

Trabajo Fin de Grado

Estudio, mejora y optimización del robot de
desactivación de explosivos Teodor

Autor

C.A.C. D. Samuel Santiago Izard

Director/es

Director académico: D. Miguel Ángel Urbiztondo Castro

Director militar: Capitán D. Álvaro Banderas Fernández

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2020

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor académico, D. Miguel Ángel Urbiztondo Castro, por la dedicada labor de tutela y dirección que me ha brindado, ofreciéndome siempre sus mejores consejos y palabras de ánimo; a mi tutor militar, el Capitán D. Álvaro Banderas Fernández, por compartir conmigo su acertada valoración en aspectos claves para el desarrollo del trabajo; al resto del personal del Batallón de Zapadores XI, por su gran apoyo y disponibilidad; y por último, de forma muy especial, a los Brigadas D. Miguel Ángel Vela Martín y D. Fernando Lechón Fernández, que junto a su equipo EOD, han puesto a mi disposición sus medios y, sobre todo, su enorme experiencia.

RESUMEN

Este trabajo se propone ofrecer un estudio sobre la mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor con el fin de desarrollar diferentes líneas de investigación y desarrollo a través de las que situar al dispositivo a la altura de las necesidades actuales del Ejército de Tierra.

El Teodor fue el primer robot EOD adquirido por el ejército español (año 2002). Desde entonces se han adquirido dos modelos nuevos, el iRobot PackBot 510 y el Avenger. A pesar de que cada robot posee teóricamente su propio ámbito de actuación, la brecha tecnológica entre los nuevos y el primero es cada vez más grande, posicionando al Teodor en un segundo plano tanto operativo como técnico. Este trabajo se centra en estos dos últimos términos, apostando por soluciones que aumenten la utilidad y polivalencia del robot en escenarios presentes y futuros.

En cuanto a la metodología empleada, dada la gran diversidad de líneas de mejora posibles, como punto de partida se ha hecho uso de varias herramientas de ayuda a la decisión, empezando por entrevistas dirigidas a operadores EOD. Una vez priorizadas las líneas de mejora, se ha realizado la recreación digital de aquellas sobre las que se ha decidido trabajar. Posteriormente, mediante la tecnología de impresión 3D se han fabricado prototipos de los implementos que se proponen como mejora con el objetivo de hacer pruebas reales con el robot y optimizar de la manera más certera posible el resultado definitivo.

Por último, se ha llevado a cabo un estudio de nuevos escenarios de trabajo con el fin de aumentar el alcance y funcionalidad del ámbito de actuación actual del Teodor.

ABSTRACT

This work aims to offer a study on the improvement and optimization of the Teodor explosives disposal robot to develop different lines of research and development through which to place the device at the height of the current needs of the Army.

The Teodor was the first EOD robot acquired by the Spanish army (2002). Since then two new models have been purchased, the iRobot PackBot 510 and the Avenger. Even though each robot theoretically has its field of action, the technological gap between the new ones and the first is getting bigger, placing the Teodor in a second plane, both operational and technical. This work focuses on these last two terms, betting on solutions that increase the utility and versatility of the robot in present and future scenarios.

Regarding the methodology used, given the great diversity of possible lines of improvement, as a starting point, various decision-support tools have been used, starting with interviews with EOD operators. Once the improvement lines have been prioritized, the digital recreation of those on which it has been decided to work has been carried out. Subsequently, using 3D printing technology, prototypes of the implements that are proposed as an improvement have been manufactured to do real tests with the robot and optimize the final result as accurately as possible.

Finally, a study of new work scenarios has been carried out to increase the scope and functionality of Teodor's current scope of action.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
Lista de acrónimos y abreviaturas	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Estado del arte.....	1
1.2. Ámbito de aplicación	2
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo principal	3
2.2. Objetivos secundarios	3
3. METODOLOGÍA.....	3
3.1. Realización de entrevistas de profundidad	3
3.2. Métodos de ayuda a la decisión	4
3.2.1. Análisis DAFO.....	4
3.2.2. Método AMFE	5
3.2.3. Análisis Make or Buy.....	5
3.2.4. Supplier Selection	5
3.3. Programa de diseño asistido por ordenador SolidWorks.....	6
4. RESULTADOS	6
4.1. Priorización de las mejoras	6
4.2. Diseño y reproducción de las piezas.....	9
4.3. Optimización de las soluciones finales	15
4.4. Adquisición del producto.....	20
4.5. Estudio de esfuerzos	23
4.6. Nuevos escenarios de trabajo.....	26
5. CONCLUSIONES.....	28

6. Bibliografía.....	30
ANEXOS	33
ANEXO I: ORGANIZACIÓN DE LOS BATALLONES DE ZAPADORES DEL E.T.....	35
ANEXO II: TABLAS DEL MÉTODO AMFE	36
ANEXO III: PLANTILLA ESTANDARIZADA DEL MÉTODO AMFE.....	38
ANEXO IV: ENTREVISTAS DE PROFUNDIDAD	39
ANEXO V: RESULTADO DEL ANÁLISIS DAFO.....	60
ANEXO VI: RESULTADO DEL ANÁLISIS MAKE OR BUY.....	61
ANEXO VII: RESULTADO DEL MÉTODO AMFE	62
ANEXO VIII: MEDIDAS TOMADAS SOBRE EL ROBOT PARA EL DISEÑO DE PIEZAS.....	63
ANEXO IX: PLANOS DE LAS PIEZAS DISEÑADAS EN SOLIDWORDS	66
ANEXO X: IMÁGENES DE LAS PIEZAS IMPRESAS EN 3D.....	76
ANEXO XI: PLANOS ISO DE LAS PIEZAS FINALES (MEJORADAS).....	90
ANEXO XII: ANÁLISIS SUPPLIER SELECTION	94
ANEXO XIII: PROPIEDADES DE CADA MATERIAL	95
ANEXO XIV: PONDERACIÓN DE LA DENSIDAD, PESO Y PRECIO DE CADA MATERIAL.....	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Robot Teodor.....	2
Ilustración 2. Robot Teodor EVO.	2
Ilustración 3. Resultado de la selección de herramientas en la entrevista.....	7
Ilustración 4. Detalle del perfil de los dientes de la empujadora F.106.6	10
Ilustración 5. Diseño final de la pieza dientes	11
Ilustración 6. Cortacables MXP-HL001-007	11
Ilustración 7. Diseño final de la pieza cortacables	11
Ilustración 8. Zapapico E.T.	12
Ilustración 9. Diseño final de la pieza pala.....	12
Ilustración 10. Diseño final de la pieza acople indicando cada parte.....	12

Ilustración 11. Posiciones del diseño final de la multiherramienta	13
Ilustración 12. Diseño final de la carcasa para el medidor de distancia.....	14
Ilustración 13. Proceso de extracción de la multiherramienta.....	15
Ilustración 14. Visión de la multiherramienta desde la cámara de la pinza antes y después de la optimización	16
Ilustración 15. Pieza dientes y pieza acople mejoradas.....	16
Ilustración 16. Mejora en la visión del ripper desde la cámara de pinza.....	17
Ilustración 17. Prueba real con la pieza dientes.....	17
Ilustración 18. Prueba real con la pieza pala	18
Ilustración 19. Prueba con el cortacables	18
Ilustración 20. Incidencia del Sol sobre la carcasa inicial (izquierda) y la mejorada (derecha) en un supuesto crítico	19
Ilustración 21. Prueba de medición de distancia en el Teodor	20
Ilustración 22. Análisis de esfuerzos de la pieza acople (1).....	24
Ilustración 23. Análisis de esfuerzos de la pieza acople (2).....	24
Ilustración 24. Análisis de esfuerzos de la pieza cortacables	25
Ilustración 25. Análisis de esfuerzos de la pieza pala	25
Ilustración 26. Análisis de esfuerzos de la pieza dientes.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz DAFO	5
Tabla 2. Datos geográficos y temporales de un supuesto crítico de medición.....	19
Tabla 3. Distancias óptimas de tiro para el armamento del robot Teodor.....	20

Lista de acrónimos y abreviaturas

- AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos.
- Bón.: Batallón.
- Brig.: Brigada.
- CAD: Diseño Asistido por Ordenador. *En inglés:* Computer-Aided Design.
- CIED: Contra Artefactos Explosivos Improvisados. *En inglés:* Counter – Improvised Explosive Devices.
- CWIED: Artefactos Explosivos Improvisados Activados por Cable. *En inglés:* Command Wired Improvised Explosive Devices.
- DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas, Oportunidades.
- Div.: División.
- EOD: Desactivación de Artefactos y Explosivos Improvisados. *En inglés:* Explosive Ordnance Disposal.
- GEDEs: Grupos de Equipos de Desactivación de Explosivos.
- Gral.: General.
- IED: Artefacto Explosivo Improvisado. *En inglés:* Improvised Explosive Device.
- INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.
- NPR: Número de Prioridad de Riesgo.
- OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.
- PMBOK: Guía de los Fundamentos para a Dirección de Proyectos. *En inglés:* Project Management Body of Knowledge.
- RCIED: Artefactos Explosivos Improvisados activados por Control Remoto. *En inglés:* Remote Control Improvised Explosive Device.
- Reg.: Regimiento.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del arte

Los equipos de desactivación de artefactos explosivos (EOD) se han convertido en una herramienta imprescindible para las Fuerzas Armadas Españolas. Su rápida evolución ha estado a la altura de los avances tecnológicos y de las exigencias operativas tanto en territorio nacional como internacional.

Para entender su progreso y desarrollo (1) hay que remontarse al año 1979, cuando se crean los Grupos de Equipos de Desactivación de Explosivos (GEDE,s.) principalmente para la realización de tareas de investigación e instrucción. Poco después, con la entrada de España en la OTAN (1982) comienza un proceso de normalización a través del cual se introduce el término “EOD”, y con él una nueva línea de acción más universal que la anterior: no solo hay que realizar investigaciones de artefactos IED, sino que es necesario crear especialistas en su desactivación y además, aumentar el ámbito de aplicación a cualquier otra munición de guerra (proyectiles, granadas, cohetes, minas, bombas, submunicaciones...). De esta manera, se inicia una intensa tarea de actualización de conocimientos y medios para estar a la altura de los países del Tratado del Atlántico Norte y, sobretodo, para capacitar al ejército frente a un tipo de amenazas cada vez más creciente: el ataque con artefactos explosivos por parte de grupos terroristas.

De esta manera, dicha actualización pronto comenzó a verse reflejada en la adquisición de nuevos medios de desactivación de explosivos. De todos ellos, hubo uno que marcó un antes y un después: el robot Teodor, dispositivo diseñado por la empresa alemana *Telerob*, capaz de desactivar artefactos explosivos a distancia mediante una tecnología avanzada y puntera para la época (2002). Su principal ventaja consiste en la reducción del riesgo al que se exponen los operadores EOD a la hora de manipular las cargas o realizar tareas peligrosas: el robot es capaz de neutralizar cargas mediante varias armas que lleva incorporadas. Cabe mencionar que ha sido el primer robot EOD en participar en misiones internacionales: la primera vez en Afganistán, mayo de 2002 – noviembre 2003 (1). Actualmente el Ejército de Tierra dispone de 22 unidades en funcionamiento repartidas en zona de operaciones y en territorio nacional.

Sin embargo, si bien el robot Teodor fue uno de los dispositivos más avanzados para su época, a día de hoy, tras 18 años de avances tecnológicos, se han diseñado y adquirido nuevos robots de desactivación para los equipos EOD: el iRobot PackBot 510 (año 2008) y el Avenger (año 2019). Es cierto que este aumento de plantilla tiene como objetivo complementar las capacidades de los dispositivos para poder hacer frente a un mayor abanico de situaciones: los nuevos dispositivos se clasifican como robots medios, es decir, su tamaño y peso es menor que el caso del Teodor (robot pesado). Esto se traduce en una mayor versatilidad, movilidad y facilidad de transporte, permitiendo un uso que difícilmente se puede dar a los modelos pesados: realizar actividades de reconocimiento o vigilancia de zonas próximas a las primeras líneas del conflicto.

Es así como se pretende cubrir las necesidades del entorno operativo. Por un lado, explotando las capacidades de los robots empleados en vanguardia; y por otro, aprovechando la seguridad y fiabilidad que aporta el uso del Teodor en la desactivación de artefactos dispuestos por el enemigo en zona de operaciones.

No obstante, la brecha entre el primero y los nuevos diseños es cada vez más grande: la tecnología de hace 20 años (sistemas analógicos) es casi incomparable a la que se está desarrollando actualmente (sistemas digitales basados en microchips y nanoelectrónica). Conviene señalar que cuando se hace mención a los nuevos dispositivos, a parte de los ya nombrados, se incluyen aquellos que están actualmente en el mercado, y que, por lo tanto, son una opción de adquisición para modernizar el material del ejército. Esto es exactamente lo que ocurre con el prototipo Teodor EVO, desarrollado por la empresa *Telerob* en el año 2018, como resultado de la mejora y actualización del modelo anterior (el que se estudia en este trabajo). Este nuevo modelo es en apariencia parecido al Teodor (véase la *Ilustración 1 y 2*) pero incluye una serie de cambios basados en la tecnología actual y en las necesidades que se han deducido de la experiencia recabada con su antecesor. Las principales mejoras (expuestas en la página web de *Telerob* (2)) son las siguientes: panel de control de menor tamaño y táctil, cámaras con calidad HD y alta capacidad de ampliación de imagen, mayor número de herramientas para la detección de explosivos, aumento de la cobertura de área de manejo e integración en las pinzas de un medidor de distancia para mejorar la precisión de sus sistemas de tiro.



Ilustración 1. Robot Teodor.
Fuente: www.telerob.com



Ilustración 2. Robot Teodor EVO.
Fuente: www.telerob.com

Viendo en perspectiva la trayectoria de los robots EOD surgen las siguientes cuestiones: ¿el robot Teodor está a la altura de las necesidades operativas actuales?, ¿sería conveniente potenciar su uso mediante mejoras que estén al alcance del Ejército o se debe apostar por la adquisición de nuevos dispositivos?

1.2. Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de este proyecto compete al Ejército de Tierra, en concreto a las unidades de Ingenieros que disponen del robot Teodor. Además, el trabajo es de aplicación a la *Fase de servicio* en el proceso de obtención (3) de armamento y material del Ministerio de Defensa. Más concretamente, dentro de dicha fase, pertenece a la *Etapas de modernización* (llevada a cabo durante el periodo de vida operativa del elemento adquirido).

Para entender el verdadero alcance al que este trabajo se refiere, conviene conocer de forma específica qué unidades EOD hay en el Ejército de Tierra. Actualmente cada Batallón de Zapadores dispone de dos equipos EOD. Cada equipo EOD tiene al menos un robot de desactivación de explosivos (el Teodor y, en ciertos casos, el iRobot PackBot 510 o el Avenger).

Dentro de la organización del Ejército de Tierra (4) se encuentran 11 Batallones de Zapadores (ANEXO I). En total, 22 equipos EOD con sus respectivos robots.

En definitiva, este trabajo es de aplicación a los 22 robots Teodor que hay en plantilla en el Ejército de Tierra español, estén en zona de operaciones o no.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo principal

El objetivo principal del trabajo es la mejora y optimización del Teodor mediante el estudio de aquellas líneas de acción que aumenten su utilidad y polivalencia.

Dicho objetivo permitirá alargar la vida útil del robot y reducir la necesidad de adquirir nuevos dispositivos que ocupen el lugar del Teodor. No obstante, esto no quiere decir que el objetivo sea dejar de adquirir nuevos robots EOD. Más bien, se trata de que el robot Teodor tenga un ámbito de actuación definido en el que pueda ser empleado eficazmente, a la altura de los escenarios actuales y en consonancia con el resto de medios que dispone el Ejército, incluyendo los nuevos robots EOD ya adquiridos o en plan de adquisición.

Así pues, desde un punto de vista más general, con este trabajo se pretende contribuir al buen desempeño y aprovechamiento de medios de los que dispone actualmente el Ejército.

2.2. Objetivos secundarios

Como el objetivo principal es un concepto bastante amplio que puede considerarse desde puntos de vista muy diversos, se ha determinado una serie de objetivos secundarios a través de los cuales alcanzar el principal de forma más específica y estructurada. Estos objetivos son:

- Identificación de los aspectos de mejora del Teodor: mediante una serie de métodos de ayuda a la decisión que permitan encauzar las líneas de mejora y optimización hacia la dirección más apropiada.
- Diseñar accesorios o herramientas ad hoc que permitan satisfacer las necesidades de mejora determinadas en el objetivo anterior.
- Optimización de las soluciones finales: estudiar diferentes parámetros que afecten al rendimiento de las mejoras y realizar las modificaciones necesarias.
- Estudio de nuevos ambientes en los que puede operar el robot Teodor, considerando la posibilidad de implementación de mejoras que lo capaciten para su actuación en dichos escenarios.

3. METODOLOGÍA

3.1. Realización de entrevistas de profundidad

Valorar o aportar información sobre la mejora y optimización del robot Teodor requiere de la colaboración de los más expertos en la materia: los operadores EOD. Por

esta razón, las entrevistas se han dirigido exclusivamente a ellos (en total a 7 operadores).

Cabe señalar que la realización de entrevistas de profundidad se trata de un método de ayuda a la decisión catalogado como “juicio de los expertos” (5) en el que se cuenta con personal especializado en la materia que se quiere analizar. Aunque el juicio de un experto puede conllevar ciertos prejuicios ligados a determinadas experiencias, en este trabajo dicha situación es improbable ya que se tratan temas bastante técnicos y por lo tanto, difícilmente subjetivos.

En base a las propuestas y puntos de vista aportados por los operadores de la Brigada Extremadura XI (con los que ha sido posible mantener un contacto directo), se ha realizado una entrevista no solo para plasmar su opinión sino también para poder analizar y comparar la opinión de otros operadores EOD pertenecientes a diferentes Unidades del Ejército.

La entrevista se ha realizado en formato digital a través de *Google Formularios* (6). Esta se compone de una serie de preguntas de respuesta abierta por un lado, y de respuesta múltiple por otro. A través de ellas se ha definido el punto de partida de las líneas de mejora y optimización que posteriormente se han desarrollado.

3.2. Métodos de ayuda a la decisión

La mejora y optimización del robot Teodor implica un cambio, una modificación, algo nuevo, algo que, en definitiva, se debe adquirir de la manera más óptima. Será una buena planificación de adquisiciones la vía que se ha de seguir para alcanzar la conclusión exitosa del proyecto.

Para este trabajo se han escogido cuatro herramientas estandarizadas que se encuentran dentro del macroproceso “Planificación” y de las áreas de conocimiento “Adquisiciones” y “Riesgos”, pertenecientes a la guía PMBOK (5). Estas herramientas son: análisis DAFO, método AMFE, análisis Make or Buy y Supplier selection.

3.2.1. Análisis DAFO

Para entender el funcionamiento de esta herramienta basta con conocer el significado de las siglas DAFO. Para ello, se ha tenido en cuenta desde qué punto de vista se está realizando el estudio. Según la Guía DAFO de Aula CM (7) :

- Análisis interno: puntos débiles (**sigla D**: Debilidades), aquellos que restan fuerza a la empresa; y puntos fuertes (**sigla F**: Fortalezas), factores propios de la empresa que la mantienen en una buena posición.
- Análisis externo: factores externos que dificulten el progreso de la empresa (**sigla A**: Amenazas); y ventajas que el entorno le ofrece a la empresa (**sigla O**: Oportunidades).

El análisis DAFO puede realizarse desde una perspectiva global de una empresa, organismo o entidad, pero también se puede referir a un aspecto concreto que se quiera analizar dentro de un área específica. En este trabajo el análisis se va a enfocar desde esta última opción. En concreto, se va a referir al objetivo principal del que ya se ha hablado pero tratándolo de forma general: “La mejora y optimización de material y equipo del Ejército de Tierra español”.

Para llevar a cabo este método se ha hecho uso de la matriz DAFO (Tabla 1), sobre la cual se han situado todos los resultados del análisis.

	INTERNO	EXTERNO
NEGATIVO	DEBILIDADES	AMENAZAS
POSITIVO	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES

Tabla 1. Matriz DAFO

3.2.2. Método AMFE

Una vez definido el objetivo del estudio y determinados los modos potenciales de fallo, el método AMFE (8) cuantifica un número de prioridad de riesgo (NPR) para cada caso analizado. Se podría decir que es el concepto que más caracteriza a este método. Se trata de un valor que se halla multiplicando tres indicadores: G (gravedad), para indicar el efecto que tiene dicho factor sobre el cliente; O (ocurrencia), se trata de la probabilidad con la que aparece el fallo; y D (detección), que establece la dificultad de ser detectado antes de llegar al cliente. La fórmula es la siguiente: $G \times O \times D = NPR$.

Para lograr una mayor precisión a la hora de calcular el NPR, el método AMFE establece una serie de valores (limitados del 1 al 10) para cada indicador en función de cada caso general que se pueda dar. Estos valores se reflejan en tres tablas específicas (ANEXO II).

Una vez que se ha determinado el valor del número de prioridad de riesgo (NPR) se procede a describir las acciones correctivas pertinentes y, considerando su efecto, se genera un nuevo valor para el NPR. Para agilizar este proceso se ha hecho uso de una tabla normalizada en la que se ha reflejado cada paso del proceso junto con los resultados finales (ANEXO III).

El método AMFE será utilizado en este trabajo para realizar un análisis de los fallos o deficiencias que presenta el robot Teodor y así poder plantear soluciones que posteriormente podrán derivar en líneas de mejora y optimización a desarrollar.

3.2.3. Análisis Make or Buy

El análisis Make or Buy (9) consiste en identificar aquellos factores que influyen positiva o negativamente a la hora de obtener el producto que se desea adquirir. Propone dos vías: la que analiza la utilización de los medios propios para adquirir el producto (*Self-manufacturing*); y la que estudia las vías externas de adquisición a través de diferentes proveedores (*External supply*).

En este trabajo se va a emplear el análisis Make or Buy para fundamentar la decisión de adquisición de aquello que se debe obtener para satisfacer la mejora y optimización de material y equipo en el Ejército de Tierra.

3.2.4. Supplier Selection

Método (9) que se aplica en el proceso de adquisición de material, mediante el cual se obtienen aquellas mejoras que se han considerado definitivas.

Consiste en comparar diferentes proveedores que ofrecen aquello que se desea implementar. Para ello, se analizan varios factores que pueden influir sobre la decisión del comprador de manera diferente. Concretamente, se trata de asignar una importancia específica a cada característica (en este método se define como *Weighted Assessment*). De esta manera, se obtiene una jerarquización de los proveedores que más se ajustan a las necesidades. En los análisis realizados para este trabajo se han estudiado los costes y la calidad de la fabricación de las piezas diseñadas.

3.3. Programa de diseño asistido por ordenador SolidWorks

SolidWorks (10) es una herramienta de diseño CAD que permite modelar piezas y ensamblajes en 3D y 2D. Una de las principales ventajas que ofrece es su potente capacidad de estudio, análisis y simulación de aquello que se diseña.

En primer lugar, se ha empleado para diseñar las mejoras que se han decidido implementar.

En segundo lugar, se han realizado simulaciones de optimización y análisis de esfuerzos de aquello que se ha diseñado.

Por último, ha sido la principal fuente de información para hacer un estudio sobre el material óptimo con el que se deben fabricar las mejoras.

4. RESULTADOS

4.1. Priorización de las mejoras

En el apartado anterior (3. *Metodología*) se ha explicado en qué consisten los métodos escogidos para priorizar las líneas de mejora sobre las que luego se ha trabajado. Con lo que respecta a este apartado, a partir de las deducciones y resultados obtenidos con dichos métodos, se ha concretado cuáles son las mejoras definitivas y el porqué de su elección.

En primer lugar, se ha tenido en cuenta el resultado de las entrevistas (ANEXO IV) dirigidas a personal con experiencia EOD. En total se han recopilado siete respuestas, de las cuales se han deducido varios aspectos:

- El robot Teodor es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad (lugar ocupa el robot en el Ejército).
- Hay dos líneas principales de mejora: la que concierne al área tecnológica del robot y su posible modernización (características relacionadas con el funcionamiento interno del robot); y la que se refiere al área técnica del mismo (aumento de las capacidades técnicas del robot a través de nuevas herramientas o implementos). Según los resultados, ambas son de interés.
- El robot puede ser empleado en nuevos escenarios que actualmente están fuera de su ámbito de actuación. (esta idea se desarrolla en el apartado 4.6. *Definición de nuevos escenarios de trabajo*).

Dentro de las dos líneas principales de mejora planteadas, se ha extraído la siguiente información:

- Mejoras planteadas en el área interna del robot:

- Cambiar la señal analógica por digital y reducir el tamaño de la Unidad de Vídeo y Unidad de Control.
- Rediseñar el panel de control con tecnología digital intuitiva.
- Cambiar el Sistema de control y enlace por un sistema tecnológicamente más actualizado.
- Realizar mejoras en la distancia de alcance de la señal.

➤ Mejoras planteadas en el área técnica:

Por un lado, tras dar a escoger entre varias herramientas a implementar en la pinza del robot, los resultados en función del porcentaje de operadores que escogió cada herramienta fueron los siguientes (véase la *Ilustración 3*):

- Cortacables (85.7%).
- Pala de arrastre (85.7%).
- Dientes de excavación (71,4%).
- Garfio (42,9%).
- Hoja de corte (14,3%).
- Otra herramienta: para indicar que no añadiría ninguna (14,3%).

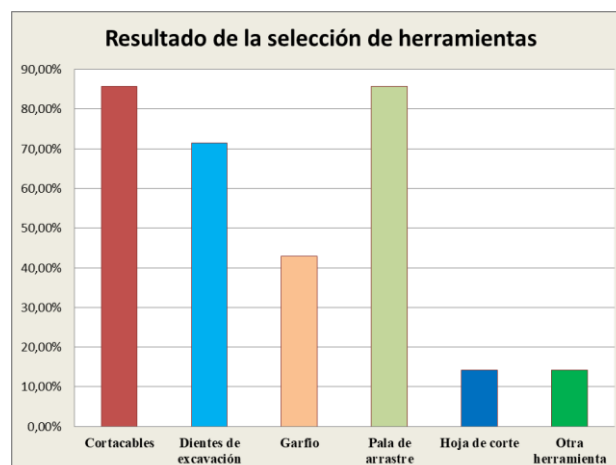


Ilustración 3. Resultado de la selección de herramientas en la entrevista

Por otro lado, se ha propuesto implementar una de las principales mejoras que ya tiene el nuevo modelo Teodor EVO: un medidor de distancia. El resultado ha sido del 85,7% a favor (6 operadores), y 15,3% en contra (1 operador).

En lo que respecta a los resultados del análisis DAFO (ANEXO V) y Make or Buy (ANEXO VI), se han obtenido las siguientes conclusiones:

- La optimización y mejora de material y equipo en el Ejército es una forma de sacar partido a aquello que ya se ha adquirido, ajustándolo a las necesidades de los escenarios actuales y alargando su vida útil.
- Realizar la investigación y el desarrollo de aquello que se quiere mejorar a través de personal y medios propios del Ejército, es una solución que implica menos costes que la vía de adquisición a través de una empresa externa. No obstante, no siempre será posible realizar todas las mejoras que se plantean: hay determinadas áreas cuya mejora requiere de unos medios muy sofisticados o de un personal altamente cualificado.

Recapitulando lo expuesto anteriormente, se ha decidido enfocar el trabajo de la siguiente manera: se va a desarrollar solo la línea de mejora del área técnica del robot. Esto no significa que el área interna del robot sea menos importante, sino que analizando los medios que actualmente tiene el Ejército, el área de mejora tecnológica se escapa de su alcance por la complejidad que conlleva.

De esta manera, se ha analizado mediante el método AMFE (ANEXO VII) las principales mejoras del área técnica del robot deducidas de las entrevistas:

- Implementar un medidor de distancia: es una mejora que responde a la necesidad de optimizar la precisión de tiro del armamento del robot.

