje principal con diversos diámetros unidos al selector. Se ha realizado extruyendo el selector a partir del croquis previo y se ha realizado el mismo proceso con el eje, el cual está compuesto por varias extrusiones. La longitud total de esta pieza es de 30,5 mm y su altura de 44,8 mm.

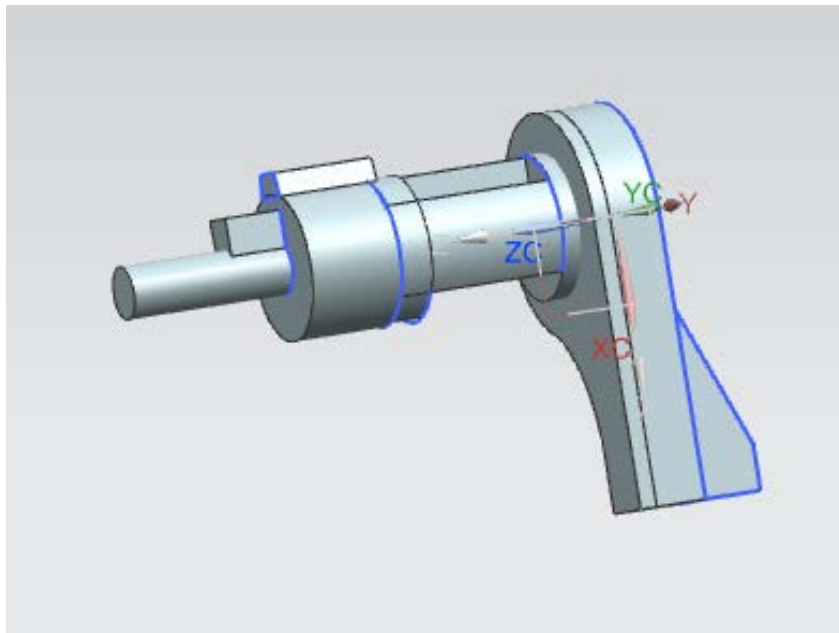


Figura 3-34 Selector izquierdo del pistoleta

El selector derecho, que se puede apreciar en la Figura 3-35, consta de una semicircunferencia cuyo diámetro interior debe coincidir con el diámetro del eje principal del selector izquierdo. Esta pieza ha sido realizada de la misma forma que el selector izquierdo, si bien sus dimensiones varían, siendo su longitud total de 30,5 mm y una altura total de 19,8 mm.

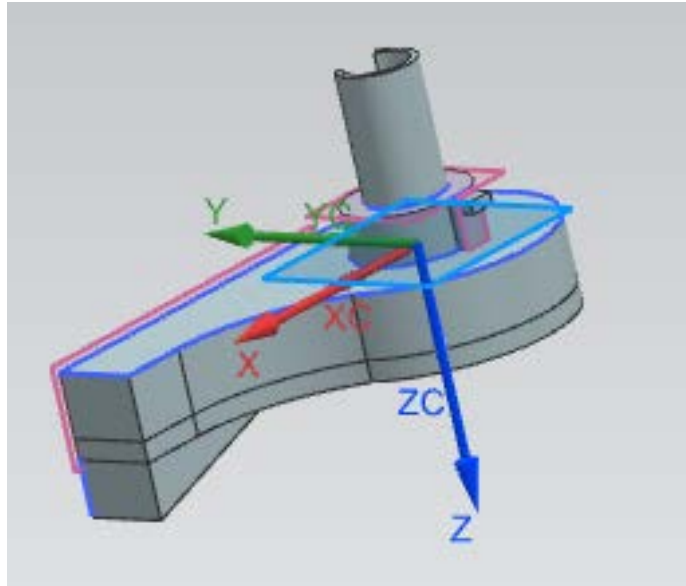


Figura 3-35 Selector derecho

7. Protector de goma del visor: Por último se ha diseñado el protector de goma del visor (ver Figura 3-36), que no será impreso con PLA, sino con Filaflex de BQ. Esta pieza, de diseño sencillo, se ha generado con una extrusión principal a partir de dos círculos concéntricos del croquis, para posteriormente extruir el interior de la pieza. El diámetro total de la pieza es de 32,5 mm.

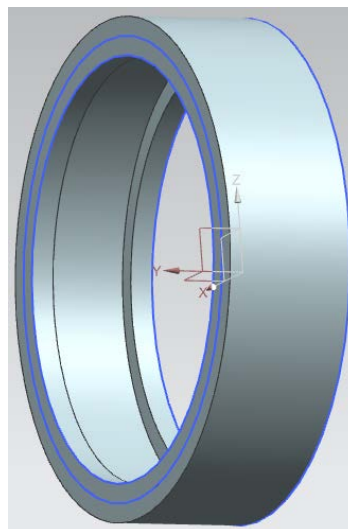


Figura 3-36 Protector de goma del visor

3.1.5 Cura, el software de impresión 3D

Como se explicó en el apartado 3.1.1, Witbox es la impresora con la que se ha trabajado durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

Para poder realizar las impresiones de archivos con formato STL es necesario descargar un software llamado Cura para nuestra impresora, que es capaz de leer los formatos STL. El formato STL se puede exportar desde NX 10.0 tanto en Binario como en ASCII, aunque lo normal es hacerlo en binario. Ambos contienen la misma información, si bien ASCII puede ser leído o editado con un editor de texto, mientras que en binario debe ser escrito byte a byte por software.

La descarga se puede hacer para los principales sistemas operativos (Mac OS, Linux y Windows) y cabe destacar que es de código libre.

Una vez descargado e instalado se ejecuta y para ello aparecerá un desplegable (ver Figura 3-37) donde es necesario seleccionar la impresora de trabajo asociada a Cura, ya que en el software se introducirán los datos propios de la impresora, como tamaño del filamento (para el caso de la Witbox es 1,75 mm) o tamaño de la base de apoyo de la impresora.

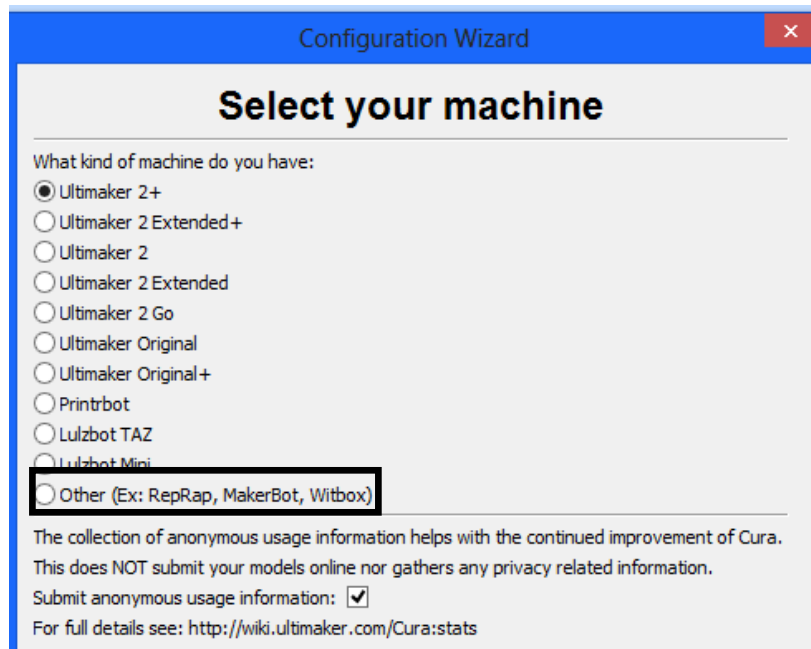


Figura 3-37 Desplegable de Cura para elegir la impresora

Tras esto ya aparece el interfaz de Cura, que nos permite importar los archivos STL generados con NX 10.0.

El interfaz es sencillo y en él podemos observar en la mayor parte de la imagen el área de impresión (ver Figura 3-38). A la izquierda del mismo se encuentra la configuración del laminado, con una serie de parámetros de impresión que se comentarán a continuación. En la parte de arriba de los parámetros de configuración se encuentra la barra de herramientas.

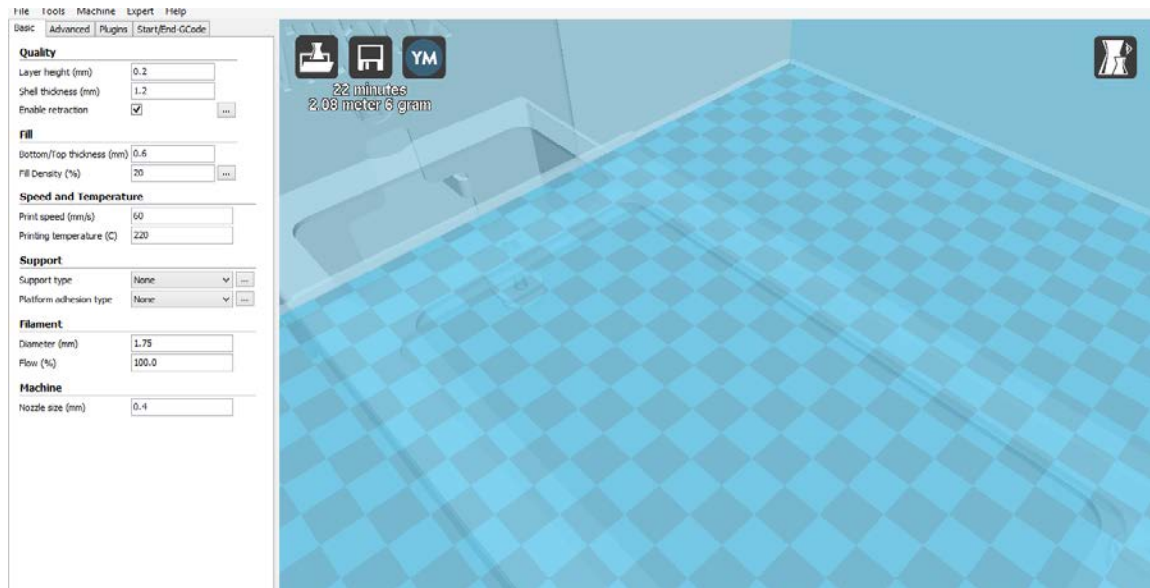


Figura 3-38 Área de impresión con Cura

El área de impresión es una representación tridimensional, coloreada con el color que se elija, del volumen de impresión. Este es el espacio que se tiene para la impresión y no se podrá exceder sus límites, ya que quedarían fuera de las demarcaciones de impresión reales de Witbox.

En esta área se encontrarán las herramientas necesarias para cargar las figuras que se deseen imprimir, modificarlas y visualizar las diferentes capas.

En cuanto a los parámetros básicos a analizar destacan (Ver Figura 3-39):

1. Calidad (Quality) : Aquí se encuentran:

- a. Altura de capa (Layer Height): Este parámetro indica la altura de capa de la impresión y está ligado a la calidad. A mayor altura de capa, menor calidad. Los valores óptimos se encuentran entre 0,1 y 0,4 mm. El principal problema es que si se desea aumentar la altura de capa, es decir, la calidad, el tiempo de impresión será mucho mayor, luego hay que buscar una solución de compromiso.
- b. Grosor de borde (Shell Thickness): Dicho parámetro determinará el ancho de borde. Este parámetro depende del diámetro de boquilla de la impresora.
- c. Habilitar retracción (Enable retraction): Este parámetro evita que el PLA o el material que se use gotee, retrayendo el plástico, evitando imperfecciones en la pieza que puedan mermar la calidad requerida. Esta opción estará siempre activada.

2. Relleno (Fill) :

- a. Grosor de la capa inferior y superior (Bottom/Top Thickness): Con este parámetro se indicarán los grosores de las capas inferior y superior. Dichas capas serán macizas, y su valor depende de la figura y el relleno que se necesite. Se indica en mm y será la altura de capa en milímetros multiplicada por el número de capas macizas que se deseen (lo normal son 3 o 4 capas)
- b. Densidad de relleno (Fill Density): Es indicativo del relleno que se desea para la pieza. Si se desea realizar una pieza que no soporte cargas el valor debe ser en torno al 20% mientras que para piezas que soporten algún tipo de carga es necesario alrededor de un 70 %, llegando en el caso de algunas piezas incluso al 100 % para este TFG. Hay que tener en cuenta que a mayor relleno mayor tiempo de impresión y mayor gasto de PLA.

3. Velocidad y temperatura (Speed and Temperature):
 - a. Velocidad de impresión (Print Speed): Si se aumenta este parámetro, la calidad será más baja, si bien el tiempo de impresión disminuirá.
 - b. Temperatura de impresión (Printing Temperature): Dependiendo del material que se use variarán las temperaturas. En el caso del material dominante en este TFG, el PLA, la temperatura se situará entre 190°C y 210°C.
 - c. Temperatura de cama (Bed Temperature): El PLA no necesita calentamiento de la cama sobre la que se apoyará la pieza.
4. Soporte (Support): En ocasiones es necesario mejorar la adherencia de la pieza mediante el uso de soportes.
 - a. Tipo de soporte (Support Type): Con esta opción se realizarán los soportes necesarios cuando se fabriquen piezas que por su geometría no se mantengan solas.
 - b. Plataforma de adhesión (Platform adhesion): Con esta opción es posible manufacturar una plataforma en la base para mejorar la adhesión. Hay dos tipos de bases, "Brim", que crea una visera en todos los bordes de la pieza, y "Raft", que genera una base sobre la que se edifica la pieza. Este último modo es el que se ha usado en el presente TFG.
5. Filamento (Filament):
 - a. Diámetro (Diameter): Aquí se introducirá el filamento del material con el que se esté imprimiendo. La Witbox admite únicamente filamento de 1,75 mm.
 - b. Flujo: Este parámetro indica la cantidad de filamento extruida por la impresora.
6. Tamaño de la boquilla (Nozzle size): Por defecto en la Witbox es de 0,4 mm.

Quality	
Layer height (mm)	0.2
Shell thickness (mm)	1.2
Enable retraction	<input checked="" type="checkbox"/> ...
Fill	
Bottom/Top thickness (mm)	0.6
Fill Density (%)	20 ...
Speed and Temperature	
Print speed (mm/s)	60
Printing temperature (C)	220
Support	
Support type	None ▼ ...
Platform adhesion type	None ▼ ...
Filament	
Diameter (mm)	1.75
Flow (%)	100.0
Machine	
Nozzle size (mm)	0.4

Figura 3-39 Parámetros básicos de impresión.

3.1.6 Elementos y uso de Witbox

Para entender las impresiones realizadas es necesario analizar los elementos que constituyen la impresora 3D que se ha utilizado (Ver Figura 3-40).

1. Panel LCD (Liquid Crystal Display): Pequeño recuadro luminoso y azul en el que se muestra información básica del estado de la impresora.
2. Rueda de control: Es una rueda metálica que permite desplazarse por los diferentes menús que se muestren en el Panel LCD.
3. Ranura SD: Ranura situada dentro de la impresora, justo en la parte trasera del panel LCD, donde se introduce la tarjeta SD que proporciona BQ al adquirir la impresora.
4. Base de impresión: Es la "cama" de la impresora, donde se situarán las piezas una vez impresas. Está fabricada en cristal.
5. Hot-End: Es la parte metálica que adquiere una temperatura de 200°C y por donde es extruido el polímero fundido.
6. Extrusor: Conjunto formado por el ventilador, el motor de arrastre del filamento y el Hot-End.
7. Bobina de filamento: Como ya se expuso en el apartado 3.1.3, el material termoplástico se vende en forma de bobinas. En este caso es de 1,75 mm de grosor.
8. Soporte de bobina: Pieza de metal que sujeta la bobina a la parte trasera de la impresora.
9. Guía Fibonacci: Es un tubo de plástico que sirve, como su propio nombre indica, para guiar el filamento hasta el extrusor.
10. Puerto USB: Para insertar un USB (No visible en la Figura 3-40)
11. Toma de alimentación: Situado en la parte inferior trasera.
12. Interruptor ON/OFF: Sirve para encender o apagar la impresora.

En total todo pesa alrededor de 28 kg, lo que hace a Witbox una impresora ligera y de fácil transporte.

