

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

"DISEÑO DE RECICLADORA DE  
BOTELLAS PET EN FILAMENTO APTO  
PARA LA IMPRESIÓN 3D"

TRABAJO FIN DE GRADO

Febrero 2025

AUTOR: Gonzalo García Albert

DIRECTORES: Miguel Fabra Rodríguez

Francisco Javier Simón  
Portillo



*Gracias a mis profesores, en especial a mis tutores por ser fuente de inspiración y de ayuda en todo momento y sobre todo a mi familia, que tanto me ha apoyado en este duro camino.*



## Índice

1.	INTRODUCCIÓN .....	8
1.1.	RECICLAJE DE PLÁSTICO .....	9
1.2.	MATERIALES EN EL ENTORNO DE LA IMPRESIÓN 3D.....	10
1.3.	ESTADO DEL ARTE .....	13
2.	OBJETIVOS .....	16
2.1.	Objetivo Principal .....	16
2.2.	Objetivos Específicos .....	16
3.	DISEÑO .....	18
3.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	18
3.2.	CORTADOR DE BOTELLAS .....	18
3.3.	ESTRUCTURA .....	20
3.3.1.	CONFIGURACIÓN Y MONTAJE.....	20
3.3.2.	PROCESO DE CORTE POR LÁSER.....	21
3.4.	DISEÑO DE COMPONENTES .....	23
3.5.	PIEZAS DE CATÁLOGO .....	26
3.6.	ELECTRÓNICA .....	36
4.	CÁLCULOS.....	44
4.1.	DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE CORTE DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO. ....	44
4.2.	CÁLCULO PARA LA DISTANCIA ENTRE EJES DE LAS POLEAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y DISEÑO DE ENGRANAJES. ....	46
4.3.	CÁLCULO DE TENSIONES DE REFERENCIA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS....	50
5.	ENSAYOS.....	52
5.1.	ENSAYO DE TRACCIÓN .....	54
5.2.1.	PLA.....	56
5.2.2.	PETG .....	58
5.2.3.	ABS.....	59
5.2.4.	PET RECICLADO.....	61
5.3.	RESULTADOS.....	62
6.	PRESUPUESTOS.....	63
6.1.	PRESUPUESTO DE PIEZAS DE CATÁLOGO.....	63

6.2.	PRESUPUESTO PIEZAS IMPRESAS EN 3D .....	65
7.	CONCLUSIONES .....	68
8.	BIBLIOGRAFÍA .....	72
9.	ANEXO I PLANOS .....	77





## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más usados en la actualidad es el plástico ya que, gracias a su producción sintética, podemos adaptarlo a las necesidades más comunes, pudiendo utilizarlo en numerosas materias. Esto supone un gran problema, ya que produce muchos desperdicios debido a su baja reutilización y su poca, o en algunos casos, inexistente biodegradabilidad. De unos años a esta parte, se utiliza en numerosos productos alimentarios, como pueden ser bebidas, y es por ello que el desecho de las botellas de plástico va en aumento, lo que supone que, si no se reciclan debidamente, puedan acabar alterando el ecosistema.

Por otro lado, la tecnología del prototipado rápido está en auge y es que máquinas como pueden ser impresoras de polvo metálico, resina con la técnica SLA (estereolitografía) o mismamente impresoras FDM (Fused Deposition Modeling) como la de la Figura 1 con la deposición de un material, generalmente plástico, mediante la extrusión de este, pueden suponer una ventaja tanto en tiempo como económica en la creación de pequeños prototipos para la posterior producción en masa. Esta tecnología se está volviendo muy conocida ya que cada vez hay más particulares que cuentan con una impresora 3D en sus casas para sus pequeños proyectos [1].



*Figura 1. Impresora con tecnología FDM [2]*

Debido a lo mencionado anteriormente, se podrían fusionar ambos campos y generar filamento apto para la impresión 3D con la técnica FDM mediante la reutilización del plástico desechado por las botellas, lo que supondría no desechar tanto este material, además de no producir en exceso bobinas de plástico para la impresión 3D y a nivel particular una ayuda económica para la gente que no quiera desperdiciar bobinas de plástico compradas en realizar pequeños prototipos.

## 1.1. RECICLAJE DE PLÁSTICO

La producción de plásticos ha experimentado un crecimiento exponencial a nivel global en las últimas décadas, convirtiéndose en uno de los materiales más utilizados en el mundo. Según datos de *Plastics Europe*, en 2022 se produjeron más de 400 millones de toneladas de plástico, y se espera que esta cifra continúe aumentando en los próximos años [3]. Sin embargo, este incremento en la producción va ligado a una gran acumulación de residuos plásticos, lo que supone grandes problemas a niveles ambientales.

En términos globales, solo una pequeña cantidad del plástico producido se recicla de manera efectiva. Un informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) indica que, en 2019, solo el 9 % de los residuos plásticos generados en el mundo fueron reciclados, mientras que el 22 % se gestionó mediante incineración y un 49 % terminó en vertederos [4]. El resto, aproximadamente un 20 %, se considera desechos "mal gestionados", lo que significa que se acumulan en entornos naturales, provocando contaminación de suelos, ríos y océanos.

En el caso de Europa, la situación es algo más favorable, puesto que, en 2021, se llegó a reciclar el 35 % de los plásticos posconsumo, lo que la sitúa por encima de la media global. Sin embargo, en países como España, se sigue pudiendo evolucionar. Según *Ecoembes*, en 2022 se consiguieron reciclar un 4,7 % más de envases plásticos que en 2021 lo que, aunque representa un gran avance, todavía queda una gran cantidad de plásticos sin reciclar [5].

El reciclaje mecánico es la técnica más utilizada actualmente, la cual implica triturar los plásticos y reprocesarlos para convertirlos en nuevos productos. Sin embargo, este proceso tiene ciertas limitaciones, ya que muchos plásticos pierden sus propiedades

mecánicas después de ser reciclados varias veces, lo que limita su reutilización a aplicaciones con menores necesidades mecánicas. Por otro lado, el reciclaje químico, que descompone los plásticos en elementos más básicos para crear nuevos polímeros, pero, aunque esta técnica tenga un gran potencial, su implementación a mayor escala es muy costosa.

La acumulación de residuos plásticos no solo representa un problema a nivel ambiental, sino que también puede afectar a nivel económico ya que estos residuos implican la limpieza de entornos naturales en los que pueden haber acabado. Además de los costes en limpieza de estas zonas hay que destacar la pérdida de valor de estos entornos si se habla de economía ambiental, implicando que se deba abordar esta problemática cuanto antes.

En conclusión, aunque los avances en reciclaje han permitido gestionar una parte una gran parte de estos residuos, todavía queda mucho trabajo. Mejorar las estadísticas de reciclaje o promover la economía circular son algunos de los pasos a tener en cuenta para disminuir el impacto ambiental. No se trata de reciclar más, si no también reducir la producción y ofrecer otras alternativas más sostenibles.

## 1.2. MATERIALES EN EL ENTORNO DE LA IMPRESIÓN 3D.

Actualmente, la impresión 3D está cambiando la forma de producir, comercializar y hacer prototipados tal y como la conocíamos unos años atrás, ya que se está convirtiendo en una herramienta principal en muchas empresas a la hora de hacer prototipos antes de la producción en masa del producto final o bien, pequeños emprendedores que pueden crear un negocio desde sus casas con esta tecnología y es que resulta una idea rápida, económica personalizable para transformar ideas en productos tangibles.

Para llevar a cabo todo lo anterior, existen diversas tecnologías de impresión 3D, entre las cuales destacan tres: FDM (Modelado por Deposición Fundida), SLA (Estereolitografía) y SLS (Sinterizado Selectivo por Láser). Cada una, con aplicaciones específicas dependiendo de las necesidades del proyecto.

La tecnología **FDM** es la más común, utilizada tanto en entornos domésticos como industriales debido a su accesibilidad y bajo costo. Este método consiste en la extrusión de un filamento normalmente de plástico que se deposita capa por capa para construir la pieza final tal y como se muestra en la Figura 2. Para ello, los materiales más utilizados dada su versatilidad y facilidad a la hora de impresión son PLA, ABS y PET.

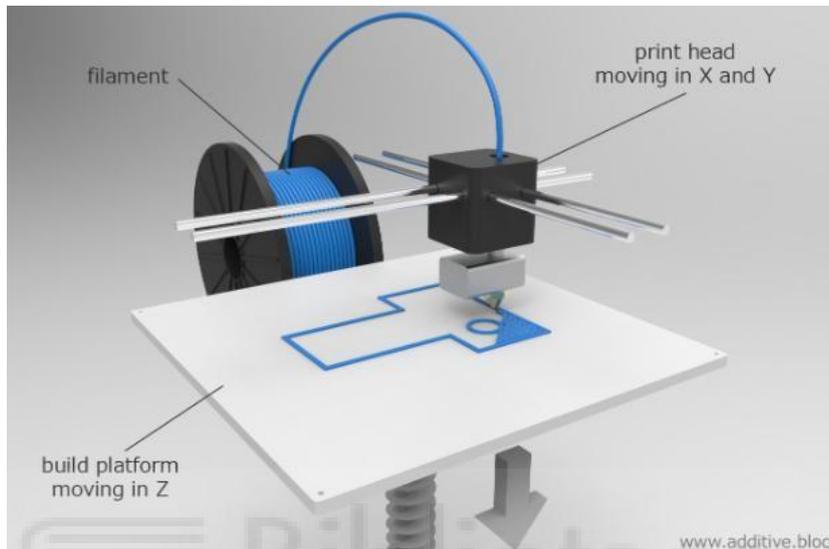


Figura 2. Tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) [6]

Por otro lado, la técnica **SLA** o estereolitografía, mostrada en la Figura 3, utiliza una pantalla de luz ultravioleta, para curar resinas líquidas sensibles a este tipo de luz, lo que permite una mayor resolución y detalles más finos. Sin embargo, las resinas a utilizar pueden llegar a tener mayor coste que los filamentos mencionados anteriormente, eso, y la necesidad de un post procesamiento de las piezas una vez se impriman, la hacen menos accesible.