En realidad, una de las funciones principales del Teodor es la utilización de este armamento en ambiente CIED. Para tener una idea más clara, se han puesto varios ejemplos del uso que se le da habitualmente a cada arma:

-Cañón disruptor¹ Aquaset: neutralizar IEDs de pequeñas dimensiones mediante una carga de agua o gel.

-Cañón disruptor Dynergit: rotura de cerraduras o despoletado de municiones mediante cargas sólidas o líquidas de tamaño variable (en función del objetivo al que se dispara).

-Escopeta Remington: rotura de cristales de vehículos, neutralización de IEDs o interrupción de cerraduras.

-Sistema de disparo Telemach: desactivación de IEDs y artefactos incendiarios, eliminación de cilindros de gas o extintores, forzado de cerraduras o disparo sobre objetivos en coches.

En todos los casos anteriores se da la misma situación, cada arma ha sido diseñada para ser disparada a una distancia específica (véase el manual del robot Teodor (11)). Esto significa que para que se produzcan los efectos deseados sobre el objetivo, es necesario disparar exactamente a esa distancia. Actualmente, el cálculo se realiza de forma aproximada. Además, hay que tener en cuenta que el robot se maneja a través de un panel de control, donde mediante varias cámaras, se ofrece una imagen de este y su entorno. Por esta razón, realizar un cálculo aproximado de la distancia a la que se debe colocar el arma respecto al objetivo no es tarea fácil (en determinadas armas la precisión debe ser de centímetros).

Dado que el Ejército actualmente dispone de medidores de distancia, para implementar esta mejora ha sido necesario diseñar una carcasa de acople entre el robot y el medidor.

- Implementar un cortacables: uno de los casos de ataque IED más comunes es el realizado a distancia, mediante un cable que transfiere la corriente necesaria para que el terrorista active la carga. Este caso recibe el nombre de ataque CWIED, cada vez más habitual, principalmente por la burbuja de seguridad que los avances tecnológicos han sido capaces de dotar a los vehículos militares. Esta impide la entrada de señal externa y, por lo tanto, inhabilita la activación de aquellas cargas activadas con energía electromagnética (RCIED).

¹ Según la RAE, interrupción es una rotura o interrupción brusca.

Los equipos EOD tienen en plantilla un cortacables para los casos en los que hay que desactivar una carga CWIED (entre otros). Sin embargo, este debe ser utilizado de forma manual, obligando a un operador a acercarse a las inmediaciones del cable, y por lo tanto, a las del IED. En definitiva, esto se traduce en un aumento del riesgo al que se expone el operador: existe la posibilidad de que al acercarse, el terrorista active la carga.

Para desarrollar esta mejora se ha diseñado un cortacables que se puede acoplar al brazo mecánico del robot y que funciona por tracción, es decir, aprovecha el propio movimiento del robot para realizar su función.

- Implementar herramientas de excavación: esta mejora responde a la necesidad de descubrir minas, municiones o artefactos explosivos que han sido enterrados bajo tierra y, mediante medios de detección o indicios, se sabe el lugar en el que se encuentran.

A diferencia de otros modelos, el robot Teodor no dispone de herramientas de excavación para los fines antes expuestos. La alta precisión y delicadeza que conlleva la manipulación de explosivos, hace que las pinzas del robot no sean una posible solución. Por ello, si solo se dispone en una situación dada del robot EOD Teodor y es necesario descubrir una carga, un operador se deberá aproximar y, mediante herramientas manuales o sus propias manos, realizar la tarea de excavación. En definitiva, una vez más, se expone a una situación de riesgo evitable.

El desarrollo de esta mejora ha consistido en el diseño de dos herramientas: unos dientes de excavación para levantar el terreno que se encuentra sobre la carga enterrada; y una pala para arrastrar aquella tierra que se ha removido (algo parecido a la función que realiza una excavadora convencional de construcción, pero a pequeña escala y con la precisión que conlleva la manipulación de explosivos).

En resumen, se han priorizado una serie de mejoras para el robot Teodor, accesibles para el Ejército y a la altura de necesidades específicas que han sido propuestas por los propios operadores EOD. En los apartados que vienen a continuación se trabaja sobre el diseño de estas mejoras, su implementación y optimización.

4.2. Diseño y reproducción de las piezas.

Haciendo uso del software SolidWorks (descrito en el apartado 3. *Metodología*) y de la tecnología de impresión 3D, se ha realizado el diseño y la materialización de los implementos que definitivamente se han escogido como solución a la mejora y optimización del robot Teodor:

- Carcasa para acoplar medidor de distancia laser.
- Multiherramienta manipulable con el brazo mecánico del robot, compuesta por tres herramientas EOD: cortacables, dientes de excavación y pala de arrastre. Para que las tres puedan ser utilizadas simultáneamente², se ha diseñado una pieza de acople capaz de soportarlas adecuadamente.

² El hecho de que puedan ser utilizadas simultáneamente responde a una solución de eficiencia espacial: portar tres herramientas en una sola pieza permite que en el soporte del robot Teodor se puedan llevar otras dos herramientas o armas.

Este proceso ha sido largo y complejo. De hecho, ha sido la parte de desarrollo del trabajo que más tiempo ha requerido. Por ello, se ha considerado adecuado separar en fases la evolución de este proceso.

➤ **Fase 1:** Toma de medidas.

Los implementos finales van acoplados al robot en diferentes zonas específicas. Esto no solo ha supuesto tener en cuenta la parte en la que va a haber contacto entre la pieza y el robot, sino que además se han considerado las partes del robot (fijas o móviles) que pudieran interceptar o impedir el correcto funcionamiento de las mejoras añadidas. Además, para el diseño de la carcasa ha sido necesario calcular las dimensiones del medidor de distancia que se va a utilizar para este proyecto: el aparato de medición láser *Bosch GLM 50 C*, actualmente disponible en la plantilla de material y equipo de las Unidades de Ingenieros.

En el ANEXO VIII se muestra de forma explícita qué medidas se han realizado para el diseño de las piezas y el porqué de su importancia.

➤ **Fase 2:** Diseño de las piezas.

Como ya se ha dicho al principio de este apartado, el diseño de todas las piezas se ha realizado mediante el software SolidWorks. Gracias a su gran variedad de posibilidades ha sido posible realizar múltiples bocetos hasta dar con los que se han considerado más adecuados.

En primer lugar, cabe decir que el diseño de cada herramienta se ha basado por un lado en dispositivos ya existentes, y por otro, en las indicaciones basadas en la experiencia y necesidades de los operadores EOD de la Brigada Extremadura XI (al fin y al cabo son ellos los que las van a utilizar).

Otro aspecto importante a señalar, es que estas piezas pueden sufrir cambios o ajustes tras el proceso de prueba al que han sido sometidas tras su materialización. El resultado de estas posibles variaciones se verá reflejado posteriormente en el apartado 3.4. *Análisis y optimización de las piezas*.

En esta fase se han reflejado las piezas que se consideraron inicialmente adecuadas (antes de imprimirlas en 3D y realizar pruebas sobre el robot). Los planos ISO de estas se encuentran en el ANEXO IX.

- Pieza dientes (Ripper)

Su diseño se ha inspirado en los dientes de la máquina empujadora de la Sección de máquinas perteneciente a la Compañía de apoyo de la Brigada Extremadura XI. En definitiva, la función de la pieza dientes va a ser similar pero a pequeña escala: escarbar en el terreno.



Ilustración 4. Detalle del perfil de los dientes de la empujadora F.106.6
Fuente: propia

El diseño final se muestra a continuación en la *Ilustración 5.* , donde aparece su perfil y acabado en 3D final.

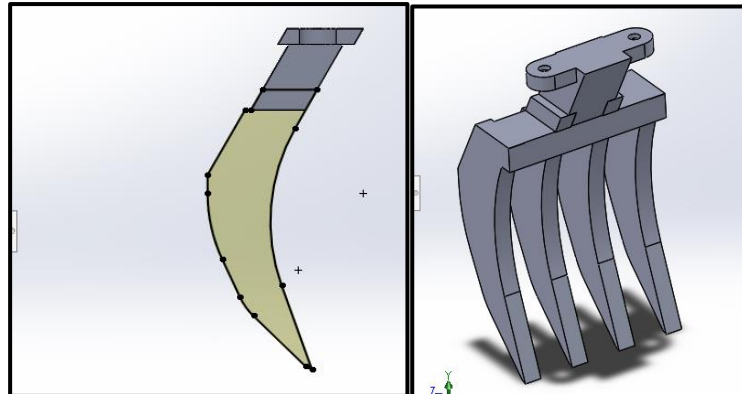


Ilustración 5. Diseño final de la pieza dientes
Fuente: propia

- Pieza cortacables

La principal peculiaridad de esta herramienta es que la hoja de corte es intercambiable. De esta manera, cuando la hoja se haya dañado por uso o accidente, se podrá sustituir sin necesidad de tener que fabricar otro cortacables. Para ello se han diseñado dos piezas (véase la *Ilustración 7*) fácilmente acoplables mediante dos tornillos hexagonales.

Para realizar el diseño del cortacables se ha tomado como referencia el cortacables (véase la *Ilustración 6*) que ofrece en su catálogo de quipo EOD la empresa estadounidense *Blasters Tool & Supply* (12).



Ilustración 6. Cortacables MXP-HL001-007
Fuente: www.blasterstool.com

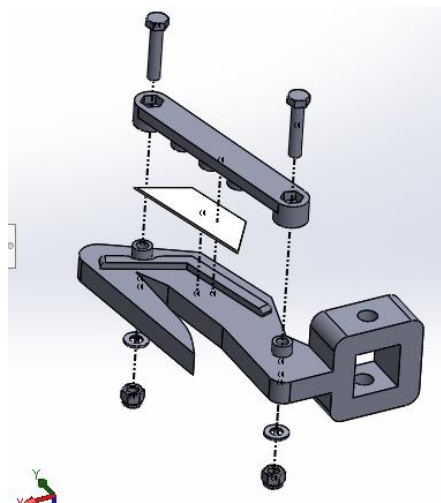


Ilustración 7. Diseño final de la pieza cortacables
Fuente: SolidWorks

Su diseño (véase *Ilustración 9*) se ha basado en la pala de la herramienta zapapico que está en dotación en el Ejército de Tierra (*Ilustración 8*). Las modificaciones más notables que se han realizado son un aumento en la curvatura y en la superficie de la pala. Estas fueron propuestas por los operadores EOD de la Brigada Extremadura XI para no solo empujar y retirar el terreno removido, sino también para sostener y desplazar cargas, IEDs o artefactos sobre los que no se desea ejercer presión (como ocurriría con la pinza).



Ilustración 8. Zapapico E.T.
Fuente: propia

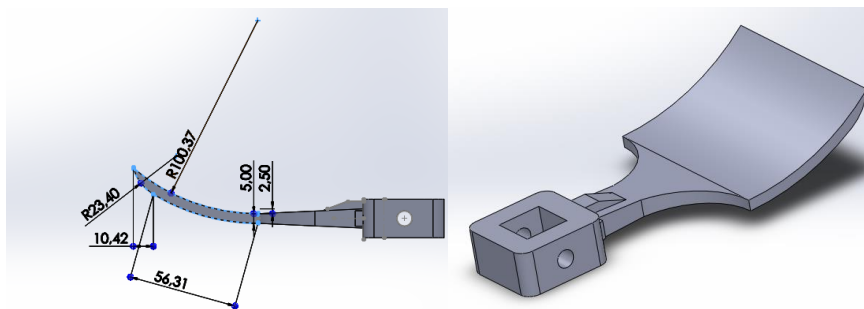


Ilustración 9. Diseño final de la pieza pala
Fuente: SolidWorks

- Pieza acople

Para poder utilizar las tres herramientas de forma simultánea ha sido necesario realizar el diseño de un soporte que reúna las siguientes características: tres puntos de acople para la colocación de las herramientas en la dirección adecuada; un rail para poder unir la pinza del robot a la pieza acople; y un sistema de sujeción al soporte portaherramientas del Teodor para poder utilizar otras herramientas, armas o, simplemente, usar la pinza.

A continuación se indican por colores (véase la *Ilustración 10*) las características que se han nombrado en el párrafo anterior: rojo para los acoples de las tres herramientas; amarillo para los dos tetones de sujeción al soporte; y verde para el rail en el que se introducirá la pinza del robot.

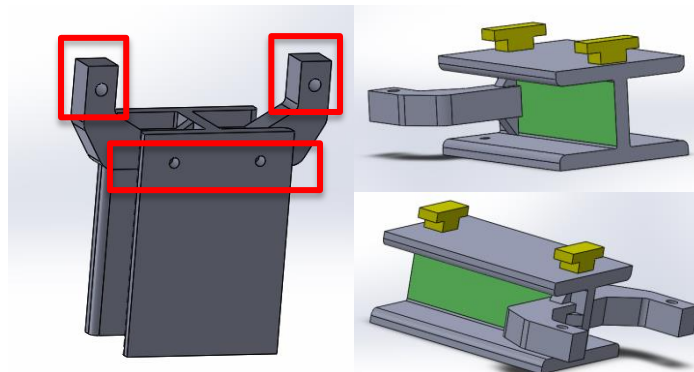


Ilustración 10. Diseño final de la pieza acople indicando cada parte
Fuente: propia

- Pieza ensamblaje final (multiherramienta)

No es más que la unión de las cuatro piezas expuestas anteriormente. Esta se realizará mediante los correspondientes pasadores y tornillos.

Teniendo en cuenta que la pinza puede girar 360°, cada herramienta será utilizada en una posición determinada en función del giro que se le dé a la pinza. Se van a definir las distintas posiciones de la pieza haciendo referencia a los grados de giro (véase la *Ilustración 11*):

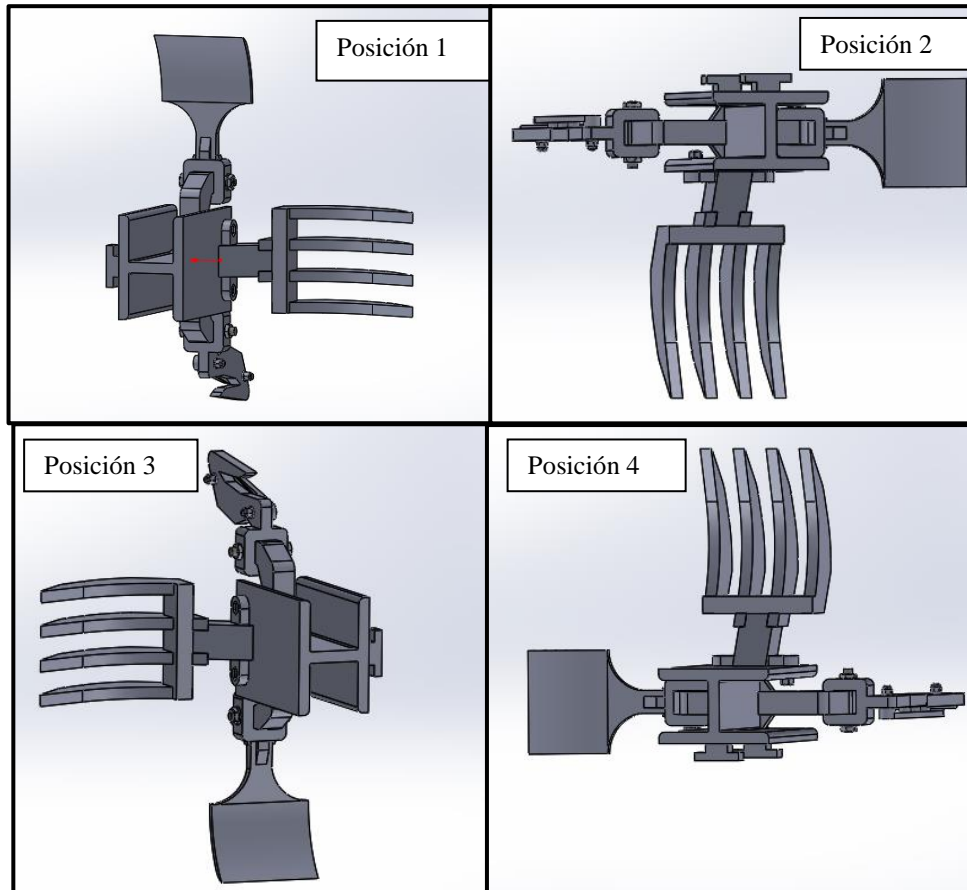


Ilustración 11. Posiciones del diseño final de la multiherramienta
Fuente: SolidWorks

- ❖ Posición 1: para el uso del cortacables. Giro de la pinza = 0°.
- ❖ Posición 2: para el uso del ripper. Giro de la pinza: 90° en sentido horario desde la posición 1.
- ❖ Posición 3: para el uso de la pala. Giro de la pinza: 180° desde la posición 1.
- ❖ Posición 4: para acoplar la pieza al soporte portaherramientas del Teodor. Giro de la pinza: 90° en sentido antihorario desde la posición 1.

(Se considera que la zona sobre la que las herramientas van a operar está en la posición vertical más baja).

- Pieza carcasa

El medidor de distancia para el que se ha diseñado esta pieza (Bosch GLM 50C) posee una pantalla digital en la que se muestra de forma constante la distancia

calculada. Su mecanismo se basa en un láser que al encontrar una superficie sólida devuelve al dispositivo cada 0,5 segundos la distancia que hay hasta esta. Una vez acoplado sobre el robot, la forma de conocer el resultado de las mediciones es mediante la cámara de manipulación del robot. Gracias a su función de zoom, se puede enfocar a la pantalla del medidor de distancia y ver a través del panel de control el valor numérico.

Tras haberse realizado una serie de pruebas de calidad de imagen, se concluyó que la posición ideal sería aquella en la cual la pantalla del medidor de distancia quedase paralela al objetivo de la cámara. Sin embargo, al colocar el medidor en dicha posición, el láser es proyectado hacia arriba (distancia no válida, debe medir en la dirección transversal a la pinza y a los sistemas de tiro). Para solventar este problema, se han aplicado las leyes de la reflexión (13):

1. El rayo incidente forma con la normal un ángulo de incidencia que es igual al ángulo que forma el rayo reflejado con la normal, que se llama ángulo reflejado.
2. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.

La reflexión máxima se alcanza con una superficie plana y pulida.

Partiendo de estas premisas, la solución a la que se ha llegado es la siguiente: colocar sobre la carcasa un espejo que forme 45° con el haz del láser del medidor de distancia. Así, según las leyes de la reflexión, el ángulo del rayo reflejado será también de 45° . Esto quiere decir que su dirección será la deseada, logrando al mismo tiempo que la pantalla esté en la posición correcta (*Ilustración 12*).

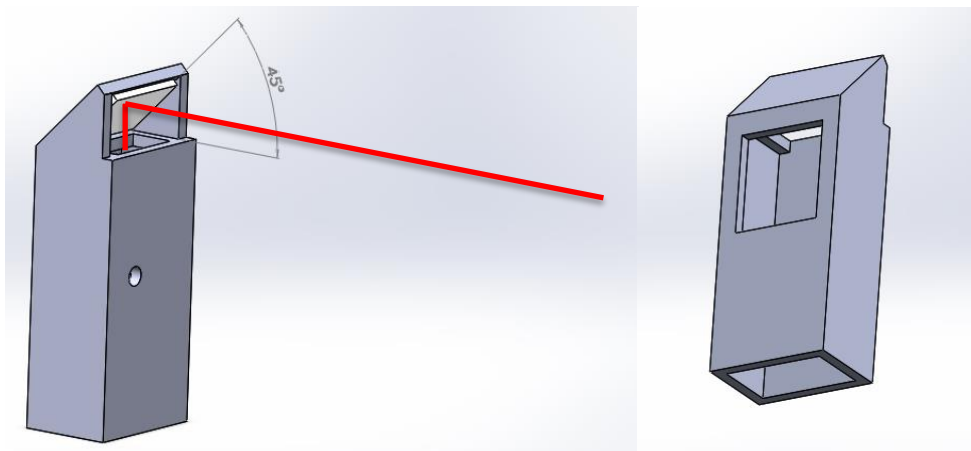


Ilustración 12. Diseño final de la carcasa para el medidor de distancia

Fuente: SolidWorks

Por último, la forma de acoplar la carcasa al brazo vertical del Teodor se realizará a través de velcro adhesivo. Más adelante, en el apartado 4.5. *Adquisición del producto*, se realiza el estudio del velcro más adecuado.

➤ **Paso 3: impresión 3D de las piezas.**

Imprimir las piezas con una impresora 3D puede ser la vía de producción definitiva para aquellas cuyo material óptimo sea el plástico. Dicho estudio se realizará en el apartado 4.5. *Adquisición del producto*. En este caso, la impresión 3D de las piezas se ha realizado con el objetivo de obtener un prototipo inicial con el que poder hacer pruebas reales sobre el robot y así poder optimizar los diseños de la

mejor manera. Esta parte se desarrolla en el siguiente apartado: *4.4. Optimización de las soluciones finales.*

Los prototipos se han impreso en material plástico PETG (copoliéster de polietileno tereftalato glicol) por el laboratorio de impresión 3D del Parque Científico y Tecnológico de Extremadura, Badajoz (14). Se han realizado fotografías del acabado de todas las piezas (ANEXO X).

4.3. Optimización de las soluciones finales

Para optimizar las piezas diseñadas, se han puesto a prueba directamente sobre el Teodor simulando diferentes situaciones reales para las que fueron creadas (todas las pruebas se realizaron operando el robot desde su panel de control a una distancia suficiente para reproducir un caso real en el que no se tiene visión directa del mismo). Posteriormente, se ha hecho uso de SolidWorks para realizar los cambios necesarios en el diseño de piezas.

- Prueba 1: extracción de la multiherramienta del soporte con las pinzas del robot. (Véase el proceso en la *Ilustración 13*).

Proceso: se encara la pinza al rail de la multiherramienta (1); se cierra la pinza dentro del rail (2); se extrae del soporte la pieza (3).

-Resultado: Favorable. No es necesario realizar ningún cambio.

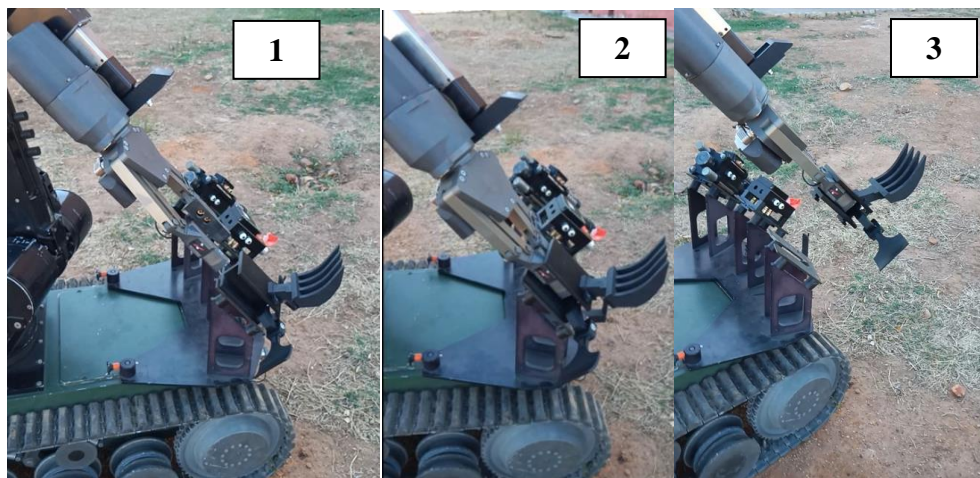


Ilustración 13. Proceso de extracción de la multiherramienta

Fuente: propia

- Prueba 2: visibilidad de la pieza a través de la cámara de la pinza.

La cámara de la pinza es la más próxima a las herramientas. Desde ella se opera con mayor precisión. Por esta razón, se ha comprobado que la imagen captada sea adecuada para cada posición de la multiherramienta.

-Resultado: Favorable para la pieza cortacables y la pieza pala. Desfavorable para el ripper: la longitud de los dientes es mayor que el ángulo captado por la cámara.

-Solución (optimización): reducir la longitud del ripper y poner topes en el rail de la pieza acople para aumentar el ángulo de visión de la cámara (véase la *Ilustración 16*). Estas mejoras se pudieron simular durante la prueba:

a) Topes en el raíl: se introdujo la pinza en el rail hasta una distancia de $\frac{2}{3}$ de la longitud total disponible (suficiente para que el agarre siguiera siendo rígido y estable).

b) Longitud del ripper: se realizó un corte de circunstancias por el plano que separa los dientes y la extensión superior de la pieza (véase la *Ilustración 15*).

c) Visibilidad: se comprobó si con los cambios anteriores la cámara captaba el borde de los dientes del ripper. El resultado fue positivo.

En la *Ilustración 14* se puede observar la mejora en la visibilidad del extremo del ripper.

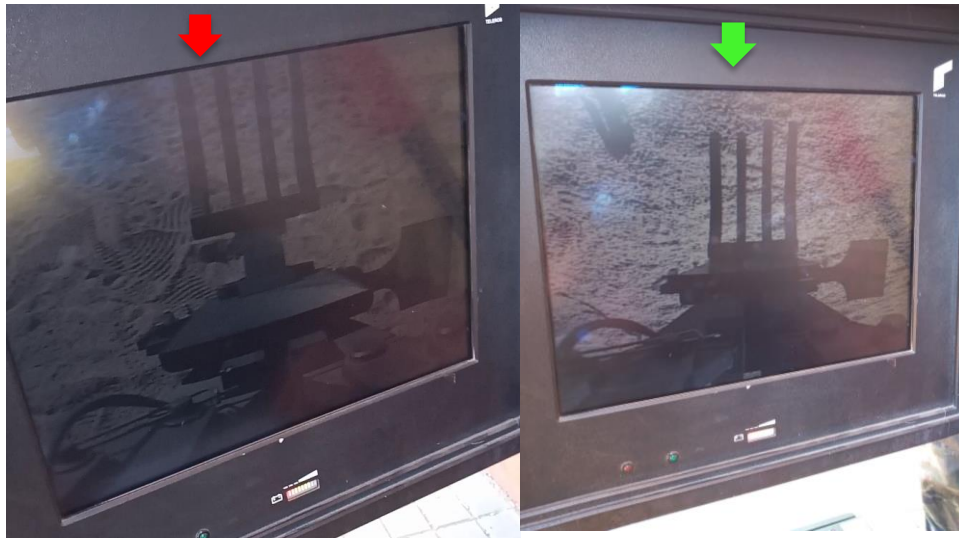


Ilustración 14. Visión de la multiherramienta desde la cámara de la pinza antes y después de la optimización

Fuente: propia

- ❖ Anotación: Durante las pruebas se produjo la rotura de la punta de dos dientes del ripper. De ahí que en la imagen derecha anterior no aparezcan.