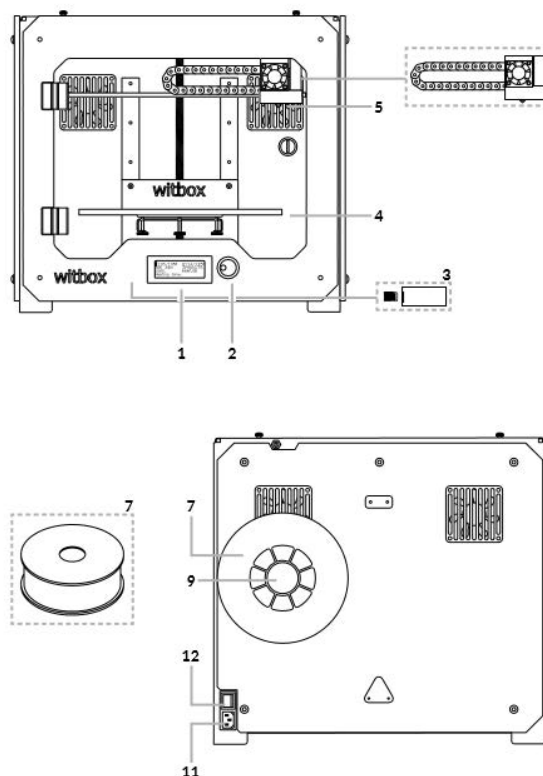


Figura 3-40 Elementos de la impresora 3D Witbox (Fuente: [5])

3.1.7 Cómo imprimir las piezas, una elección a tener en cuenta

La posición en que se imprimen las piezas con Witbox tiene múltiples consecuencias tanto para el tiempo de impresión como para el coste.

Una buena elección de dicha posición de la pieza en el área de impresión puede ahorrar hasta un 10% del tiempo. Por ello se analizarán cuales son las formas óptimas de impresión acorde a los tiempos y a los gramos de materia prima.

1. Brocal o pozo del cargador: La primera posición que se analizará es la que se puede ver en la Figura 3-41. En dicha posición se selecciona un soporte tipo "brim", del que se habló en el apartado 3.1.5 y un soporte para voladizo, llamado "touching buildplate".

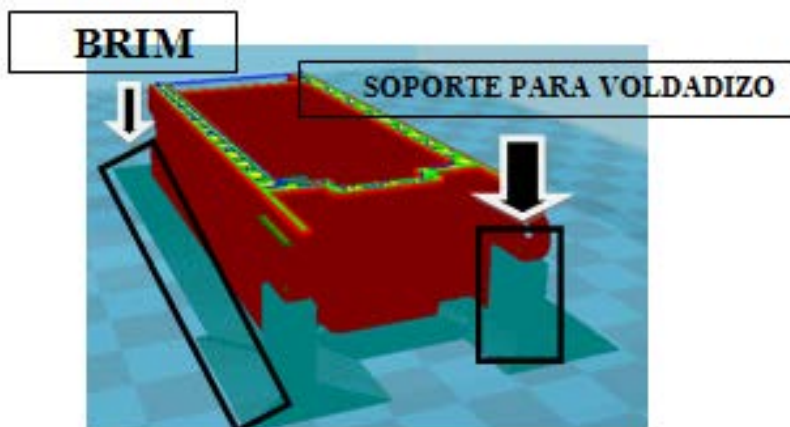


Figura 3-41 Screenshot de Cura con la posición nº 1 para el brocal o pozo con soportes

Con dicha posición se puede observar que el tiempo de impresión es de 4 horas y 21 minutos, necesitando 38 gramos de PLA para dicha pieza, teniendo en cuenta los soportes.

Respecto a la segunda posición (ver Figura 3-42), contraria a la primera posición, se necesitan 53 gramos de materia prima para su ejecución y un tiempo claramente superior, de 5 horas 32 minutos.

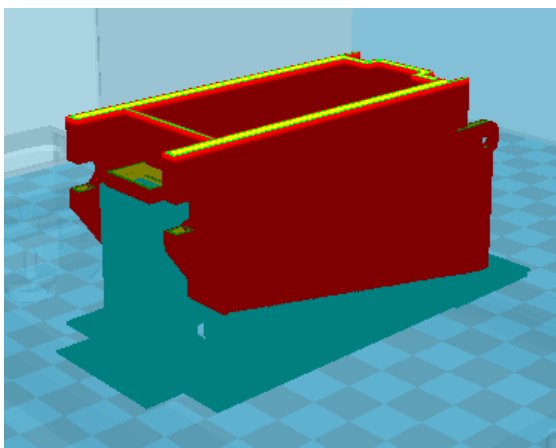


Figura 3-42 Screenshot de Cura con la posición nº 2 para el brocal o pozo del cargador

La tercera posición probable es de lado, como se muestra en la Figura 3-43. Si bien con esta posición el ahorro de tiempo es de 53 minutos, siendo el tiempo total de 3 horas 28 minutos, no se ha elegido finalmente debido a que la cara que está en contacto con el

sopORTE necesitará postprocesado y la rugosidad de dicha cara sería excesiva. El coste total de materia prima es 1 gramo menos que con la posición n°1, siendo de 37 gramos.

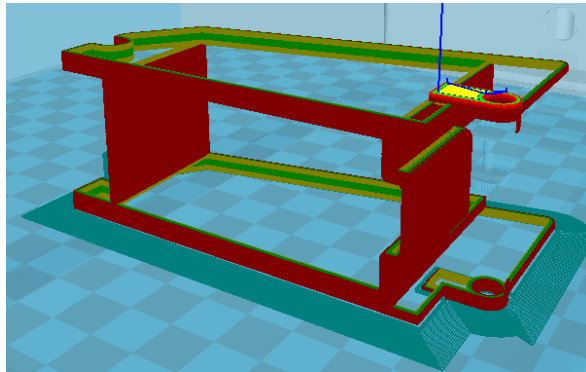


Figura 3-43 Screenshot de Cura con la posición n°3

El postprocesado que necesita esta posición es debido a que la pieza solamente toca con la base por su extremo, como puede verse en la Figura 3-44. Es por esto que al estar en voladizo el resto de la pieza se requiere de un soporte, que posteriormente será eliminado. Una forma de eliminar este soporte o en cuyo caso reducirlo para prevenir el mal acabado de la pieza en esta cara es rediseñar la pieza de manera que haya más apoyos con la base de impresión, siempre que éstos no afecten a la funcionalidad de la pieza en cuestión.

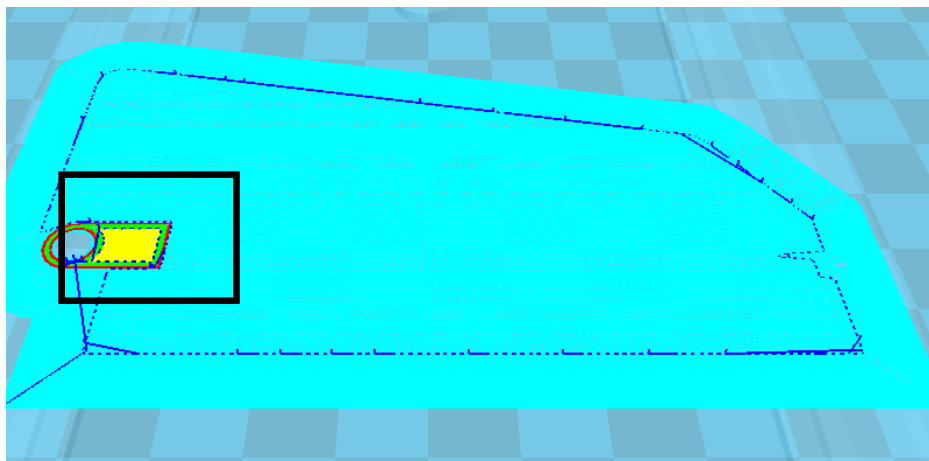


Figura 3-44 Screenshot de Cura donde se aprecia la zona que no necesita de soporte

Finalmente se selecciona la posición n°1 para imprimir el brocal o pozo del cargador, debido a que entre la posición n°2 y la n°1 es la que necesita menor materia prima y requiere menos tiempo.

2. Guardamanos: En cuanto al guardamanos solamente hay dos posiciones probables, ya que esta pieza está restringida por su longitud. La posición n°1, ver Figura 3-45, requiere un tiempo de 21 horas y 19 minutos, y requiere 258 gramos de PLA para su fabricación.

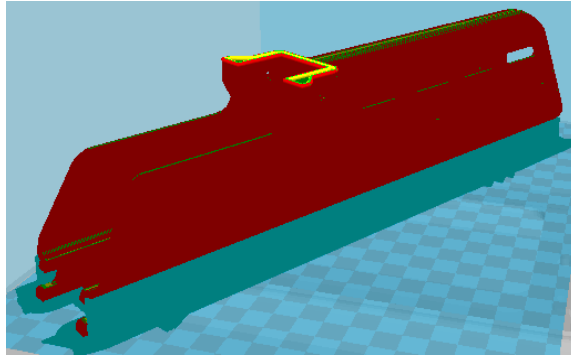


Figura 3-45 Screenshot de Cura con la primera posición posible para el guardamanos

La posición n°2 es contraria a la n°1, y requiere 36 horas 11 minutos, y el uso de 389 gramos, principalmente por la necesidad de mayor soporte que en la posición n°1, lo que probablemente traerá mayores problemas de postprocesado.

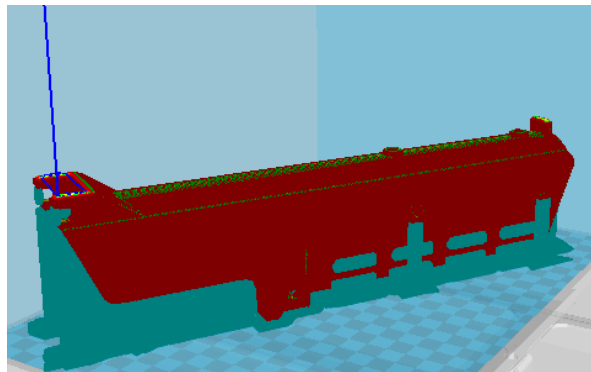


Figura 3-46 Screenshot de Cura con la segunda posición para el guardamanos

Por la razón del tiempo requerido y el uso de mayor material se ha seleccionado la posición n°1 para la impresión del guardamanos.

3. Pernos o pasadores de sujeción: A continuación se analizarán los pernos o pasadores de sujeción, donde hay tres posibilidades de impresión. Se imprimirán tres de ellos, dos sin agujero pasante y uno con dicho agujero. La primera de ellas es la que se puede observar en la Figura 3-47. Esta impresión requiere de 3 gramos de PLA y un tiempo total de 50 minutos.

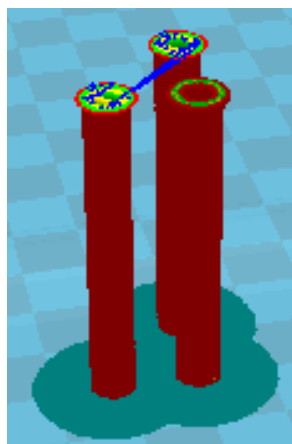


Figura 3-47 Screenshot de Cura en la posición n°2 de los pernos de sujeción

En el caso de la posición n°2, con las piezas en posición inversa, el tiempo requerido es el mismo, 50 minutos, y los gramos de PLA también son los mismos, 3 gramos.

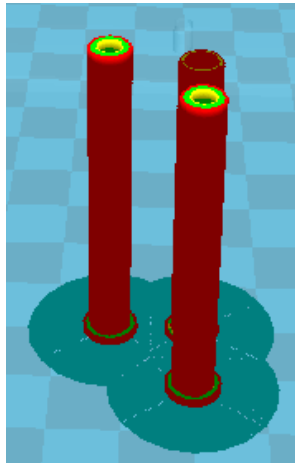


Figura 3-48 Screenshot de Cura con la posición n°2 de los pernos de sujeción

La posición n°3 consiste en colocar las piezas horizontalmente, y requiere menor tiempo que las dos anteriores, siendo el tiempo total de 44 minutos. Sin embargo, debido a que el soporte es mayor, se necesitan 5 gramos de PLA.

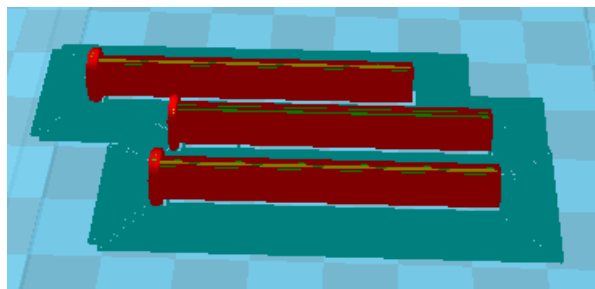


Figura 3-49 Screenshot de Cura con la posición n°3 de los pernos de sujeción

Aunque esta última posición requiere menos tiempo y sólo 2 gramos más de PLA, se descarta debido a que el postprocesado puede alterar la rugosidad normal de la pieza y afectar a las dimensiones del diámetro, pudiendo impedir que el perno ejerza su función en el fusil.

Por estas razones es posible elegir cualquiera de las dos primeras posiciones. En el caso de este TFG se elige la primera de ellas.

4. Pistolete: La siguiente pieza que se analizará será el pistolete, con sus tres posibles posiciones. La primera de ellas es la que se ve en la Figura 3-50. Dicha posición demanda 206 gramos de PLA y tarda un tiempo de 20 horas 22 minutos. Hay que destacar que, aún siendo la empuñadura del pistolete completamente hueca en la pieza real, se va a imprimir ésta como si no lo fuera, debido a que dicha empuñadura puede estar sometida a grandes esfuerzos de compresión por parte del usuario que comprometerían su funcionamiento en caso de ser hueca.

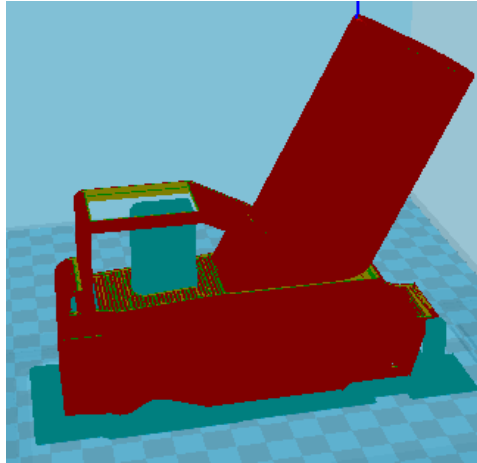


Figura 3-50 Screenshot de Cura con la posición n°1 para el pistolete

La segunda posición, que se puede observar en la Figura 3-51, requiere 287 gramos de PLA, y un tiempo de 27 horas 13 minutos. El incremento de PLA y tiempo es, como se puede observar en dicha figura, debido al aumento del soporte.

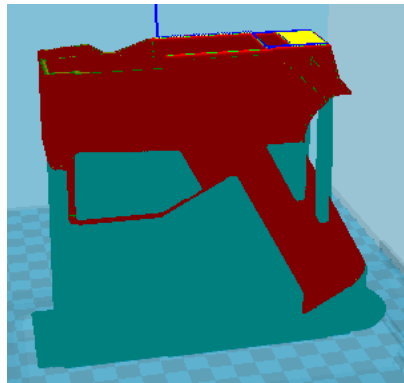


Figura 3-51 Screenshot de Cura con la posición n°2 para el pistolete

En cuanto a la tercera posición, de lado, se requieren 121 gramos de PLA y un tiempo de 14 horas y 31 minutos. Tan drástica bajada tanto de tiempo como de PLA es debido a que apenas necesita soporte la pieza, como se puede ver en la Figura 3-52.

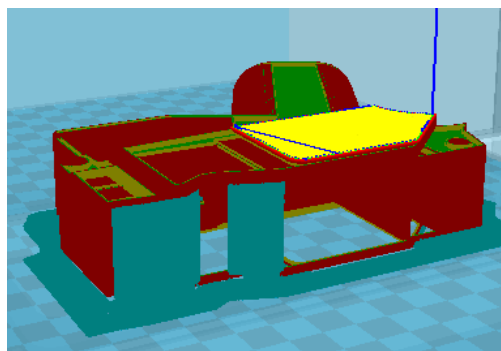


Figura 3-52 Screenshot de Cura con la posición n°3 para el pistolete

Analizadas las posibles posiciones del pistolete se selecciona la posición n°1, por requerir menor cantidad de PLA y menor tiempo, y debido a que no habrá problemas de postprocesado.