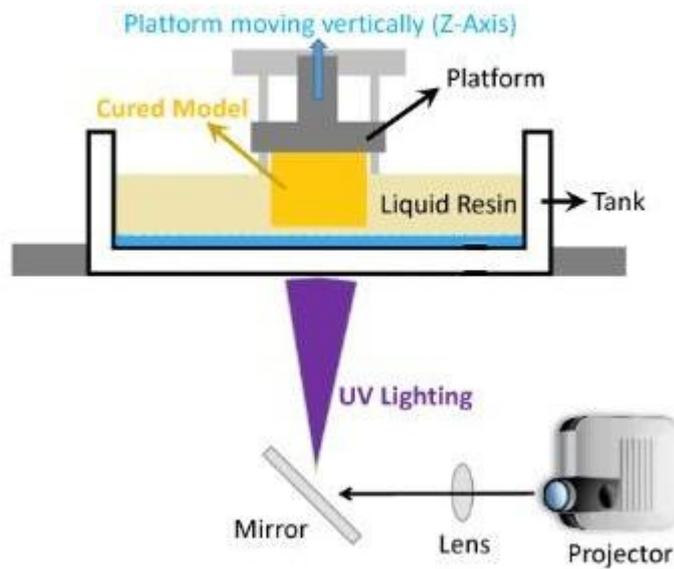


Figura 3. Tecnología SLA (estereolitografía) [7]

Finalmente, la tecnología **SLS** o sinterización selectiva por láser emplea un láser para sinterizar polvo tal y como se aprecia en la Figura 4 creando piezas funcionales y duraderas, pero su complejidad y precio la limitan a aplicaciones industriales.

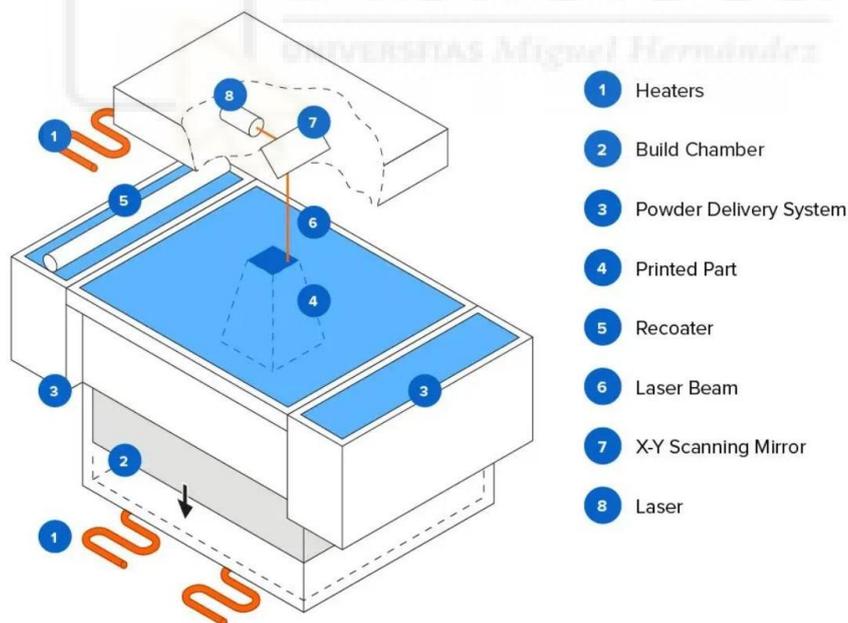


Figura 4. Tecnología SLS (Selective Laser Sintering) [8]

Dentro del contexto de prototipado rápido, la tecnología FDM se destaca por permitir repeticiones rápidas y económicas de un mismo diseño. Es común realizar varias versiones

de un mismo modelo, ajustando parámetros como el espesor de las capas, la densidad del relleno o la orientación de impresión. Estas iteraciones son fundamentales para optimizar el diseño y garantizar su funcionalidad, pero también generan un desperdicio considerable de plástico, especialmente cuando se descartan piezas completas por fallos u otros ajustes.

Otro aspecto a tener en cuenta es el uso de soportes en impresiones con voladizos. Estas estructuras adicionales son necesarias para evitar deformaciones en las capas que tengan poca superficie sobre las que apoyarse durante la impresión. Al finalizar el proceso, todos los soportes suelen desecharse, lo que aumenta significativamente la cantidad de plástico desperdiciado. Por ejemplo, en una pieza con voladizos pronunciados, los soportes pueden representar hasta el 50 % del material total utilizado.

En este contexto, el uso de PET reciclado como material de impresión ofrece grandes ventajas. Al no ser biodegradable, el PET es especialmente útil para aplicaciones en entornos húmedos o acuáticos, donde materiales como el PLA, ya que, al partir de materias primas como el almidón de maíz o la caña de azúcar, podrían degradarse con el tiempo. Esto lo hace ideal para fabricar piezas como componentes de sistemas de riego o soportes para acuarios. Además, el PET es compatible con estándares alimentarios, lo que puede implicar su aplicación en productos del sector alimenticio, como la creación de moldes, envases o herramientas que estén en contacto con alimentos.

En conclusión, la impresión 3D, y en particular la tecnología FDM, se ha consolidado como una herramienta clave en el prototipado rápido. Sin embargo, su impacto ambiental debido al desperdicio de material es algo a lo que hay tener en cuenta. Es por ello que el uso del PET reciclado de las botellas que se consumen normalmente reduciría estos desechos a la par que abriría nuevas posibilidades de impresión.

### 1.3. ESTADO DEL ARTE

La mala gestión de los residuos plásticos atañe a cada vez más gente y es por ello que se ven cada vez más proyectos e iniciativas relacionadas con el tema. En los últimos años has salido a la luz proyectos muy interesantes que ocupan este tema, transformando residuos

plásticos en recursos útiles. Entre los más destacados se encuentran **Precious Plastic** y **RePET** de Ecodecat, cada uno de ellos enfocado a público específico, pero con un objetivo común.

**Precious Plastic** es un proyecto de código abierto, de manera que todo aquel que quiera, pueda contribuir en él, fundado por Dave Hakkens en 2013, el cual, trata de proporcionar herramientas y recursos para el reciclaje de plástico a pequeña escala. Este proyecto ofrece planos y tutoriales gratuitos para construir máquinas como trituradoras, máquinas de moldeo por compresión, extrusoras y prensas de inyección. Actualmente, este proyecto permite comprar material en bruto como pueden ser bloques para la construcción, pequeñas vigas hechas mediante extrusión e incluso pellets hechos a partir de la trituración de estos desechos, que con la adecuada adaptación en una impresora con la tecnología FDM, podría imprimir con plástico reciclado [9]. Aunque sea un enfoque llamativo, habría que hacer una inversión considerable al tratarse de maquinaria industrial como pueden ser motores para el funcionamiento de las máquinas o planchas de acero para la estructura de estas.

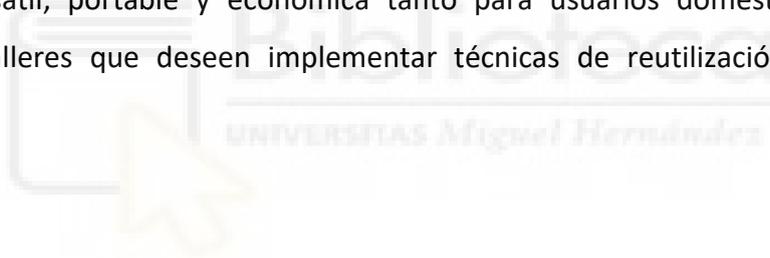
Por otro lado, **RePET**, desarrollado por Ecodecat, es un sistema diseñado para utilizar tiras de plástico PET cortadas directamente de botellas, evitando el proceso de trituración. Este sistema consta de un bloque calefactor que calienta el plástico a temperaturas de entre 200 °C y 230 °C, y una boquilla que lo extruye directamente en el cabezal de una impresora 3D, haciendo que el extrusor de la impresora realice la tensión para tirar de las tiras de plástico previamente cortadas y así consiga pasar al cabezal con el diámetro deseado [10]. Aunque este proyecto elimine la necesidad del uso de pellets y simplifique el proceso, presenta ciertas limitaciones. Una de las principales es que requiere impresoras 3D con extrusión directa, lo que supone que ciertos modelos más asequibles y con cierta edad queden excluidos de este proceso. Otro factor a tener en cuenta es que este filamento pasa directamente de esta máquina al extrusor, sin un enfriamiento previo, lo que supondría en ciertas ocasiones atascos en la impresora debido a cambios de sección o que el filamento no haya solidificado lo suficiente.