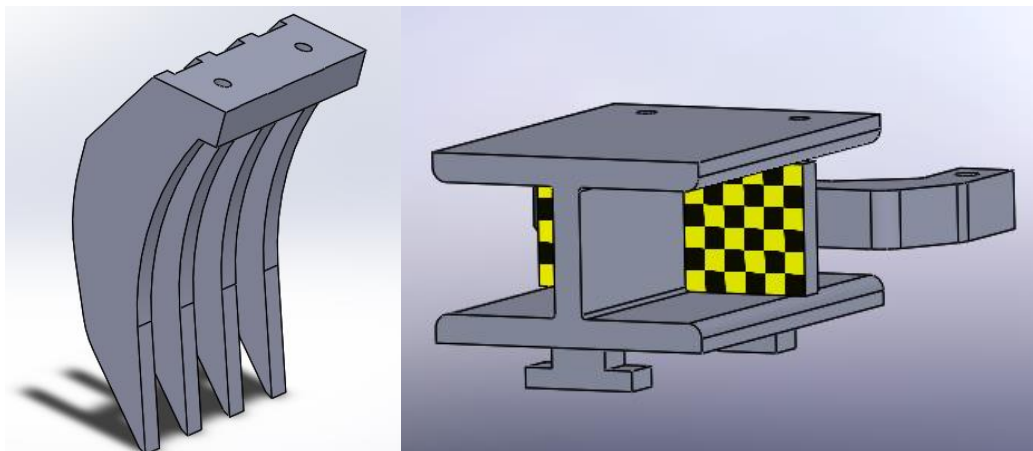


Ilustración 15. Pieza dientes y pieza acople mejoradas

Fuente: SolidWorks

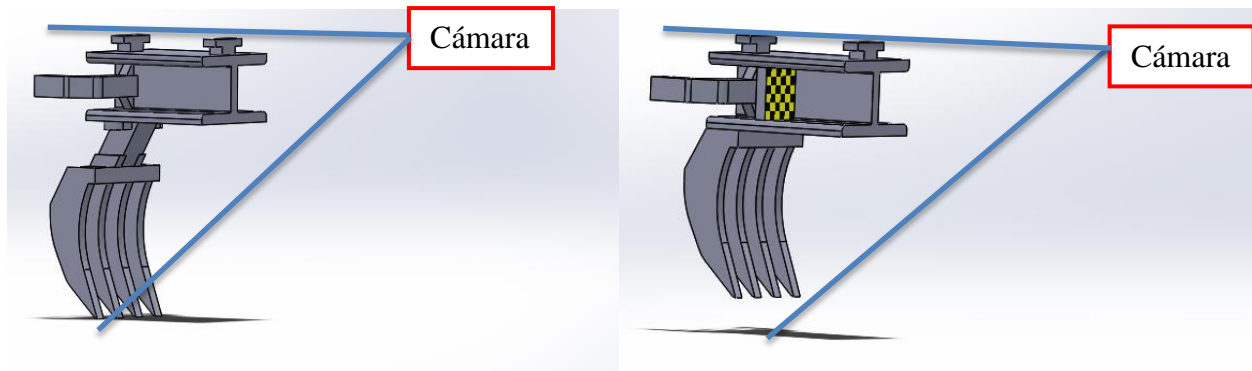


Ilustración 16. Mejora en la visión del ripper desde la cámara de pinza

Fuente: SolidWorks

- Prueba 3: uso del ripper para descubrir un proyectil enterrado bajo tierra.

La situación que se plantea es que se tienen indicios de que en una zona hay un proyectil sin explotar. Se va a proceder a remover el terreno para localizarlo (véase la *Ilustración 17*).

-Resultado: material desfavorable. Dos de los dientes se partieron al ejercer presión sobre el terreno. El PETG no es válido para esta herramienta. En cuanto a su utilidad se concluye que es favorable. A pesar de la rotura se pudo descubrir la carga con eficacia.

-Optimización: fabricación en otro material más resistente. (Dicho análisis se realiza en el apartado 4.5. *Adquisición del producto*).



Ilustración 17. Prueba real con la pieza dientes

Fuente: propia

- Prueba 4: uso de la pala para desplazar un proyectil enterrado.

La situación es la continuación del caso anterior: una vez descubierto el proyectil se quiere mover a otro lugar. Mediante la pala se pretende empujar la carga ejerciendo la mínima presión sobre él. Para ello se debe arrastrar la tierra que hay entre el explosivo y la pala. (Véase la *Ilustración 18*).

-Resultado: ha cumplido su función con éxito. Sin embargo, el material se dobla en exceso al ejercer presión sobre él. Es muy probable que haya estado al borde de partirse.

-Optimización: misma situación que la del ripper. Se debe fabricar en otro material más resistente. (Dicho análisis se realiza en el apartado 4.5. *Adquisición del producto*).



Ilustración 18. Prueba real con la pieza pala
Fuente: propia

▪ Prueba 5: uso del cortacables.

La situación propuesta se da con frecuencia en territorio de operaciones: los equipos de detección encuentran un cable enterrado en las inmediaciones de un punto crítico por el que las fuerzas propias deben pasar. Dicho cable procede de una carga CW-IED (IED Accionado por cable). Se encomienda al equipo EOD neutralizar la carga. Para ello hay que interrumpir la corriente conducida al explosivo. En esta ocasión se pondrá a prueba el cortacables diseñado (véase la *Ilustración 19*). Cabe señalar que previamente es recomendable fijar el cable por dos puntos para que al realizar el corte no se desplace el IED (en la prueba se utilizaron dos estacas de madera).

-Resultado: favorable. Ha cumplido con su función realizando el corte con eficacia. Dado que la presión que se ejerce sobre el cortacables es mínima (la que ejerce el cable sobre la hoja de corte), la resistencia del material en el que fue fabricada (PETG) es suficiente.



Ilustración 19. Prueba con el cortacables
Fuente: propia

▪ Prueba 6: funcionamiento del medidor de distancia.

La situación es la siguiente: se ha detectado un IED y es necesario destruirlo. Para ello, el equipo EOD hará uso del cañón disruptor Dynergit. La distancia

óptima de tiro para causar el máximo efecto es de 40 cm (midiendo desde el extremo final del cañón). Esta se va a calcular con el medidor de distancia.

-Resultado: cálculo del medidor favorable, se ha obtenido con exactitud la distancia de disparo. Por otro lado, respecto a la visibilidad del resultado a través de la cámara de manipulación, mientras que en los espacios interiores ha sido óptima, en zonas en las que la pantalla del medidor de distancia estaba expuesta a la luz directa del Sol, su visión ha sido prácticamente ilegible.

-Optimización: modificación en el diseño de la carcasa, creando una extensión encima de la pantalla del medidor de distancia (a modo de visera) para que los rayos solares no incidan directamente sobre ella. De esta manera, se posibilita la lectura de la pantalla del medidor de distancia en el caso más crítico que se puede dar: toma de medidas un día de verano soleado, en un espacio exterior y en la franja horaria que más luz emite el Sol sobre la Tierra.

Para el rediseño de la pieza, se ha realizado mediante SolidWorks un análisis de la incidencia de los rayos del Sol sobre la carcasa en el supuesto de un caso crítico (véase la *Tabla 2*).

Ubicación, Badajoz, España
Latitud, 37.80°
Longitud, -6.97°
Hora, 12:00:00
Fecha, 28/08/2020
Salida del sol, 07:59
Puesta del sol, 20:59
Duración del día, 13:00(hh:mm)
Altitud del sol, 60.91°

Tabla 2. Datos geográficos y temporales de un supuesto crítico de medición

La longitud de la visera se ha variado hasta obtener el resultado deseado. A grosso modo, el objetivo consiste en que los rayos no incidan directamente sobre la superficie frontal de la carcasa, y por lo tanto, tampoco sobre la pantalla del medidor de distancia. De esta manera, el diseño que se ha considerado como válido ha sido aquél capaz de generar una sombra bajo la parte frontal de la carcasa (si la sombra se sitúa fuera de la superficie de la carcasa significa que los rayos solares no inciden directamente sobre esta: véase la Ilustración 20).

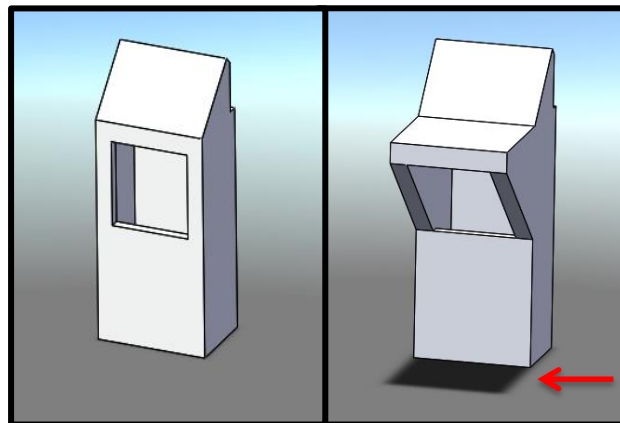


Ilustración 20. Incidencia del Sol sobre la carcasa inicial (izquierda) y la mejorada (derecha) en un supuesto crítico
Fuente: SolidWorks

En cuanto al resultado de las medidas, es necesario sumar a la distancia óptima de tiro de cada arma, la que hay entre el medidor y el extremo del arma que se va a disparar (designada como “Distancia X”). Para agilizar este proceso se ha realizado una tabla de cálculo (véase *Tabla 3*) en la que:

$$\text{Distancia en el medidor} = \text{Distancia óptima} + \text{Distancia X}$$

Anotación: la distancia óptima de cada arma se ha extraído del manual oficial del Teodor (11).

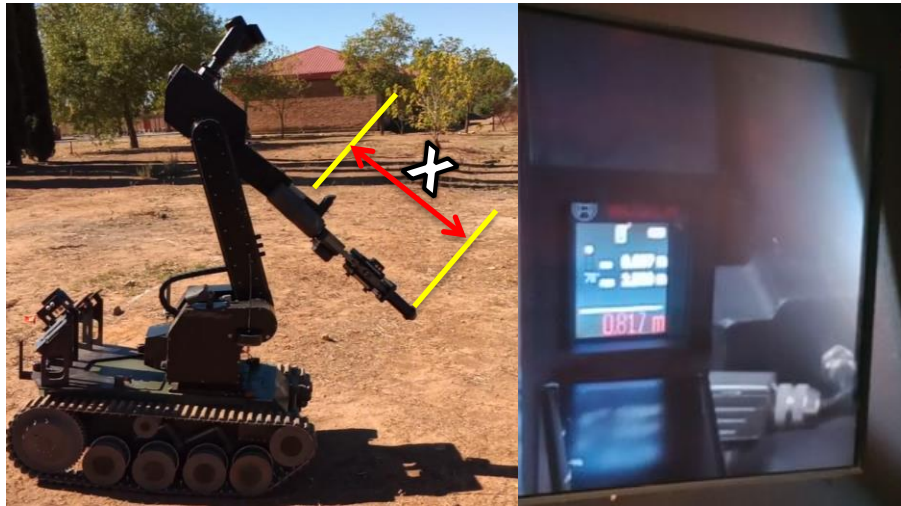


Ilustración 21. Prueba de medición de distancia en el Teodor
Fuente: propia

ARMA	DISTANCIA ÓPTIMA	DISTANCIA X	DISTANCIA EN EL MEDIDOR
DYNERGIT	20 cm	60 cm	80 cm
AQUASET	10 cm	50 cm	60 cm
REMINGTON	10 m	10 cm	10,10 m
Telemach	12 m	55 cm	12,55 m

Tabla 3. Distancias óptimas de tiro para el armamento del robot Teodor

Para concluir este apartado, conviene indicar que se han realizado nuevo planos de aquellas piezas cuyo diseño se ha modificado. Véase el ANEXO XI.

4.4. Adquisición del producto.

Con este apartado se pretende realizar un análisis de los factores que han influido a la hora de planificar la adquisición de las implementaciones finales para el robot Teodor. Al mismo tiempo, se pretende realizar un cálculo de los costes que implican las mejoras que se han desarrollado.

De forma global, hay dos tipos de productos a adquirir: las piezas diseñadas y los elementos de ensamblaje.

Adquisición de las piezas

Del resultado de las pruebas realizadas se dedujo que el plástico no era un material adecuado para determinadas piezas. En concreto, esto ocurrió con el ripper y la

pala. En la situación de la carcasa, el cortacables y la pieza acople, el material del prototipo (plástico PETG) fue válido.

Por tratarse de piezas que han sido diseñadas con precisión milimétrica, su fabricación se debe realizar mediante un equipo de impresión 3D. Se ha distinguido entre:

- Piezas de plástico: Actualmente, dos unidades del Ejército de Tierra han adquirido una impresora 3D convencional (trabaja con plásticos) para que sus equipos EOD se abastezcan de piezas para la contención de diferentes cargas explosivas. Este es el caso de la Brigada “Galicia” VII y la Brigada “Guadarrama” XII, capaces de fabricar las piezas de plástico de este trabajo con su propio equipo.

Exceptuando dichos casos, se ha realizado un análisis Supplier Selection (ANEXO XII) en el que se comparan tres proveedores (Imprimakers (15); Impresión 3D LowCost (16); y Sirok (14)) con la capacidad de impresión 3D en material PETG.

Para el análisis se han considerado dos factores: el coste, con un 65% de importancia; y la calidad, con un 35% de importancia. Estos porcentajes se han determinado en función de la variación de cada factor (el coste varía más que la calidad del acabado).

El resultado del análisis propone que el mejor proveedor es *Imprimakers*, con un coste de fabricación de 3055,00 € (contando con la fabricación de las piezas para todas las Unidades que disponen del robot Teodor y, al mismo tiempo, no tienen impresora 3D).

- Piezas de metal: previamente al análisis de proveedores se ha realizado un estudio sobre qué metal, de los principales que hay en el mercado³, es el más óptimo para la fabricación de las piezas. Para ello se ha considerado la densidad, el límite elástico y el precio de cada uno (ANEXO XIII). No obstante, estas características no han tenido la misma importancia a la hora de seleccionarse el material. De esta manera, se ha asignado en una escala del 1 al 10 los siguientes valores:

-Límite elástico: 8. Lo que más interesa es que las piezas metálicas sean capaces de soportar elevadas tensiones sin llegar a sufrir deformaciones permanentes.

-Densidad: 5. Cuánto más ligeras sean las piezas, menos esfuerzo tiene que realizar el robot para maniobrar con ellas y, al mismo tiempo, se facilita su transporte. El valor que se le ha asignado se debe a que el volumen de las piezas es reducido (318.19 cm^3) y para que el peso suponga un problema se tiene que dar un caso de densidad muy elevada.

-Precio: 4. Es el valor más bajo porque los costes de adquirir una cantidad tan pequeña de material es prácticamente insignificante (si se compara con los costes de fabricación). Sin embargo, es necesario tener en cuenta este valor ya que hay materiales (por ejemplo el oro) cuyo precio es muy elevado.

Para realizar el cálculo matemático de la influencia de estos parámetros se ha calculado la media de cada característica (X). Posteriormente, cada valor (N) se ha dividido entre la media (X). En aquellos casos en los que se buscaba reducir el valor (caso de la densidad y el precio), se ha realizado la inversa del resultado anterior. Por

³ Información extraída de SolidWorks. El programa ofrece una lista de los principales materiales que hay en el mercado con sus correspondientes características técnicas.

último, se ha multiplicado cada cociente por el valor de importancia asignado y se ha sumado el total. En definitiva, se trata de realizar una ponderación de cada característica en función de la importancia que esta tiene y de si su valor debe minimizarse o maximizarse:

$$\text{Ponderación}_i = 8 \cdot (N_1 / X_1) + 5 \cdot (N_2 / X_2)^{-1} + 4 \cdot (N_3 / X_3)^{-1}$$

Dónde:

i= material "i"

X₁= media del límite elástico

X₂= media de la densidad

X₃= media del precio

N₁= valor del límite elástico

N₂= valor de la densidad

Según los criterios expuestos anteriormente, el material óptimo para fabricar las piezas de metal será aquél que haya alcanzado una ponderación mayor. Este ha sido el *Hierro dúctil* (véase el resultado de la ponderación en el ANEXO XIV), con un límite elástico de 551.485.000 N/m², una densidad de 7100 kg/m³, y un precio de 0,40 €/ kg.

Posteriormente se ha realizado un análisis Supplier Selection (ANEXO XII) de tres proveedores (Multi3dprint (17); Materialise (18); Markforget (19)) que fabrican piezas metálicas. Los costes reflejados son exclusivamente del proceso de fabricación. La adquisición del material (hierro dúctil) será un coste aparte.

El resultado del análisis expone que el mejor proveedor es *Materialise*, con un coste de fabricación de 4314,64 €. A este precio habría que añadir el coste del material: $(318,19 \cdot 10^{-6}) \text{ m}^3 \cdot 7100 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,4 \text{ €/kg} = 0,9 \text{ €}$ (por cada robot).

En total el coste sería de 4314,64 € + 0,9 € * 22= 4334,44 €.

Elementos de ensamblaje

Estos elementos aparecen en el ANEXO IX en los planos de los ensamblajes. Dado que la variación de precio entre los proveedores es mínima, se ha considerado que la mejor solución de adquisición es realizar esta compra a proveedores que estén en la misma ciudad dónde se encuentra la Unidad en la que se va a realizar la mejora (de otra manera el coste de envío sería mayor que el de las propias piezas de unión).

Para los tornillos, pasadores, arandelas y tuercas, se ha realizado una estimación (página web *Ferretería.es* (20)) del coste estándar: en total 3,30€ por cada robot mejorado.

En cuanto al velcro que une la carcasa con el brazo horizontal del robot, la cantidad necesaria es de 4 piezas de 25mm x 50mm, adhesivas y de la marca 3M™ (ofrece la fijación suficiente para que el medidor de distancia quede unido al robot y no se caiga con ningún movimiento). El coste (consultado en la página web de *Adesivi Sicurezza* (21)) por las cuatro piezas es de 5,50 €.

Por otro lado, el cortacables ha sido diseñado para que se pueda acoplar una hoja de corte estándar (an. 18.9 x la. 58 x es. 0.63 mm). No obstante, se ha dejado un margen de 5 mm de ancho y de alto para permitir la utilización de modelos con un tamaño diferente. Estimación (realizada en la página web BT-Ingenieros (22)) del coste: 1.89 € por hoja de corte.

En último lugar, el espejo de la carcasa debe medir 4 cm x 3 cm. Además este ha de ser plano y con un grosor entre 3mm y 5mm. El coste (consultado en la página web *Cristal a medida* (23)) por cada espejo es de 7,74€.

➤ Coste total: para cerrar este apartado de adquisiciones se ha realizado un cálculo del coste que supondría realizar las mejoras propuestas en un robot Teodor. La suma de los valores calculados anteriormente ha dado un resultado de 368,2 €.

4.5. Estudio de esfuerzos

Una vez que se ha determinado cuál es el material óptimo para cada pieza, se ha utilizado el complemento de Solidworks de “Simulation” diseñado para estudiar de qué forma se comportan las piezas al soportar una fuerza en una dirección determinada (gráfica de desplazamiento de las partes de la pieza), y para conocer cuáles son las partes más débiles de su estructura (gráfica de tensiones de Von Mises). Además, a partir de los resultados de esta última gráfica se ha calculado cuál es la fuerza máxima capaz de soportar la pieza sin romperse ni deformarse.

La interpretación de todas las gráficas que a continuación se van a mostrar es la siguiente:

En las gráficas de Von Mises, se refleja con una escala de colores (dónde el rojo es el valor máximo y el azul oscuro el mínimo), los valores (en N/m^2) de la tensión que experimenta la pieza en relación al límite elástico del material (factor que determina el color). De esta manera, localizando las zonas rojas se puede conocer cuál es el lugar de la pieza más frágil y, en el caso de superar la fuerza máxima, por dónde rompería. Aparte, si se considera que la fuerza que se va a aplicar es mayor a la máxima (caso extremo que se escapa de la función para la que han sido diseñadas las piezas), mediante este análisis se puede determinar de manera rápida cuál es la zona de la pieza que se debe reforzar.

Por otro lado, en las gráficas de desplazamiento, se genera una escala con el mismo esquema de colores que la anterior pero indicando los valores (en mm) del desplazamiento que sufre cada parte de la pieza al soportar un esfuerzo. La finalidad de este estudio es visualizar el comportamiento físico (rigidez o elasticidad) del material con el que se ha construido la pieza cuando se trabaja con ella.

Para todos los análisis hay tres factores decisivos:

- El material de fabricación de la pieza.
- La zona estática: es la parte que no se mueve de la pieza que se analiza.
- La dirección y la zona sobre la que se aplica la fuerza.

Exceptuando la carcasa del medidor de distancia, que no va a experimentar ningún tipo de fuerza directa, se ha realizado el estudio para el resto de piezas:

Pieza acople

- Material: PETG.
- Zona estática: el rail (hasta los topes), donde la pinza debe agarrar a la pieza de acople.
- Dirección y zona sobre la que se aplica la fuerza: en esta pieza hay tres supuestos que dependen de la herramienta que se esté utilizando. Se ha simulado cada caso posible:
 - Usando el cortacables o la pala: como la pieza es simétrica el resultado de utilizar dichas herramientas sobre la pieza acople es el mismo. La dirección va a ser longitudinal al plano que forman los brazos de la pieza acople y la zona de aplicación, la parte de cada herramienta que entre en contacto con la pieza acople.

Los resultados se muestran en la *Ilustración 22.*: fuerza máxima = 11314.16 N; desplazamiento máximo = 7,781 mm.

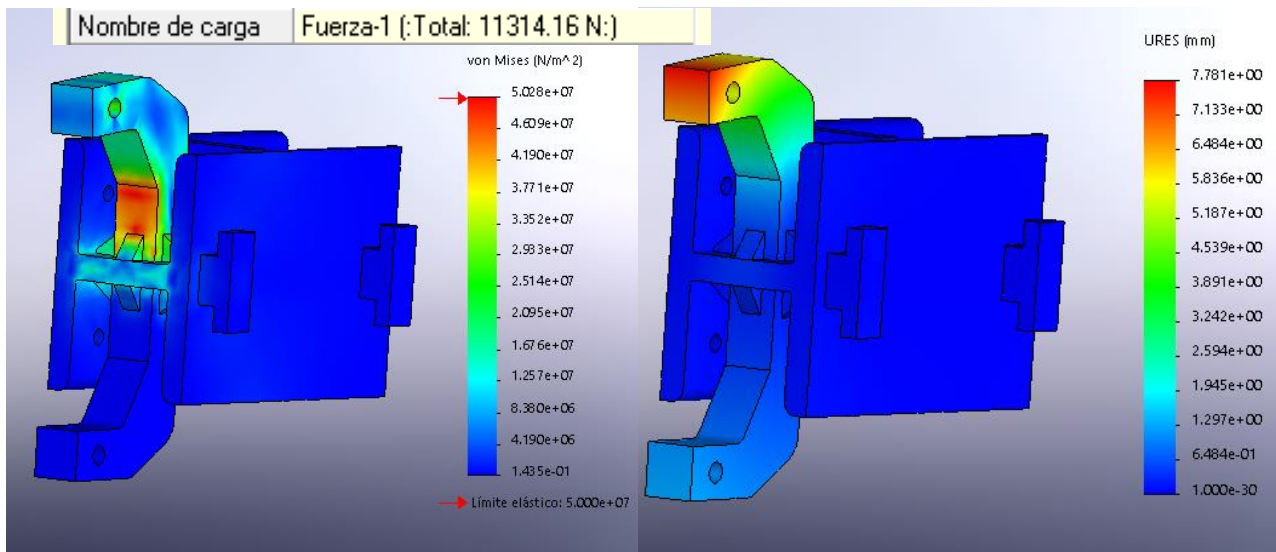


Ilustración 22. Análisis de esfuerzos de la pieza acople (1)
Fuente: SolidWorks

- Usando el ripper: la dirección del esfuerzo es perpendicular a la superficie sobre la que se apoya la pieza dientes y la zona de aplicación es el superficie de contacto entre esta pieza y la de acople.

Se pueden ver los resultados en la *Ilustración 23.*: fuerza máxima = 3900.25 N; desplazamiento máximo = 2.132 mm.

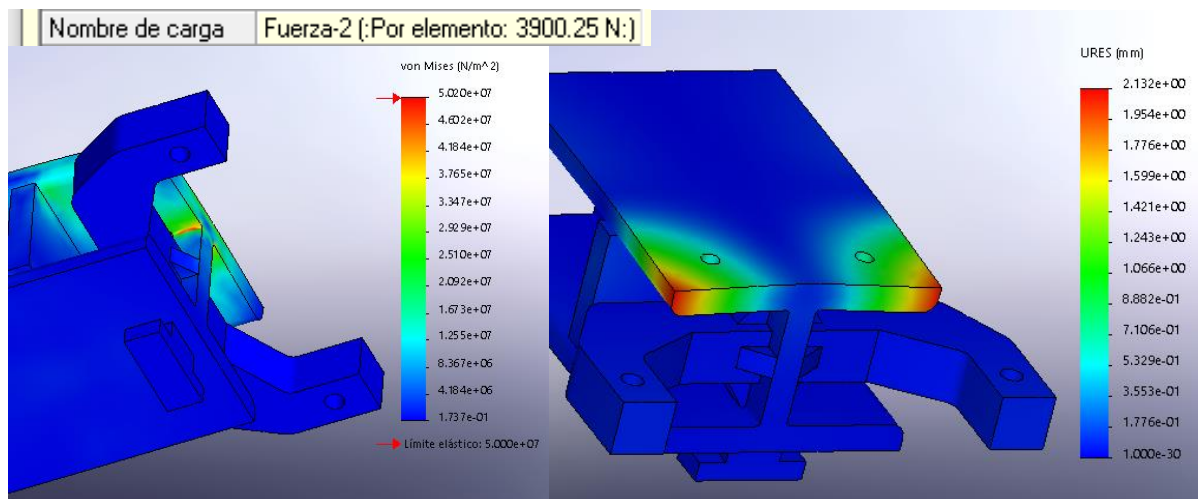


Ilustración 23. Análisis de esfuerzos de la pieza acople (2)
Fuente: SolidWorks

Cortacables

-Material: PETG.

-Zona estática: la superficie del brazo de la pieza de acople al que se une.

-Dirección y zona sobre la que se aplica la fuerza: en dirección paralela a la ranura por la que debe introducirse el cable, sobre el área interior de dicha ranura.

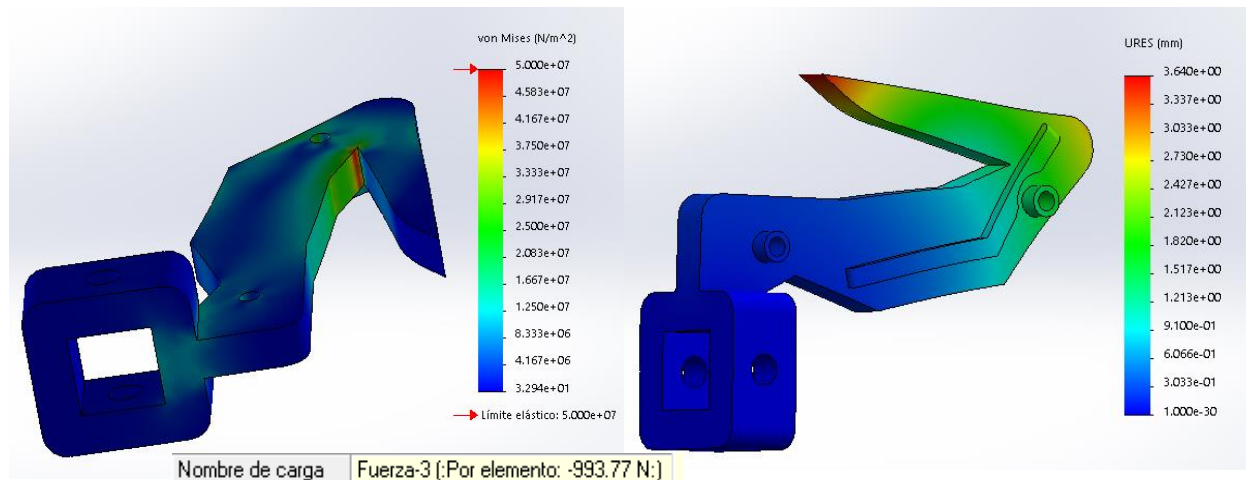


Ilustración 24. Análisis de esfuerzos de la pieza cortacables
Fuente: SolidWorks

Los resultados se pueden ver en la *Ilustración 24*: fuerza máxima = 993,77 N; desplazamiento máximo = 3,64 mm.

Pala

-Material: hierro dúctil.

-Zona estática: la superficie del brazo de la pieza de acople al que se une.

-Dirección y zona sobre la que se aplica la fuerza: en dirección perpendicular a la superficie de la pala que va a realizar el trabajo (la superficie curva), y la zona de aplicación esa misma superficie.