5. Selector: Finalmente se analizará la última pieza que debe ser imprimida en PLA, el selector, que consta de dos piezas, como se expuso en el apartado 3.1.2. Dicha/s pieza/s, en la posición n°1 posible, la que se muestra en la Figura 3-53, demanda 8 gramos de materia prima y requiere 1 hora y 14 minutos de manufactura.

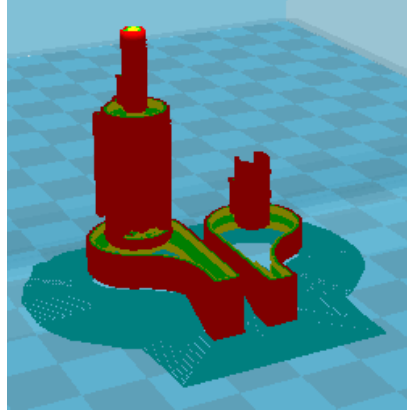


Figura 3-53 Screenshot de Cura con la primera posición para el selector

La posición n°2 (ver Figura 3-54) destaca por un aumento considerable del soporte, siendo el tiempo de impresión de 2 horas 32 minutos, y demandando 19 gramos de PLA.

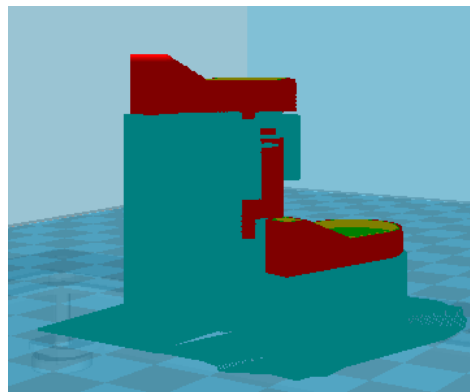


Figura 3-54 Screenshot de Cura con la segunda posición para el selector

La tercera y última posición analizada se puede ver en la consume 8 gramos de PLA y el tiempo de fabricación es de 1 hora y 10 minutos. Es decir, los mismos gramos de PLA que en la posición 1, pero 4 minutos menos de tiempo de impresión.

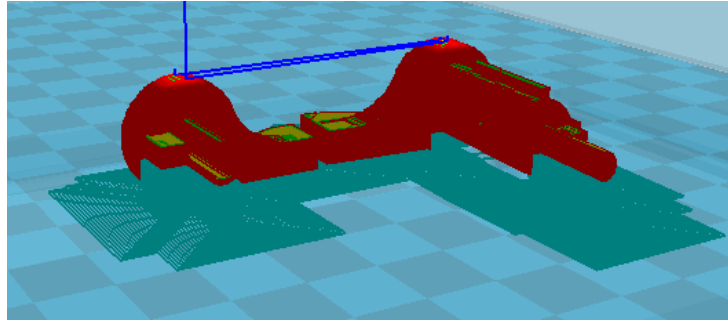


Figura 3-55 Screenshot de Cura con la tercera posición para el selector

Analizadas dichas posiciones, se selecciona la posición n°1, pues las rugosidades que genera el postprocesado en la posición n°3 sobre los ejes pueden hacer que estos ejes pierdan calidad dimensional.

6. La siguiente y última pieza es el protector de goma del visor, que se imprimirá con Filaflex de BQ. Aunque la forma de la pieza hace evidente la posición más adecuada de la misma para su impresión, se estudiarán las dos alternativas.

En la posición n°1 (ver Figura 3-56) consume 3 gramos de PLA y requiere 28 minutos de impresión.

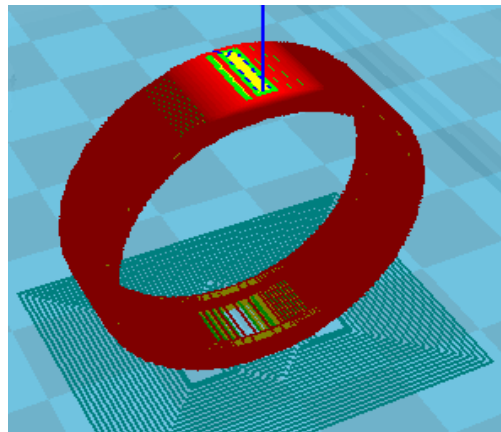


Figura 3-56 Screenshot de Cura con la primera posición para el protector de goma del visor

En la posición n°2, que se muestra en la Figura 3-57, el tiempo es de 13 minutos y 2 gramos de PLA.

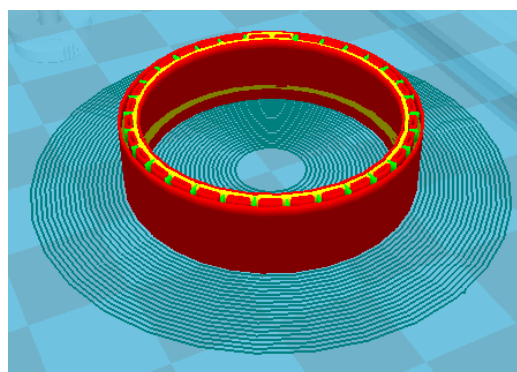


Figura 3-57 Screenshot de Cura con la segunda posición para el protector de goma del visor

Por requerir menos tiempo y materia prima se selecciona la posición n°2 para imprimir el protector de goma con Filaflex.

3.1.8 Parámetros específicos de las impresiones

Como se expuso en el apartado 3.1.5, la impresión, a través del software Cura requiere de unos parámetros que determinarán la calidad que se requieren para las piezas. Estos parámetros pueden variar en función de la calidad dimensional que debe tener la pieza, si se desea que ésta aguante un mínimo de cargas o deba estar sometida a ellas, entre otros.

Los parámetros han sido los mismos para la mayoría de las piezas, no siendo así para el caso de los pernos o pasadores de sujeción ni el selector.

En dichas piezas (selectores) el porcentaje de densidad de relleno ha sido de un 70%, siendo con los pernos o pasadores de sujeción del 100%, debido a que éstos deben estar sometidos a ciertas cargas. En la figura que se muestra a continuación se muestran dichos parámetros:

The image shows a screenshot of the Cura software interface with various settings sections. The 'Quality' section includes 'Layer height (mm)' at 0.1, 'Shell thickness (mm)' at 1,2, and 'Enable retraction' checked. The 'Fill' section has 'Bottom/Top thickness (mm)' at 1 and 'Fill Density (%)' at 20, which is highlighted with a black box. The 'Speed and Temperature' section shows 'Print speed (mm/s)' at 50 and 'Printing temperature (C)' at 210. The 'Support' section has 'Support type' set to 'Touching buildplate' and 'Platform adhesion type' set to 'Brim'. The 'Filament' section shows 'Diameter (mm)' at 1.75 and 'Flow (%)' at 100.0. The 'Machine' section shows 'Nozzle size (mm)' at 0,4.

Section	Parameter	Value
Quality	Layer height (mm)	0.1
	Shell thickness (mm)	1,2
	Enable retraction	<input checked="" type="checkbox"/>
Fill	Bottom/Top thickness (mm)	1
	Fill Density (%)	20
Speed and Temperature	Print speed (mm/s)	50
	Printing temperature (C)	210
Support	Support type	Touching buildplate
	Platform adhesion type	Brim
Filament	Diameter (mm)	1.75
	Flow (%)	100.0
Machine	Nozzle size (mm)	0,4

Figura 3-58 Parámetros específicos de las impresiones realizadas

Como se ha señalado en la figura anterior, el "Fill Density (%)" ha sido necesario modificar debido a la experiencia de piezas que quebraban por tener un relleno del 20% (dichas pruebas se explican en apartados posteriores).

3.1.9 Primeras pruebas

Una vez configurada la impresora y con los archivos generados y exportados en STL se realiza la primera prueba de impresión concretamente del pozo o brocal del cargador, en escala 1:2, con el fin de descartar posibles fallos de impresión sin desperdiciar PLA.

Al introducir el brocal en formato STL en Cura éste nos indica que el tiempo de impresión será de 4 horas 21 minutos para el caso de escala 1:1, como se expuso en el aparatado anterior. Para la pieza en escala 1:2 el tiempo es de 45 minutos.

Una vez realizada la primera prueba se analiza el posible error y se obtiene el resultado de que si el Hot-End se encuentra separado más de 0,1 mm de la base mientras extruye el material fundido, éste se depositará de forma errática, obteniéndose un objeto como el que se ha obtenido en la Figura 3-59..Es decir, la base estaba mal calibrada inicialmente.

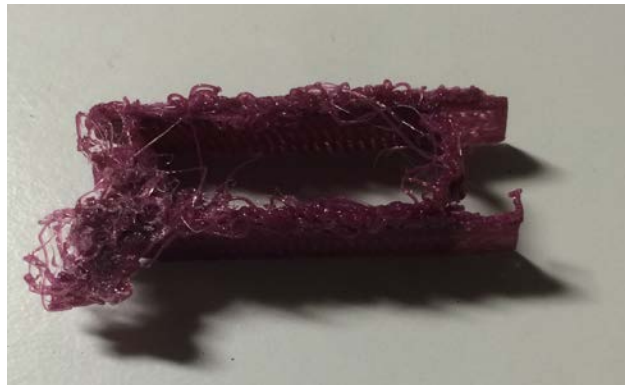


Figura 3-59 Primera prueba a escala 1:2

Tras el fallo en la primera prueba se realizan los ajustes necesarios para mantener el Hot-End a 0,1 mm distancia de la cama y posteriormente se realiza otra impresión, resultando la pieza de la izquierda de la Figura 3-60. Se puede observar que el acabado de las paredes no es el correcto, ya que se produjo un error al introducir un dato incorrecto en el software Cura, concretamente en el diámetro del filamento, que estaba predeterminado por el software como 2,45 mm, siendo éste incorrecto, ya que la bobina de PLA y el diámetro con el que trabaja la Witbox es de 1,75 mm. Una vez cambiado este parámetro se obtuvo un objeto impreso de forma correcta, como se puede observar en la Figura 3-60.

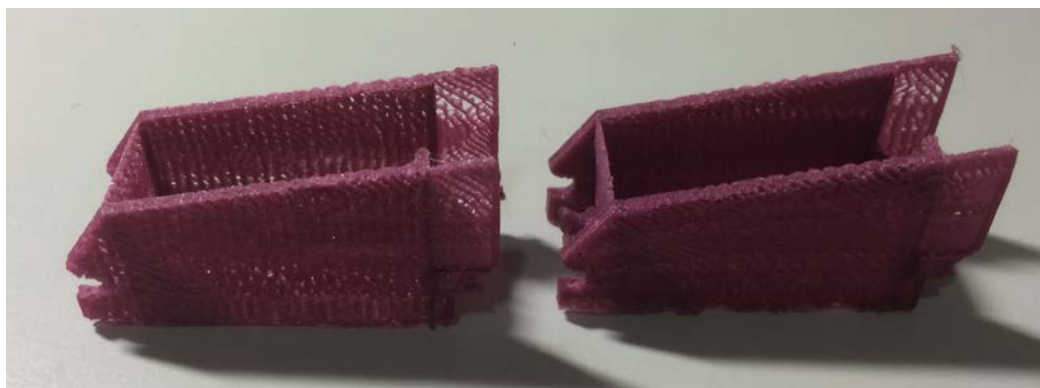


Figura 3-60 Segunda prueba a la izquierda y tercera a la derecha

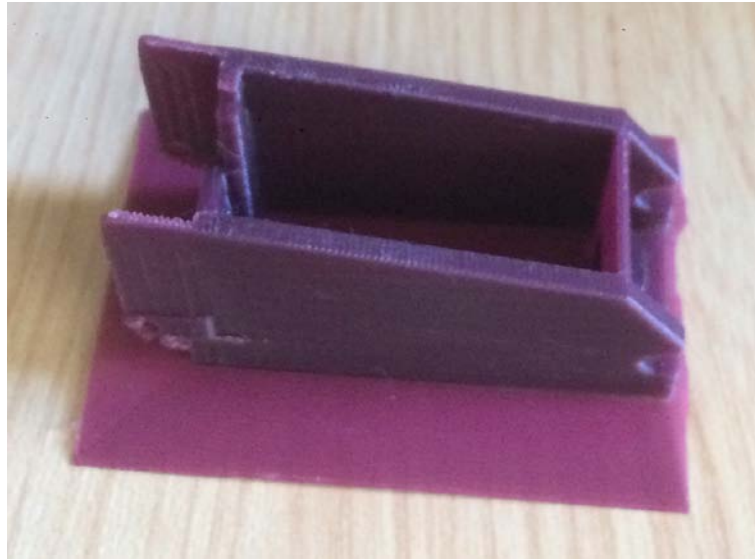


Figura 3-61 Primera impresión realizada correctamente a escala 1:2

La inspección minuciosa de la pieza indica que existe una superficie con escalones o capas. Para disminuir el efecto que pueda provocar estas superficies en la tolerancia admisible se podría aplicar un postprocesado con recubrimiento, pero como en este caso la tolerancia de la pieza no se ve comprometida no es necesario.

Tras analizar la pieza visualmente se comprueba que el estado es óptimo y se procede a fabricar la pieza en escala 1:1, como se puede ver en la Figura 3-62. Al sustituir esta pieza en el G36 E de adiestramiento se observa que hay un fallo ya que los agujeros no coinciden de forma exacta con los del fusil, si bien la pieza encaja a la perfección. Es por esta razón que es necesario analizar si ha sido un fallo de diseño CAD o bien un error en la impresión debido a la contracción del material.

Una vez comprobado que el error no ha sido producido por un fallo en la impresión sólo queda la opción del diseño CAD debido a errores de medición con el instrumento de medición y a errores del operador, por lo que se requiere un diseño nuevo de la pieza, para poder implementarla en el fusil.

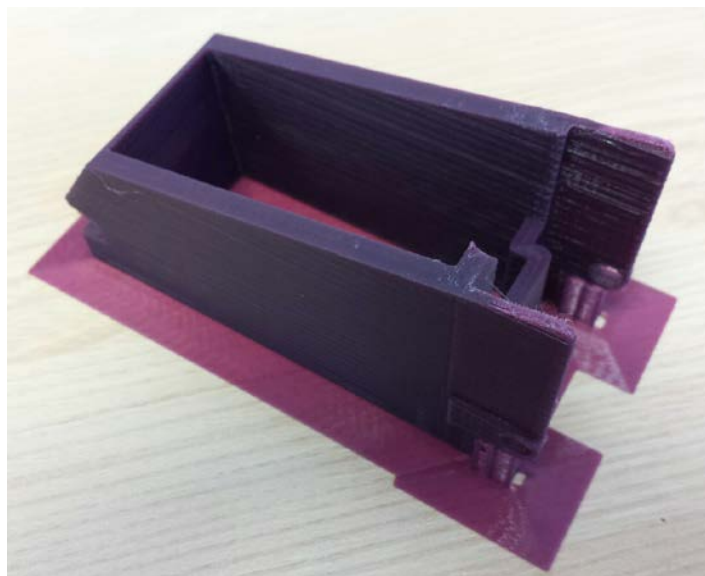


Figura 3-62 Brocal del cargador a escala 1:1

A continuación se imprime el guardamanos que, como la pieza anterior, se fabricará primero en escala 1:2 para detectar posibles fallos de impresión.

Esta pieza resulta complicada para la impresora, ya que una vez construida la parte inferior derecha, la siguiente rebanada requiere colocar el filamento en un lugar donde no hay material por debajo que lo sostenga, por lo que se selecciona la opción de crear un soporte que toque la base de impresión. Además, se extruirá un soporte de material (como de los que se expuso en 3.1.6), aparte del material de modelado, para una mayor adhesión. En este caso el soporte es Brim.

El material de soporte de base de impresión se produce con capas cuyo espaciado es de menor densidad que el filamento, de manera que es más frágil que el material del objeto, de forma que pueda ser eliminado con facilidad sin un postprocesado demasiado complejo. (Ver Figura 3-63).