Entre otras iniciativas destacables se encuentra el sistema de reciclaje de **Filabot**, una empresa que fabrica extrusoras para filamento a partir de pellets reciclados. Aun siendo

este un sistema eficaz y llamativo, esta empresa se centra en un uso industrial, ya que requiere de una inversión considerable [11].

Por otro lado, el proyecto presentado en este Trabajo de Fin de Grado aborda varias de las limitaciones mencionadas. La máquina diseñada permite producir filamento reciclado en un formato estándar de 1,75 mm de diámetro, que puede ser almacenado en bobinas y utilizado en cualquier impresora 3D, independientemente de su sistema de extrusión, ampliando significativamente su aplicabilidad. Además, al integrar un sistema de bobinado, la máquina permite almacenar el filamento producido, proporcionando flexibilidad al usuario para imprimir cuando lo desee, sin depender del tiempo que se pueda invertir en la producción del filamento.

Para finalizar con este apartado, hay que comentar que, aunque los proyectos de Precious Plastic y RePET ofrezcan alternativas llamativas y eficientes al reciclaje doméstico y accesible, la máquina presentada en este trabajo ofrece una solución al problema de manera versátil, portable y económica tanto para usuarios domésticos como para pequeños talleres que deseen implementar técnicas de reutilización de materiales plásticos.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Principal

El objetivo principal de este proyecto es diseñar y construir una máquina capaz de transformar botellas de plástico de PET en filamento de 1,75 mm de diámetro, con el cual se pueda utilizar como consumible en la gran mayoría de impresoras 3D del mercado que utilizan técnicas de deposición de material. Este filamento busca ser una alternativa viable y de menor impacto ambiental en comparación con los materiales tradicionalmente empleados, como el PLA, PETG o ABS.

### 2.2. Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo principal, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- **Diseño de un cortador de botellas:** Se diseñará un cortador de botellas versátil y adaptable a cualquier superficie mediante la fijación por tornillos o sargentos con un sistema de corte por rodamientos, capaz de convertir una botella de plástico convencional en tiras de diferentes alturas dependiendo del grosor de la botella inicial.
- **Diseño de un sistema de extrusión:** Se desarrollará un sistema mecánico y térmico que permitirá la transformación de tiras rectangulares recortadas de botellas de plástico PET en filamento continuo. Este sistema deberá calentar eficientemente el plástico sin llegar a degradarlo, permitiendo la extrusión de este plástico con una sección constante y su posterior bobinado.
- **Selección y ensamble de componentes:** Este objetivo incluye el diseño de un bastidor de metacrilato o planchas de poliestireno de 4 mm de espesor, cortado por láser para garantizar precisión del corte y su robustez una vez montado. Se integrarán componentes mecánicos y electrónicos como un motor paso a paso controlado mediante un driver y un bloque calefactor capaz de llegar a temperaturas de hasta 255 °C, seleccionados para garantizar un correcto funcionamiento de la máquina. Ambos pueden ser reutilizados de impresoras que

ya no estén en funcionamiento o comprar en páginas de importación con un bajo coste. seleccionados para garantizar un correcto funcionamiento de la máquina.

- **Implementación de un sistema de control de velocidad y temperatura:** Se instalará un sistema de control mediante un procesador dedicado a pequeños proyectos como es el “Wemos D1 mini” que permitirá ajustar la velocidad del motor y la temperatura del bloque calefactor aprovechando sus pequeñas dimensiones para favorecer la portabilidad de la máquina. Este control es fundamental para poder regular los parámetros necesarios a diferentes tipos de botellas, dependiendo de su espesor.
- **Realización ensayos sobre el material reciclado:** Se llevarán a cabo unos ensayos para evaluar la resistencia del filamento producido. Estas pruebas compararán el filamento reciclado con filamentos comerciales, para asegurar que cumple con los estándares de calidad necesarios para la impresión 3D.
- **Promoción del reciclaje y la economía circular:** A través de este proyecto, se busca promover el reciclaje de plásticos posconsumo como un método viable y económico, cumpliendo con los requisitos de la economía circular. Esto contribuirá a reducir la huella de carbono asociada a la producción de filamentos para impresión 3D y a fomentar la reutilización de materiales de desecho entre usuarios de la comunidad de impresión 3D.

## 3. DISEÑO

### 3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El diseño de esta máquina radica en la portabilidad y facilidad de uso de esta, ya que se busca el concepto “plug and play”, que en sistemas informáticos se conoce como enchufar y usar, permitiendo que el usuario no necesite excesivos conocimientos de la materia más allá de las temperaturas y velocidades necesarias para cada tipo de botella. Para ello se ha diseñado un bastidor de metacrilato compacto con bobinas extraíbles como se puede ver en la Figura 5 y con el que con el uso de un dispositivo a con acceso a internet se pueda controlar el estado de la máquina, ya sea para activarla, detenerla o cambiar parámetros como velocidad y temperatura.

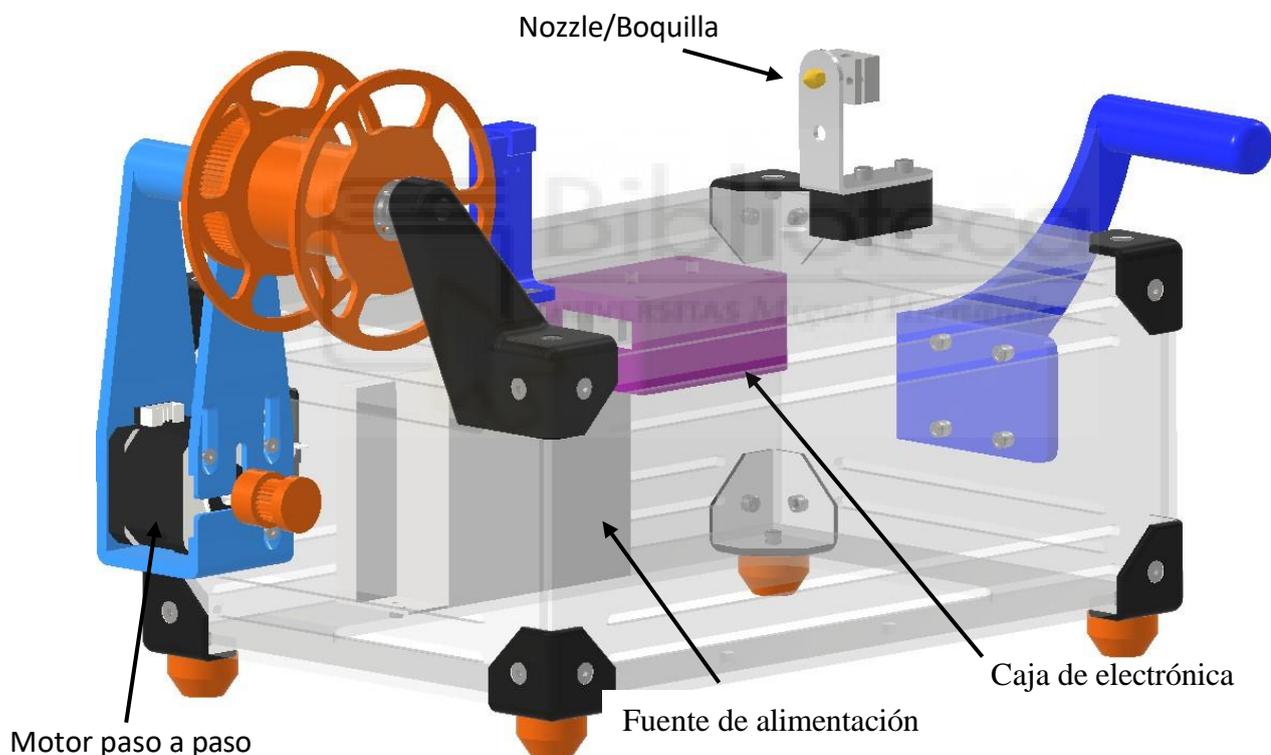
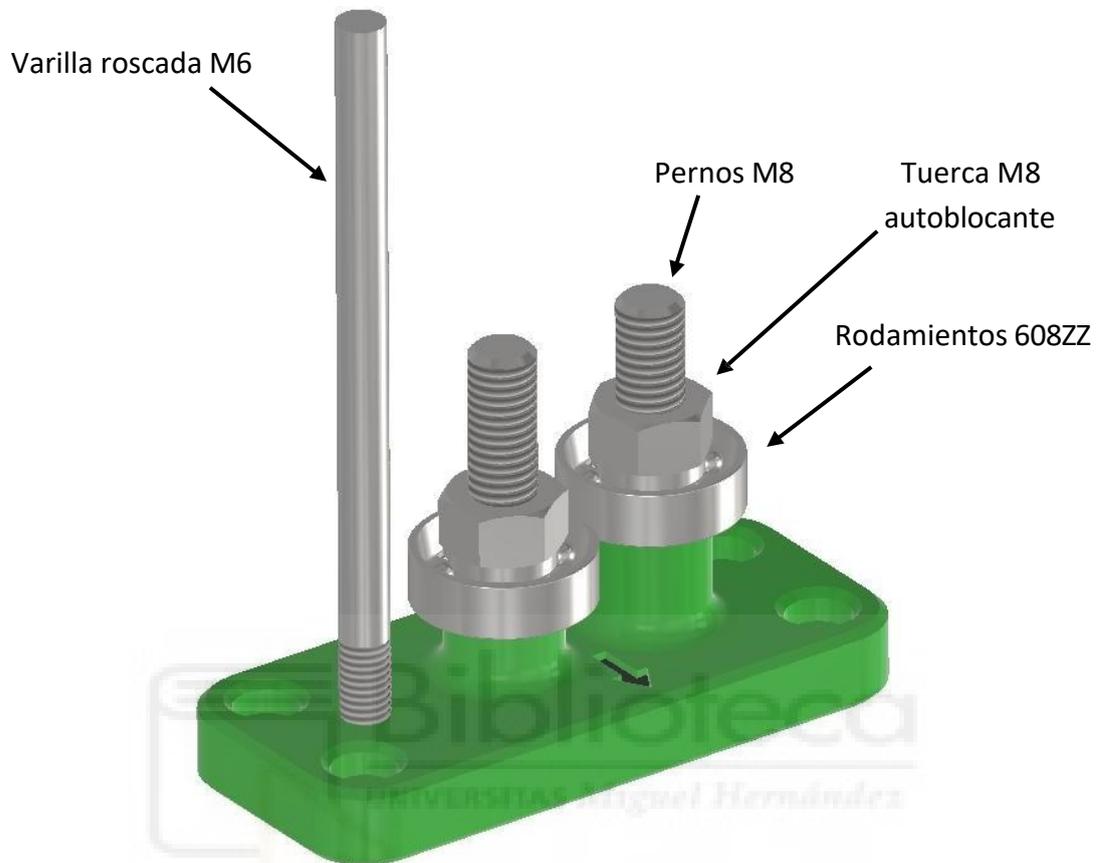