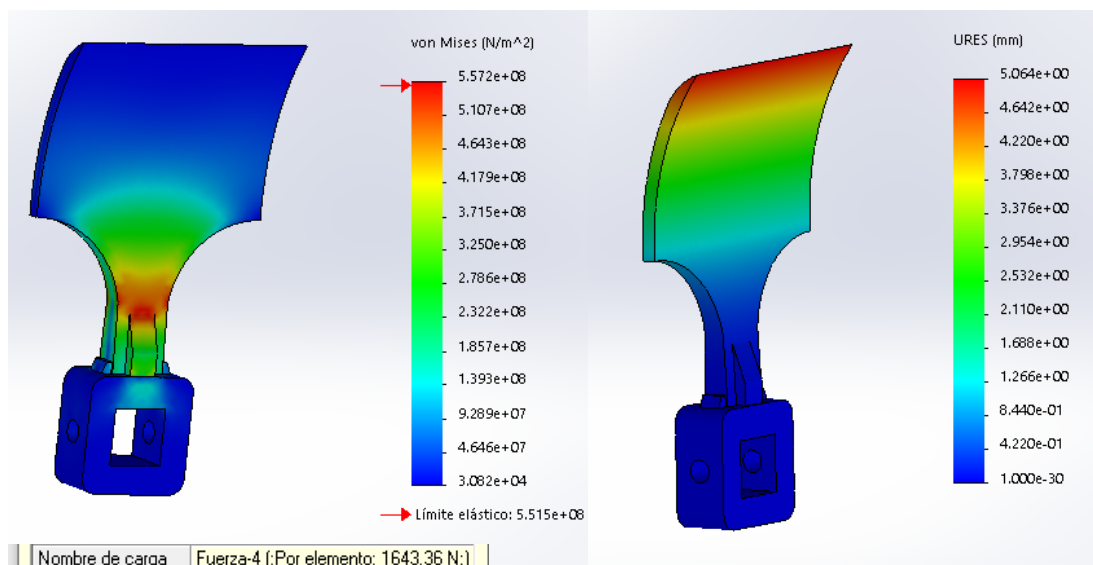


Ilustración 25. Análisis de esfuerzos de la pieza pala
Fuente: SolidWorks

Los resultados aparecen en la *Ilustración 25.*: fuerza máxima = 1643,36 N; desplazamiento máximo = 5,064 mm.

Ripper (pieza dientes)

-Material: hierro dúctil.

-Zona estática: la superficie de la pieza acople sobre la que se sostiene.

-Dirección y zona sobre la que se aplica la fuerza: en dirección perpendicular a la superficie los 4 dientes de la pieza, en la superficie frontal de los dientes (aquella que entrará en contacto con el terreno).

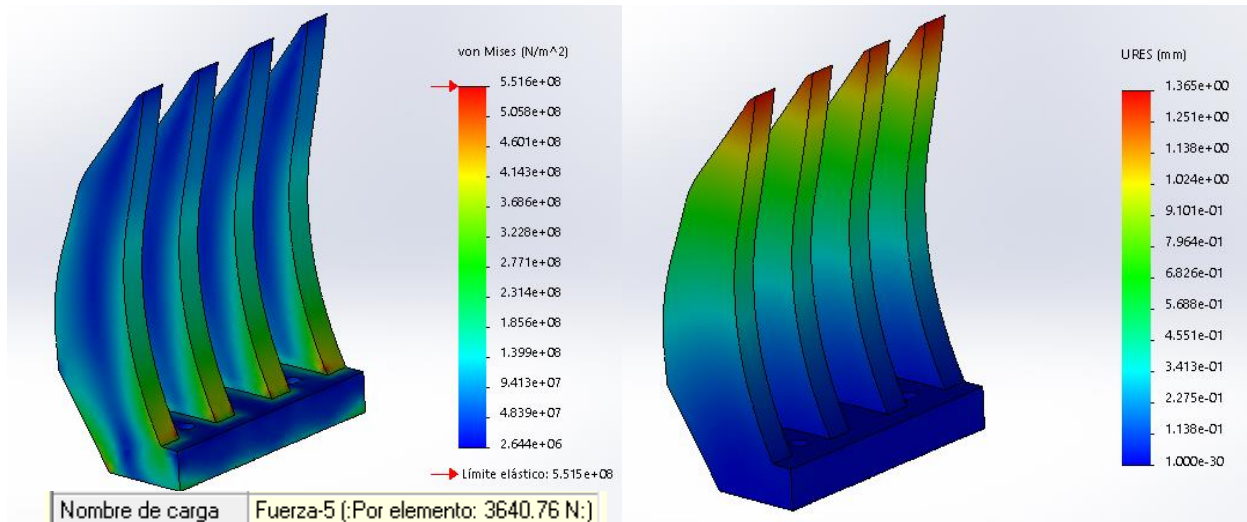


Ilustración 26. Análisis de esfuerzos de la pieza dientes
Fuente: SolidWorks

Los resultados son los siguientes: fuerza máxima por cada diente = 3640,76 N; desplazamiento máximo = 1,365 mm. (Véase la *Ilustración 26*).

4.6. Nuevos escenarios de trabajo

El robot Teodor es un dispositivo CIED, diseñado para ser una herramienta de apoyo en situaciones de neutralización de explosivos o exploración de zonas en las que se tienen indicios de presencia IED. Su eficacia en estos escenarios está más que demostrada, durante casi dos décadas ha acompañado a los operadores EOD en Zona de Operaciones, donde sin su apoyo, el riesgo habría sido incalculablemente mayor.

Con este apartado no se pretende quitar importancia a la tarea fundamental que lleva realizando en misiones EOD desde que se adquirió. Lo que se pretende es crear una perspectiva más amplia de aquellos escenarios que se plantean actualmente o que en un futuro próximo se pueden llegar a dar, y en los que, de alguna manera, se podrían aprovechar las ventajas que ofrece el Teodor.

De las entrevistas realizadas se han extraído tres nuevos escenarios a estudiar:

1. Reconocimiento y actuación en escenarios con alta contaminación química o biológica.
2. Combate urbano.
3. Búsqueda de personas en derrumbamientos o catástrofes naturales.

Para empezar, se va a analizar el primer escenario: contaminación biológica o química. Hasta el año 2020, un terreno lejos del alcance y ámbito de actuación del Teodor. Sin embargo, la pandemia producida por el COVID-19 ha supuesto el inicio de nuevas operaciones militares de lucha contra el virus. Estas, a su vez, han iniciado procesos de investigación y desarrollo para capacitar de la mejor manera posible a las Fuerzas Armadas en su actuación. Un claro ejemplo ha sido el nuevo sistema que se ha implementado sobre el Teodor:

El Ejército ha desarrollado el sistema ATILA (Antivirus por Iluminación de Luz ultravioleta Autónomo), que se implanta en estos robots como una nueva capacidad añadida a las labores de desinfección en la operación “Balmis”. Con una eficacia ensayada en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), permite descontaminar una estancia, de entre 15 y 20 metros cuadrados, mediante la exposición a este tipo de luz —que incide directamente sobre el virus y lo elimina— en menos de 20 minutos. (24)

Aunque este sistema haya sido diseñado para eliminar la carga vírica de zonas contaminadas por el COVID-19, es un excelente referente de la eficacia del robot Teodor en el escenario biológico o químico: con él se consigue acceder a zonas con altos niveles de contaminación sin la necesidad de exponer directamente al personal encargado de la desinfección. Gracias a experiencia de los operadores EOD en el manejo del robot Teodor, es un sistema que frente a una amenaza de este calibre, no necesita de apenas preparación para su uso y, por lo tanto, puede ser puesto rápidamente en marcha. Tan solo, los equipos NBQ deben adaptar la luz ultravioleta de tal forma que sus efectos acaben con la amenaza vírica o química a combatir.

En segundo lugar, se va a analizar la utilización del robot en un escenario de combate urbanizado. Se trata de emplear el robot como apoyo a las tropas en una situación que se da con elevada frecuencia: dentro de una población (normalmente subdesarrollada) existen grupos insurgentes terroristas que pretenden dominar a la población o al gobierno tratando de imponer sus ideales por la fuerza.

El papel del robot en este escenario puede tomar diferentes direcciones:

-Rescate de heridos en combate mediante la implementación de una camilla que pueda ser transportada por el robot. Esta es una de las situaciones más críticas en combate urbanizado, ya que se trata de salvar la vida de aquel que ha sido herido poniendo en riesgo la de los que le van a rescatar. En el caso de que no haya peligro inminente, lo más rápido es que el herido sea desplazado manualmente a un lugar de evacuación. Sin embargo, lo normal es que el nivel de riesgo en la zona sea muy elevado. Mediante la ayuda del robot se podría actuar de una forma rápida y segura.

-Protección del avance de tropas en avenidas principales de zonas urbanizadas. Actualmente el robot es capaz de portar varias armas. La finalidad principal de estas es la neutralización de IEDs. Su capacidad para dar protección al avance de las tropas es inexistente. Sin embargo, si se diseñara la forma de implementar sobre el robot una ametralladora ligera⁴, se obtendría una gran ventaja operativa: para la seguridad de las tropas y para el cumplimiento de aquellas misiones que precisen del paso por una avenida en la que es necesario responder al fuego enemigo con una elevada cadencia.

⁴ El Ejército de Tierra dispone en plantilla de las ametralladoras ligeras MG4 (850-900 disparos/min.) y MG 42 (1200 disparos/min.).

Por último, se va a estudiar la utilidad del robot en un escenario post-catástrofe natural o derrumbamiento. En este tipo de operaciones, el mayor reto al que se exponen los equipos de salvamento (normalmente pertenecientes a la UME) es la dificultad de encontrar y rescatar en el menor tiempo posible a aquellas personas que han quedado atrapadas en una situación de peligro.

La función del Teodor en esta situación consistiría en facilitar el trabajo que conlleva levantar los escombros u objetos que oprimen a la víctima. Para ello, se han planteado dos soluciones: usar directamente la pinza del robot para acceder a los lugares más estrechos a los que, de otra manera, sería prácticamente imposible acceder; o diseñar un implemento, que aprovechando la fuerza que es capaz de ejercer el robot, tuviese la capacidad de levantar (como si se tratase de un elevador de cargas) aquello que se encuentra encima del herido.

5. CONCLUSIONES

La principal conclusión es la propuesta de mejora y optimización del robot Teodor que se ha desarrollado en el trabajo. Se ha demostrado que el robot tiene el potencial suficiente para estar a la altura de las necesidades operativas actuales. Tan solo, es cuestión de analizar aquellos aspectos que deben modificarse para cumplir con las exigencias de cada escenario. Se trata de una labor de investigación y desarrollo que, aprovechando los medios y las capacidades del Ejército, consigue sacar partido del material del que se dispone y, en la medida de lo posible, alargar su vida útil.

Por otro lado, ha sido importante valorar qué soluciones están dentro del alcance actual del Ejército y cuáles se escapan de los medios y capacidades que tiene. Las herramientas de apoyo a la decisión han sido el principal referente para determinar este aspecto. Así pues, se han descartado aquellas mejoras que se escapan del alcance del Ejército: actualización de elementos y factores tecnológicos internos del robot. Y de esta manera, se ha definido una línea de acción que, como se ha demostrado, es completamente accesible para el Ejército: la mejora y optimización de aspectos técnicos del robot que aumenten su polivalencia y utilidad. De hecho, la propuesta que finalmente se ha desarrollado ha tratado de ser lo más económica y eficaz posible:

- Aprovechamiento de medios de los que ya dispone el Ejército (medidor de distancia e impresoras 3D).

- Diseño de piezas capaces de soportar altos esfuerzos, fabricadas en un material óptimo para su función, y además de bajo coste.

Respecto al diseño de las piezas, el programa SolidWorks ha sido una herramienta de gran ayuda, que ha estado a la altura de las necesidades del proceso de optimización y análisis llevado a cabo. Sin embargo, la materialización de los implementos diseñados a modo de prototipos ha sido el aspecto clave del trabajo: gracias a las pruebas que se han realizado sobre el robot, se ha manifestado la verdadera utilidad de cada mejora de forma exitosa; y además, se ha comprobado la validez del material y de cada diseño para posteriormente hacer las modificaciones necesarias en el definitivo.

Otro aspecto a destacar es el planteamiento de nuevas perspectivas de actuación para el robot Teodor: siguiendo una línea de mejora y optimización paralela a la de este trabajo, se podría aumentar el ámbito de actuación del robot mediante las

modificaciones o implementaciones pertinentes, siempre contando con la ventaja que implica la experiencia de los operadores EOD en el manejo del robot.

Para concluir, el estudio, mejora y optimización del robot Teodor, en particular; y del material y equipo del Ejército, en general; es una apuesta segura y rentable por modernizar, aprovechar y sacar beneficio de aquello que ha sido adquirido y que, por lo tanto, debe estar a la altura de las exigencias de los escenarios más complejos y actuales.

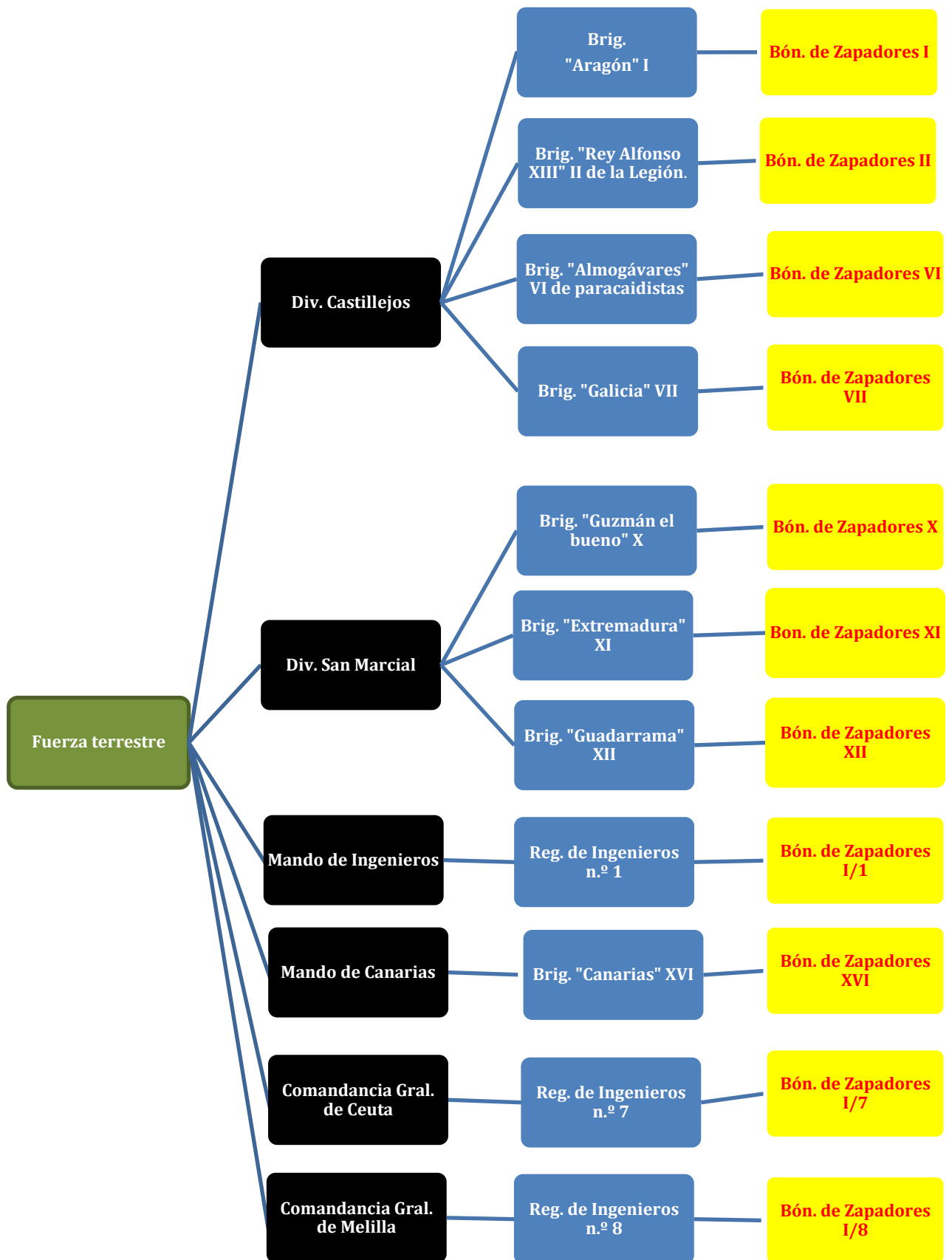
6. Bibliografía

1. **Parra, Juan Rosillo.** Publicaciones Defensa: Memorial de Ingenieros. *La fuerza EOD del Ejército español*. [En línea] junio de 2002. [Citado el: 15 de septiembre de 2020.]
https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/m/e/memorial_ingenieros_66.pdf.
2. **Telerob.** telerob.com. [En línea] 01 de septiembre de 2019. [Citado el: 24 de septiembre de 2020.] <https://www.telerob.com/de/produkte/teodor-evo>.
3. **Ministerio de Política Territorial y Función Pública.** Boletín Oficial del Estado. *Artículo 5. Dirección General de Armamento y Material*. [En línea] 19 de febrero de 2020. [Citado el: 16 de septiembre de 2020.]
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-2385.
4. **Ministerio de Defensa.** Boletín Oficial del Estado. *Capítulo II. La Fuerza*. [En línea] 28 de julio de 2020. [Citado el: 15 de septiembre de 2020.]
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2020-8636.
5. **Project Management Institute.** *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (GUÍA DEL PMBOK), Cuarta edición*. Atlanta : Project Management Institute, Inc, 2008. 978-1-933890-72-2.
6. **Google.** Google Formularios. [En línea] septiembre de 2020.
https://www.google.com/intl/es_es/forms/about/.
7. **González, Milena.** Aula CM. *Análisis DAFO*. [En línea] 09 de abril de 2020. [Citado el: 08 de septiembre de 2020.] <https://aulacm.com/analisis-dafo-ejemplo-plantilla/>.
8. **Centro Universitario de la Defensa.** Apuntes de la asignatura Calidad. *Tema 4: Calidad en la etapa de diseño*. Zaragoza : s.n., 2018/2019.
9. —. Apuntes de la asignatura Oficina de Proyectos. *Tema 6: Gestión de las adquisiciones*. Zaragoza : s.n., 2019/2020.
10. **Dassault Systemes.** SOLIDWORKS Premium 2018. Francia : Dassault Systemes SolidWorks Corporation, 1993-2018.
11. **Telerob.** *Instrucciones de manejo: Teodor*. Ostfildern : s.n., 2002.
12. **Harrod, Charles.** BLASTERS Tool and Supply Co. [En línea] [Citado el: 18 de septiembre de 2020.] <https://www.blasterstool.com/>.
13. **Castaños, Enrique.** CIENCIAONTHECREST. *La reflexión y la refracción de las ondas*. [En línea] 18 de marzo de 2016. [Citado el: 10 de octubre de 2020.]
<https://cienciaonthecrest.com/2016/03/18/la-reflexion-y-la-refraccion-de-las-ondas/>.
14. **Moreno Muelas, Cayetano Manuel.** <http://sirok.es/>. [En línea] [Citado el: 03 de octubre de 2020.]

15. **Imprimakers.** [En línea] [Citado el: 17 de octubre de 2020.]
<https://imprimakers.com/es>.
16. **Impresión 3D LowCost.** [En línea] [Citado el: 17 de octubre de 2020.]
<https://impresion3dlowcost.es/>.
17. **Multi 3D Print.** [En línea] [Citado el: 19 de octubre de 2020.]
<https://multi3dprint.com/>.
18. **One Site Materialise.** [En línea] [Citado el: 19 de octubre de 2020.]
<https://onsite.materialise.com/es>.
19. **Markforged.** [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2020.]
<https://www.markforged.com/>.
20. **Ferreteria Barcelona S.A.** Ferreteria.es. [En línea] 2014-2020. [Citado el: 18 de octubre de 2020.] <https://ferreteria.es/>.
21. **AdesiviSicurezza.** [En línea] 2011-2020. [Citado el: 19 de octubre de 2020.]
<https://www.adesivisicurezza.it/>.
22. **BT Ingenieros.** [En línea] [Citado el: 20 de octubre de 2020.] <https://www.bt-ingenieros.com/>.
23. **Cristal a medida.** [En línea] 1990-2020. [Citado el: 19 de octubre de 2020.]
<https://www.cristalamedida.com/>.
24. **Pisabarro, Selene.** Publicaciones Defensa: Tierra . *Atila, el terror del virus*. [En línea] junio de 2020. [Citado el: 14 de octubre de 2020.]
https://publicaciones.defensa.gob.es/pprevistas/REVISTAS_PDF21499/page_20.html.

ANEXOS

ANEXO I: ORGANIZACIÓN DE LOS BATALLONES DE ZAPADORES DEL E.T.



ANEXO II: TABLAS DEL MÉTODO AMFE

GRAVEDAD DEL EFECTO (G)	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA (repercusiones imperceptibles)	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema.	1
BAJA (Repercusiones irrelevantes apenas imperceptibles)	El tipo de fallo origina un ligero inconveniente al usuario o cliente. Probablemente, éste observará un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable.	2-3
MODERADA (Defectos de relativa importancia)	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en al cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema.	4-6
ALTA	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
MUY ALTA	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta al funcionamiento de seguridad del producto o proceso, y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias.. Si tales incumplimientos son graves, corresponde a un 10.	9-10

PROBABILIDAD DE APARICIÓN (P)	CRITERIO	VALOR
MUY BAJA	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
BAJA	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
MODERADA	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente del sistema.	4-6
ALTA	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o procesos previos que han fallado.	7-8
MUY ALTA	Fallo casi inevitable.	9-10

PROBABILIDAD DE DETECCIÓN (D)	CRITERIO	VALOR
MUY ALTA	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
ALTA	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
MODERADA	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente y se detecte en los últimos estadios de producción.	4-6
BAJA	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
MUY BAJA	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final.	9-10

ANEXO III: PLANTILLA ESTANDARIZADA DEL MÉTODO AMFE

AMFE - Análisis Modal de Fallos y Efectos / Título:										Fecha realización						
										Fecha revisión						
										Coordinador:						
										Proceso						
										Diseño						
										Sistema						
										Tipo de AMFE						
										Estado actual		Situación mejorada				
Nr.	Pieza / proceso	Modo de fallo	Efecto del fallo	Gravedad (G)	Causa del fallo	Ocurrenia (O)	Detección	Detección (D)	NPR	Medidas sugeridas	Responsable	Medidas	Gravedad	Ocurrenia	Detección	NPR
1																
2																
3																
4																
5																

ANEXO IV: ENTREVISTAS DE PROFUNDIDAD

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

BZ XI, Líbano, Irak.

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

No

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☐ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☒ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

No

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Unidad de control y distancia de trabajo.

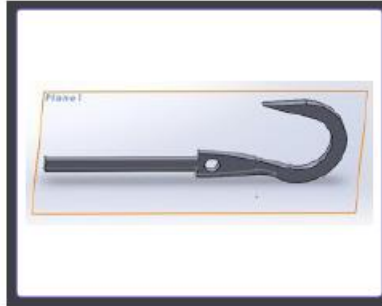
Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Si

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



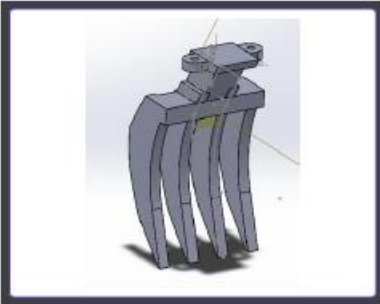
☒ Cortacables



☐ Garfio



☒ Hoja de corte



☒ Dientes de excavación

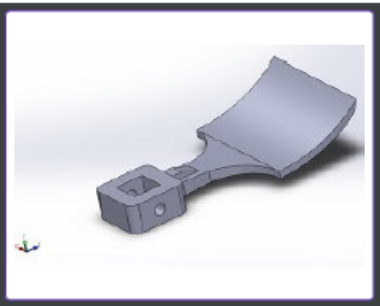


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☐ Otra herramienta.



☒ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

Medir distancia a la amenaza, a un posible terrorista oculto.

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

Búsqueda de personas en derrumbamientos o catástrofes naturales.

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

EDE BZ XI
EFP LATVIA
A/I XI

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

No

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☐ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☒ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

El irobot y el TEODOR se utilizan para situaciones diferentes. La adquisición del AVENGER está pensada para sustituir el Teodor

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Cambiar el Sistema de control y enlace por el sistema Scandineich

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Si

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



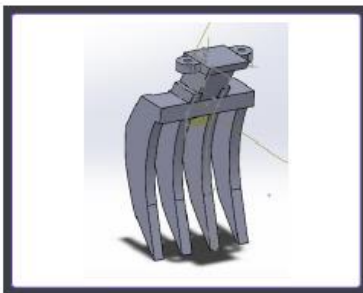
☒ Cortacables



☒ Garfio



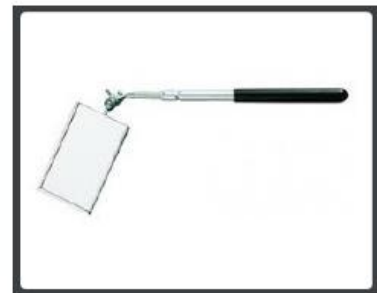
☐ Hoja de corte



☒ Dientes de excavación

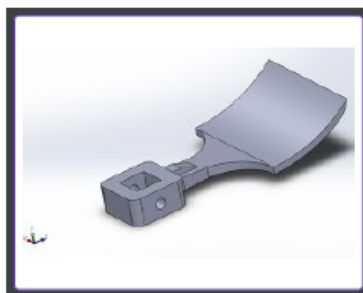


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☐ Otra herramienta.



☒ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

Apreciación de distancias en cualquier actuación

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

Es un robot EOD y en mi opinión no debe usarse para otros fines

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Formularios
Google

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

Soy Operador Eod en BZ XI

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

Si, en el Líbano un reconocimiento de un vehículo sospechoso

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☒ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☐ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

El Teodor aporta unas capacidades distintas a los otros modelos, si bien es cierto que su tecnología es antigua con respecto a los otros modelos

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Cambiar la señal analógica por digital y reducir el tamaño de la Unidad de Vídeo y Unidad de Control

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Si, dado que de serie trae unas herramientas como un taladro, cortadora de chapa...,

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



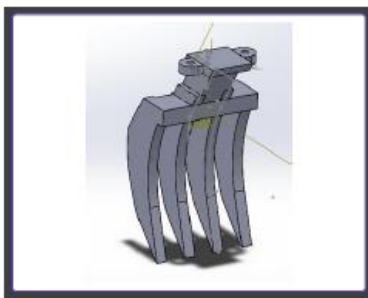
☒ Cortacables



☒ Garfio



☐ Hoja de corte



☒ Dientes de excavación

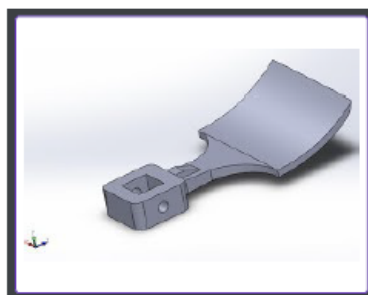


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☐ Otra herramienta.