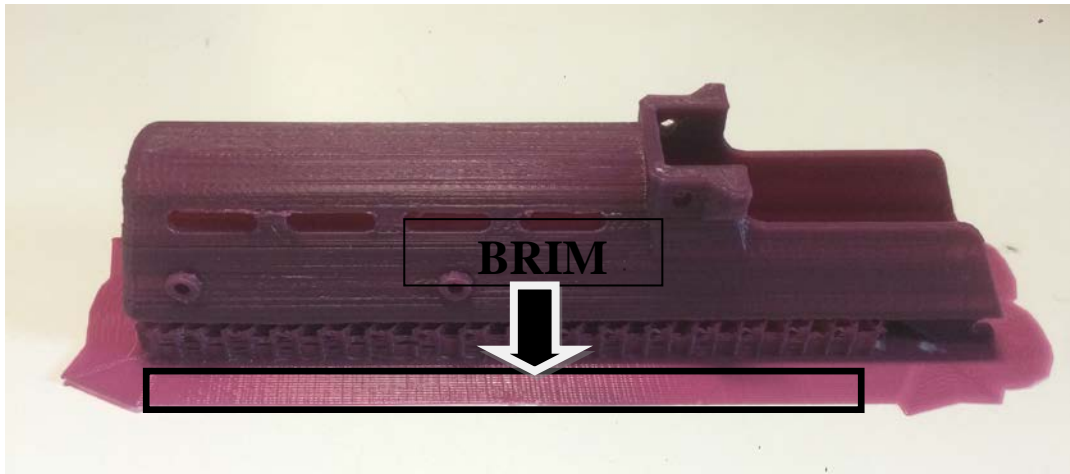


Figura 3-63 Guardamanos impreso en 3D a escala 1:2.

Ahora se imprimirán las piezas más pequeñas, tales como los pernos de sujeción (tanto con agujero pasante como sin él), el selector y el apoyo del visor.

En la siguiente figura, la Figura 3-64 Pernos de sujeción con y sin agujero pasante, se pueden observar ambos pernos.

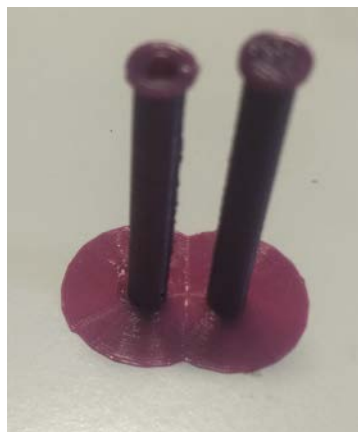


Figura 3-64 Pernos de sujeción con y sin agujero pasante

Lo siguiente que se va a imprimir es, como se ha dicho, el selector y el apoyo del visor, como se puede observar en la Figura 3-65. Si bien el apoyo del visor se realizará con Filaflex, se ha creído conveniente realizar una primera prueba en PLA para analizar su estado visualmente.

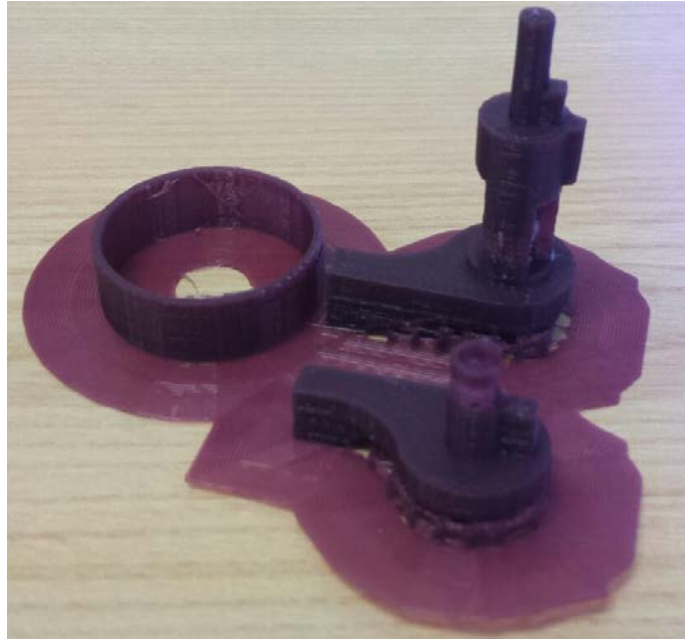


Figura 3-65 Selector y apoyo del visor

Tanto el perno de sujeción sin agujero pasante como los selectores tuvieron errores de impresión, relacionados con el relleno (ver 3.1.5, punto 2), ya que estas piezas no pueden ser impresas con un relleno inferior al 70% (como se expuso en el apartado 3.1.8), ya que soportarán cargas que deben resistir. Tras hacer una prueba, rompieron en aquellas zonas donde el relleno era menor, como se puede apreciar en la Figura 3-66. En el caso de los pernos o pasadores de sujeción se imprimirán con un relleno del 100% para evitar su rotura.

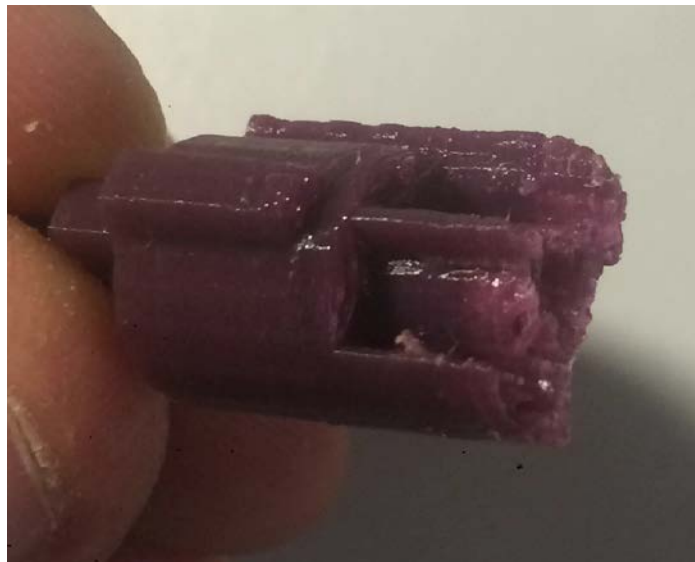


Figura 3-66 Selector que sufrió rotura debido a falta de relleno en su eje central

3.1.10 Pruebas finales

Una vez realizadas todas las pruebas iniciales para comprobar el funcionamiento de la impresora y los parámetros de impresión asociados, se realizan las impresiones finales.

La primera pieza que se imprime es el brocal o pozo del cargador, una vez que se ha rediseñado debido al fallo de diseño anteriormente descrito. La pieza final puede observarse en la Figura 3-67.

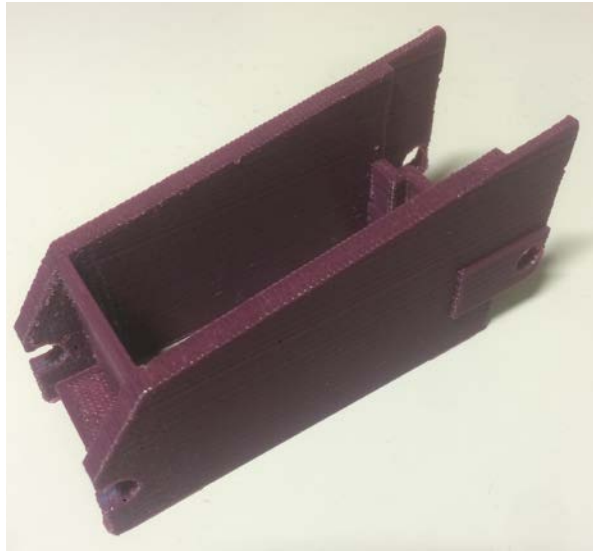


Figura 3-67 Brocal o pozo del cargador tras la impresión final

Tras esta pieza se imprimen los pernos o pasadores de sujeción (Ver Figura 3-68). En esta ocasión con un relleno del 100%, con el fin de poder prolongar su tensión máxima de rotura.



Figura 3-68 Pernos o pasadores de sujeción tras la impresión final

Una vez realizada esta impresión, se seleccionan los selectores para su manufactura aditiva. En el caso de estos selectores el relleno, como se ha comentado, será del 70%.

Ambos selectores se pueden apreciar en la Figura 3-69.

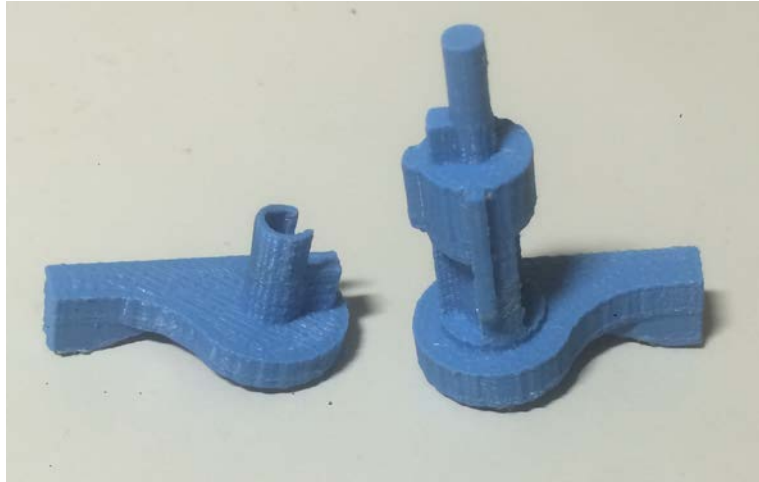


Figura 3-69 Prueba final de impresión de los selectores

Finalizadas estas piezas se imprime el pistolete, una pieza con la que no se habían realizado pruebas anteriores (Ver Figura 3-70).

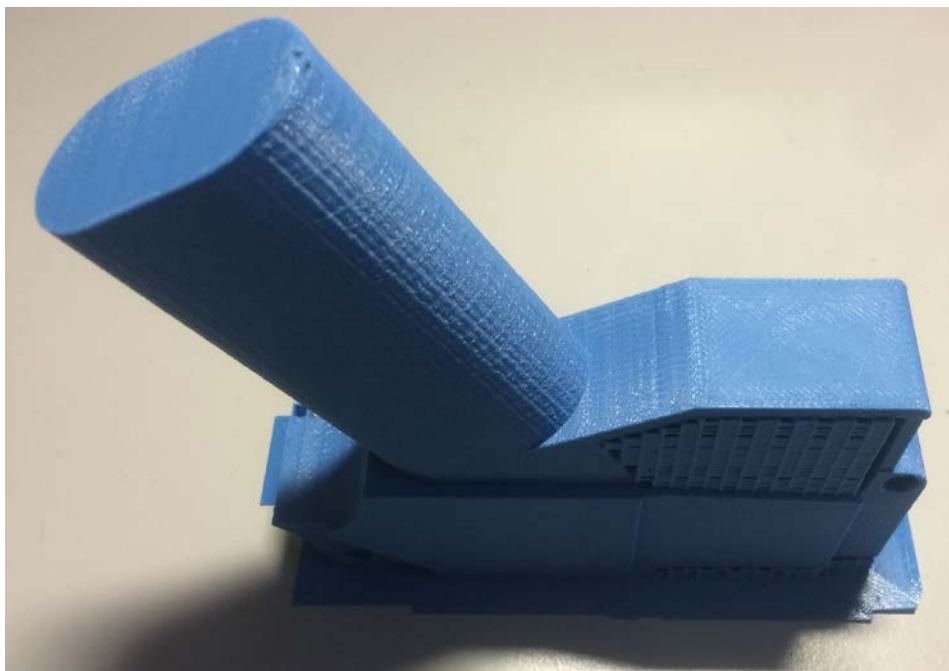


Figura 3-70 Pistolete impreso en 3D

Igualmente se realizaron las piezas guardamanos y protector de goma del visor, esta última realizada en FilaFlex.

3.2 Análisis de peso

Una de las pruebas que se han de realizar, tanto a las piezas impresas, como a las originales, es un ensayo de peso, para comparar si estas piezas añadirían peso o lo disminuirían al usuario. Para ello se usa una báscula marca "Blau Scal", que soporta un máximo de peso de 600 gramos con una precisión de 0,01 gramos.

A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos:

Pieza	Peso de pieza original (g)	Peso de pieza impresa (g)
Brocal o pozo del cargador	39,04	37,45
Guardamanos	147,23	165,3
Pistolete *	88,87	131,23
Perno	5,9	1,81
Selector	5,25 (izq y dcho)	6,29

Tabla 3-4 Comparación de pesos en gramos de las piezas impresas y originales

* Como se ha comentado en el apartado 3.1.7, el pistolete original es hueco, sin embargo se ha optado por imprimir su empuñadura obviando este hecho, por lo que su peso varía considerablemente.

Excepto en el caso del pistolete, el peso es similar para el resto de las piezas, por lo que no se considera una desventaja a tener en cuenta.

4 RESULTADOS Y VALIDACIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Obtención de sólidos mediante escáner 3D Ciclop

El uso del escáner de BQ Ciclop es una herramienta de ingeniería inversa que no ha cumplido la demanda prevista ni para piezas de geometría sencilla ni para aquellas con geometrías con caras ocultas, curvas y agujeros. Si fueran correctos los sólidos generados se ahorraría aproximadamente un 80% de tiempo en la generación de los sólidos.

Aún cuando la pieza a realizar es sencilla los errores no son aceptables, como el caso de la Figura 4-1.

Su uso representa más una ayuda para comprobar que algunas mediciones han sido correctas, ya que los cálculos que realiza el escáner son precisos.

En todos los casos representa una mayor complejidad que la generación mediante CAD, por lo que se descarta el uso de Ciclop para realizar cualquier geometría. Además, no resulta del todo necesario ya que una vez generada la pieza en sólido, no es necesario otra vez su uso. Se ha observado además que el escaneado es considerablemente mejor cuando se realiza con textura, pero sin llegar a cumplir los resultados demandados.



Figura 4-1 Comparativa entre diseño CAD, sólido obtenido con Ciclop y perno original

En la siguiente figura se puede obtener otro ejemplo de que el uso de Ciclop en concreto **NO** es satisfactorio para la generación de sólidos a partir de escaneados.

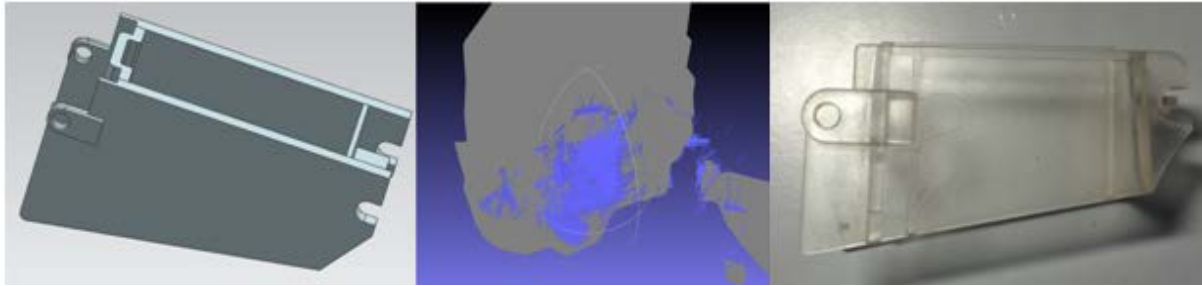


Figura 4-2 Comparativa entre diseño CAD, sólido obtenido con Ciclop y brocal original

Por estas razones **NO** se recomienda el uso de Ciclop para generar sólidos como alternativa a su diseño en software CAD.

4.1.2 Errores en la medición

Al medir con el pie de rey el brocal del cargador y posteriormente imprimir la pieza se ha comprobado que la medida del agujero pasante estaba mal tomada, distando de la real 1.5 mm, lo que ha provocado que los pernos de sujeción no pudieran entrar, desechando en ese momento esta pieza impresa.

Este error de medición es debido, entre otros a:

- Errores por el instrumento de medición: Estos son debidos a defectos de fabricación, como deformaciones y falta de linealidad.
- Errores del operador: Debido a falta de agudeza visual, cansancio y descuido.
- Error por el uso de instrumentos no calibrados: Los instrumentos no calibrados o cuya fecha de calibración haya caducado no deben utilizarse hasta que no sean calibrados y autorizados para su uso.