Figura 5. Máquina de reciclado de botellas PET en filamento apto para la impresora 3D

### 3.2. CORTADOR DE BOTELLAS

El proceso de reciclaje de las botellas mediante la máquina presentada no se podría llevar a cabo sin el previo corte de las botellas en tiras rectangulares y continuas que puedan pasar por el bloque calefactor. Para ello se ha diseñado una herramienta especializada tal y como se puede ver en la Figura 6 para cubrir esta tarea compuesta por varios

componentes clave, permitiendo cortar tiras de plástico de ancho ajustable, dependiendo de la botella a cortar, de manera continua y uniforme.



*Figura 6. Corta botellas y sus componentes*

La herramienta de corte está compuesta por una pieza base impresa en 3D, diseñada para ubicar correctamente los rodamientos que funcionarán a modo de cuchilla y una guía que permita llevar y ajustar la tira de plástico hasta ellos. Los rodamientos, con medidas fundamentales de 8x22x7 mm de diámetro interior, exterior y altura respectivamente, están montados en pernos de métrica 8. El útil cuenta con dos varillas rosadas, la primera de hasta 3 cm de longitud y la segunda con 48 cm de longitud, las cuales nos ayudaran a guiar la tira, así como para dar el ancho necesario a la tira de plástico y la segunda y más larga permitirá que la botella no se mueva en exceso a la hora de cortarla.

Antes de iniciar el corte es necesario una preparación previa de la botella. Aquí se eliminarán las etiquetas de los envases y el pegamento si los tuviera, además algunas

botellas cuentan con estrías para proporcionar a la botella estética o un mejor agarre, las cuales se eliminan aplicando calor a la botella, lo que hará que esta se deforme y estire con la presión generada en el interior, proporcionando un corte más limpio y limitar las deformidades de la tira. Una vez preparada se hace un corte inicial para facilitar la introducción de la botella en el sistema de corte. Es entonces, cuando mediante tracción manual, cuando se genera la tira continua que será procesada posteriormente en el sistema de extrusión.

Es importante destacar, que el corte limpio y continuo de la botella depende en gran medida de la experiencia y habilidad del usuario, ya que la práctica en uso de esta herramienta facilitará la eficiencia del corte y minimizará las interrupciones de la tira de plástico.

### 3.3. ESTRUCTURA

La estructura de la máquina en cuestión presenta una configuración estructural que se compone de 6 planchas de poliestireno, aunque se podría plantear el uso de otros materiales como el metacrilato, todas ellas formando una caja que albergará en su interior todo lo relativo a la electrónica, así como el cableado necesario para su funcionamiento. Las planchas por montar serán cortadas de una plancha base con dimensiones de 1250x500x4 mm, y cortadas por láser. Este bastidor, además de portar toda la electrónica, será fundamental a la hora de fijar otros componentes en él, como puede ser el bobinador o el bloque calefactor.

#### 3.3.1. CONFIGURACIÓN Y MONTAJE

Estas planchas se unen entre sí mediante esquineras, que serán detalladas en un apartado posterior, y se sostienen sobre unos apoyos diseñados en Autodesk Inventor e impresas en un material específico llamado TPU (poliuretano termoplástico). Este material, conocido por su elasticidad y tacto gomoso, tiene propiedades similares al caucho, proporcionado al mecanismo una base antideslizante y una amortiguación frente a las vibraciones, mejorando así la estabilidad y el rendimiento de la máquina.

Además, se cuentan con inserciones de latón específicas para materiales plásticos, ya que estas presentan un moleteado en su diámetro exterior como se puede observar en la Figura 7, que al calentar la pieza para introducirla en el plástico lo funde y se adapta mejor a la inserción, permitiendo que no se salga con facilidad. En la parte interior cuentan con una rosca, permitiendo hacer fijaciones mediante tornillos de todos los componentes de la máquina. Como se menciona anteriormente, estas inserciones se fijan mediante calor, utilizando un soldador de estaño, hasta que inserción y plancha de plástico queden a ras, asegurando una integración sólida y duradera de los componentes con la carcasa.



*Figura 7. Inserción roscada de latón [12]*

### 3.3.2. PROCESO DE CORTE POR LÁSER

Para el corte de las planchas de poliestireno se ha optado por el método de corte por láser mediante el modelo KH-7050 de la marca VEVOR, el cual se puede ver en la Figura 9. Este láser cuenta con un tubo de vidrio de CO<sub>2</sub> con el que conseguirá hasta 80W de potencia en su corte. Se optó por este tipo de maquinaria en un primer momento dada la facilidad que presenta para trabajos de este tipo, permitiendo crear diseños para el bastidor que con otras herramientas no hubiesen sido posibles, además proporcionar cortes con eficiencia y rapidez. Todas las especificaciones de este láser se especifican a continuación en la Tabla 1 [13].

MODELO	KH-7050	TIPO DE LÁSER	CO <sub>2</sub>
POTENCIA	1100 W	VOLTAJE	AC 220 V
CORRIENTE	10 A	POTENCIA DE LÁSER	80 W
PESO NOMINAL	105 Kg	ÁREA DE TRABAJO	700*500 mm

Tabla 1. Especificación técnica de cortadora láser KH-7050 [13]

Para poder configurar cada corte se ha precisado del programa “RDWorks”, mostrado en la Figura 8 que, dada su intuitiva interfaz, ha facilitado en gran medida la experiencia de corte. Este programa permite seleccionar numerosos parámetros como pueden ser el número de pasadas por el perímetro de cada plancha, además de velocidad variándola entre 5 y 10 mm/s y potencia del láser, pudiendo modificar de manera porcentual la potencia entregada, lo que permite grabar o cortar diferentes materiales, nunca sin sobrepasar el 80% para conservar el buen estado de la máquina, lo que sería una potencia de 64 W.

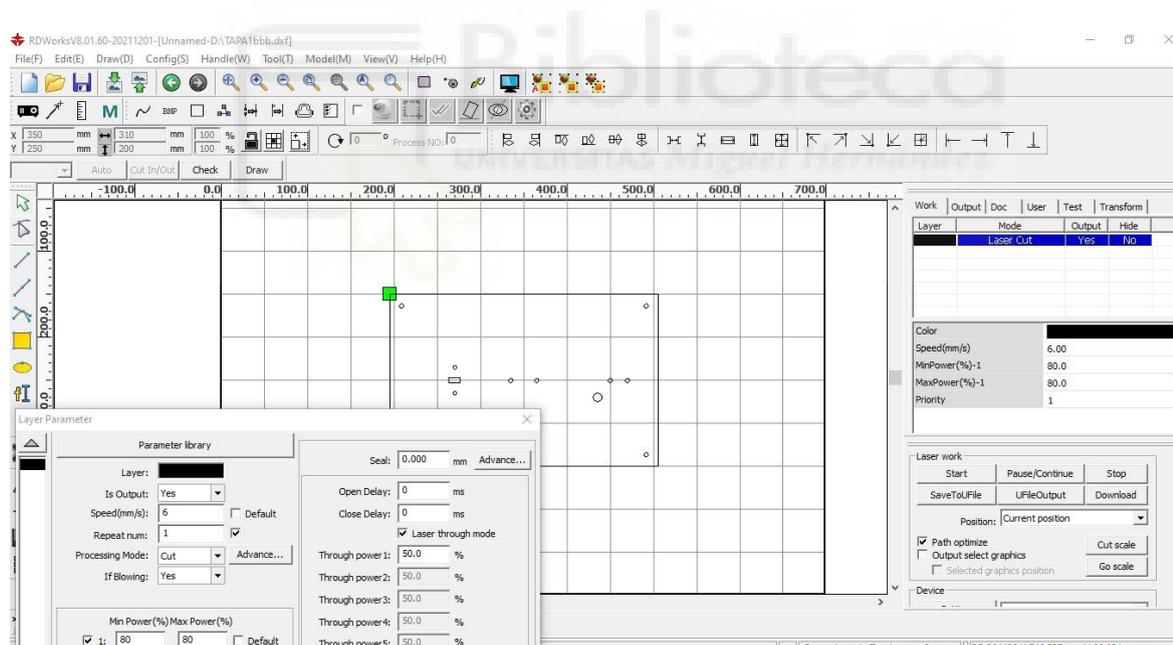


Figura 8. Programa para láser RDWorks.