☒ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

En la actualidad el Teodor ha sido implementado con el sistema Atila, este sistema necesita tomar distancias de una estancia para calcular su volumen

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

Reconocimiento y actuación en escenarios con alta contaminación química o biológica

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

16 años, 13 misiones

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

Si, Irak 2004, Afganistán varias

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☐ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☒ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

Debería

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☐ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☒ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

No, es demasiado pesado y voluminoso para los tiempos y misiones actuales
Es un robot policial, no militar

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



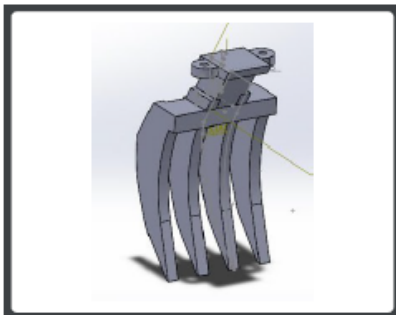
☐ Cortacables



☐ Garfio



☐ Hoja de corte



☐ Dientes de excavación

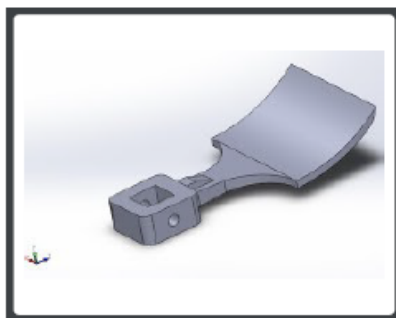


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☒ Otra herramienta.



☐ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

Ninguna, sería invertir en un robot que no hemos podido transportar en la mayoría de misiones reales

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

Lo veo un gasto innecesario

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

NBQ

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

Curso oficiales EOD

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

NO

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☐ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☒ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

Si

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Rediseñar el panel de control con tecnología digital intuitiva

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Si

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



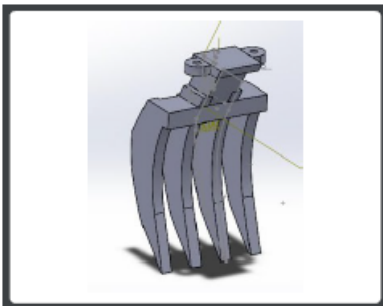
☒ Cortacables



☒ Garfio



☐ Hoja de corte



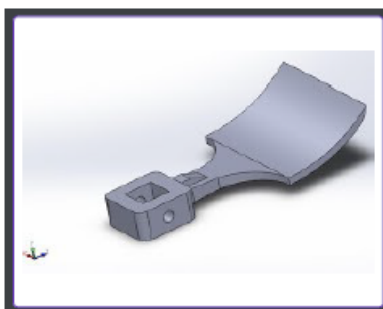
☐ Dientes de excavación



☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección



☒ Pala de arrastre

☐ Otra herramienta.

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

Reconocimientos en ambiente urbano y zonas minadas

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

Combate urbano

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

Bzpac VI , afganistan

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

No

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☒ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☐ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

No del todo, debido a la potencia que le proporciona su tamaño en comparación con los nuevos

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Hasta cierto punto, depende de la relación de costes que conlleve.

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Las herramientas y cañones que dispone así como las armas son las correctas, podía incrementarse más el sistema de cámaras y consola/mandos

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



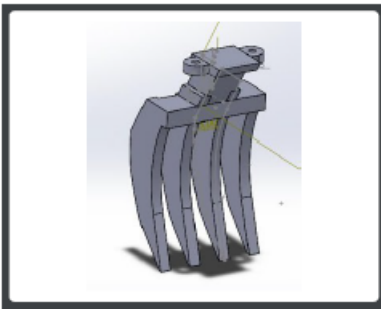
☒ Cortacables



☐ Garfio



☐ Hoja de corte



☐ Herramientas de excavación

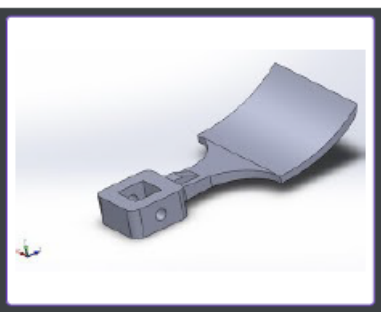


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☐ Otra herramienta.



☒ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

El paso de obstáculos de forma segura

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

El uso de esta herramienta crítica y cara en los equipos EOD debe de ser usada para lo que fué diseñado y no otras que pongan en peligro su integridad

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Formularios
Google

Análisis del robot EOD Teodor

Esta encuesta pretende ser el punto de partida de las líneas de mejora y optimización del robot de desactivación de explosivos Teodor. Además, con ella se busca analizar la aplicación del dispositivo en diferentes escenarios y situaciones con el objetivo de expandir su ámbito de actuación.

En primer lugar, ¿cuál es su experiencia profesional EOD? (unidades, misiones, colaboraciones, cursos...) *

XII Curso operador EOD
OP. BALMIS

¿Ha operado en alguna situación real con el robot Teodor? En caso afirmativo, describa brevemente tres casos. *

NO

Respecto al lugar que ocupa el robot Teodor dentro de los equipos EOD, señale la opción con la que esté más de acuerdo. *

- ☐ Es una de las herramientas principales de los equipos EOD. Gran parte de sus métodos y procedimientos de desactivación de explosivos cuentan con las capacidades que aporta el robot.
- ☒ Es una herramienta importante diseñada para ciertas situaciones EOD que conllevan un alto grado de peligrosidad.
- ☐ Los equipos EOD disponen de gran variedad de material que puede sustituir al robot sin aumentar el riesgo al que se exponen los operadores.

Teniendo en cuenta la adquisición que se está realizando de nuevos robots (iRobot PackBot 510, Avenger) con una tecnología altamente avanzada en comparación con la del Teodor, ¿considera que el robot está siendo sustituido por los nuevos modelos? *

Si

Se pretende mejorar y optimizar el robot. ¿cree que es viable realizar cambios en características relacionadas con el funcionamiento interno del robot? (rediseñar el panel de control con tecnología digital, aumentar la distancia y velocidad de transmisión de datos, etc.) *

- ☒ Sí, es una forma viable de reducir la brecha tecnológica que hay entre el Teodor y los nuevos dispositivos.
- ☐ No, se trata de algo complejo y difícilmente alcanzable. (En vez de seguir esa línea de mejora, sería más rentable adquirir robots con tecnología actual).

Si estaba de acuerdo con la pregunta anterior, describa qué mejoras cree que se deberían realizar.

Realizar mejoras en la distancia de alcance de la señal.

Otro punto de vista de los aspectos a mejorar en el robot es el relacionado con las herramientas que se puede acoplar a su brazo mecánico. ¿Cree que aumentar la variedad de implementos EOD sería una línea de acción adecuada para la optimización del robot? *

Si

Se proponen diferentes herramientas EOD para el Teodor que aún no se han adquirido ni implementado. Marque las opciones que considere más apropiadas. *



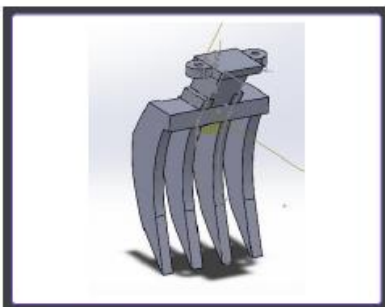
☒ Cortacables



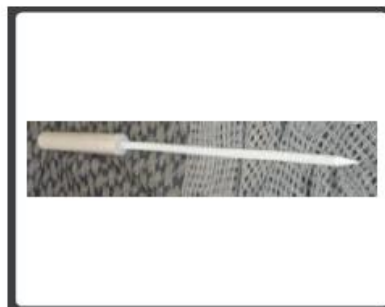
☐ Garfio



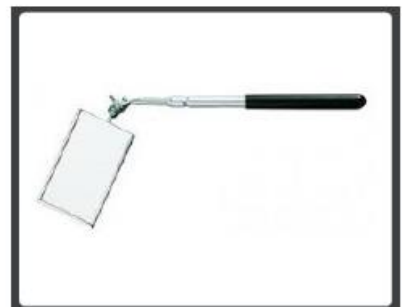
☐ Hoja de corte



☒ Dientes de excavación

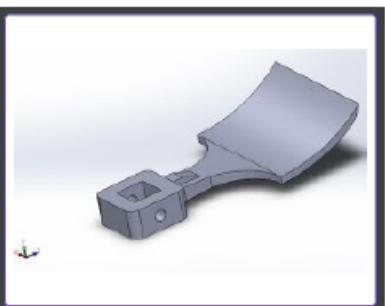


☐ Sonda de desminado



☐ Espejo de inspección

☐ Otra herramienta.



☒ Pala de arrastre

Si ha escogido "Otra herramienta" en la pregunta anterior, indicar cuál sería.

El Teodor dispone del siguiente armamento: el cañón disruptor Aquaset, el cañón disruptor Dynergit, la escopeta Remington y el sistema de disparo Telemach. Dichos sistemas de tiro deben ser accionados a una distancia específica para causar el efecto deseado. ¿Cree que implementar un medidor de distancia en el robot sería una mejora conveniente y útil? *



Sí, es una buena forma de optimizar el efecto causado por la carga proyectada.



No, actualmente se calcula de forma aproximada y con eso es suficiente.

En el caso de implementar un medidor de distancia, a parte de lo considerado en la pregunta anterior, ¿qué otros usos se le podrían dar al nuevo dispositivo? *

N/s

Recientemente, el mayo de 2020, se implementó en el robot el proyecto ATILA para la desinfección de zonas contaminadas por el COVID. Por primera vez se hacía uso del robot en un escenario que no era EOD. ¿Desde su punto de vista, en qué otros ambientes podría hacerse uso del robot? (considerando que podría ser modificado como ha ocurrido con el proyecto ATILA) *

N/s

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Formularios
Google

ANEXO V: RESULTADO DEL ANÁLISIS DAFO

La mejora y optimización de material y equipo del Ejército de Tierra español			
	INTERNO	NEGATIVO	<ul style="list-style-type: none">-Alta probabilidad de que los medios que necesite el Ejército para realizar una determinada mejora u optimización sean precarios o inexistentes.-Riesgo de que aquello que se mejore , a la larga no sirva (debido a una mala gestión en la planificación del proyecto).
	EXTERNO		<ul style="list-style-type: none">-Situación actual: la inversión en Investigación y Desarrollo para Defensa por parte del Gobierno es muy baja.-Ventaja competitiva de otros países que invierten más en la mejora y optimización de su material y equipo.
	INTERNO	POSITIVO	<ul style="list-style-type: none">- Si se consigue alargar la vida útil de aquello que se mejora, se genera un beneficio para el Ejército.-Aprovechamiento del material que está al borde de quedar obsoleto.- Las tareas de investigación y desarrollo realizadas por el Ejército permiten una gestión proactiva del material y equipo: control exhaustivo de aquello que se tiene o se carece,.
	EXTERNO		<ul style="list-style-type: none">- Método de adaptación a las exigencias de los escenarios actuales.-Modernizar el material y equipo del Ejército puede crear una ventaja competitiva frente a otros países menos desarrollados.-Aumenta la autosuficiencia del Ejército (no se crean dependencias económicas hacia los países que venden el material.)

ANEXO VI: RESULTADO DEL ANÁLISIS MAKE OR BUY

Título: Adquisición de material y equipo en el Ejército de Tierra		
	MAKE	BUY
POSITIVO	<ul style="list-style-type: none"> -Ahorro de costes en investigación, desarrollo y producción. -Planificación propia de la adquisición de las mejoras que se desean realizar. 	<ul style="list-style-type: none"> -Posibilidad de adquirir material sofisticado desarrollado por empresas especialistas en la materia.
NEGATIVO	<ul style="list-style-type: none"> - Producir material puede precisar de medios o personal que el Ejército no tiene. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es la solución que más costes implica. - Hay que adaptarse a lo que ofrecen los proveedores y a sus cláusulas de oferta y demanda.

ANEXO VII: RESULTADO DEL MÉTODO AMFE

AMFE - Análisis Modal de Fallos y Efectos /				Título: Estudio del robot de desactivación de explosivos Teodor.				Fecha realización		18/09/2020					
				Fecha revisión				10/10/2020							
Tipo de AMFE				Sistema		Diseño		Proceso		Coordinador: Samuel Santiago Izard					
				Estado actual					Situación mejorada						
Nr.	Pieza / proceso	Modo de fallo	Efecto del fallo	Gravedad (G)	Causa del fallo	Ocurrencia (O)	Detección (D)	NPR	Medidas sugeridas	Responsable	Medidas	Gravedad	Ocurrencia	Detección	NPR
1	Precisión de las armas del robot.	Disparo no realizado a la distancia del objetivo adecuada.	No se obtiene el resultado deseado sobre el IED o elemento al que se dispara.	8	La distancia de disparo se tiene que calcular aproximada, el robot no incluye un sistema exacto.	7	Tras realizar un elevado número de disparos con las armas y analizar los efectos causados.	5	Incorporar en el robot un medidor de distancia.	Dirección de armamento y material del Ejército de Tierra.	Diseño de una carcasa para acoplar un medidor de distancia al robot.	3	2	4	24
2	Detección de un IED enterrado bajo tierra.	Tras encontrar un indicio no es posible confirmar si es un IED.	Aumento del peligro al que se exponen los operadores que deben acercarse a confirmar el artefacto.	8	El robot no posee herramientas para el levantamiento de IEDs enterrados bajo tierra.	10	Tras realizar pruebas de identificación de indicios IED.	4	Añadir herramientas que capaciten al robot para descubrir artefactos enterrados bajo tierra.	Dirección de armamento y material del Ejército de Tierra.	Diseño de una herramienta para levantar el terreno (dientes de excavación) y otra para retirar aquello que se ha removido (pala).	2	2	3	12
3	Corte del cable que activa un IED.	Inexistente la posibilidad de realizar este proceso con el robot.	El corte lo debe realizar un operador expuesto al peligro que conlleva acercarse a un IED.	8	EL robot no tiene la posibilidad de cortar cables.	10	Tras darse la necesidad de desactivación de una carga CW-IED.	4	Incorporar un cortacables en el robot.	Dirección de armamento y material del Ejército de Tierra.	Diseño de un cortacables de tracción (aprovecha la fuerza mecánica del robot).	2	2	4	16

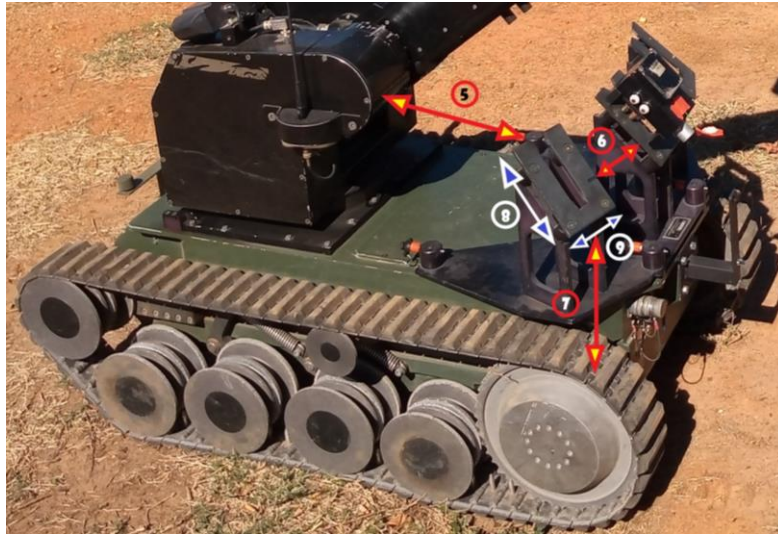
ANEXO VIII: MEDIDAS TOMADAS SOBRE EL ROBOT PARA EL DISEÑO DE PIEZAS.

1. Ancho de la pinza: determina el límite mínimo del ancho de la pieza que se acople a la pinza. Esta será la parte del acople de la multiherramienta.
2. Largo de la pinza: establece el límite máximo del largo de la pieza de acople de la multiherramienta.
3. Ancho del perfil del brazo horizontal: medida realizada para conocer la superficie sobre la que se colocará la carcasa del medidor de distancia.
4. Largo del perfil del brazo horizontal: misma razón que la del párrafo anterior.



5. Separación entre la torre y el soporte de armas/herramientas: determina la distancia máxima que puede sobresalir la multiherramienta en dicha dirección.
6. Separación entre las placas del soporte de armas/herramientas: la multiherramienta será diseñada para colocarse sobre la placa izquierda (si se toma dicha referencia desde la parte trasera del robot). Por ello se ha calculado la distancia que hay entre esta placa y la central. Limita la anchura máxima de la multiherramienta en la dirección transversal entre placas.
7. Distancia entre la placa del soporte y la oruga del vehículo: determina la medida máxima que puede haber entre la multiherramienta y la oruga izquierda (viendo el robot desde atrás). Se considera la distancia vertical al suelo y por lo tanto, la más cercana entre ambas partes.
8. Largo de la placa del soporte: para calcular la superficie disponible sobre la que podrá descansar la multiherramienta.
9. Ancho de la placa del soporte: misma razón que el apartado anterior.

- ❖ Anotación: sobre la placa del soporte se han tomado también medidas de su rail central y de su grosor. Estas han sido necesarias para el diseño del sistema de acople de la multiherramienta al soporte.

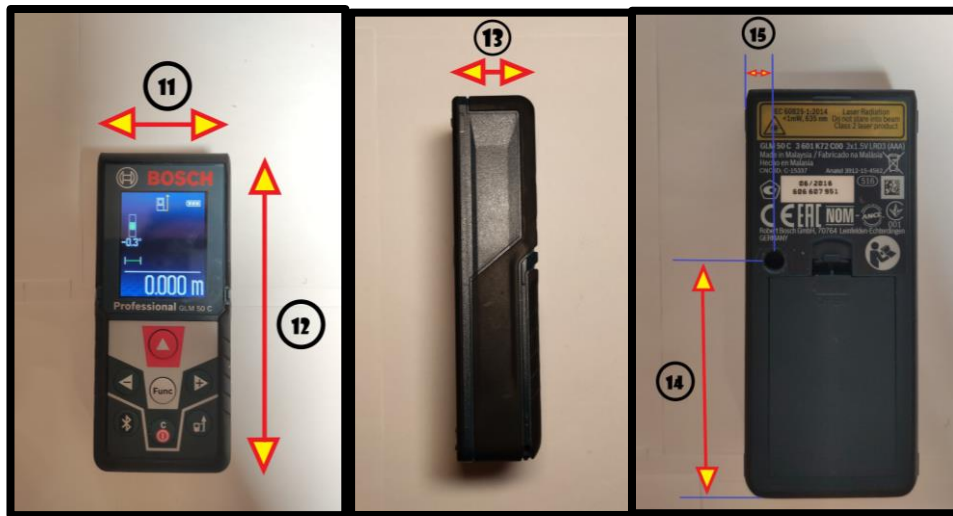


10. Distancia entre la pinza y el perfil del brazo horizontal: determina la profundidad máxima que puede tener la carcasa para el medidor de distancia. Como es obvio, esta limitación estará condicionada por la profundidad del medidor de distancia.



Las siguientes medidas se han tomado para diseñar la carcasa del medidor de distancia que se va a acoplar sobre el robot:

11. 12. 13. Ancho, largo y profundidad del medidor de distancia (respectivamente).



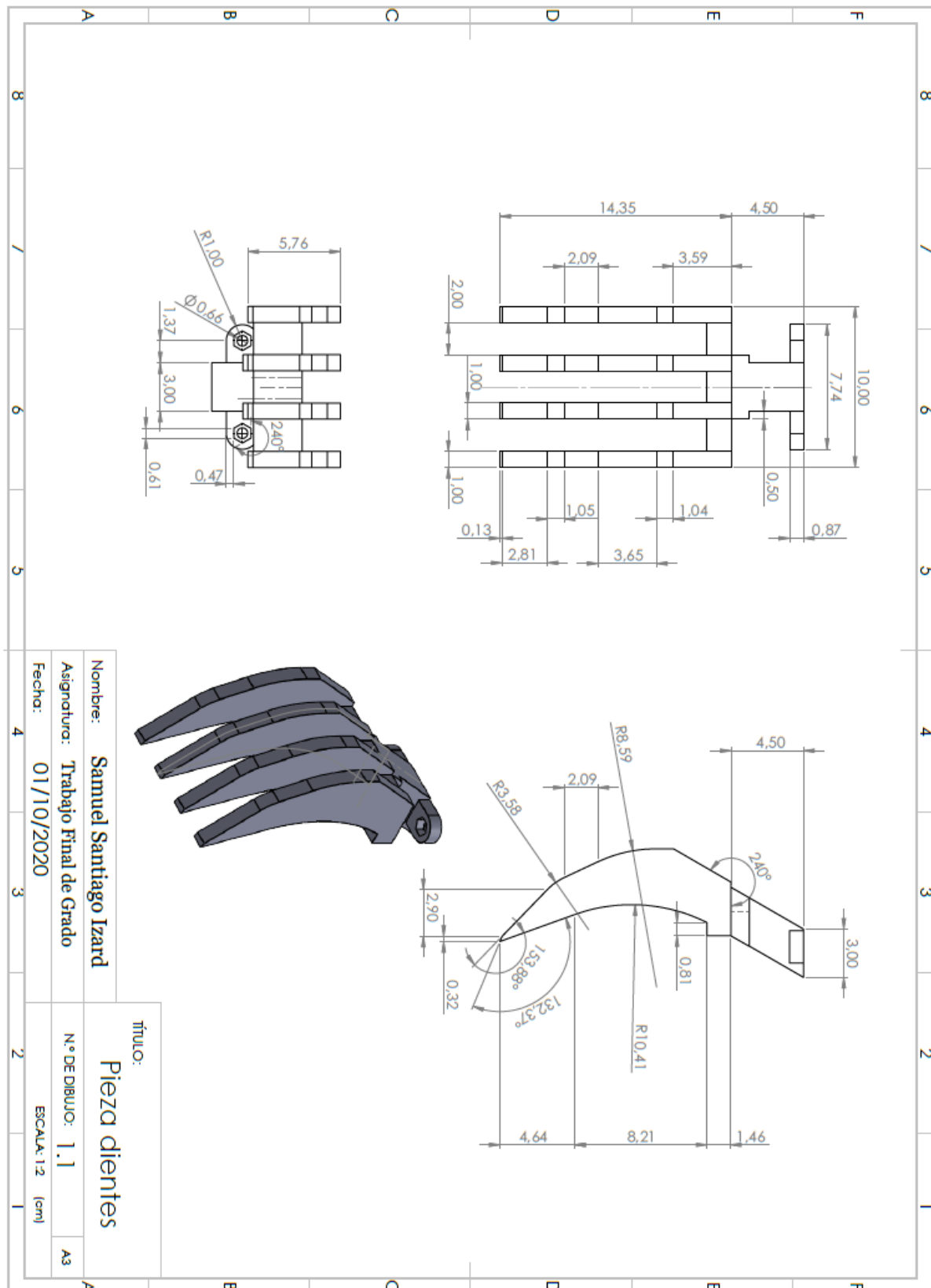
14. Altura al orificio trasero del medidor de distancia desde la base.

15. Distancia al orificio del medidor de distancia desde el lado izquierdo del mismo (visto desde detrás).

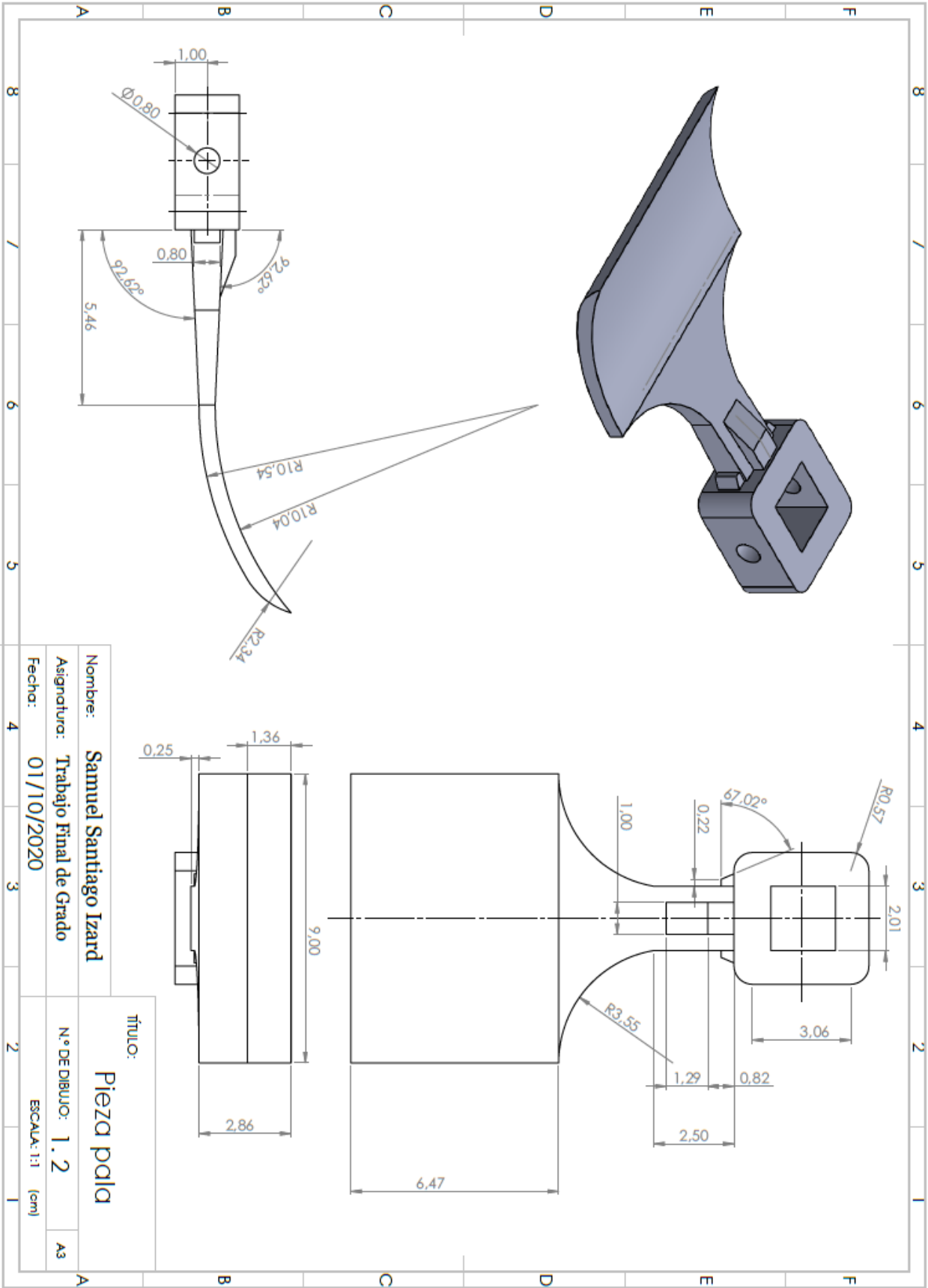
❖ Anotación: a través de dicho orificio se acoplará el medidor de distancia a la carcasa mediante un pasador roscado de 6mm de diámetro.