La compra del pie de rey se realizó el día 28/11/2012 y desde entonces no ha sido vuelto a calibrar en ningún caso, si bien como norma general se establece que debe ser calibrado cada 12 meses o incluso menos si el instrumento de medida es usado por operarios no cualificados y donde el uso es frecuente. Si no ha habido incidencias entre dos calibraciones, se puede ampliar el período de calibración al doble. [19]

4.1.3 Impresión 3D con Witbox

En la práctica, con la impresora se ha observado que es preciso evitar hacer partes o bordes en las piezas donde el grosor sea menor a 1 mm, ya que se ha podido comprobar que en estas áreas donde el grosor es menor al citado anteriormente la fractura de las piezas es frecuente, incluso en ocasiones ni siquiera sobreviven al proceso de impresión.

También se ha visto la necesidad de crear un soporte para el guardamanos como el que se muestra en la Figura 4-3, debido a que la contracción de la materia prima debido al cambio de temperatura en piezas de gran longitud puede hacer que éstas se arqueen en su base.

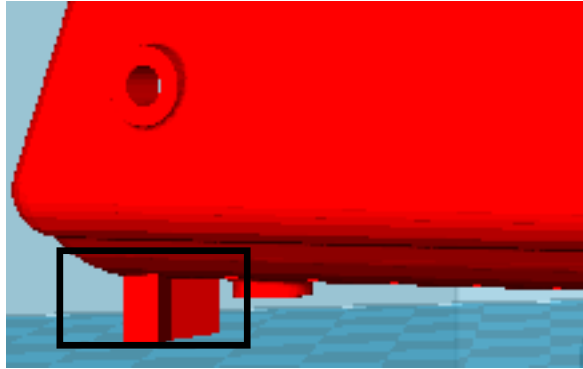


Figura 4-3 Screenshot de Cura del guardamanos con apoyo para evitar contracción

Como se ha explicado en el apartado 3.1.5, para aquellas piezas que soporten cargas, como es el caso de los pernos o pasadores de sujeción, la densidad de relleno debe ser del 70% o superior.

Además, la posición de las piezas es un factor clave para que la pieza se imprima en condiciones óptimas, pudiendo ahorrar también materia prima y disminuir los tiempos de impresión.

4.2 Prueba

Mientras que la inspección determina la calidad en relación con las especificaciones de diseño, la prueba hace referencia a la funcionalidad del producto. ¿Es verdaderamente funcional? ¿Funcionará durante un período considerable? ¿Cómo le afectará la temperatura generada por los disparos del arma a las piezas impresas en PLA?

Para responder a estas preguntas es necesario realizar una prueba de tiro, en condiciones normales de operación, y analizar visualmente qué ocurre con las piezas impresas en 3D.

Debido a la falta de tiempo se ha descartado incluir en la memoria esta prueba de tiro, si bien se analizarán las piezas impresas en el montaje y en su funcionalidad.

4.3 Análisis económico

Para poder afirmar que el proyecto es viable como sustitución de piezas a modo de repuestos de urgente necesidad, es necesario realizar un estudio económico y logístico para poder determinar si es rentable o no el uso de la manufactura aditiva.

Para ello se debe analizar el coste de cada repuesto así como los costes de distribución. Repuesto, según [20] es *"toda pieza que tiene aplicación en un Sistema/Equipo/Componente determinado y que se almacena en pañoles para reemplazar al idéntico instalado, en caso de avería de éste o durante los mantenimientos programados"*.

Según [20] *"cuando un repuesto se consume a un ritmo superior a una unidad en el Periodo de Autonomía Logística, se denomina repuesto de gran demanda. Cuando el ritmo de consumo sea inferior a una unidad se denomina Repuesto de baja demanda. A los Repuestos de baja demanda que cumplan alguno de los siguientes requisitos se les llama Repuestos de seguridad:*

- Ser esencial para la misión o función del BUI (Buque, Unidad o Instalación).
- Ser esencial para la seguridad de la dotación."

A continuación se desglosa el coste monetario de cada repuesto, según los datos obtenidos del destino de Aprovisionamiento y Contratación de la Escuela Naval Militar, con el correspondiente número de identificación nacional del artículo (NIIN, National Item Identification Number).

Pieza	NIIN [16]	Coste en €
Brocal del cargador	12-339-6705	3
Perno o pasador de sujeción	12-339-6311	4,30
Guardamanos	12-350-6029	4,7
Protector de goma del visor	12-339-6814	0,7
Pistolete	12-350-6030	4,2
Selector izquierdo y derecho	12-339-6703 y 12-339-6704	0,5

Tabla 4-1 Coste monetario de la adquisición de los repuestos indicados con su NIIN

El coste total de las piezas es de **17,4 €**

A continuación se desglosa el coste de transporte desde Madrid (España) a Yibuti, de un peso de 0,5 kg (aproximadamente el peso de todas las piezas) que el Operador Logístico aplica a Defensa, según los datos facilitados por el Servicio de Transportes de la Dirección de Abastecimiento y Transporte (DAT) de la Jefatura de Apoyo Logístico (JAL):

Paso	Coste en €
Recogida	5,29
Despacho de exportación	74,81
Flete	71,82
Sobrecargo fuel (1,11 €/Kg)	0,55
Seguridad MXC (0,15€/Kg)	0,07
Transmisión obligatoria	9,87
Seguro	19
Entrega en destino	40
IVA 21%	46,49

Tabla 4-2 Desglose de costes de transporte a Yibuti de 500 gramos de repuestos

Siendo el coste total de transporte de 267,9 € Luego el coste final (Coste final = Coste de las piezas según inventario + Coste de transporte) es de **285,31€**

Para analizar el coste de cada pieza con la impresora se calculan los gramos que se han usado de PLA, sin contar las primeras pruebas.

Pieza	Gramos
Brocal del cargador	38
Perno o pasador con agujero pasante y sin agujero pasante (X3, uno con, dos sin)	3
Guardamanos	258
Protector de goma del visor	3
Pistolete	206
Selector	8
<u>Total:</u>	<u>516</u>

Tabla 4-3 Gramos de materia prima requerido para la impresión de cada pieza

Conociendo el consumo de la impresora que es de 348W/h y sabiendo que el coste medio del KW/h es de 0,1 céntimos de euro [21], y conociendo el tiempo total de impresión, (desglosado más adelante), que es de 48 horas 19 minutos, se obtiene que el coste energético de todas las impresiones ha sido de 1,68 €. Conociendo además el coste del PLA, que es de 19,95 € el Kg, y habiendo consumido 516 gramos, como se muestra en la Tabla 4-3, se obtiene que el coste total de materia prima en las piezas es de 10,29 €

Es decir, el coste total de la manufactura aditiva de las piezas con la impresora Witbox ha sido de **11,97 €** (Lo que supone ya un ahorro respecto a su adquisición de 5,43 €).

En caso de que la impresora esté disponible en zona de operaciones, se ahorran los gastos de transporte. Por ello el ahorro final es: **Ahorro total = Ahorro con fabricación aditiva + Ahorro de transporte = 5,43 + 267,9 = 273,33 Euros.**

Por otro lado, y suponiendo la inversión de la impresora es de 1384 € y que el coste de transporte de dicha impresora a Yibuti desde Madrid (España) (acorde a datos por la DAT de la JAL) es de 661,76 € (Ver Tabla 4-4).

Paso	Coste en €
Recogida	5,29
Despacho de exportación	74,81
Flete	71,82
Sobrecargo fuel (1,11 €/Kg)	31,08
Seguridad MXC (0,15€/Kg)	4,2
Transmisión obligatoria	9,87
Seguro	309,84
Entrega en destino	40
IVA 21%	114,85

Tabla 4-4 Desglose del coste de transporte a Yibuti del peso de 28 Kg

Luego el coste final de adquisición de la impresora (1384 €), su traslado (661,76 €) e impresión de los repuestos (11,97 €) es de 2057,73 €

Es decir, NO es rentable trasladar expresamente la impresora a zona de operaciones (si bien podría realizarse dicho traslado por otro medio que no supusiera coste alguno de transporte, como por ejemplo embarcada en un buque de la Armada que se vaya a desplegar en la zona)

4.4 Análisis temporal

Para poder analizar más en profundidad si estos repuestos impresos 3D son viables respecto al tiempo es necesario analizar lo que se conoce como Precedencia Logística.

Según [20] los requerimientos de apoyo logístico que los BUI mandan a sus bases no pueden tener la misma importancia relativa; unas necesidades son más perentorias que otras, ya que asignar el mismo peso a todas no es posible al haber escasez de recursos.

En consecuencia, los sistemas encargados del Apoyo logístico deben usar algún procedimiento para determinar la importancia relativa de las solicitudes de apoyo que reciben procedentes de los BUI.

En la Armada este indicador se denomina Precedencia Logística, que a su vez está formado por otros llamados Urgencia Logística y Prioridad Logística.

Urgencia logística: Es un indicador con el que el Comandante o Jefe del BUI califica la urgencia de la acción de apoyo logístico que precisa la Unidad o Sistema averiado.

Se clasifica en:

- **Urgencia A: Ahora.**
Cuando sin la ejecución de la acción de apoyo logístico solicitada la Unidad o Sistema ve afectada su seguridad.
- **Urgencia B: Cuanto antes.**
Cuando sin la ejecución de la acción de apoyo logístico solicitada la Unidad o Sistema no puede cumplir la misión específica que tiene encomendada en ese momento.
- **Urgencia C: Cuando se pueda.**
Sin la ejecución de la acción de apoyo logístico solicitada la Unidad o Sistema aún pudiendo cumplimentar la misión la llevará a cabo con eficacia reducida.
- **Urgencia D: Cuando convenga.**
En el caso que la acción de apoyo logístico solicitada no pueda incluirse en ninguno de los supuestos anteriores.

Prioridad Logística: Es la valoración, desde el punto de vista de las necesidades de la Armada o de sus BUI. La establece el Mando para cada BUI.

Se clasifica en:

- **Prioridad I: Sin límites.**
Implica el apoyo total a las Unidades en zona de combate y a las designadas expresamente por el AJEMA (Almirante Jefe del Estado Mayor de la Armada), quién especificará el espacio de tiempo o las circunstancias que limitan esta Prioridad.
- **Prioridad II: Reforzada:** Implica el apoyo especial a las Unidades o Sistemas que se designen.

- **Prioridad III: Normal:** Implica el apoyo establecido en el Plan de Apoyo de Clase de las Unidades o Sistemas durante su fase en servicio.
- **Prioridad IV: Reducida:** Implica el apoyo necesario para mantener el grado de eficacia operativa en las áreas que se establezca para Unidades o Sistemas que conserven parcialmente su valor militar.
- **Prioridad V: Mínimo:** Implica el apoyo orientado a mantener la seguridad de las Unidades o Sistemas cuyo Ciclo de vida está llegando a su fin. Serán asignadas expresamente por el AJEMA.

Por tanto, se define la Precedencia Logística como un indicador de la intensidad del Apoyo Logístico que debe recibir una Unidad en función, como ya se ha explicado, de la Urgencia y la Prioridad Logística. [20]

Con el fin de determinar la Precedencia Logística que debe usarse en la solicitud de apoyo, se crea una tabla, como la Tabla 4-5. Para determinar dicha Precedencia Logística que debe utilizarse en una solicitud de apoyo se cruza en la Urgencia Logística establecida por el Comandante o Jefe del BUI, con la Prioridad Logística fijada para la Unidad o Sistema por el Mando.

		URGENCIA			
PRIORIDAD	A	B	C	D	
	Afecta seguridad de la Unidad o Sistema	Imposible cumplir misión asignada	Cumplir misión eficacia reducida	No corresponde ninguna anteriores	
I Sin Límites	1	2	3	5	
II Reforzada	1	3	5	6	
III Normal	1	4	6	7	
IV Reducida	2	5	7	8	
V Mínima	3	6	8	9	

Tabla 4-5 Precedencia Logística mediante el cruce de urgencia y prioridad (Fuente: [22])

El AJAL (Almirante Jefe de Apoyo Logístico) ordenará y regulará la actividad derivada de las solicitudes presentadas por la Fuerza en función de su Precedencia Logística, de tal manera que aquellas que tengan:

- **Precedencia Logística 1 o 2**, se ejecutarán con la **mayor prontitud**, iniciándose inmediatamente con los medios extraordinarios que sean necesarios.
- **Precedencia Logística 3 o 4**, se ejecutarán con carácter urgente utilizando los medios extraordinarios que sean necesarios.
- **Precedencia Logística 5 o 6**, se efectuarán lo antes posible de acuerdo con la tramitación normal que contempla la Legislación vigente.
- **Precedencia Logística 7, 8 o 9**, se efectuarán cuando lo permita el desarrollo normal de las actividades logísticas.

El análisis temporal de este TFG se va a centrar en el valor de Precedencia **7 u 8**.

Ahora se analizan los tiempos totales de impresión de cada una de las piezas, los cuales el software Cura presenta la pantalla del ordenador asociado a la impresora.

Pieza	Tiempo
Brocal del cargador	4 horas 21 minutos
Perno con agujero pasante y sin agujero pasante (X3, uno con, dos sin)	50 minutos
Guardamanos	21 horas 19 minutos
Protector de goma del visor	13 minutos
Pistolete	20 horas 22 minutos
Selector	1 hora 14 minutos

Tabla 4-6 Tiempos de impresión de cada pieza

El tiempo total de impresión de todas las piezas es de 48 horas 19 minutos.

El tiempo medio que tardan en ser suministrados los repuestos desde que se ejecuta la solicitud de apoyo logístico con precedencia 7 u 8, según datos estimados facilitados por la DAT, es de 168 horas, luego el ahorro de tiempo es de 119 horas y 41 minutos, es decir, casi **5 días**.

En el caso de que se fabriquen todas las piezas en una misma impresión, el tiempo total de impresión es de 56 horas y 13 minutos.

En dicho caso se ahorrarían 111 horas y 47 minutos, es decir, más de **4 días**.

Se dispondrían de los repuestos, si se producen con la impresora 3D en zona de operaciones, cuatro días antes que por los medios logísticos normales.

El ahorro de tiempo es también considerable.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Es posible afirmar que el uso de técnicas de fabricación aditiva va a revolucionar el mundo de la fabricación tal y como es conocido.

Su uso en Defensa supone una gran ventaja, ya que posibilitará la reducción de la cadena de suministro al máximo, ahorrando grandes costes en Defensa, además de evitar que se mermen las capacidades operativas de las unidades en donde se aplique esta técnica.

De este TFG se extrae la conclusión definitiva de que **SÍ** es viable, **A PRIORI**, el uso de impresión 3D como una alternativa rápida y de menor coste para la obtención de repuestos, frente a los sistemas tradicionales. Las conclusiones que se han sacado son las siguientes:

- El escaneado 3D, en concreto con Ciclop, no es fiable para la obtención de sólidos de ningún tipo.
- La posición de la pieza en la impresora, así como los parámetros de impresión, hacen variar el tiempo de impresión, si bien la cantidad de material de la pieza no varía, pero sí la de su soporte.
- La variación dimensional de las piezas respecto al sólido en CAD es prácticamente inapreciable, certificando que la tecnología FDM es de gran precisión.
- Las rebabas y demás material sobrante producido por defectos de impresión son reducidos, no poniendo en cuestión la funcionalidad de las piezas.
- Los costes monetarios son considerablemente menores si se usan impresoras 3D. Sin embargo, es necesario ahorrar costes de transporte si se establece la impresora en zona de operaciones, ya que, en caso de
- Las piezas estarían antes disponibles con la fabricación por capas que solicitando apoyo logístico.
- Las piezas impresas, en principio, pueden cumplir sustituyendo a la pieza original como repuesto.

Los objetivos que se plantearon al inicio de este TFG se han visto cumplidos en todos sus puntos, exceptuando la prueba de tiro, que no ha podido ser tenida en cuenta en la presente memoria.

5.2 Líneas futuras de investigación en impresión 3D aplicada a Defensa

5.2.1 Simulación FEM de las cargas que soporta el FUSA G36 E al efectuar un tiro

Resulta conveniente analizar los esfuerzos que soportan cada uno de los elementos que configuran el G36 E al efectuar un tiro, con el fin de analizar los factores que puedan afectar al ciclo de vida de estas piezas impresas.

Para ello es preciso realizar una simulación de Método de Elementos Finitos con algún software CAD dónde, previamente calculadas las cargas que soportan las piezas al realizar un tiro, se apliquen dichas cargas y pueda estudiarse el ciclo de vida de las piezas impresas en PLA.