Dado que antes de este proyecto no se ha trabajado con planchas de poliestireno, ha sido necesario hacer varias pruebas variando los parámetros mencionados anteriormente hasta llegar a una configuración final que permitiese cortar el plástico con facilidad, evitando deformación del plástico por exceso de calor y minimizando la formación de

rebabas. Para conseguir un aspecto final óptimo se ha optado por una sola pasada marcando el perímetro a cortar, con una velocidad de 6mm/s y una potencia de 64 W (80% de 80 W totales).

Algunas de las consideraciones para tener en cuenta con el uso de este material es que los cortes a velocidades muy bajas no permitían penetrar adecuadamente el plástico, mientras que una doble pasada tendía a fundir en exceso el poliestireno.



*Figura 9. Cortador láser KH-7050 [13]*

### 3.4. DISEÑO DE COMPONENTES

El diseño de componentes para este proyecto se ha realizado mediante el programa “Autodesk Inventor”. Este software ha permitido la creación detallada de cada una de las piezas, además de la unión de todos los componentes en un ensamblaje que permite la simulación del modelo terminado. Esto ha resultado de gran utilidad a la hora de comprobar la integración de cada uno de los elementos, minimizando los posibles errores de diseño que podrían ocasionar fallos a la hora del montaje. A continuación, se detallarán todos los elementos diseñados e impresos incluyendo su funcionalidad, además de poder interpretarlos en la Figura 10.

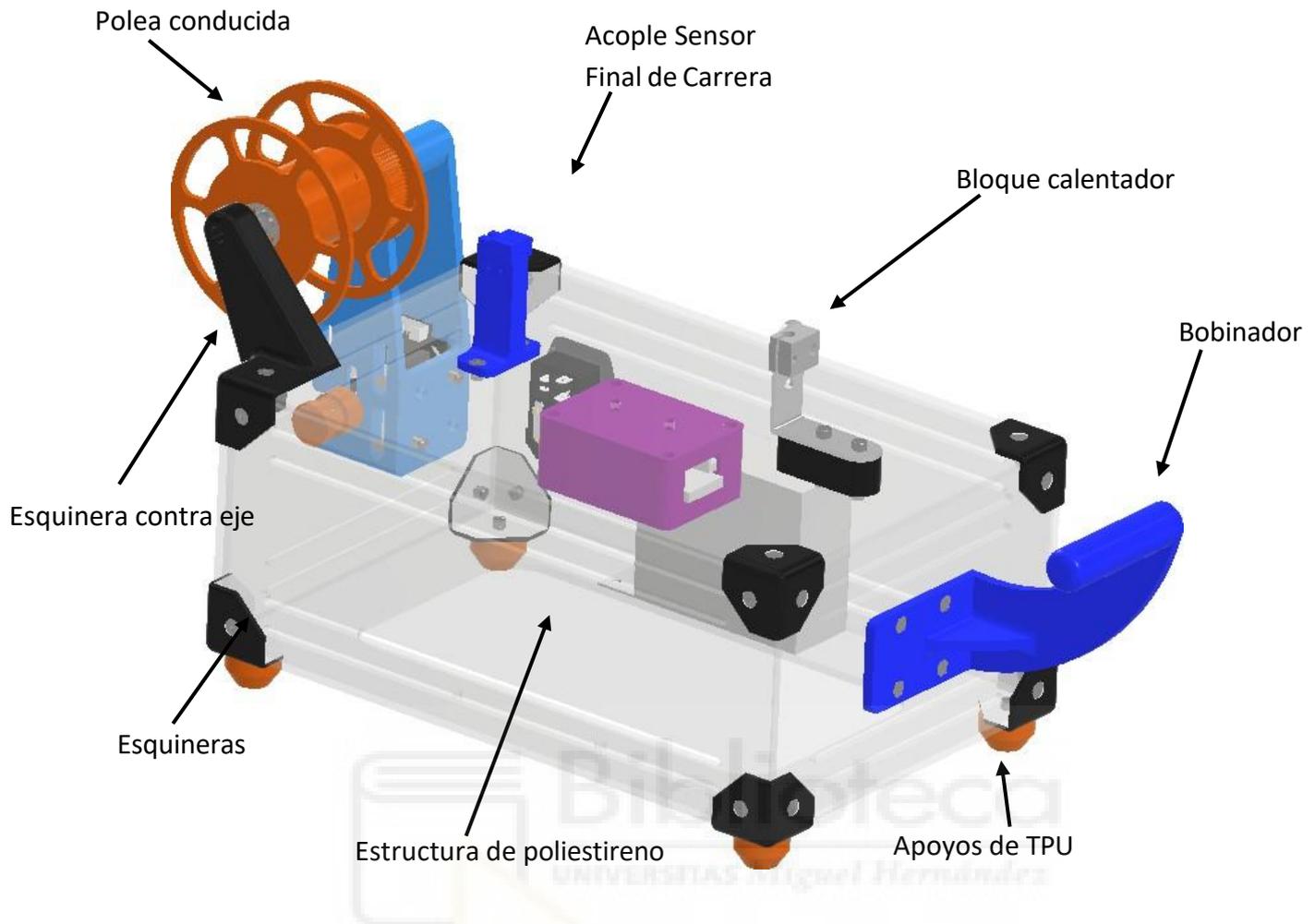


Figura 10. Máquina de reciclado de botellas PET en filamento apto para la impresora 3D

- **Esquineras:** Estas piezas se han diseñado para unir cada una de las planchas de poliestireno entre si a modo de caja, asegurando la estabilidad estructural de la misma. Para ello, se han precisado de ocho unidades, cada una sujetando 3 planchas y fijadas mediante tornillos, los cuales serán atornillados al poliestireno con ayuda de las inserciones de latón. La facilidad de montaje de las esquineras permite desmontar alguna de las planchas con rapidez en caso de querer acceder a la parte interna de la máquina por si hubiese algún tipo de fallo o mantenimiento, además de la apertura en la parte inferior, que proporciona un cómodo acceso al interior a la hora de montar los componentes internos. A su vez, una de las esquineras está diseñada a modo de soporte para la varilla roscada que actúa como eje en la polea conducida. La finalidad de esta esquinera en específico es aguantar

las posibles tensiones de torsión que pueda originar el filamento producido al ser traccionado por el motor, haciendo que el sistema quede mucho más estable.

- **Apoyos de TPU:** La funcionalidad de estos soportes es la de elevar la máquina de la superficie donde esté situada para dar cierta facilidad a la ventilación de los componentes internos además de evitar el contacto directo de las planchas o esquineras con la superficie. Para el diseño de estos apoyos se ha contado con el material TPU (poliuretano termoplástico) dada su elasticidad. Este es un material similar al caucho, lo que permitirá absorber las pocas vibraciones que pueda generar la máquina además de mejorar el agarre con la superficie, evitando desplazamientos no deseados.
- **Bobinador:** El diseño de esta pieza está enfocado a varias funciones, entre la que se encuentra el alojamiento del motor paso a paso, que será el que produzca la fuerza de tensión tirando del filamento a la salida de la boquilla. Su diseño albergará el sistema de la cadena de distribución, permitiendo separar las poleas a la distancia correcta con ayuda de unas ranuras que permiten el movimiento vertical del motor y fijación mediante tornillos para que la correa mantenga en todo momento su tensión. En su parte superior dispone de un agujero pasante de M8, por el cual se hará pasar una varilla roscada a modo de eje para la polea conducida y un hueco en el que engastará la tuerca con freno respectiva para limitar el movimiento de este eje.
- **Polea conducida:** Este componente será el responsable de generar el movimiento del bobinador. Inicialmente se diseñó un sistema de poleas síncronas impreso totalmente en 3D, pero dado que las tolerancias en cualquier impresora de filamento no son muy ajustadas y los dientes de estas poleas precisaban ajustarse a los de una correa de distribución GT-2, no resultó ser la mejor opción. Es por ello que, para este componente se ha decidido fusionar la impresión 3D con una pieza de aluminio fabricada, así como una polea motriz fabricada enteramente de aluminio. Ayudada de unas roscas con pasadores se ha podido unir la polea dentada de diámetro 50 mm a la polea conducida que actuará como bobinadora del filamento producido, además de tirar del plástico completando el proceso de extrusión. Esta polea conducida recibirá el giro y la fuerza necesaria de la polea

motriz acoplada directamente al motor paso a paso, a través de la correa de distribución GT-2 mencionada anteriormente.