ANEXO IX: PLANOS DE LAS PIEZAS DISEÑADAS EN SOLIDWORDS

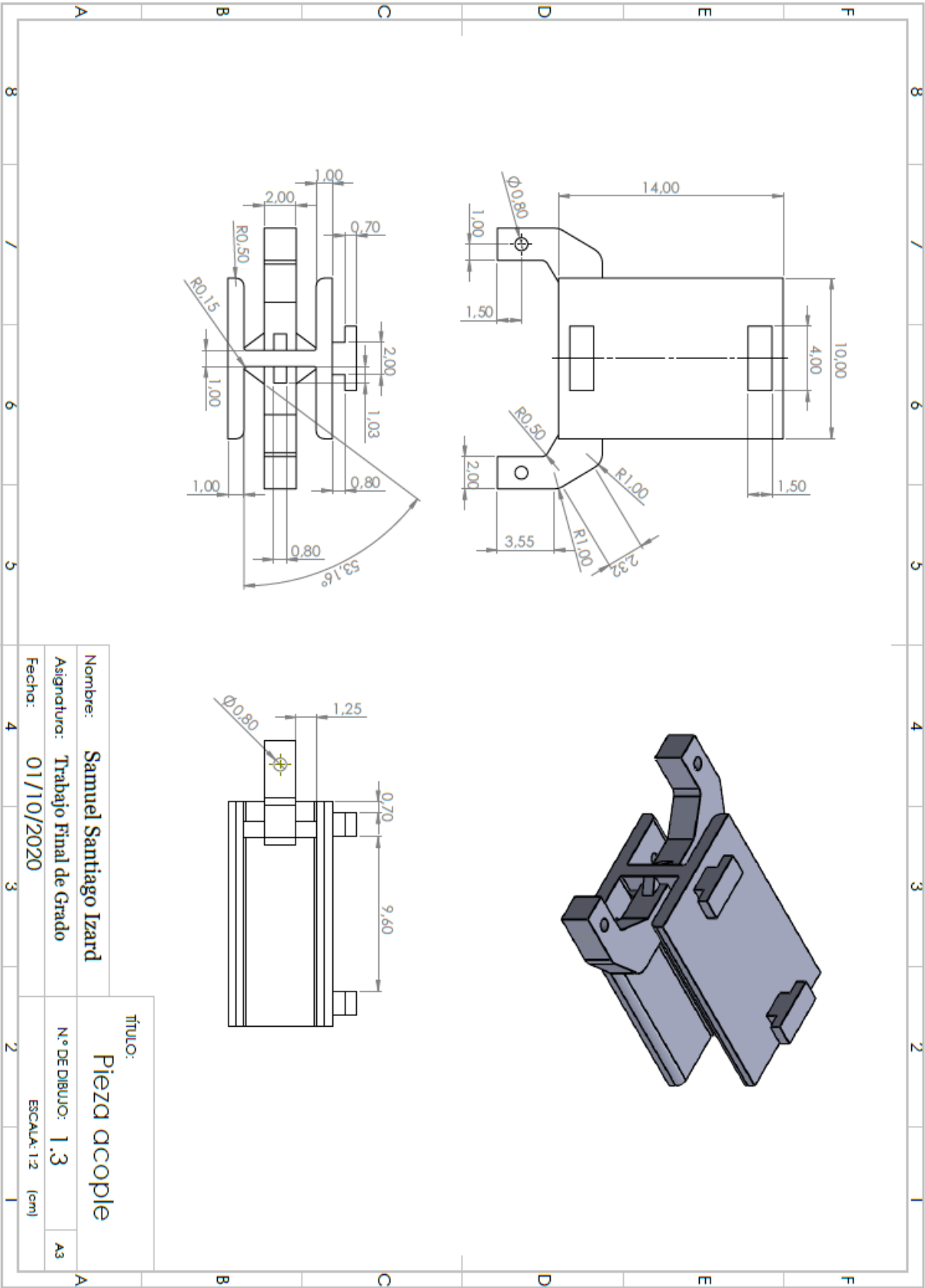
Plano ISO A3 de la “Pieza dientes”



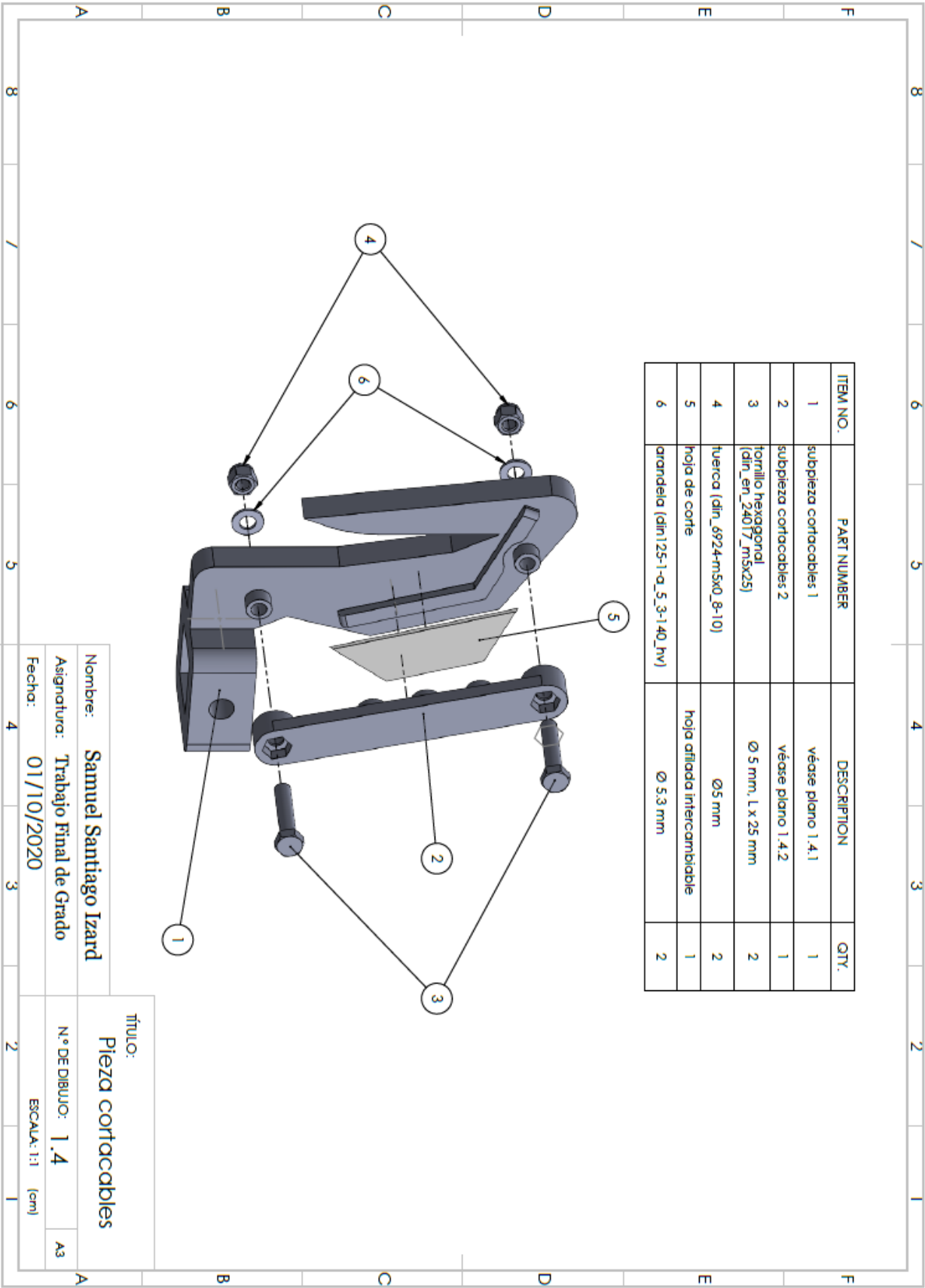
Plano ISO A3 de la “Pieza pala”



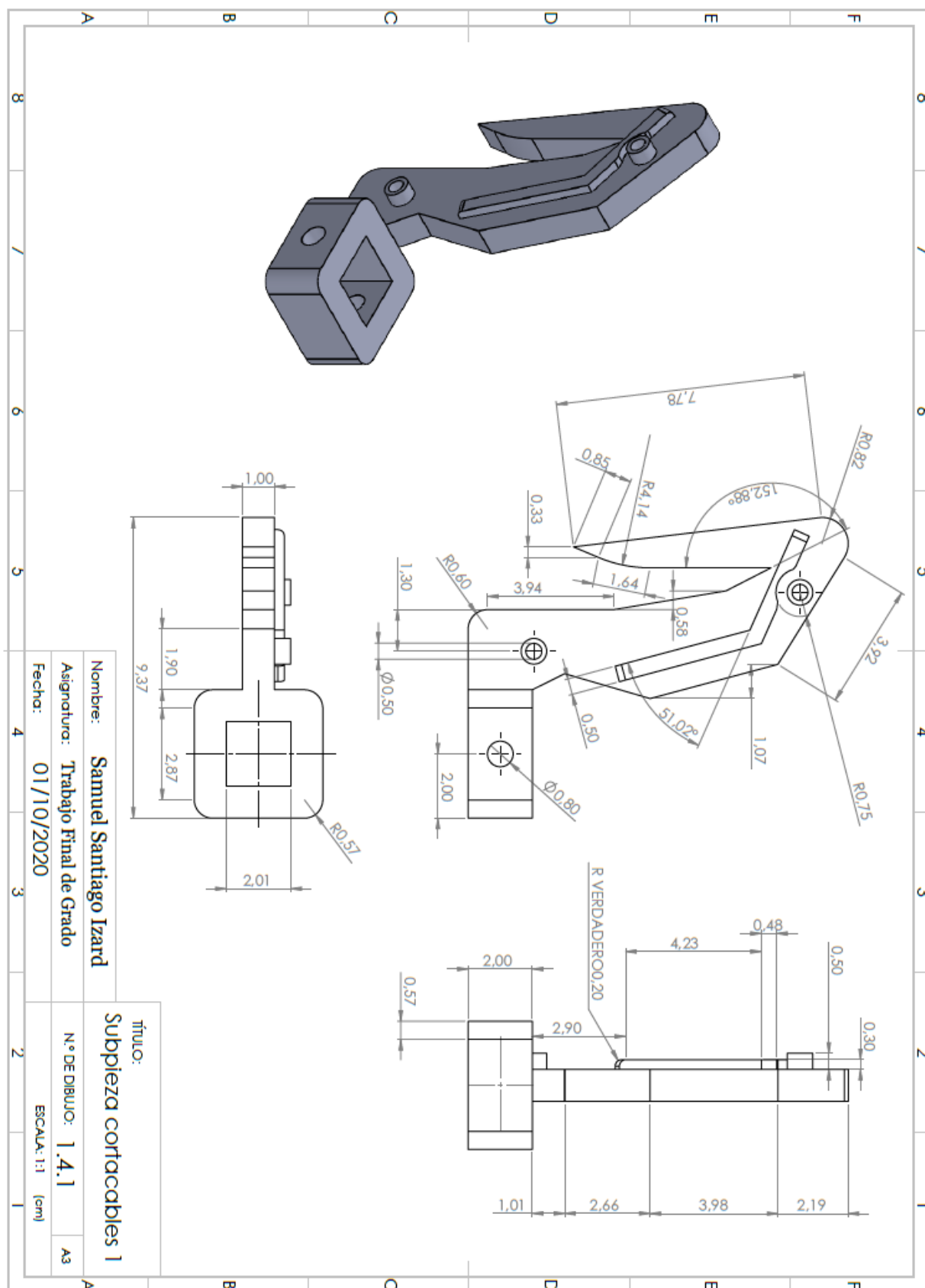
Plano ISO A3 de la “Pieza acople”



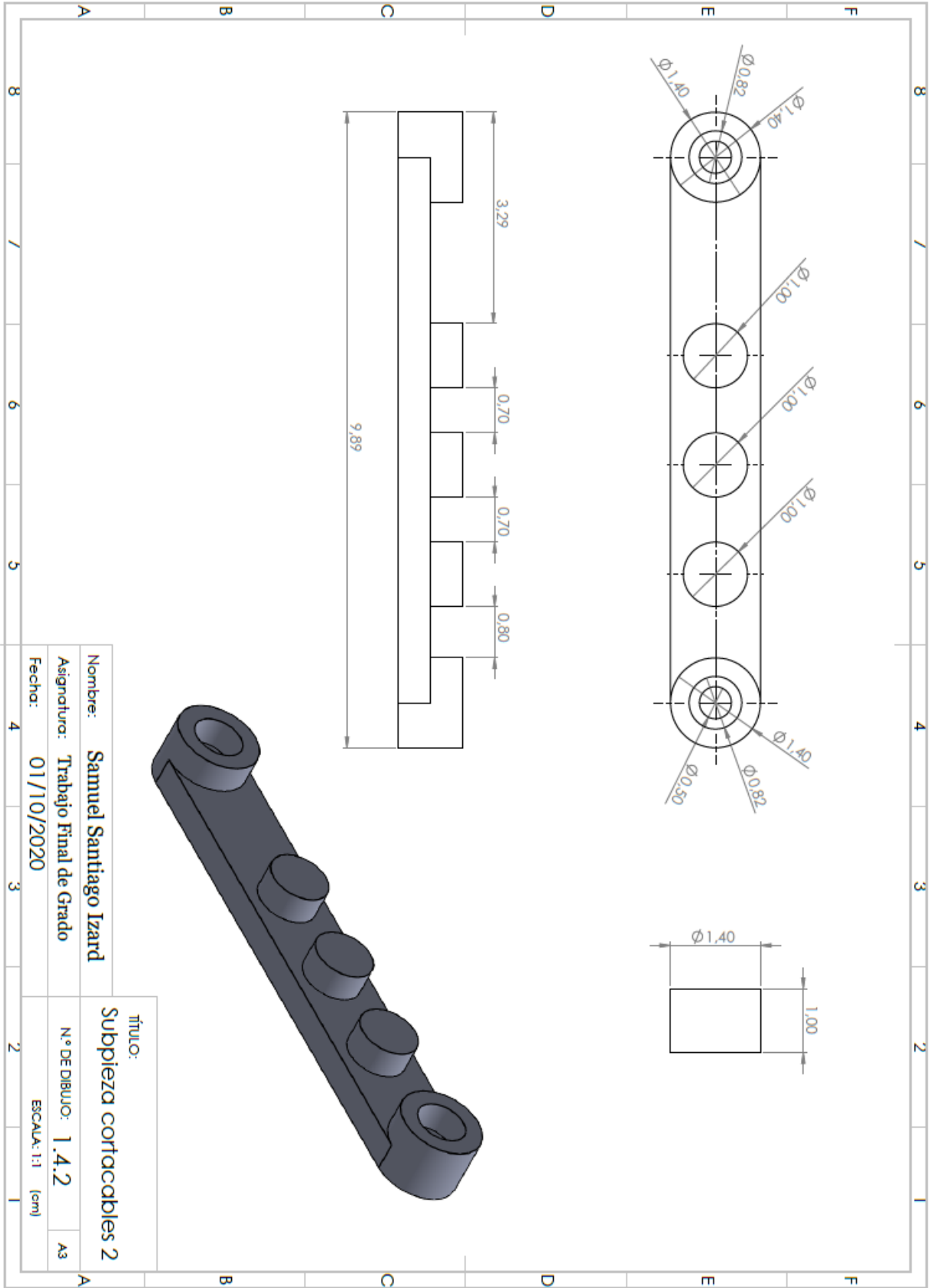
Plano ISO A3 de la “Pieza cortacables” (ensamblaje)



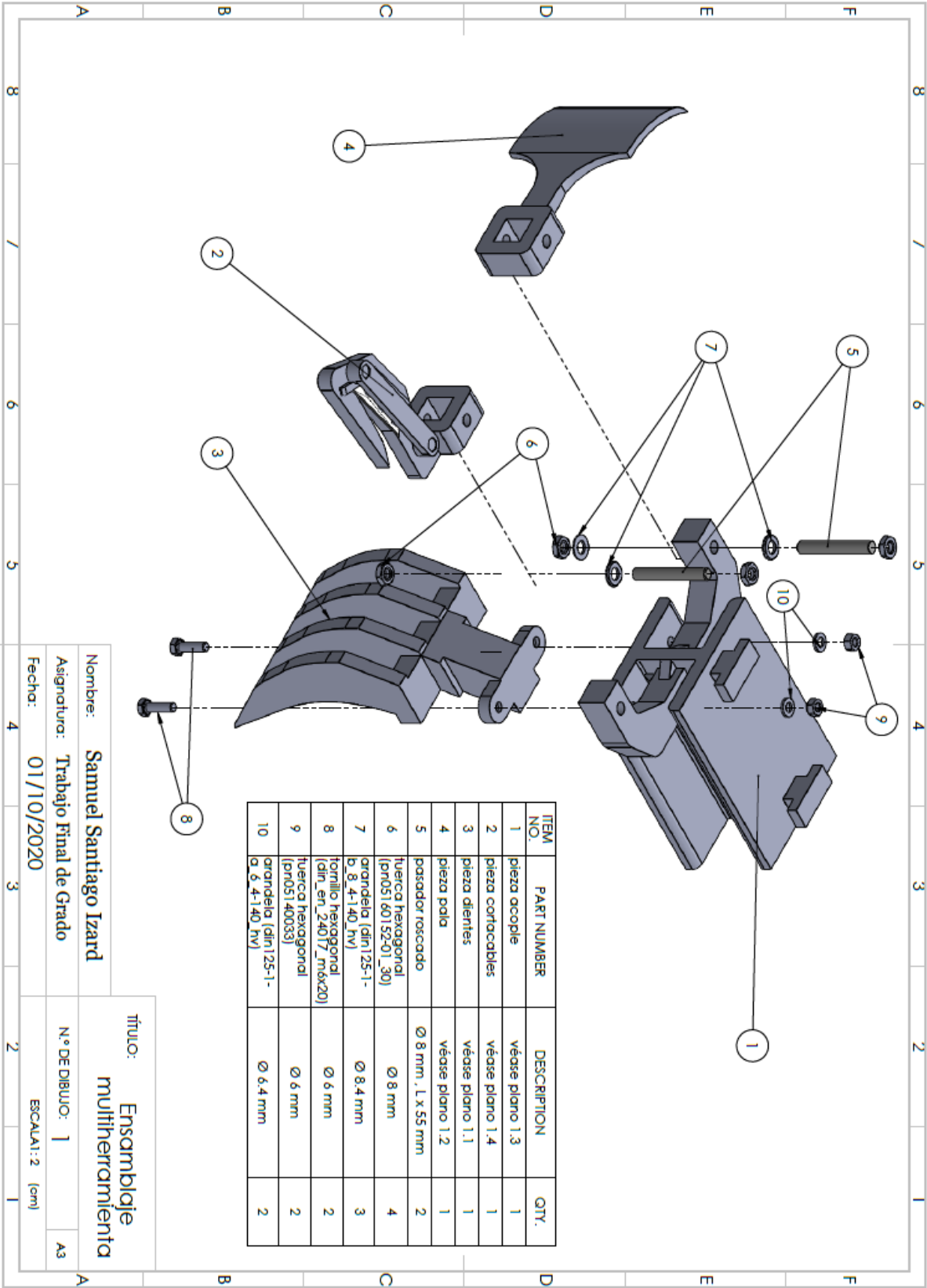
Plano ISO A3 de la “Subpieza cortacables 1”



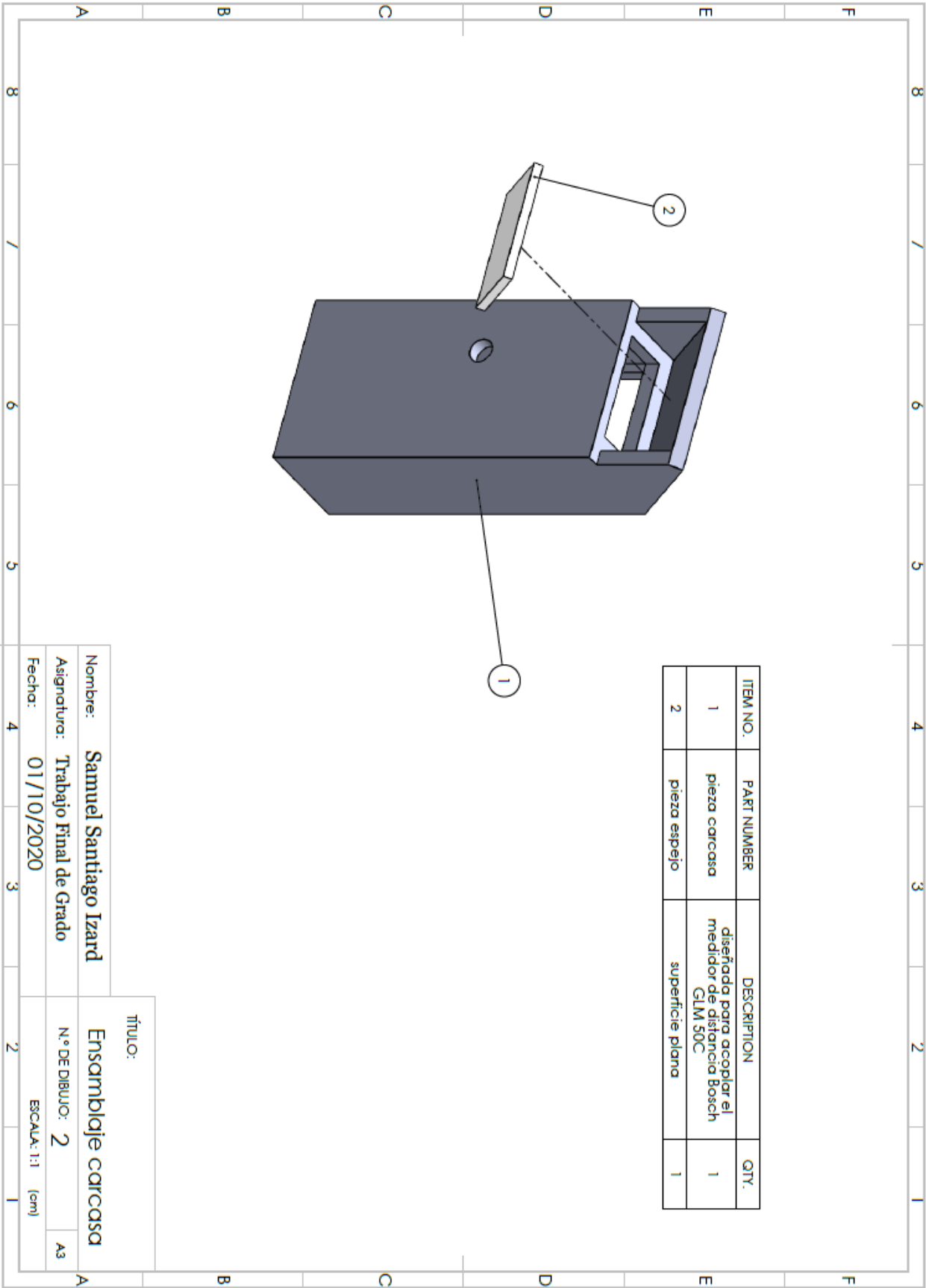
Plano ISO A3 de la “Subpieza cortacables 2”



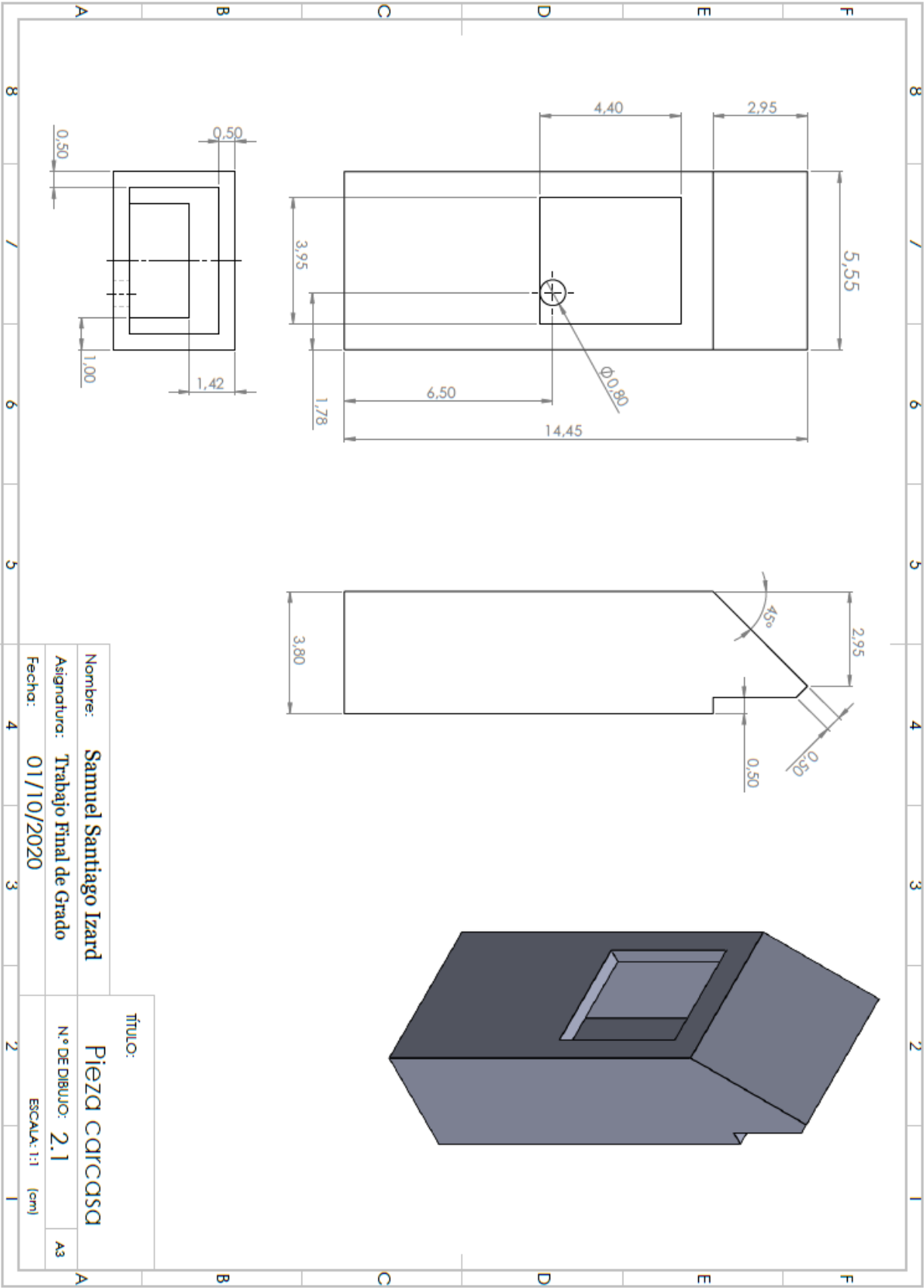
Plano ISO A3 del “Ensamblaje multiherramienta”



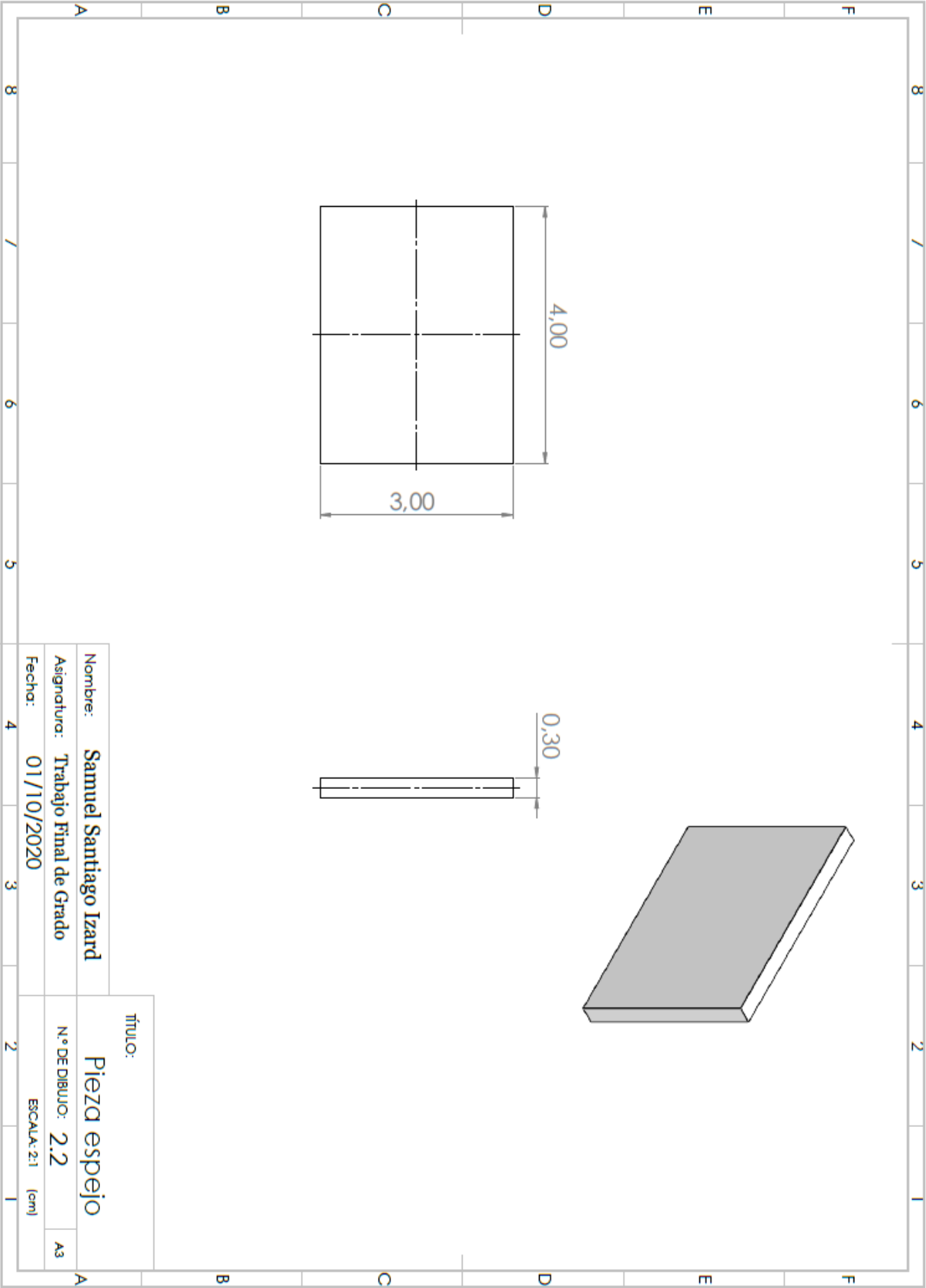
Plano ISO A3 del “Ensamblaje carcasa”