5.2.2 Estudio de viabilidad de uso de técnicas de impresión 3D en buques de la Armada

Analizada la viabilidad de las técnicas de impresión 3D en armamento, concretamente en el FUSA G36 E, de H&K, es necesario extrapolar los resultados obtenidos y preguntarse si dichas técnicas pudieran ser de utilidad en buques.

Para ello es preciso analizar qué elementos son susceptibles de imprimir en 3D debido a características y funcionalidad.

Es decir, sería preciso hacer un estudio de todos los elementos de repuestos que hay en un barco, por ejemplo, el Patrullero Tabarca, que por proximidad a la Escuela Naval Militar resulta más factible de analizar en posteriores estudios, e ir considerando uno por uno el árbol de elementos configurados del buque en aquellos elementos que fueran susceptibles de imprimir en 3D e implementarlo a modo de prueba.

5.2.3 Integración de ficheros con formato STL en SIGAPEA

La idea que ha motivado la realización de este TFG es el estudio del posible uso de técnicas de impresión en tres dimensiones como una alternativa al uso de repuestos en zonas alejadas de las bases de las unidades.

Para aquellas piezas o elementos de equipos compartidos con otras unidades de la OTAN sería necesario el intercambio de dichos datos logísticos en formato STL. Para hacer esto posible es necesario introducirlos en el Banco Principal de Catalogación, que contiene para cada Número OTAN de Catálogo (NOC) diferentes segmentos de datos. Cada segmento de datos son grupos de datos relacionados y con una jerarquía común que contiene distintos tipos de información de uso logístico. Los segmentos principales de datos son los siguientes:

- Segmento A = Datos de identificación.
- Segmento B = Datos de los Organismos usuarios.
- Segmento C = Datos sobre el número de referencia del fabricante.
- Segmento E = Datos de normalización.
- Segmento G = Datos de transporte.
- Segmento H = Datos de gestión.
- Segmento K = Datos sobre el estado/cancelación del NOC.
- Segmento M = Datos de características con texto en claro.
- **Segmento V = Datos de características descriptivas y funcionales codificadas** (Ver Figura 5-1).

- Segmento W = Datos de embalaje. Los datos de salida normalmente se generan tanto por petición de información o con motivo de ficheros de mantenimiento de actualización.

Segmento V - Características		
MRC	Enunciado	Respuesta
NAME	NOMBRE DEL ARTÍCULO	ACCIONADOR, SEGURO DE ARMA
ABHP	LONGITUD TOTAL	44,05 MILLIMETERS NOMINAL
ABKW	ALTURA TOTAL	17,5 MILLIMETERS NOMINAL
ABMK	ANCHURA TOTAL	32,25 MILLIMETERS NOMINAL
AGAV	IDENTIFICACIÓN DEL CONJUNTO DE UTILIZACIÓN FINAL (CUF)	G36/MG36
HUES	COLOR	BLACK
MATT	MATERIAL	KUNSTSTOFF PA12-CF15

Figura 5-1 Segmento V del selector, facilitado por la JAL

El mantenimiento de los ficheros del Banco Principal de Catalogación supone cualquier adición, cambio o eliminación de datos relacionados con un NOC o con la propia creación de un nuevo NOC.

Por ello se propone que por la Sección de Catalogación (Segundo Escalón) de la Armada se eleve al Órgano Central del Servicio de Catalogación de Defensa (SECAT-OC) la creación de un nuevo código (MRC- Master Requirement Code) de catalogación en el **segmento V** descrito en la página anterior, en la que se añadan los elementos que puedan ser impresos en 3D.

Los códigos que actualmente dispone este segmento V, entre otros, son:

AAA Original manufacturer: Fabricante de la pieza original.

AAB Remanufactured: Remanufacturada.

AAC Refurbished: Reacondicionada. [23]

Y el código a añadir sería:

AAD 3D Printed: Fabricación por adición, impresión 3D.

Una vez que el sistema OTAN de Catalogación haya asumido esta pregunta (MRC) la información podrá ser asumida por los sistemas logísticos de la Armada, en especial por el SIGMA-DOS y el SIGAPEA (Sistema Integrado de Gestión del Aprovisionamiento de Primer Escalón en la Armada) en donde el uso del NOC es imprescindible.

SIGAPEA es una aplicación informática que permite gestionar el aprovisionamiento de esas unidades [24]

Los objetivos básicos de esta herramienta informática son:

- Llevar integrada toda la información de logística de Aprovisionamiento en una sola herramienta informática en la Unidad, la cual está instalada en la red de área local.
- Realizar la gestión del aprovisionamiento a bordo y almacenar toda la información que genera, de acuerdo con [20].
- Intercambiar datos e información con las otras aplicaciones logísticas de la Armada (SIGMA-DOS y GALIA).

Para llevar a cabo estos objetivos SIGAPEA se configura con los siguientes módulos:

- Configuración: Donde se describen los sistemas, equipos y componentes instalados a bordo. (Ver Figura 5-2)
- Aprovisionamiento: Donde se realiza la gestión del aprovisionamiento de primer escalón a bordo.

- Documentación: Donde se visualiza la documentación digitalizada de los equipos a bordo.
- Soporte: Donde se configura la aplicación y se accede a las tablas de apoyo y a las copias de seguridad, entre otros.

Una línea de investigación futura puede ser la creación de una base de datos que pueda ser implementada en SIGAPEA en la que aquellos elementos previamente analizados como imprimibles en 3D puedan ser cargados, es decir, realizar los sólidos mediante ingeniería inversa e incluirlos en formato STL en el sistema, para que cualquier BUI que necesite dicha pieza en un momento determinado, pueda acceder a ella con un simple clic en un tiempo más corto al que tardaría haciendo el pedido.

Es decir, en el módulo "Documentación" arriba descrito es dónde se podría incluir este formato, adjuntado a la ficha de cada pieza.

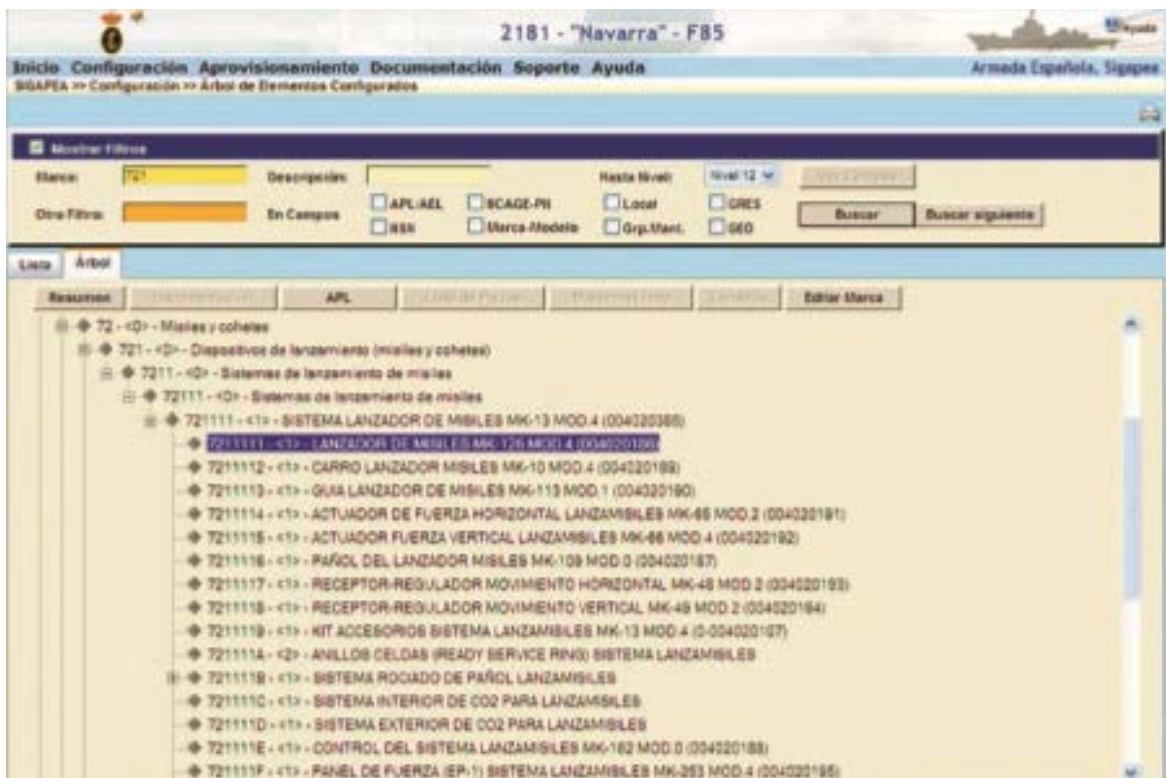


Figura 5-2 Árbol de Elementos Configurados (AEC) en SIGAPEA (Fuente: [20])

5.2.4 Estudio de otros materiales óptimos

En este TFG sólo se han analizado dos materiales de impresión, el PLA y el Filaflex, obteniéndose buenas prestaciones en ambos materiales, pero es necesario analizar dichas impresiones con otros materiales que presenten mejores características, como es el caso del ABS.

El principal problema del ABS es que precisa de una impresora con "cama caliente" para poder ser extruído, que implica máquinas más costosas, si bien configurando de nuevo la impresora es posible realizar esto.

5.2.5 Certificación

Determinados sectores exigen siempre a sus proveedores unos requisitos específicos, estableciendo normas y certificados de calidad. El referente de estas normas es las UNE-EN ISO 9001, dado que es la norma internacional de requisitos de sistemas de gestión de la calidad.

La industria de Defensa no es menos, y por eso el Ministerio de Defensa exige a los proveedores de armamento y material la certificación PECAL (Publicación Española de Calidad), que son una serie

de exigencias de calidad que contienen los requisitos de la Organización del Tratado del Atlántico Norte en dicha materia. [25]

Para que estas técnicas de fabricación aditiva puedan ser implementadas en los BUI's es necesario que se adapten y sigan controles de calidad para cumplir la normativa PECAL.

Por ello se puede desarrollar esta línea futura de investigación, en la que se estudien las exigencias de la normativa PECAL y se analice si la fabricación aditiva aplicada a Defensa pudiera llegar a cumplir esta normativa.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Heckler and Koch,» [En línea]. Available: <http://www.heckler-koch.com/en.html>. [Último acceso: 13 1 2016].
- [2] C. Cajal Hernando, R. Jiménez Pacheco, J. Santolaria Mazo, M. Pueo Arteta y M. Á. García García, «Rapid Tooling aplicado a Defensa, potenciales usos,» de *III Congreso Nacional de I+D en Defensa y Seguridad*, Marín, 2015.
- [3] «InfoDefensa,» [En línea]. Available: <http://www.infodefensa.com/es/2015/04/10/noticia-congreso-nacional-defensa-seguridad-celebrara.html>. [Último acceso: 13 1 2016].
- [4] M. K. Hod Lipson, *La revolución de la impresión 3D*, Indianápolis: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [5] «BQ,» [En línea]. Available: <http://www.bq.com/es/ciclop>. [Último acceso: 15 1 2016].
- [6] Wholers, “3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress,” 2015.
- [7] «3D Systems,» [En línea]. Available: http://3dtecnamachines.com/descargas/guia_del_comprador_de_impresoras_3d.pdf. [Último acceso: 13 1 2016].
- [8] «HD Tecnología,» [En línea]. Available: <http://hd-tecnologia.com/100-000-descargas-de-los-planos-de-impresion-de-una-pistola-3d-departamento-de-defensa-de-eeuu/>. [Último acceso: 9 2 2016].
- [9] «Asociación Española de Rapid Manufacturing,» [En línea]. Available: <http://www.aserm.net>. [Último acceso: 4 2 2016].
- [10] “Digital Laboratory LabGraph,” [Online]. Available: <http://www.factoryoffactories.com/rapidtool.htm>. [Accessed 8 2 2016].
- [11] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*, McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [12] “Tech, inc,» [Online]. Available: <http://www.techok.com/rapid-prototyping.html>. [Accessed 8 2 2016].

- [13] «El Confidencial,» [En línea]. Available: http://www.elconfidencial.com/tecnologia/2015-10-26/los-fusiles-que-odian-todos-los-soldados-del-mundo_1070107/. [Último acceso: 15 1 2016].
- [14] J. S. Abelló, *Desarrollo práctico del proceso de captura y tratamiento digital en 3D de imágenes para ser utilizadas en impresión 3D y aplicaciones de animación y realidad aumentada*, 2014.
- [15] L. M and P. E.M, *Manual de la química de la fibra*, New York: Marcel Dekker Inc, 1998.
- [16] A. A. R. Pastor, «Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas,» Madrid, 2013.
- [17] «Recreus,» [En línea]. Available: <http://recreus.com/es/filamentos-filaflex/42filaflex-negro-175mm.html>. [Último acceso: 8 2 2016].
- [18] M. d. a. y. D. ET, *Manual técnico fusil de asalto G36 E / G36 KV E (5'56 MM X 45 OTAN) catálogo de artículos de abastecimiento*, 2005.
- [19] «Universidad de Oviedo,» [En línea]. Available: http://www.unioviedo.es/DCIF/IPFabricacion/Metrologia_y_Calidad/Calibracion_PR.pdf. [Último acceso: 5 2 2016].
- [20] J. d. A. L. (JAL), *Manual de Aprovisionamiento de Primer Escalón de la Armada (MAP-1)*, 2012.
- [21] «Tarifa de la luz,» [En línea]. Available: <http://tarifaluzhora.es/>. [Último acceso: 23 2 2016].
- [22] E. y. A. d. I. E. Departamento de Logística, «Introducción a la logística de material».
- [23] B. Eddy y S. Arnett, «Doc slide,» [En línea]. Available: <http://myslide.es/documents/el-soc-un-puente-hacia-el-conocimiento-logistico-global.html>. [Último acceso: 11 2 2016].
- [24] C. V. M. G. Millán y T. C. J. d. R. Duránte, «Aplicaciones logísticas de gestión de material de la Armada,» *Revista General de Marina*, nº 5, pp. 151-162, 2011.
- [25] «Lloyd's Register LRQA,» [En línea]. Available: <http://www.lrqa.es/certificaciones/pecal-calidad/>. [Último acceso: 10 2 2016].
- [26] «Kalkum Ezquerro,» [En línea]. Available: <http://www.kalkumezquerro.com/instrumentos-de-medida/calibres/ajustador-modelo-escuelas/>. [Último acceso: 3 2 2016].
- [27] S.Kalpajian y S.R.Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Pearson Educación, 2008.

7 ANEXO: PLANOS NO CONSTRUCTIVOS

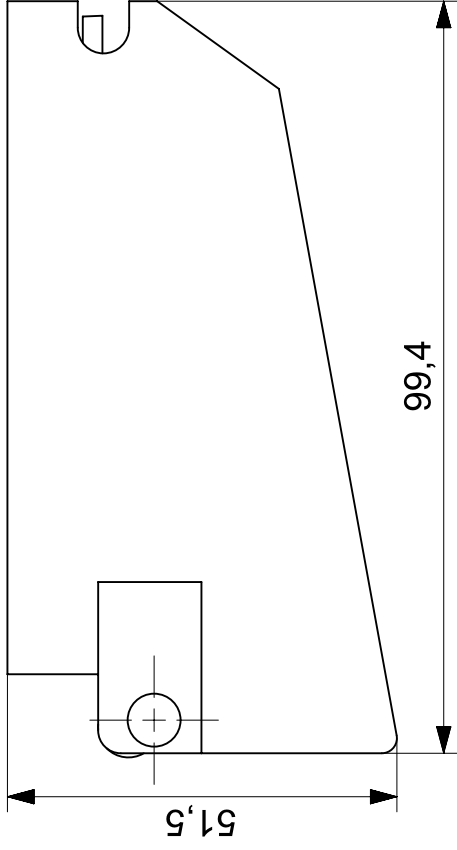
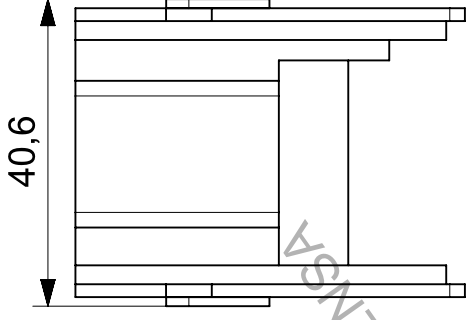
En este anexo se incluyen planos que por motivos de seguridad nacional y copyright no son constructivos. La función de dichos planos es meramente académica y con ellos no se pretende comercializar con ninguna pieza de las que se encuentran a continuación. En estos planos se han incluido todas las piezas con las que se ha analizado el uso de técnicas de impresión 3D aplicada al HK G36 E.