- **Acople para sensor final de carrera:** Este elemento no tiene otra utilidad que la de guiar el filamento y portar un sensor final de carrera, el cual detecta la presencia o ausencia de filamento. Una vez el plástico ha salido del bloque calefactor pasa por este sensor final de carrera manteniéndolo pulsado, indicando a la máquina que sigue saliendo filamento y que continúe su funcionamiento. Una vez la tira de plástico ha llegado a su fin, el sensor no detectará filamento alguno, descomprimiendo su botón, lo que hará que la máquina detenga su proceso, evitando sobrecalentamientos del bloque o un funcionamiento excesivo del motor.
- **Porta bobinas:** Por último, la máquina cuenta con un brazo porta bobinas, el cual será de gran utilidad a la hora de empezar todo el proceso, ya que será esta pieza la que aguante a la altura de la entrada al bloque calefactor las tiras de plástico previamente cortadas de una botella.

Inicialmente, todos estos componentes han sido impresos en PLA, ya que para un primer montaje no se disponía aún de filamento reciclado. Este material inicial ha sido escogido debido a su facilidad a la hora de impresión ya que se puede imprimir en cualquier máquina con la tecnología FDM, además de ser el filamento con menor coste, permitiendo realizar varias pruebas e iteraciones de las piezas descritas en este apartado. No obstante, se contempla la utilización de filamento producido a partir de plástico reciclado de botellas PET para la fabricación de futuras máquinas, dado que este filamento es perfectamente capaz de cumplir con los requisitos mecánicos de la máquina.

### 3.5. PIEZAS DE CATÁLOGO

En este apartado se detallará cada una de las piezas de necesarias para la construcción del proyecto, explicando el funcionamiento específico de cada una de ellas. Para ello se han escogido componentes que sean de buena calidad, a la vez de poder reutilizar de otras impresoras 3D, de modo que se consiga un sistema eficaz y siga dentro de una de las líneas principales de este trabajo que es el reciclaje y la reutilización.

#### Descripción de las Piezas

- **Tornillería:** Para la correcta integración de todos los componentes de la máquina se ha seleccionado un tipo de tornillería específica, permitiendo así la máxima ocultación para evitar un impacto visual de la misma. Para ello, se han empleado en gran medida tornillos con cabeza avellanada, que con ayuda de los diseños impresos en 3D, han podido quedar a ras de la superficie a atornillar y pudiendo mantener la estética en la máquina. Además de querer unificar el formato con todos los tornillos con terminación Allen.

Para lo relacionado con la electrónica y pequeños detalles se ha empleado tornillería de métrica 3 (M3) y 8 mm de longitud, ya que se ha optado por aprovechar los agujeros roscados que tenían los componentes electrónicos para evitar posibles modificaciones de estas piezas. Por otro lado, se han utilizado tornillos de métrica 4 (M4) con 16 mm de longitud en aplicaciones que requieren de mayor robustez, como por ejemplo el anclaje de los bobinadores o la fijación entre sí de las planchas de poliestireno.

A diferencia de los anteriores tornillos, para la fijación de los apoyos de TPU se ha estimado una mejor solución tornillería de 25 mm de longitud, ya que requiere más grosor a atornillar, pero de métrica 4 permitiendo utilizar las mismas roscas. Estos tornillos difieren en la terminación, teniendo cabeza circular, dado que el diseño de los apoyos permite la ocultación de estos tornillos.

- **Inserciones Roscadas de Latón:** Puesto que muchos de los componentes estructurales son de plástico, la sujeción de las piezas con el tornillo directamente se podría ver comprometida, para solucionar este problema se ha optado por utilizar las inserciones roscadas de latón que se muestran en la Figura 7, las cuales proporcionan una rosca donde se desee atornillar cualquier componente de mejor calidad y más duraderos, pudiendo soportar mejor los esfuerzos y el uso frecuente a la hora de atornillar y desatornillar. Estas inserciones se instalan mediante un proceso de engaste con un soldador, ya que cuentan con un moleteado en su diámetro exterior, permitiendo que el plástico fundido en contacto con esta pieza metálica caliente se adapte a toda su geometría, garantizando una fijación

permanente y resistencia a la torsión durante el montaje y desmontaje de los componentes.

Para los tornillos de métrica 3 se ha utilizado inserciones con medidas de 3 mm de diámetro interior, 4,5 mm de diámetro exterior y 4 mm de largo, permitiendo ocupar toda la sección de la plancha de poliestireno. Del mismo modo, para los tornillos de métrica 4 se ha optado por inserciones con diámetro interior de 4 mm, diámetro exterior de 6 mm y un largo de 4 mm.

- **Rodamientos 608ZZ:** La selección de estos rodamientos es debida a la versatilidad que estos presentan, ya que es un tipo de rodamiento muy común con medidas estandarizadas las cuales se aprecian en la Figura 11 (22x8x7 mm) facilitando así su adquisición como su reemplazo. Este componente juega un papel crucial en la suavidad del funcionamiento de la máquina, ya que han sido colocados en la polea conducida. Puesto que la polea conducida la mantiene una varilla roscada de métrica 8 que actúa como eje de la polea, se decidió incluir en ella un rodamiento a cada lado, de manera que la rotación de esta polea sea más dinámica y fluida ya que el contacto de la varilla con el propio plástico podría generar más fricción que el contacto del eje con el propio rodamiento.

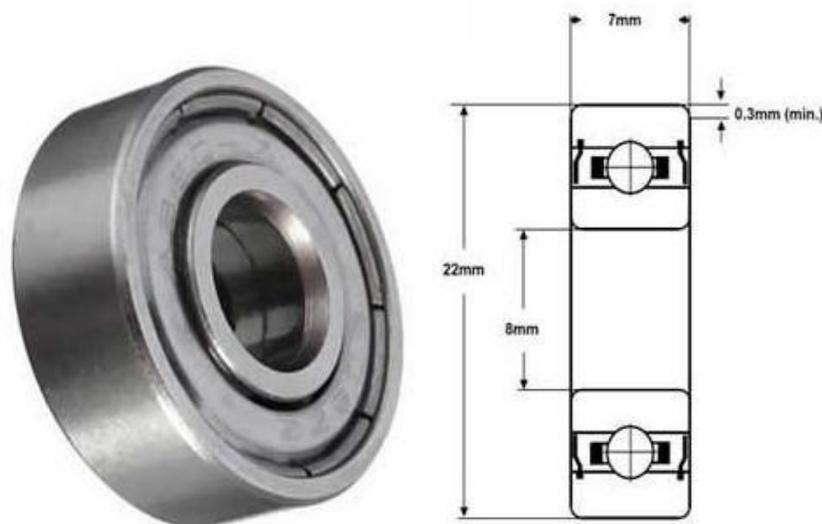


Figura 11. Medidas rodamiento 608ZZ [14]

A su vez, estos rodamientos actúan como cuchilla en el cortador de botellas con una simple modificación, y es que estos rodamientos presentan cantos romos para facilitar el engaste en algunas piezas y evitar cortes. Para esta herramienta que es el cortador de botellas se han afilado y dejado los cantos vivos mediante un torno, operación que también se puede realizar mediante el uso de una radial con disco abrasivo, permitiendo que al superponer el borde de uno de ellos con el del otro se genere una sección cortante y giratoria que corte la botella en tiras con facilidad.

- **Fuente de Alimentación de 12 V y 5 A:** Esta fuente ha sido escogida tras un análisis detallado del consumo energético del proyecto que se detallará más adelante en el apartado “4. CÁLCULOS”. Con unas dimensiones de 78x36x110 mm, esta fuente permite una fácil integración en el sistema, además de ser más que suficiente para abastecer energicamente a los elementos más demandantes como pueden ser el motor paso a paso o el bloque calefactor.
- **Enchufe IEC320 C14 con fusible 10 A:** Para poder conectar la fuente de alimentación a la corriente, se ha instalado el enchufe con fusible e interruptor que se ve en la Figura 12, añadiendo una capa adicional de seguridad protegiendo la electrónica de posibles sobrecargas y cortocircuitos. A su vez el interruptor permite encender y apagar la máquina, evitando riesgos a la hora de su manipulación e incluso evitando consumos innecesarios de la red.



Figura 12. Enchufe IEC320 C14 con fusible 10 A [15]

- **Bloque Calefactor MK8:** Este bloque calefactor ha sido escogido debido a su gran uso en la mayoría de las impresoras 3D del mercado, permitiendo su fácil adquisición además de bajo coste, aunque hoy en día se cuenta con una gran variedad de este componente ofreciendo numerosas prestaciones [16]. Este “Hot-End” cuenta con un terminal o cartucho calentador que aportará la temperatura necesaria al bloque de acero inoxidable, además tendrá otro agujero en el que irá alojado el termistor, que actuará como termómetro, indicando en todo momento la temperatura a la que se encuentra el bloque calentado. Pese a su sencillo mecanismo, este componente permite alcanzar temperaturas de hasta 255 °C lo que será más que suficiente para que el plástico de la botella PET se moldee en la forma que se requiere para la formación del filamento, ya que aunque el material PET presenta una temperatura de fusión de 260 °C, no hará falta llegar a esta temperatura para la finalidad que busca este proyecto, puesto que deformaría en exceso el filamento producido. En la Figura 13 presentada a continuación se podrá observar el funcionamiento de un bloque calentador como el que se ha utilizado, en una impresora 3D.