Plano ISO A3 de la “Pieza carcasa”



Plano ISO A3 de la “Pieza espejo”



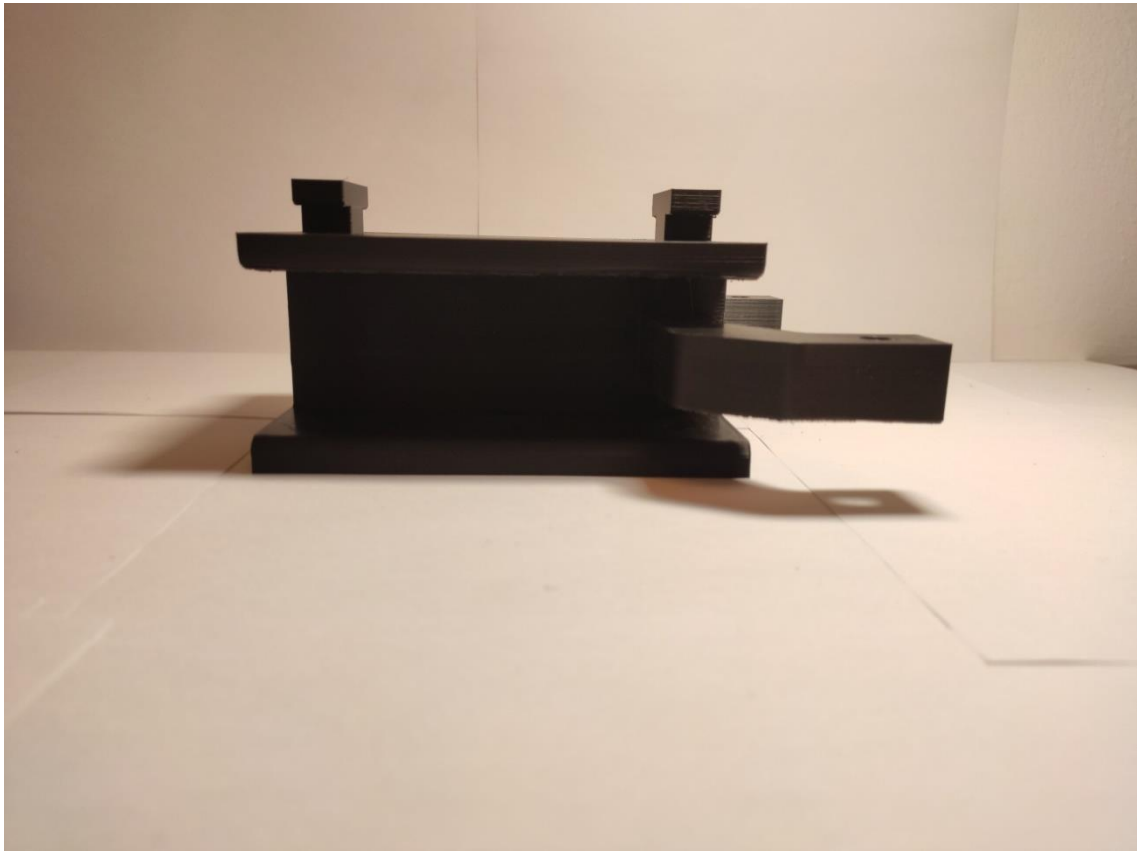
ANEXO X: IMÁGENES DE LAS PIEZAS IMPRESAS EN 3D

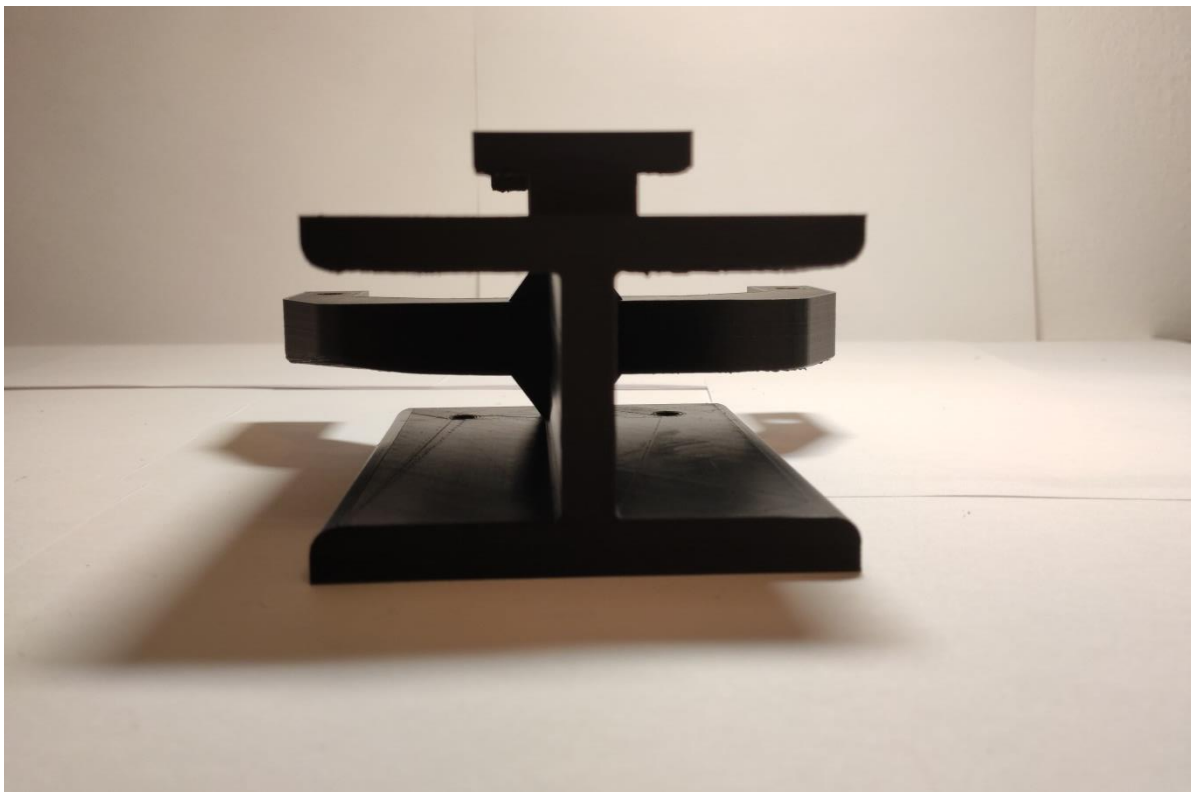
Imágenes de la “pieza dientes” impresa en 3D



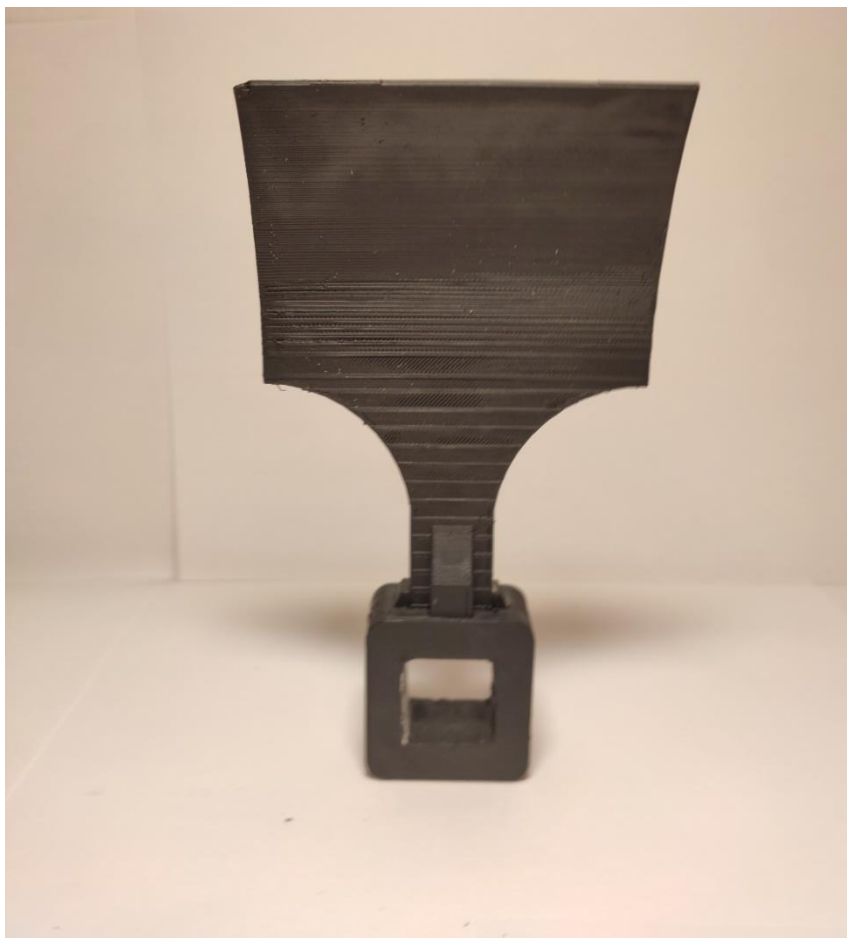


Imágenes de la “pieza acople” impresa en 3D





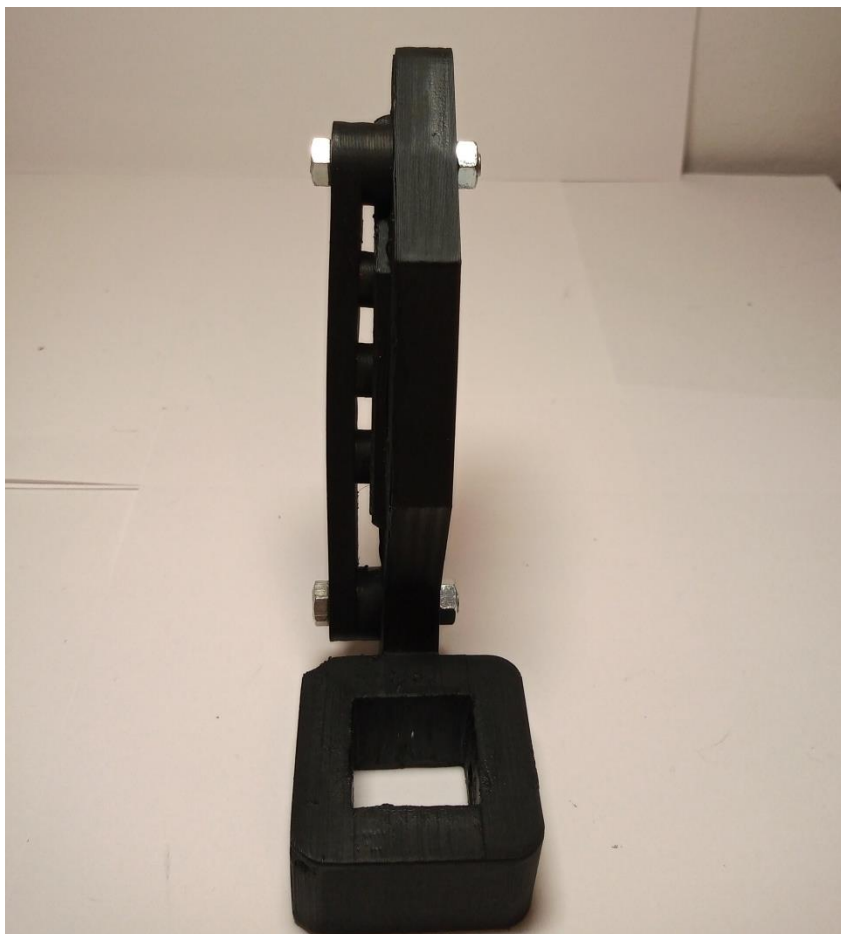
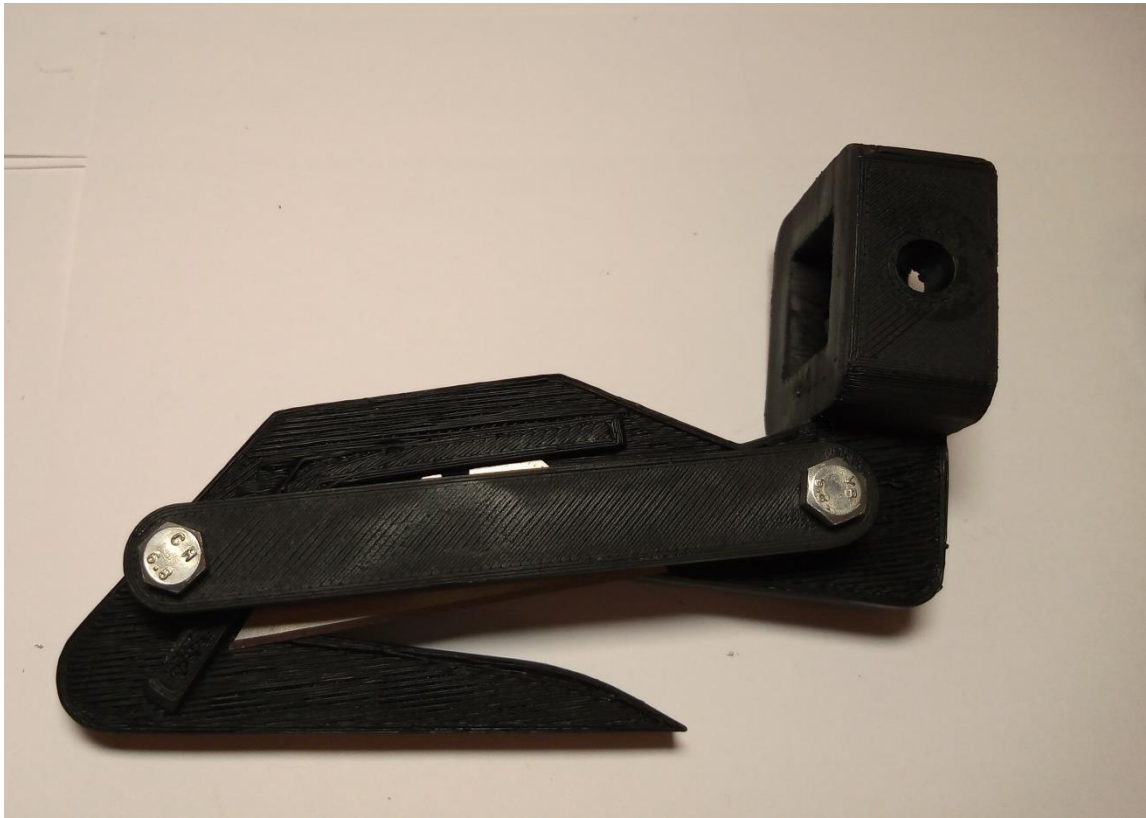
Imágenes de la “pieza pala” impresa en 3D





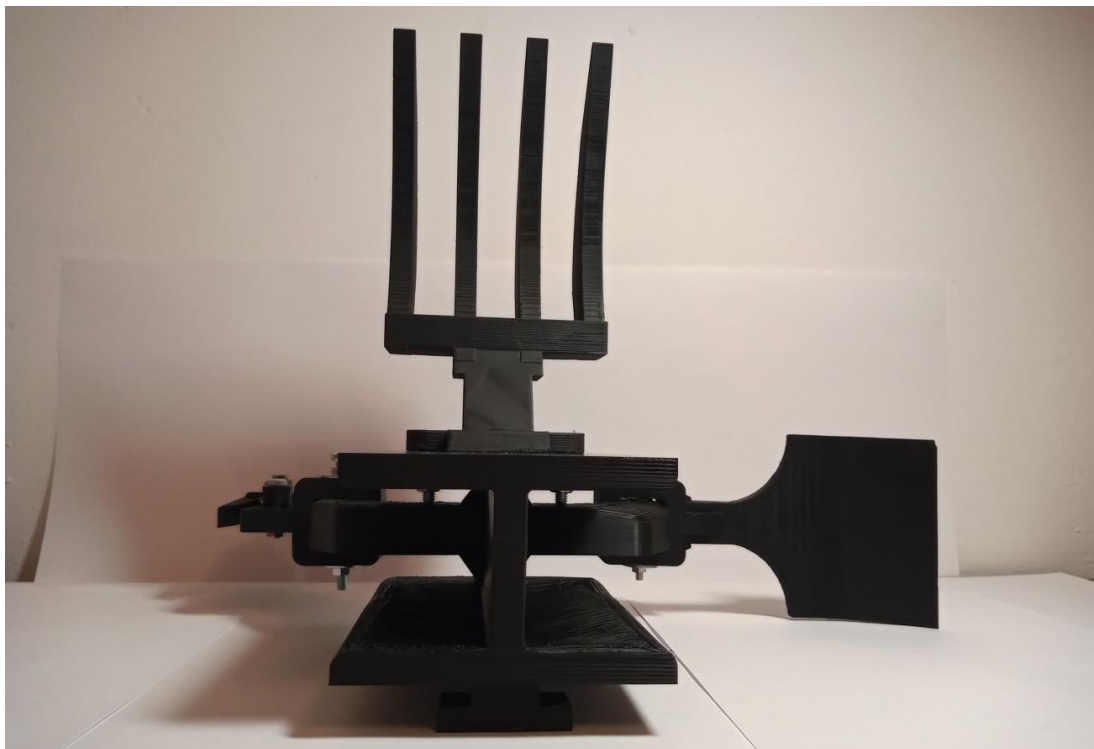
Imágenes de la “pieza cortacables” impresa en 3D



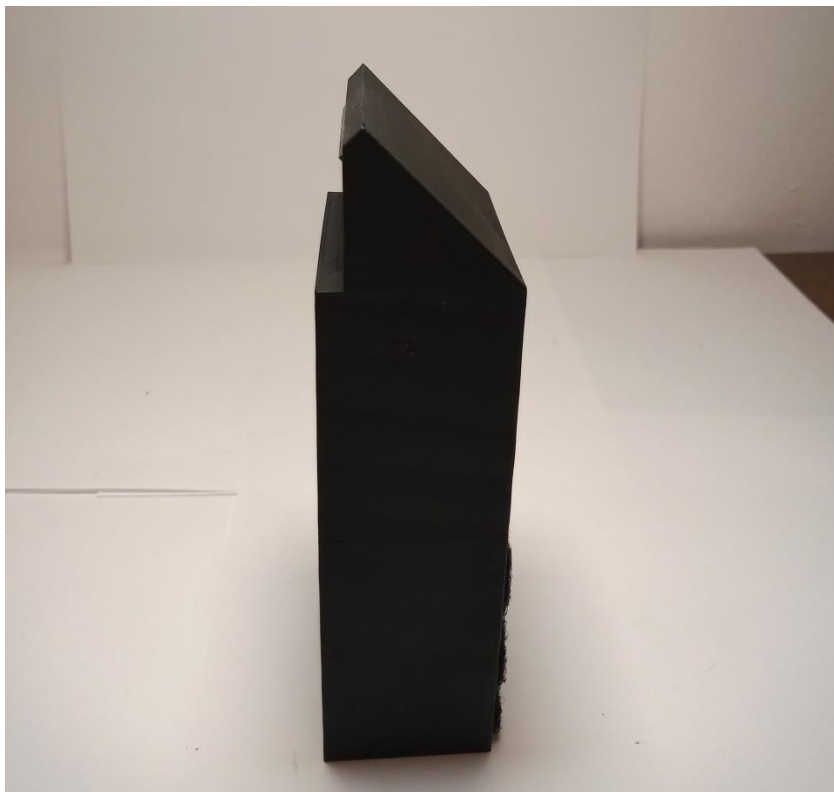


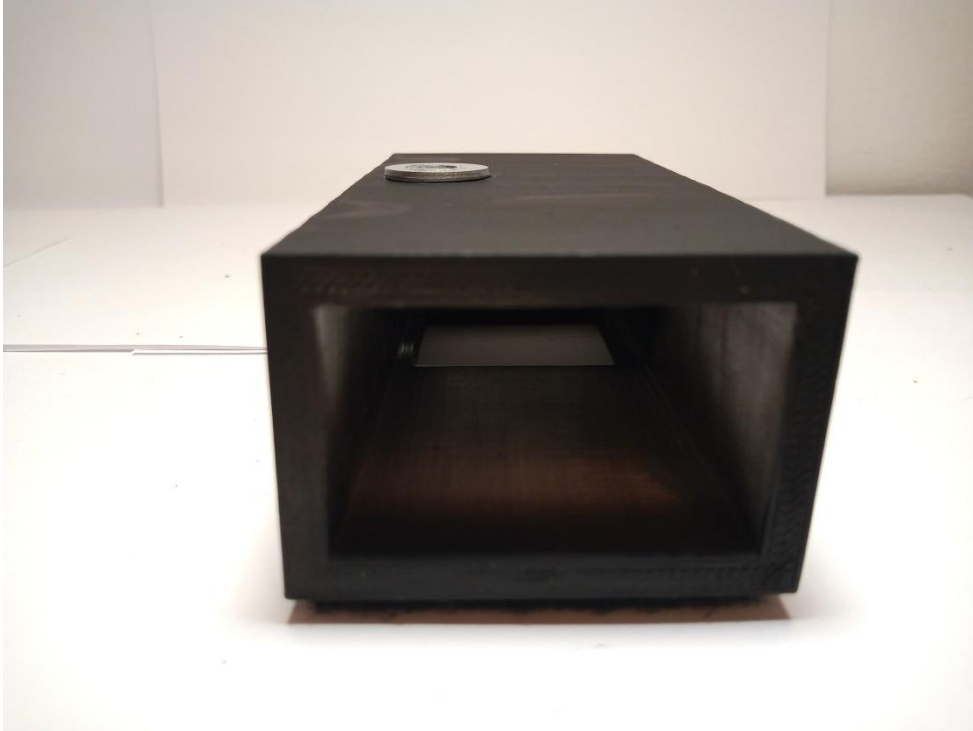
Imágenes del ensamblaje final de la multiherramienta impreso en 3D





Imágenes del ensamblaje final de la carcasa impresa en 3D





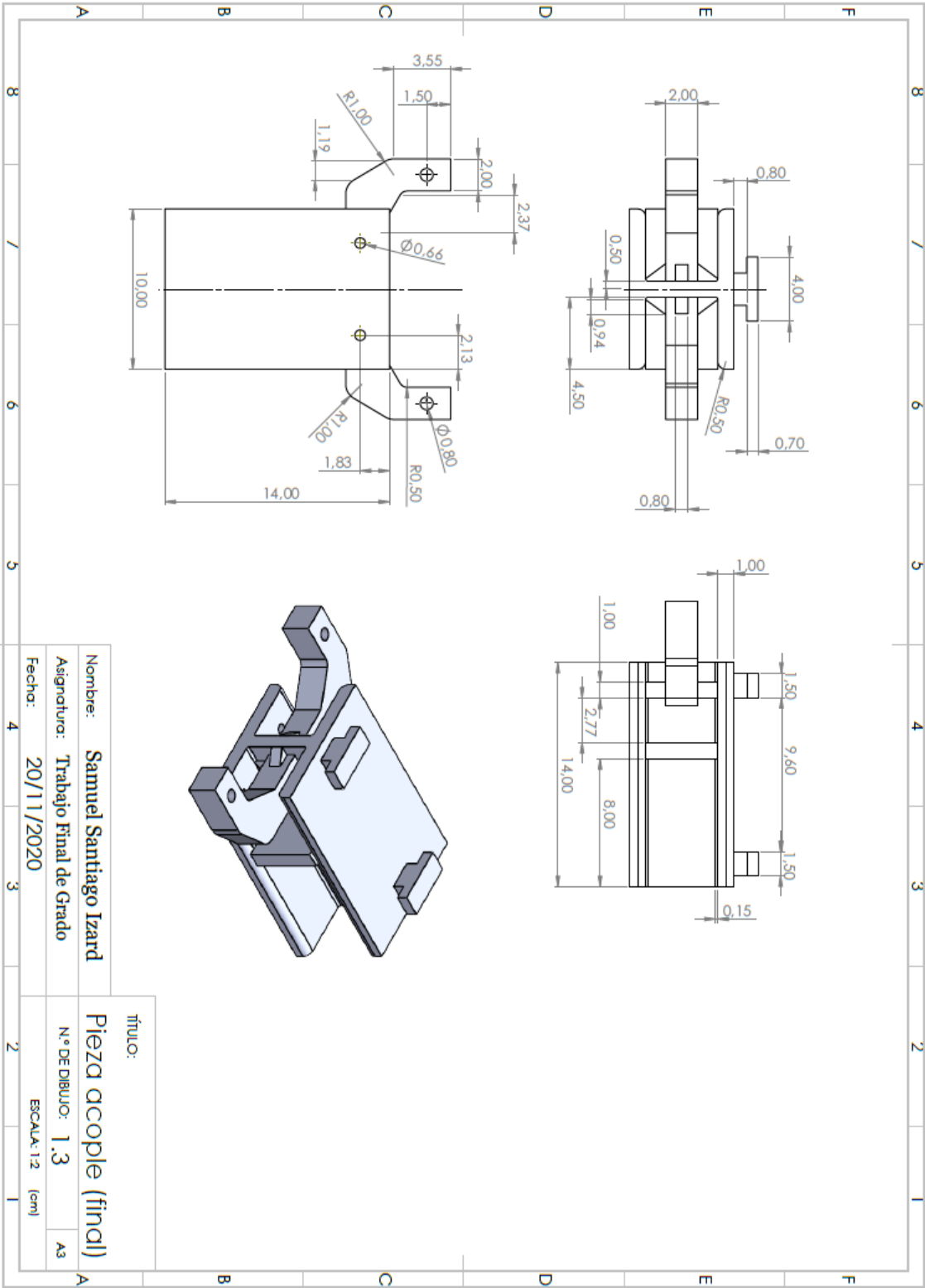
Imágenes de las piezas sobre el robot

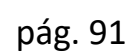


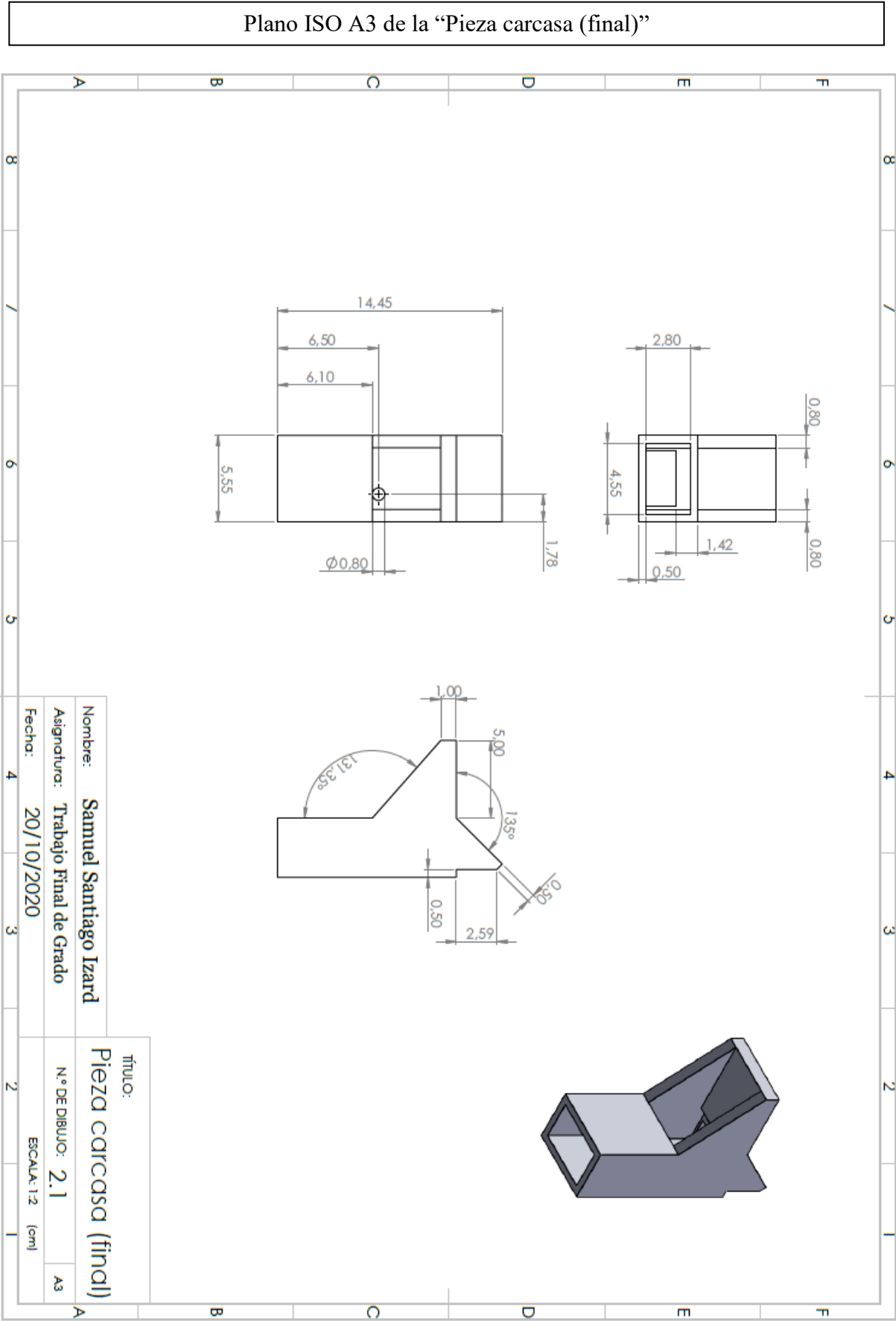


ANEXO XI: PLANOS ISO DE LAS PIEZAS FINALES
(MEJORADAS)