4

3

2

1



A

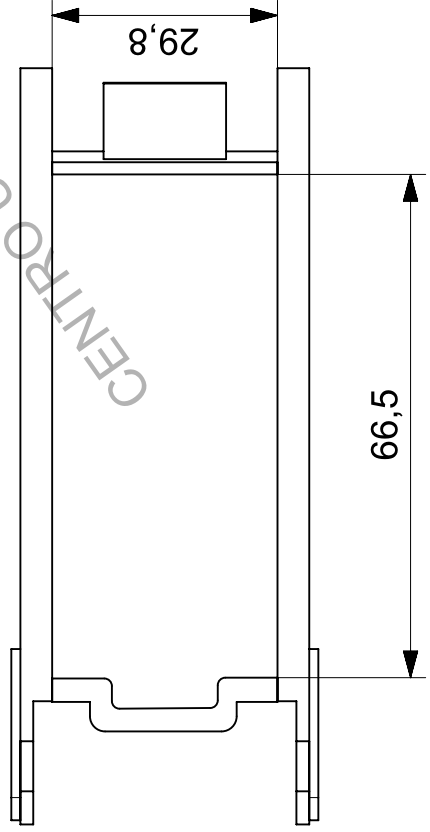
B

4

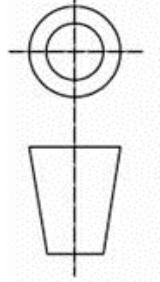
3

2

1



B



BROCAL O POZO DEL CARGADOR

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN
FORMATO DE PAPEL

24/02/16
A4

ESCALA
Nº PLANO

1:1
1

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

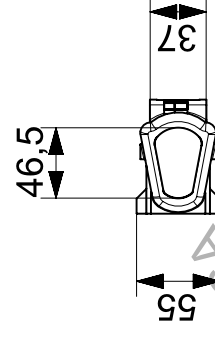
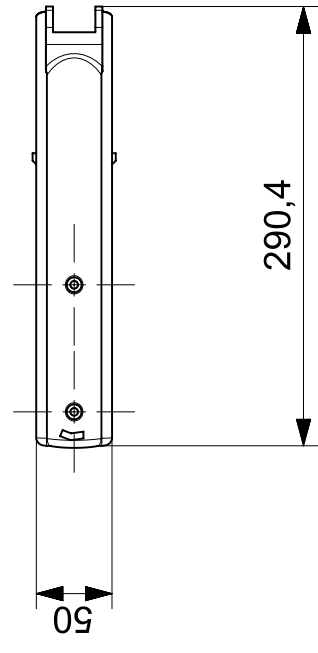
1

2

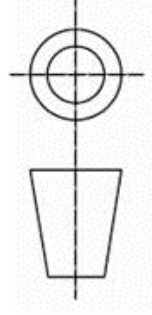
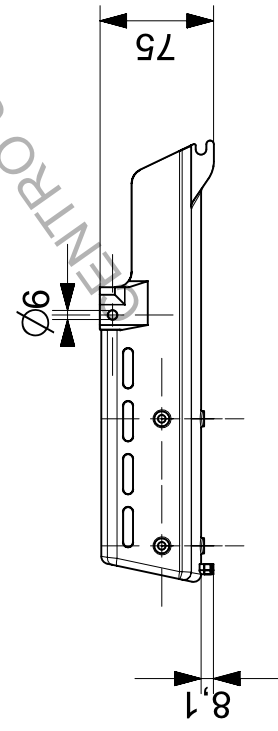
3

4

A



B



GUARDAMANOS

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN
FORMATO DE PAPEL

24/02/16
A4

ESCALA
Nº PLANO

1:5
2

1

2

3

4

1

2

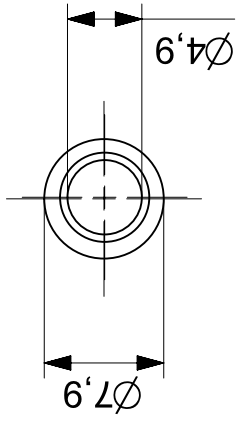
3

4

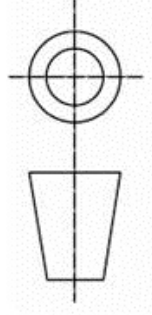
A

B

45,8



CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA



PERNO O PASADOR DE SUJECIÓN CON AGUJERO PASANTE
 USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE
 PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN	03/03/16	ESCALA	2:1
FORMATO DE PAPEL	A4	Nº PLANO	3

1

2

3

4

B

A

1

2

3

4

A

A

45,8

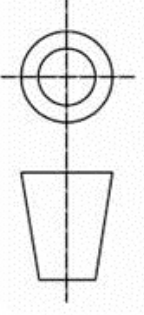
Ø7,9

5,9

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

B

B



PERNO O PASADOR DE SUJECIÓN SIN AGUJERO PASANTE
 USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE
 PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN	03/03/16	ESCALA	2:1
FORMATO DE PAPEL	A4	Nº PLANO	4

1

2

3

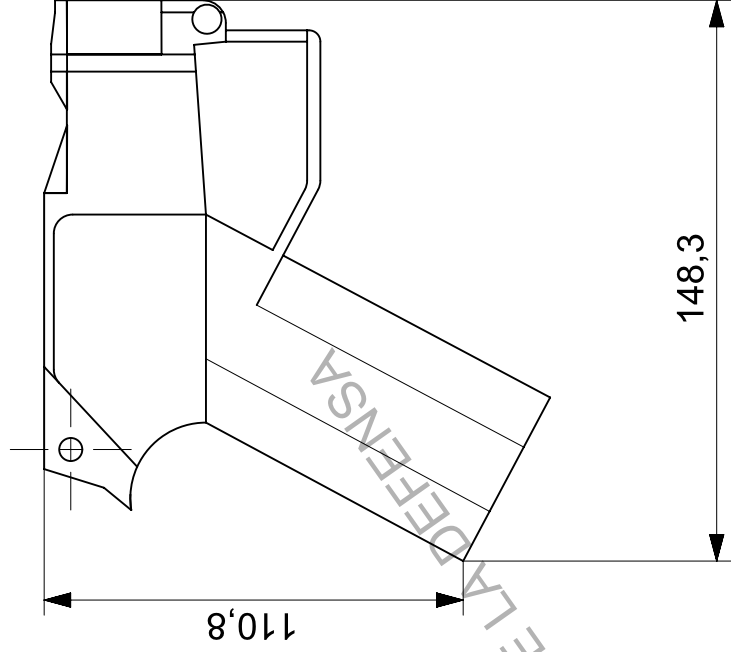
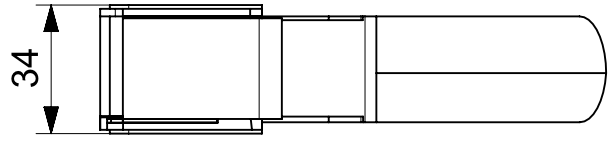
4

1

2

3

4

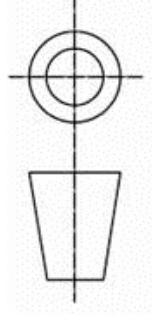
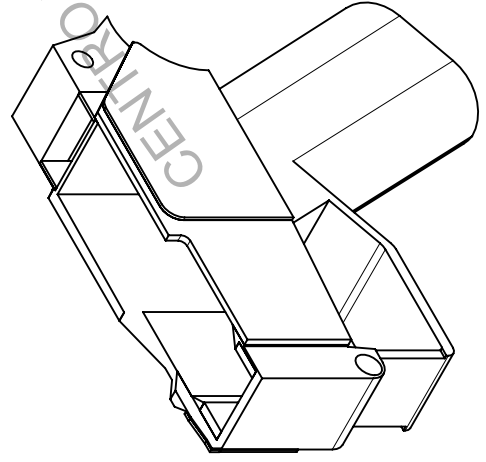


A

A

B

B



PISTOLETE

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN	03/03/16	ESCALA	1:2
FORMATO DE PAPEL	A4	Nº PLANO	5

ESCALA	1:2
Nº PLANO	5

1

2

3

4

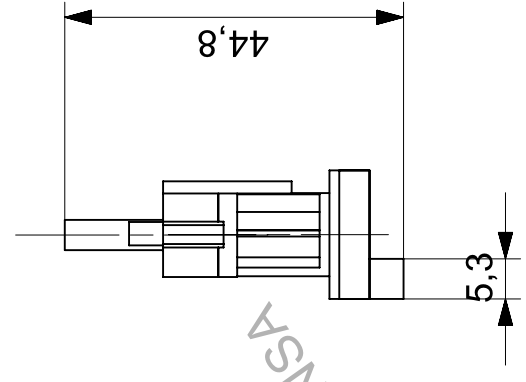
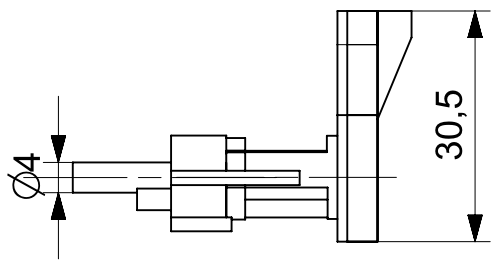
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

1

2

3

4



A

A

B

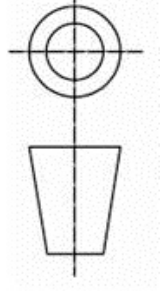
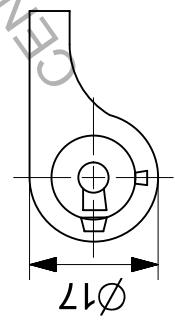
B

1

2

3

4



SELECTOR IZQUIERDO

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN
FORMATO DE PAPEL

24/02/16
A4

ESCALA
Nº PLANO

1:1
6

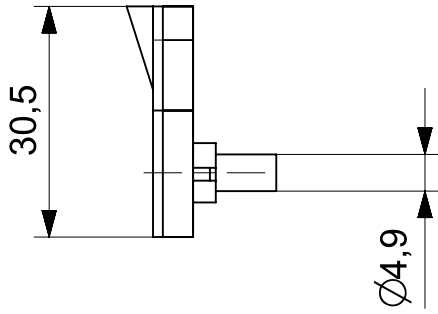
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

1

2

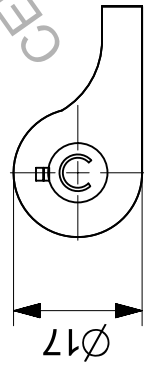
3

4



A

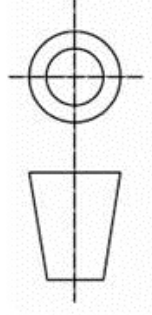
A



B

B

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA



SELECTOR DERECHO

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN
FORMATO DE PAPEL

03/03/16	ESCALA	I:1
A4	Nº PLANO	7

1

2

3

4

1

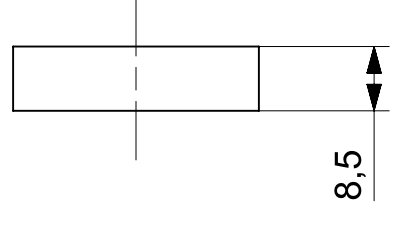
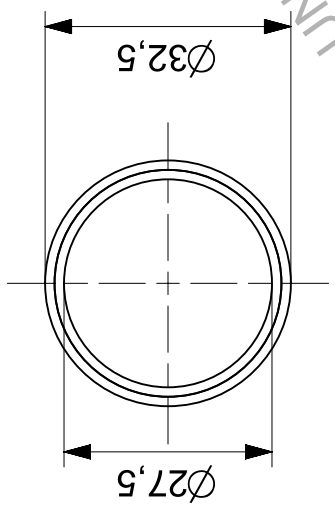
2

3

4

A

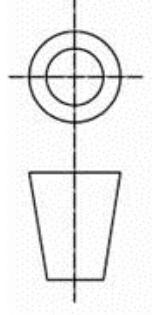
A



CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

B

B



PROTECTOR DE GOMA DEL VISOR

USO DE TÉCNICAS DE IMPRESIÓN 3D PARA SUSTITUCIÓN DE PIEZAS EN EL HK G36 E

PROPIETARIO: PABLO MARTÍNEZ TRUCHAUD

FECHA DE REVISIÓN
FORMATO DE PAPEL

03/03/16	ESCALA	I:1
A4	Nº PLANO	8

1

2

3

4

8 ANEXO: FICHAS DE PIEZAS

A continuación se adjuntan los datos de Aprovisionamiento correspondientes a cada una de las piezas que han sido objeto de este estudio, facilitadas por la DAT y el Servicio de Catalogación de la Defensa (SECAT-OC) y que han sido de gran utilidad para conocer:

- Datos de características.
- Consumos de cada artículo en los últimos años.

Ficha del NIIN 12-339-6311

Datos del Material

NIIN	12-339-6311	
Nombre de Artículo		STIFT, SCHNELLENTRI
Nombre Coloquial		PERNO DE SUJECCION COMPLETO
COA	5315	Clavos, Chavetas Mecanizadas y Pasadores.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	4,30	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad	N	Artículo no reparable. Cuando esté inuti
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS

Código de Usuario de Datos	Organismo	Carácter del Organismo
ZG01	ALEMANIA	INTERNACIONAL
ZR01	ITALIA	INTERNACIONAL
ZT01	NORUEGA	INTERNACIONAL

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
A486G	10353740	4	6	9	B	9	WFWF	
D2330	214125	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94095-180	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
A486G	NIMIKKEISTOKESKUS NCB FINLAND	HATANPAAN VALTATIE 30 TAMPERE FINLAND
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados

Equipo	Descripción
M0000924	FUSIL DE ASALTO HKG36-E 5.56M/M

Instalado en BUIS

Unor	Descripción	Existencias	Cons. Ult. 5 años	Unor	Descripción	Existencias	Cons. Ult. 5 años
2101	PRINCIPE DE ASTURIAS			6149	UNIDAD BUCEO FERROL		
3900	FGNE			7149	UNIDAD BUCEO CADIZ		
7764	UNIDAD BUCEO CANARIAS			2271	DUERO		
2272	TAJO			2102	GALICIA		
2103	CASTILLA			2109	JUAN CARLOS I		
3630	METEORO			3631	RAYO		
3632	RELAMPAGO			3633	TORNADO		

2105	JUAN DE BORBON
2900	TEAR
2195	TARIFA
2106	BLAS DE LEZO

2107	MENDEZ NUÑEZ
2104	ALVARO DE BAZAN
2120	CANTABRIA
2112	CRISTOBAL COLON

Material Sustitutos / Sustituidos - **NO**

Consumos Últimos 5 años

AÑO	Almacén	U.E.	Consumo Normal	Consumo Anormal	Consumo Obras	Frecuencia de Consumo
2011	FERROL	EA	0	0	4	1
2011	CADIZ	EA	10	0	0	1
2012	CARTAGENA	EA	11	0	0	1
2012	CANARIAS	EA	20	0	0	1
2012	SERDIZROT	EA	1	0	0	1
2013	SERTEAR	EA	13	0	0	3
2014	FERROL	EA	10	0	0	1
2015	SERTEAR	EA	2	0	0	2

Pedidos Comprometidos - **NO**

Reservas de Material - **NO**

Pedidos Pendientes de Servir - **NO**

Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición - **NO**

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

Almacén Principal	CADIZ		
Nivel Máximo	24	Total Cantidad Comprometida	0
Objetivo Acopio	21	Total Cantidad Pte. Servir	0
Nivel Mínimo	17	Total Cantidad Pte. Entrega	0
Nivel Seguridad	14	Total Cantidad Pte. Recibir	0
Demanda Estimada Anual	13,92	Total Cantidad en Redistribución	0