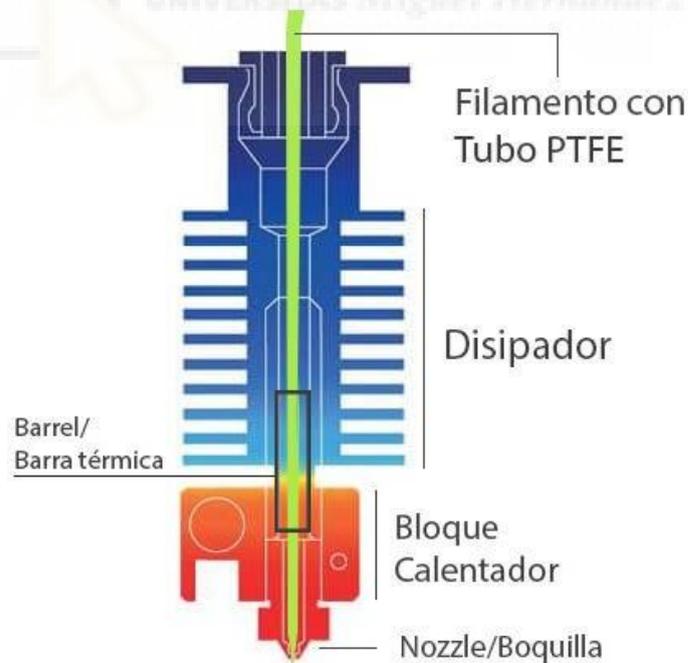


Figura 13. Representación del bloque calentador en una impresora 3D [16]

En esta imagen se representa en varios colores el sistema, indicando en azules las zonas más frías y en rojo las zonas que adquieren mayor temperatura.

- **Boquilla de Extrusión:** En la Figura 13 se puede apreciar que el último paso del filamento a la hora de su extrusión es por la boquilla o “Nozzle”. Este componente no es más que una pieza que dará forma a la salida del plástico a su paso por ella. El orificio de salida de las boquillas para la impresión 3D es de sección circular, permitiendo que el plástico extruido adquiera forma tubular.

En el mercado se pueden encontrar numerosos tipos de nozzles, los cuales permiten variar la entrada al hot-end, a la vez que se encuentran con diferentes diámetros de salida, yendo desde 0,2 mm hasta 0,8 mm, siendo la boquilla más habitual en utilizar la de la medida de 0,4 mm.

Para este proyecto se ha utilizado el nozzle más habitual, de 0,4 mm ya que se hará una pequeña modificación y este tipo de boquilla será la más fácil de adquirir. Puesto que el filamento para extruir en una impresora 3D tiene una medida específica de 1,75 mm de diámetro, se utilizará una pequeña broca de 1,5 mm de diámetro para ensanchar el orificio de salida del plástico. Lo cual permitirá que con la expansión del plástico a la salida de la boquilla se llegue a un diámetro de 1,7 mm, siendo más que suficiente para la utilización del nuevo filamento reciclado.

- **Motor Paso a Paso Nema 17:** Para conseguir el movimiento de la máquina y que así pueda tirar del filamento extruido a la par que bobinarlo, ha sido necesario el uso de un motor. Se ha escogido este tipo de motor, un motor paso a paso debido a que permite la regulación de giro de este. Este tipo de motores permiten su configuración con un controlador específico para ellos ajustando su velocidad y el número de pasos por giro, siendo realmente útil para este proyecto.

La adquisición de este motor, al igual que otros de los componentes del proyecto, como pueden ser el bloque calentador o la boquilla, son de bajo coste, e incluso permiten la reutilización de componentes de otras impresoras ya que es uno de los muchos motores que utilizan las impresoras 3D dada su precisión.

El motor utilizado en este caso presenta las especificaciones técnicas mostradas en la Figura 14.

## Specifications

Phase number	2	Step angle	1.8°±0.1
Rated voltage	DC 3.6 Vs	Rated current	DC 1.0a / phase
Phase resistance (20 °C)	3.6x (1 + 10%) / phase	Phase inductance (1kHz)	8x (1 + 20%) MH / phase
Holding torque	≥ 450mN.m	Positioning torque	25mV.m REF.
Steering (shaft extension)	A-AB-B-clockwise	Maximum no-load starting frequency	≥800 PPS
Maximum no-load operation frequency	>1000 PPS	Insulation resistance	≥100MΩ (DC 500V)
Electrical strength	AC600V / 1mA / 1S	Insulation class	Class F
Moment of inertia	73 g.cm <sup>2</sup>	Quality	0.28Kg REF.

Figura 14. Tabla de especificaciones técnicas motor paso a paso [17]

- **Correa de Distribución GT-2:** A la hora de conducir el movimiento del motor previamente descrito a la polea dentada conducida, que a su vez actuará como bobinador, se ha optado por la utilización de una correa dentada, evitando así ocupar un mayor espacio como sería con la utilización de grandes engranajes para la transmisión del movimiento o un gasto excesivo de plástico.

Para ello, se ha contado con una correa de distribución de caucho GT-2 como se puede ver en la Figura 15, lo que indica que tiene un paso entre diente y diente de 2 mm, con un espesor de 6 mm y una longitud de 300 mm [18], lo que se convierte en una de las mejores opciones del mercado, continuando con la línea compacta de la máquina, sin que la distancia entre ejes de las poleas sea demasiado grande.



*Figura 15. Correa de caucho GT-2 [18]*

La correa elegida permite una tensión constante entre polea y polea además de contar con dientes de suficiente tamaño y calidad suponiendo un agarre perfecto en los dientes de las poleas sin que pierda ningún paso de rotación.

- **Juego de poleas:** Para completar el sistema de correa de distribución ha sido necesario el uso de poleas dentadas de diferentes diámetros fabricadas en aluminio. Para ello se ha optado de una polea motriz de 20 dientes y un agujero pasante de 5 mm, que se podrá fijar al eje del motor paso a paso mediante dos tornillos prisioneros como se puede ver en la Figura 16.



*Figura 16. Polea motriz de 20 dientes [19]*

Además, ha sido necesario el uso de una polea para poder engastar a la bobina superior del sistema, actuando como polea conducida. Para este caso se ha optado

por la polea de 80 dientes mostrada en la Figura 17, obteniendo así un diámetro de 50 mm, que se fijará a la bobina mencionada mediante el mismo procedimiento que la polea motriz, es decir, con tornillos prisioneros. Esta polea cuenta con un agujero pasante de 8 mm para el eje superior del sistema. Como se ha mencionado anteriormente, el motivo de la elección de este componente ha sido la precisión que otorga esta pieza frente a la misma impresa en 3D mediante una impresora de filamento, mejorando así el sistema de distribución a un bajo coste.



Figura 17. Polea conducida de 80 dientes [20]

- **Escuadra de Acero:** La utilización de esta pieza de acero permite que, al actuar como soporte para el bloque calefactor, se mantenga recto y en línea con la dirección del filamento reciclado producido, además proporciona algo de altura a la salida del plástico para que se introduzca directamente en el sensor final de carrera.

Puesto que esta es una pieza metálica, al contacto con el bloque calefactor recibiría gran parte de calor, que podría transmitirlo fácilmente a la estructura de plástico provocando que esta se fundiese, alterando su funcionamiento. Para solucionar este problema, se optado por la utilización de un disipador de calor, colocado sobre unas planchas de baquelita, reciclada de una placa de contactores, haciendo así que el calor que llegue a la plancha de poliestireno sea mínimo. En su defecto también sería posible el uso de un “taco” de madera, material que proporcionará un gran aislamiento térmico.

- **Sensor Final de Carrera con Rodillo:** Este sensor que se aprecia en la Figura 18 es un componente con diferentes funciones dentro de la máquina. La principal función del sensor es parar el funcionamiento del sistema cuando la producción del filamento llega a su fin y es que este sensor no deja de ser un botón con una palanca que lo activa.



Figura 18. Sensor final de carrera [21]

Un sensor final de carrera puede tener varias terminaciones, como puede ser la de una palanca metálica, sin palanca o con una terminación con rodillo, la cual ha sido la elegida para este proyecto para que favorezca el paso del filamento producido a través de este sensor, evitando un desgaste en el nuevo filamento.

Su funcionamiento es simple, el sensor se encuentra engastado en una pieza impresa en 3D que actúa como suplemento de altura, permitiendo que el filamento reciclado no cambie de altura y mantenerlo en una posición fija en el bastidor. Cuando el filamento pasa por esta parte de la máquina activa el mecanismo y movimiento de esta, el cual se mantiene activado durante todo el proceso, sin embargo, cuando el filamento producido llega a su fin, el sensor vuelve a su posición original, permitiendo que la máquina vuelva a su estado de reposo.

Otra función a tener en cuenta de este elemento es que puede actuar como botón de arranque, ya que como se ha mencionado anteriormente, una vez se pulse se activaría el proceso, además de poder activarlo desde el móvil o cualquier

dispositivo con acceso a internet y conectado a la misma red de la máquina con su propia página web, la cual se explicará en el siguiente apartado.