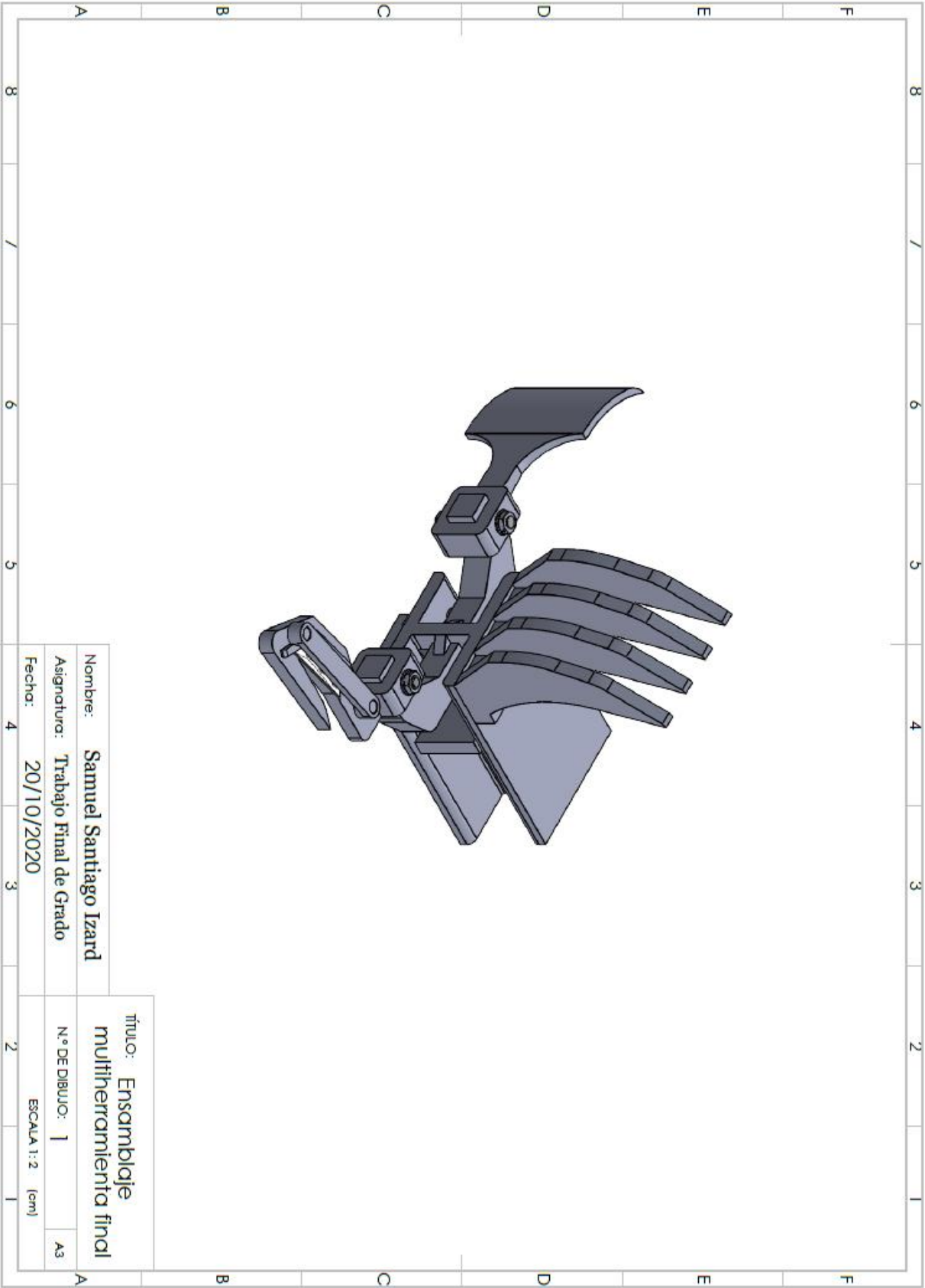
Plano ISO A3 de la “Pieza acople (final)”







Plano ISO A3 del ensamble de la multiherramienta final

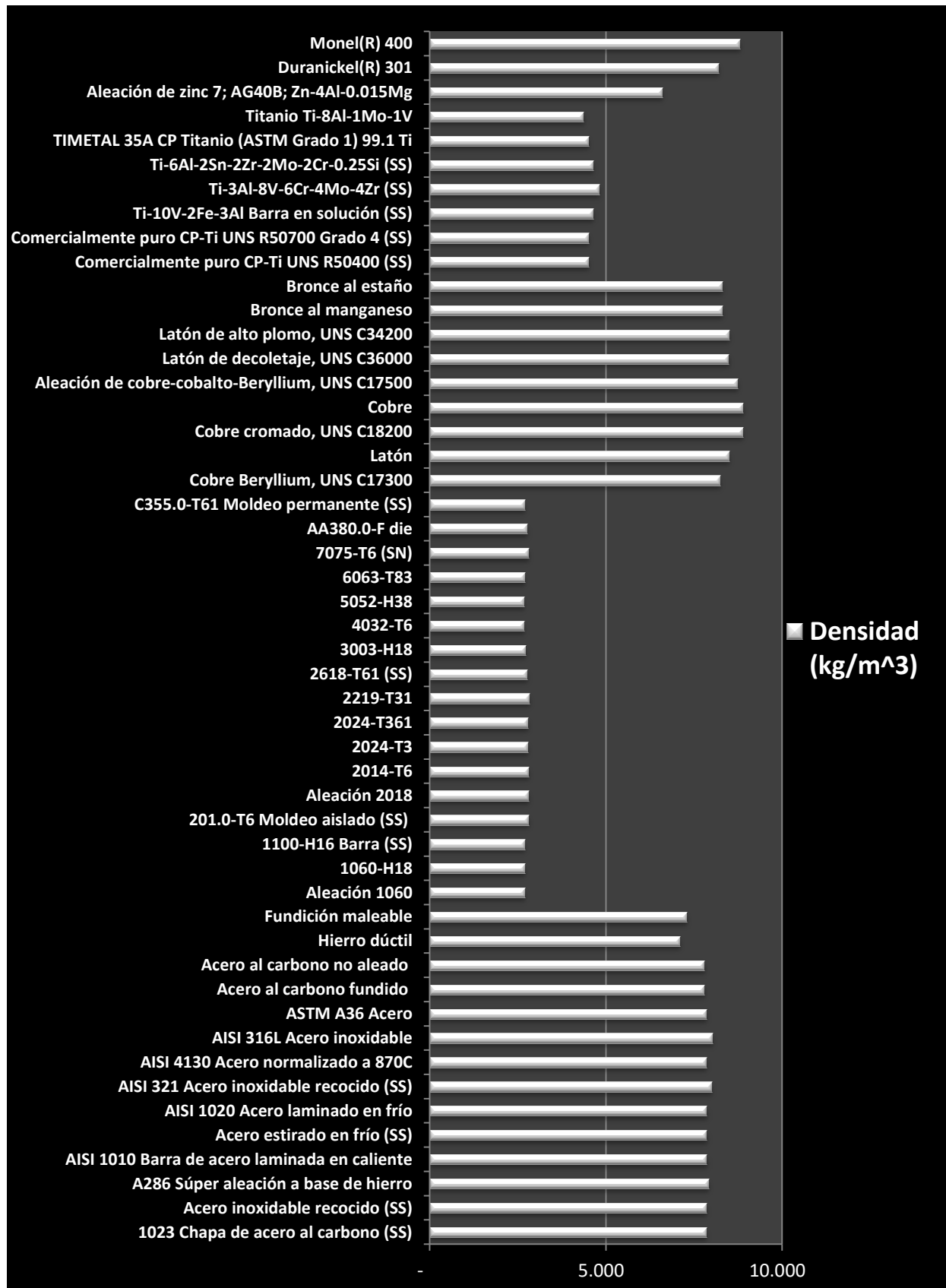


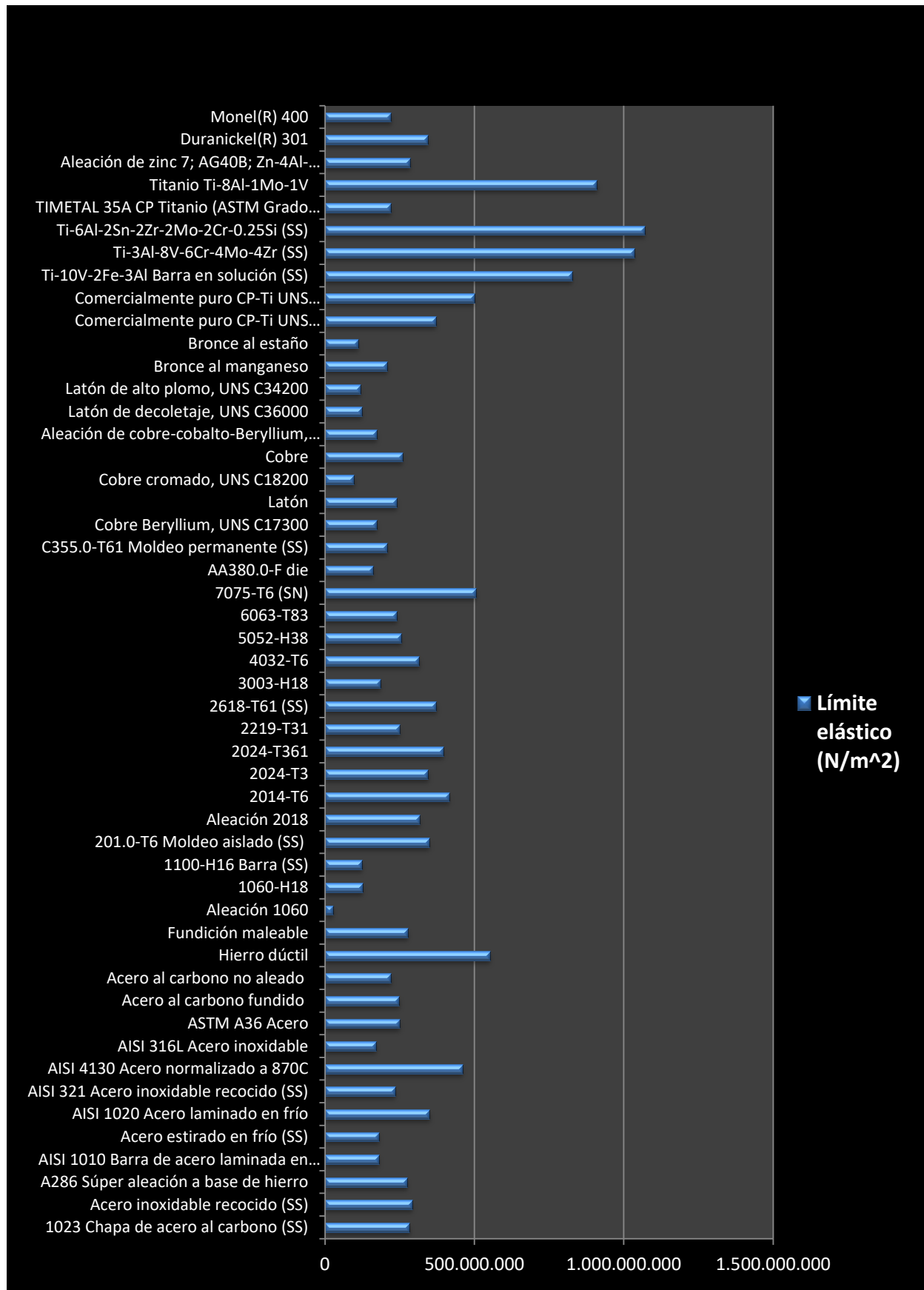
ANEXO XII: ANÁLISIS SUPPLIER SELECTION

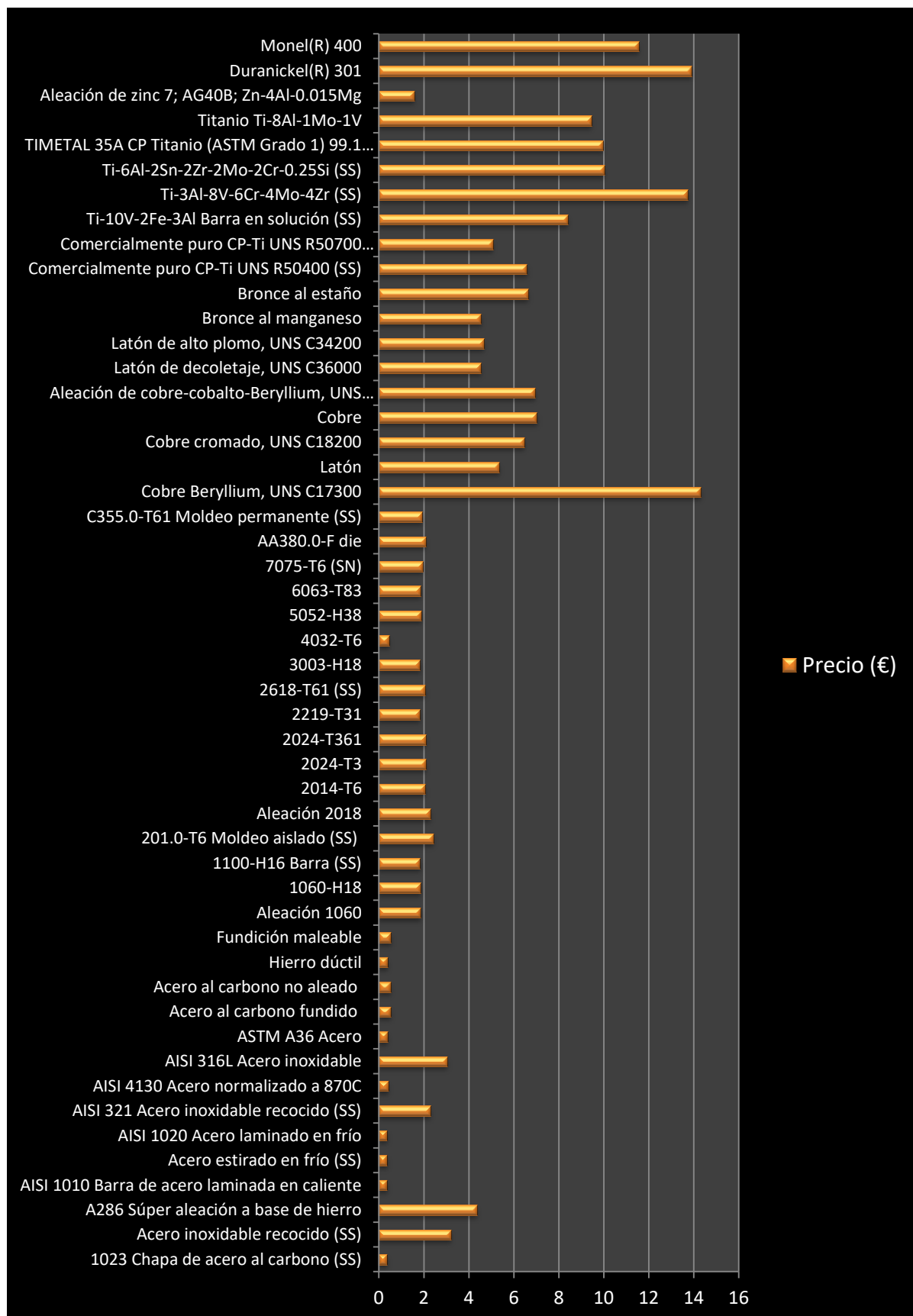
Supplier Selection	Date:	24/10/2020		
	Project:	Fabricación de la pieza cortacables, carcasa y acople.		
	Basis:	20 unidades de cada pieza (60 en total), España		
	Weighting [%]	Supplier 1: Imprimakers	Supplier 2: Impresion3Dlowcost	Supplier 3: Sirok
COSTS	65%			
Pieza cortacables (unidad)		19,78 €	22,01 €	24,30 €
Pieza carcasa (unidad)		29,29 €	38,04 €	41,72 €
Pieza acople (unidad)		103,68 €	117,38 €	123,15 €
Total (60 piezas)		3.055,00 €	3.548,60 €	3.783,40 €
Weighted Assessment (1-100)		98	94	90
Ranking		1	2	3
QUALITY	35%			
Weighted Assessment (1-100)		91	97	98
Ranking		3	2	1
COSTS	65%	98	94	90
QUALITY	35%	91	97	98
Weighted Mean		95,55	95,05	92,8
Total Ranking Order		1	2	3
Decision	Adquirir las piezas a través de la empresa Imprimakers.			

Supplier Selection	Date:	24/10/2020		
	Project:	Fabricación de las piezas pala y dientes.		
	Basis:	20 unidades de cada pieza (60 en total), España		
	Weighting [%]	Supplier 1: Materialise	Supplier 2: Markforged	Supplier 3: Multi3dprint
COSTS	65%			
Pieza pala (unidad)		51,99 €	68,52 €	55,38 €
Pieza dientes (unidad)		144,13 €	189,96 €	153,53 €
Total (44 piezas)		4.314,64 €	5.686,56 €	4.596,02 €
Weighted Assessment (1-100)		96	88	94
Ranking		1	3	2
QUALITY	35%			
Weighted Assessment (1-100)		93	96	95
Ranking		3	1	2
COSTS	65%	96	88	94
QUALITY	35%	93	96	95
Weighted Mean		95,55	90,8	94,35
Total Ranking Order		1	3	2
Decision	Adquirir las piezas a través de la empresa Materialise.			

ANEXO XIII: PROPIEDADES DE CADA MATERIAL







ANEXO XIV: PONDERACIÓN DE LA DENSIDAD, PESO Y PRECIO DE CADA MATERIAL

	Material	Densidad en masa (kg/ m³)	Límite elástico (N/m²)	Precio (\$/kg)	Precio (€/kg)	N1 / X1	X2 / N2	X3 / N3	Ponderación
ACEROS	1023 Chapa de acero al carbono (SS)	7.858	282.685.049	0.436	0.36624	1.08506	0.65633	6.48304	37.89429
	Acero inoxidable recocido (SS)	7.860	292.000.000	3.815	3.2046	1.12081	0.65616	0.74092	15.21099
	A286 Super aleación a base de hierro	7.920	275.000.000	5.176	4.34784	1.05556	0.65119	0.54610	13.84483
	AISI 1010 Barra de acero laminada en caliente	7.870	180.000.000	0.437	0.36708	0.69091	0.65533	6.46821	34.67677
	Acero estirado en frío (SS)	7.870	180.000.000	0.437	0.36708	0.69091	0.65533	6.46821	34.67677
	AISI 1020 Acero laminado en frío	7.870	350.000.000	0.436	0.36624	1.34344	0.65533	6.48304	39.95634
	AISI 321 Acero inoxidable recocido (SS)	8.000	234.421.747	2.73	2.2932	0.89981	1.03468	1.03539	14.56338
	AISI 4130 Acero normalizado a 870C	7.850	460.000.000	0.515	0.4326	1.76567	0.65700	5.48856	39.36454
	AISI 316L Acero inoxidable	8.027	170.000.000	3.626	3.04584	0.65253	0.64251	0.77954	11.55093
	ASTM A36 Acero	7.850	250.000.000	0.455	0.3822	0.95960	0.65700	6.21232	35.81108
	Acero al carbono fundido	7.800	248.168.000	0.614	0.51576	0.95257	0.66121	4.60359	29.34097
	Acero al carbono no aleado	7.800	220.594.000	0.614	0.51576	0.84673	0.66121	4.60359	28.49425
	Hierro dúctil	7.100	551.485.000	0.473	0.39732	2.11682	0.72640	5.97591	44.47022
	Fundición maleable	7.300	275.742.000	0.648	0.54432	1.05841	0.70650	4.36205	29.44795
	Aleación 1060	2.700	217.574.200	2.201	1.84884	0.10584	1.91016	1.28424	15.53447
	1060-H18	2.705	125.000.000	2.201	1.84884	0.47980	1.90663	1.28424	18.50850
	1100-H16 Barra (SS)	2.710	122.726.679	2.186	1.83624	0.47107	1.90311	1.29305	18.45635
HIERROS	201.0-T6 Moldeo aislado (SS)	2.800	349.000.000	2.877	2.41668	1.33960	1.84194	0.98248	23.85645
	Aleación 2018	2.800	317.104.000	2.714	2.27976	1.21717	1.84194	1.04149	23.11304
	2014-T6	2.800	415.000.000	2.444	2.05296	1.59294	1.84194	1.15655	26.57939
	2024-T3	2.780	345.000.000	2.475	2.079	1.32425	1.85519	1.14206	24.43820
	2024-T361	2.780	395.000.000	2.475	2.079	1.51617	1.85519	1.14206	25.97356
	2219-T31	2.840	250.000.000	2.17	1.8228	0.95960	1.81600	1.30258	21.96712
	2618-T61 (SS)	2.760	371.999.996	2.448	2.05632	1.42789	1.86863	1.15466	25.38490
	3003-H18	2.730	185.000.000	2.181	1.83204	0.71010	1.88917	1.29601	20.31074
	4032-T6	2.680	315.000.000	0.533	0.44772	1.20910	1.92441	5.30320	40.50765
	5052-H38	2.680	255.000.000	2.231	1.87404	0.97879	1.92441	1.26697	22.52029
	6063-T83	2.700	240.000.000	2.201	1.84884	0.92122	1.91016	1.28424	22.05748
	7075-T6 (SN)	2.810	505.000.000	2.304	1.93536	1.93839	1.83538	1.22683	29.59137
	AA380.0-F die	2.760	159.000.000	2.461	2.06724	0.61031	1.86863	1.14856	18.81986
	C355.0-T61 Moldeo permanente (SS)	2.710	207.000.000	2.291	1.92444	0.79455	1.90311	1.23379	20.80710
	Cobre Beryllium, UNS C17300	8.250	172.000.000	17.023	14.29932	0.66021	0.62514	0.16605	9.07154
	Latón	8.500	239.689.000	6.342	5.37728	0.92002	0.60676	0.44570	12.17675
ALEACIONES DE COBRE	Cobre cromado, UNS C18200	8.890	97.000.000	7.712	6.47808	0.37233	0.58014	0.36652	7.34537
	Cobre	8.900	258.646.000	8.364	7.02576	0.99279	0.57949	0.33795	12.19153
	Aleación de cobre-cobalto-Beryllium, UNS C17500	8.750	172.000.000	8.245	6.9258	0.66021	0.58942	0.34283	9.60005
	Latón de decoletaje, UNS C36000	8.490	124.000.000	5.411	4.54524	0.47596	0.60747	0.52238	8.93458
	Latón de alto plomo, UNS C34200	8.500	117.000.000	5.568	4.67712	0.44909	0.60676	0.50765	8.65714
	Bronce al manganeso	8.300	206.807.000	5.416	4.54944	0.79381	0.62138	0.52190	11.54495
	Bronce al estaño	8.300	110.297.000	7.892	6.62928	0.42336	0.62138	0.35816	7.92644
	Comercialmente puro CP-Ti UNS R50400 (SS)	4.510	370.000.000	7.835	6.5814	1.42021	1.14355	0.36077	18.52251
	Comercialmente puro CP-Ti UNS R50700 Grado 4	4.510	500.000.000	6.035	5.0694	1.91920	1.14355	0.46837	22.94486
	Ti-10V-2Fe-3Al Barra en solución (SS)	4.650	827.370.875	10.001	8.40084	3.17578	1.10912	0.28263	32.08242
ALEACIONES DE TITANIO	Ti-3Al-8V-5Cr-4Mo-4Zr (SS)	4.820	1.034.213.593	16.352	13.73568	3.96973	1.07001	0.17286	37.79930
	Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)	4.650	1.070.000.004	11.928	10.01952	4.10709	1.10912	0.23697	39.35024
	TiMETAL 35A CP Titanio (ASTM Grado 1) 99.1 Ti	4.510	220.000.000	11.858	9.96072	0.84445	1.14355	0.23837	13.42685
	Titanio Ti-8Al-1Mo-1V	4.370	910.000.000	11.238	9.43992	3.49295	1.18019	0.25152	34.85061
ALEACIONES DE ZINC	Aleación de zinc 7; AG408; Zn-4Al-0.015Mg	6.600	285.000.000	1.888	1.58592	1.09394	0.78143	1.49714	18.64728
	Duranickel(R) 301	8.200	344.678.000	16.556	13.90704	1.32301	0.62895	0.17073	14.41180
OTRAS ALEACIONES	Monel(R) 400	8.800	220.594.000	13.745	11.5458	0.84673	0.58607	0.20565	10.52677