Existencias en Almacenes

Almacén	Nombre Almacén	Provisionales	Finales	Reservas	En Reparación	Porc. Acopio
C	CARTAGENA	0	0	0	0	19,30
F	FERROL	0	0	0	0	17,54
I	SERTEAR	1439	1439	0	0	26,32
N	CANARIAS	0	0	0	0	35,09
R	SERDIZROT	0	0	0	0	1,75
Z	CADIZ	0	0	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - **NO**

Ficha del NIIN 12-339-6703

Datos del Material

<i>NIIN</i>	12-339-6703	
<i>Nombre de Artículo</i>		BETAETIGER, ROHRWAF
<i>Nombre Coloquial</i>		ALETA DE SEGURO
<i>COA</i>	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
<i>Unidad de Entrega</i>	EA	Unidad
<i>Precio</i>	0,00	Euros
<i>Servicio del Material</i>	R	REPUESTOS
<i>Criterio de Adquisición</i>	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
<i>Gestor del Material</i>	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
<i>Fuente de Obtención</i>	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
<i>Reparabilidad</i>	N	Artículo no reparable. Cuando esté inuti
<i>Estado del NIIN</i>	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS

<i>Código de Usuario de Datos</i>	<i>Organismo</i>	<i>Carácter del Organismo</i>
ZG01	ALEMANIA	INTERNACIONAL
ZR01	ITALIA	INTERNACIONAL
ZT01	NORUEGA	INTERNACIONAL

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

<i>NCAGE</i>	<i>Referencia</i>	<i>CFNR</i>	<i>CCR</i>	<i>CVR</i>	<i>CVRA</i>	<i>CDD</i>	<i>RRR</i>	<i>CJR</i>
D2330	205437	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94095-130.28	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

<i>NCAGE</i>	<i>Nombre</i>	<i>Dirección</i>
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados

<i>Equipo</i>	<i>Descripción</i>
M0000935	EMPU#ADURA FUSIL G36E

Instalado en BUIS - **NO**

Materiales Sustitutos / Sustituídos - **NO**

Consumos Últimos 5 años - **NO**

Pedidos Comprometidos - **NO**

Reservas de Material - **NO**

Pedidos Pendientes de Servir - **NO**

Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición - **NO**

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

<i>Almacén Principal</i>	<i>Sin Almacen Principal</i>		
<i>Nivel Máximo</i>	0	<i>Total Cantidad Comprometida</i>	0
<i>Objetivo Acopio</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Servir</i>	0
<i>Nivel Mínimo</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Entrega</i>	0
<i>Nivel Seguridad</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Recibir</i>	0
<i>Demanda Estimada Anual</i>	0,00	<i>Total Cantidad en Redistribución</i>	0

Existencias en Almacenes

<i>Almacén</i>	<i>Nombre Almacén</i>	<i>Provisionales</i>	<i>Finales</i>	<i>Reservas</i>	<i>En Reparación</i>	<i>Porc. Acopio</i>
I	SERTEAR	447	447	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - **NO**

Ficha del NIIN 12-339-6704

Datos del Material

NIIN	12-339-6704	
Nombre de Artículo		ACTUATOR,GUN SAFETY
Nombre Coloquial		EJE DEL SEGURO
COA	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	0,00	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad	N	Artículo no reparable. Cuando esté inuti
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS

Código de Usuario de Datos	Organismo	Carácter del Organismo
ZG01	ALEMANIA	INTERNACIONAL
ZR01	ITALIA	INTERNACIONAL
ZT01	NORUEGA	INTERNACIONAL

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
D2330	205436	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94095-130.27	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados

Equipo	Descripción
M0000935	EMPU#ADURA FUSIL G36E

Instalado en BUIS - **NO**

Materiales Sustitutos / Sustituidos - **NO**

Consumos Últimos 5 años

AÑO	Almacén	U.E.	Consumo Normal	Consumo Anormal	Consumo Obras	Frecuencia de Consumo
2013	SERTEAR	EA	1	0	0	1

Pedidos Comprometidos - **NO**

Reservas de Material - **NO**

Pedidos Pendientes de Servir - **NO**

Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición - **NO**

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

<i>Almacén Principal</i>	SERTEAR		
<i>Nivel Máximo</i>	0	<i>Total Cantidad Comprometida</i>	0
<i>Objetivo Acopio</i>	1	<i>Total Cantidad Pte. Servir</i>	0
<i>Nivel Mínimo</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Entrega</i>	0
<i>Nivel Seguridad</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Recibir</i>	0
<i>Demanda Estimada Anual</i>	0,36	<i>Total Cantidad en Redistribución</i>	0

Existencias en Almacenes

<i>Almacén</i>	<i>Nombre Almacén</i>	<i>Provisionales</i>	<i>Finales</i>	<i>Reservas</i>	<i>En Reparación</i>	<i>Porc. Acopio</i>
I	SERTEAR	436	436	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - **NO**

Ficha del NIIN 12-339-6705

Datos del Material

NIIN	12-339-6705	
Nombre de Artículo		MAGAZINSCHACHT
Nombre Coloquial		POZO DEL CARGADOR
COA	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	3,00	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad	N	Artículo no reparable. Cuando esté inuti
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS

Código de Usuario de Datos	Organismo	Carácter del Organismo
ZG01	ALEMANIA	INTERNACIONAL
ZR01	ITALIA	INTERNACIONAL
ZT01	NORUEGA	INTERNACIONAL

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
D2330	205471	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94095-110.05	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados

Equipo	Descripción
M0000924	FUSIL DE ASALTO HKG36-E 5.56M/M

Instalado en BUIS

Unor	Descripción	Existencias	Cons. Ult. 5 años	Unor	Descripción	Existencias	Cons. Ult. 5 años
2101	PRINCIPE DE ASTURIAS			6149	UNIDAD BUCEO FERROL		
3900	FGNE			7149	UNIDAD BUCEO CADIZ		
7764	UNIDAD BUCEO CANARIAS			2271	DUERO		
2272	TAJO			2102	GALICIA		
2103	CASTILLA			2109	JUAN CARLOS I		
3630	METEORO			3631	RAYO		
3632	RELAMPAGO			3633	TORNADO		
2105	JUAN DE BORBON			2107	MENDEZ NUÑEZ		
2900	TEAR			2104	ALVARO DE BAZAN		

2195 TARIFA

2120 CANTABRIA

2106 BLAS DE LEZO

2112 CRISTOBAL
COLON**Materiales Sustitutos / Sustituídos - NO****Consumos Últimos 5 años**

AÑO	Almacén	U.E.	Consumo Normal	Consumo Anormal	Consumo Obras	Frecuencia de Consumo
2014	FERROL	EA	2	0	0	1
2015	CARTAGENA	EA	1	0	0	1

Pedidos Comprometidos - NO**Reservas de Material - NO****Pedidos Pendientes de Servir - NO****Pedidos Pendientes de Entrega - NO****Pedidos Directos o de Reposición - NO****Ordenes de Redistribución - NO****Gestión Almacén Virtual**

Almacén Principal	FERROL					
Nivel Máximo	3	Total Cantidad Comprometida	0			
Objetivo Acopio	2	Total Cantidad Pte. Servir	0			
Nivel Mínimo	1	Total Cantidad Pte. Entrega	0			
Nivel Seguridad	1	Total Cantidad Pte. Recibir	0			
Demanda Estimada Anual	1,56	Total Cantidad en Redistribución	0			

Existencias en Almacenes

Almacén	Nombre Almacén	Provisionales	Finales	Reservas	En Reparación	Porc. Acopio
C	CARTAGENA	0	0	0	0	33,33
F	FERROL	0	0	0	0	66,67
I	SERTEAR	212	212	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - NO

Ficha del NIIN 12-339-6814

Datos del Material

NIIN	12-339-6814	
Nombre de Artículo		COVER,GUNSIGHT
Nombre Coloquial		CAZOLETA DE GOMA
COA	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	0,70	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad	N	Artículo no reparable. Cuando esté inuti
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS

Código de Usuario de Datos	Organismo	Carácter del Organismo
ZG01	ALEMANIA	INTERNACIONAL

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
D2330	205461	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94095-170.10	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados

Equipo	Descripción
M0000930	ASA DE TRANSPORTE FUSIL G36E

Instalado en BUIS - **NO**Materiales Sustitutos / Sustituídos - **NO**Consumos Últimos 5 años - **NO**

Pedidos Comprometidos

Almacén	Unor	Año	Número	Sufijo	Prioridad	Unidad	Cant. Solicitada	Cant. Documento	Tercero
C	3900	2009	00068		6	FGNE	10	10	
F	2105	2009	00178		5	JUAN DE BORBON	10	10	
F	2105	2012	00086		5	JUAN DE BORBON	10	10	
F	2105	2015	01717		5	JUAN DE BORBON	20	20	
F	2106	2009	00482		5	BLAS DE LEZO	20	20	
F	2931	2009	00181		7	TERNOR	5	5	
F	2931	2009	00638		7	TERNOR	1	1	
F	2931	2010	00644		7	TERNOR	20	20	

F	2931	2013	W0075	7	TERNOR	50	50	
F	2931	2014	W0028	7	TERNOR	20	20	
F	6400	2009	00019	7	ENM	16	16	
F	6400	2010	00119	7	ENM	50	50	
F	6400	2014	A0004	8	ENM	50	50	
I	2900	2009	01537	6	TEAR	35	35	3062
I	2900	2010	01505	6	TEAR	1	1	3063
I	2900	2011	00028	6	TEAR	38	38	3062
I	2900	2011	01590	6	TEAR	46	46	3063
I	2900	2012	11568	6	TEAR	5	5	3063
I	2900	2012	11569	6	TEAR	6	6	3063
I	2900	2013	40646	6	TEAR	1	1	3063
I	2900	2013	40722	6	TEAR	1	1	3063
I	2900	2013	41787	6	TEAR	1	1	3065
I	2900	2013	41908	6	TEAR	1	1	3063
I	2900	2015	42209	6	TEAR	1	1	3062
I	2900	2015	42774	6	TEAR	6	6	2926
I	2900	2015	42855	6	TEAR	1	1	2926
I	2900	2015	42856	6	TEAR	1	1	2926
N	3074	2011	00071	6	USCAN	12	12	
N	3631	2012	W0788	5	RAYO	10	10	
N	3631	2014	00936	5	RAYO	10	10	
Z	2932	2009	00224	6	TERSUR	30	30	
Z	2932	2009	00360	5	TERSUR	30	30	
Z	7210	2011	00320	6	CASR	20	20	
Z	7562	2014	00011	7	ARDIZ-RAMO ARMAS	1	1	2932
Z	7562	2014	00012	7	ARDIZ-RAMO ARMAS	1	1	2932
Z	7562	2014	00013	7	ARDIZ-RAMO ARMAS	1	1	2932
Z	7811	2011	00645	6	FLOAN	5	5	

Reservas de Material - **NO**Pedidos Pendientes de Servir - **NO**Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición

Alm.	Unor	Año	Número	S.	Prio.	Tercero	C. Solic.	C. Recib.	C. Anul.	Estado	Ped. Externo
I	2908	2009	00297		3		335	0	0	EX00	
I	2908	2009	00591		3		50	0	0	EX00	
I	2908	2009	00703		3		20	0	0	EX00	
I	2908	2009	00790		3		96	0	0	EX00	
I	2908	2009	01026		3		252	0	0	EX00	

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

Almacén Principal	Sin Almacen Principal	Total Cantidad Comprometida	
Nivel Máximo	0	546	
Objetivo Acopio	0	0	Total Cantidad Pte. Servir
Nivel Mínimo	0	0	Total Cantidad Pte. Entrega
Nivel Seguridad	0	753	Total Cantidad Pte. Recibir
Total Cantidad en			

Demanda Estimada Anual 0,00

Redistribución 0

Existencias en Almacenes

<i>Almacén</i>	<i>Nombre Almacén</i>	<i>Provisionales</i>	<i>Finales</i>	<i>Reservas</i>	<i>En Reparación</i>	<i>Porc. Acopio</i>
A	JAPROMAD	0	0	0	0	0,00
F	FERROL	0	0	0	0	0,00
I	SERTEAR	0	0	0	0	0,00
R	SERDIZROT	0	0	0	0	0,00
Z	CADIZ	0	0	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - NO

Ficha del NIIN 12-350-6029

Datos del Material

NIIN	12-350-6029	
Nombre de Artículo		HANDSCHUTZ, ROHRWAF
Nombre Coloquial		GUARDAMANOS INFERIOR
COA	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	0,00	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad		
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS - **NO**

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
D2330	219098	4	3	2	A	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados - **NO**

Instalado en BUIS - **NO**

Materiales Sustitutos / Sustituídos - **NO**

Consumos Últimos 5 años - **NO**

Pedidos Comprometidos - **NO**

Reservas de Material - **NO**

Pedidos Pendientes de Servir - **NO**

Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición - **NO**

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

Almacén Principal	Sin Almacen Principal	Total Cantidad Comprometida	0
Nivel Máximo	0	Total Cantidad Pte. Servir	0
Objetivo Acopio	0	Total Cantidad Pte. Entrega	0
Nivel Mínimo	0	Total Cantidad Pte. Recibir	0
Nivel Seguridad	0	Total Cantidad en	0
Demanda Estimada Anual	0,00		

Redistribución

Existencias en Almacenes

<i>Almacén</i>	<i>Nombre Almacén</i>	<i>Provisionales</i>	<i>Finales</i>	<i>Reservas</i>	<i>En Reparación</i>	<i>Porc. Acopio</i>
I	SERTEAR	444	444	0	0	0,00

Existencias en Primer Escalón - **NO**

Ficha del NIIN 12-350-6030

Datos del Material

NIIN	12-350-6030	
Nombre de Artículo		HOUSING,TRIGGER
Nombre Coloquial		GRIFFSTUECK
COA	1005	Armas de Fuego, hasta 30mm.
Unidad de Entrega	EA	Unidad
Precio	0,00	Euros
Servicio del Material	R	REPUESTOS
Criterio de Adquisición	C	GESTIONADO POR SERVICIO (EJÉRCITO)/AGENC
Gestor del Material	SRD	SERVICIO DE REPUESTOS DISOS
Fuente de Obtención	I	COMERCIAL NACIONAL IMPORTACION
Reparabilidad		
Estado del NIIN	0	IDENTIFICACIÓN ACTIVA

Países CUIS - **NO**

Gestiones Especiales (activas e inactivas hasta 2 años) - **NO**

Datos de Referencias

NCAGE	Referencia	CFNR	CCR	CVR	CVRA	CDD	RRR	CJR
D2330	219681	4	3	2	A	1	ZGDX	
D2330	94322-130.01	4	5	2	B	1	ZGDX	

Fabricantes

NCAGE	Nombre	Dirección
D2330	HECKLER & KOCH GMBH	HECKLER & KOCH-STR. 1 OBERNDORF DEUTSCHLAND

Equipos asociados - **NO**

Instalado en BUIS - **NO**

Materiales Sustitutos / Sustituídos - **NO**

Consumos Últimos 5 años

AÑO	Almacén	U.E.	Consumo Normal	Consumo Anormal	Consumo Obras	Frecuencia de Consumo
2014	SERTEAR	EA	1	0	0	1
2015	SERTEAR	EA	1	0	0	1

Pedidos Comprometidos - **NO**

Reservas de Material - **NO**

Pedidos Pendientes de Servir - **NO**

Pedidos Pendientes de Entrega - **NO**

Pedidos Directos o de Reposición - **NO**

Ordenes de Redistribución - **NO**

Gestión Almacén Virtual

Almacén Principal	SERTEAR	
Nivel Máximo	0	Total Cantidad Comprometida 0

<i>Objetivo Acopio</i>	1	<i>Total Cantidad Pte. Servir</i>	0
<i>Nivel Mínimo</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Entrega</i>	0
<i>Nivel Seguridad</i>	0	<i>Total Cantidad Pte. Recibir</i>	0
<i>Demanda Estimada Anual</i>	0,96	<i>Total Cantidad en Redistribuci3n</i>	0

Existencias en Almacenes

<i>Almac3n</i>	<i>Nombre Almac3n</i>	<i>Provisionales</i>	<i>Finales</i>	<i>Reservas</i>	<i>En Reparaci3n</i>	<i>Porc. Acopio</i>
I	SERTEAR	214	214	0	0	0,00

Existencias en Primer Escal3n - **NO**