Como bien se ha comentado en muchos de los componentes de este apartado, la búsqueda de materiales para la composición de la máquina que no se hayan podido diseñar e imprimir han sido buscados intentando seguir con los principios del bajo coste además de la reutilización de materiales, y es que la adquisición de elementos como pueden ser el bloque calentador o el motor paso a paso, si no se dispone de otras máquinas que ya no estén en funcionamiento para la reutilización de estos materiales, el hecho de comprarlos en páginas dedicadas a la impresión 3D o mismamente proveedores asiáticos, no supone un desembolso de dinero elevado, pudiendo reemplazar estos componentes con facilidad y de manera económica en caso de rotura o desgaste.

### 3.6. ELECTRÓNICA

En este apartado se abordará todo lo referido a la electrónica utilizado en la recicladora de plástico, comentando todos los componentes electrónicos utilizados además de indicar el motivo de su utilización. Para ello, esta parte de la máquina ha sido inspirada en el proyecto “Petalot” del creador Function3D, encontrado en el repositorio de código libre de GitHub [22]. Para la realización de este proyecto han sido adaptados y empleados tanto el diseño de la PCB (del inglés, printed circuit board [23]) como el esquema de montaje, para asegurar la fiabilidad y eficiencia del sistema. Tras esta breve introducción se procederá a comentar cada uno de los componentes que han sido necesarios para la fabricación de la electrónica del proyecto:

- **PCB:** Esta placa de circuito impresa actuará como base donde se alojarán todos los componentes electrónicos tal y como se muestra en la Figura 19, además de conductor, uniendo cada uno de ellos mediante pistas y buses integrados los cuales actuarán como cables, proporcionando conexión entre cada uno de los elementos. Antes de poner en funcionamiento la PCB a usar en el proyecto se han realizado diversas pruebas para la comprobación de los elementos descritos a en los siguientes puntos en un sistema con una interfaz similar llamada “protoboard”, ya que como de su propio nombre se puede intuir es una tabla de conexiones para

realizar prototipos, la cual tiene pistas internas que ayudarán mediante cables a realizar las conexiones para poner a prueba todos los componentes.

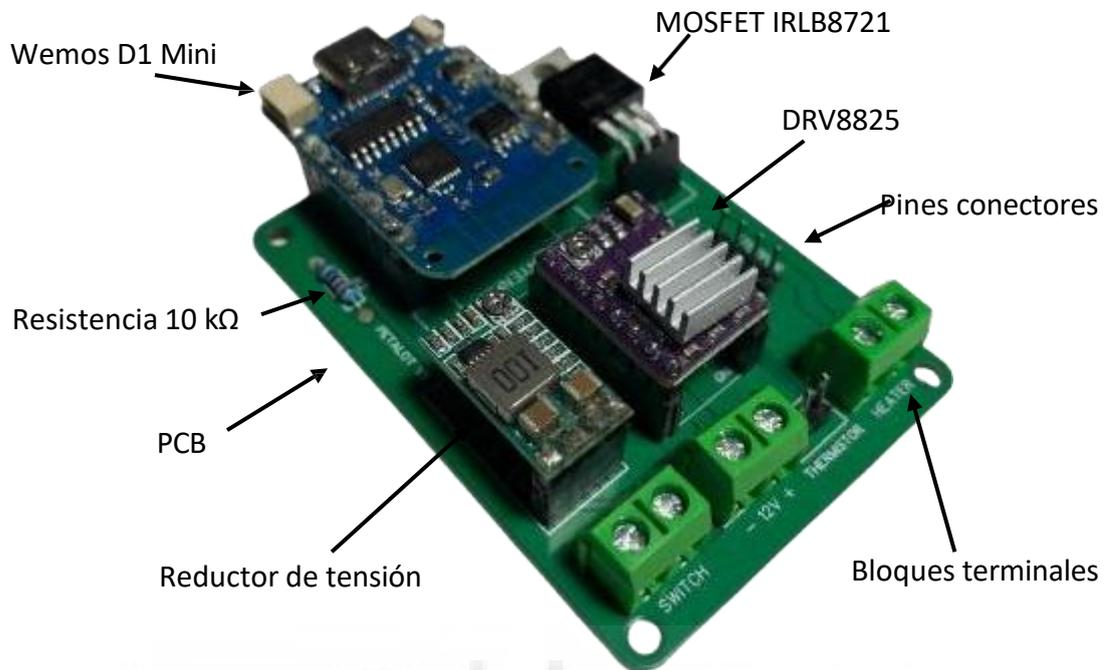


Figura 19. Electrónica de máquina recicladora de botellas PET

Una vez realizadas las pruebas pertinentes, se realizó la PCB con ayuda del proyecto “Petalot” del creador Function3D [22], adquirida mediante el proveedor chino JLCPCB [24], ya que este es uno de los comerciales que, vía online, proporciona el servicio para la creación de prototipos de PCB personalizados, lo cual supone una gran ventaja económica para proyectos a pequeña escala.

Una vez obtenida la placa de circuito impreso, resta soldar cada uno de los siguientes componentes con ayuda de estaño y un soldador.

Se ha optado por este componente ya que, aun teniendo una económica adquisición, proporciona un acabado compacto y elegante al corazón de la máquina recicladora de botellas.

- **Pines conectores machos y hembras:** Dado que la mayor parte de los elementos que controlarán la máquina disponen de un patillaje para su conexión, se ha optado por la utilización de pines conectores tanto machos como hembras para su ensamblaje.

Estos pines irán soldados directamente a la PCB, lo que garantizará una conexión estable y segura y a estos pines se les acoplará los demás componentes, lo que podrá resultar especialmente útil a la hora de realizar mantenimientos o actualizaciones del sistema sin precisar desoldar la placa base o directamente necesitar una nueva y deber soldar todos los elementos.

Los pines conectores serán fácilmente adquiribles en cualquier tienda de electrónica o en tiendas online dedicadas a estos componentes a un bajo coste.

- **Placa de Control Wemos D1 Mini:** El dispositivo que se puede ver en la Figura 20 es un microcontrolador, cuya función en el sistema es actuar como cerebro de operaciones, encargado de procesar instrucciones de software y controlar las acciones a realizar.

La elección de este controlador viene dada por sus numerosas aplicaciones IoT (internet of things [25]) dado su pequeño tamaño, bajo consumo y alta capacidad de procesamiento, además de su compatibilidad con otros softwares de programación como puede ser el IDE de Arduino, facilitando así su programación [26].

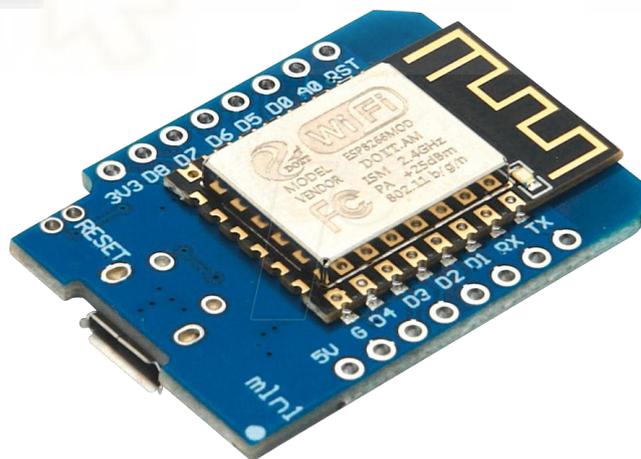


Figura 20. Microcontrolador Wemos D1 Mini [27]

Otro de los motivos de su elección es su capacidad de acceso a internet, ya que gracias a la creación de una pequeña página web se podrá controlar la recicladora de botellas desde cualquier dispositivo móvil conectado a la misma red que el

microprocesador, haciendo de su aplicación un uso más intuitivo y facilitado para cualquier usuario.

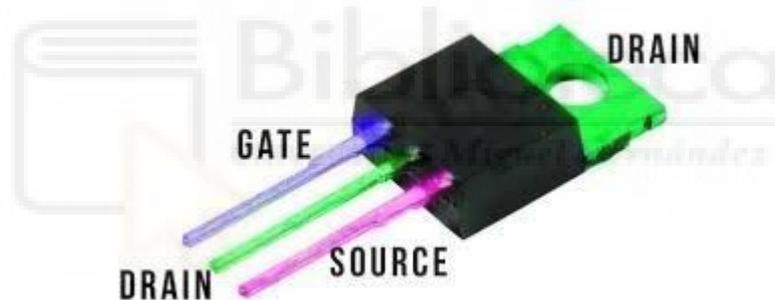
- **Condensador de 35 V 100  $\mu$ F:** La aplicación de condensadores en este proyecto es crucial para evitar fluctuaciones de voltaje de la fuente de alimentación, ya que su funcionamiento se basa en el almacenaje de energía, similar a una batería, de modo que en el momento en el que la fuente de alimentación presente un descenso en la entrega de energía, pueda proporcionarla el condensador, haciendo que el sistema tenga un funcionamiento estabilizado. Esto evitaría reinicios inesperados de la electrónica o un mal funcionamiento de componentes sensibles a los cambios en la tensión.

Dadas las necesidades específicas de este circuito, se ha optado por un condensador electrolítico de estas capacidades. Aunque algo elevado, el voltaje de funcionamiento de 35 V permite una aplicación de los 12 V de la fuente de alimentación, contando con un gran margen de seguridad, protegiendo al sistema de picos de voltaje. A su vez la capacitancia del condensador presenta un gran filtro a la entrada y salida de la fuente, ayudando a suavizar las fluctuaciones de voltaje, también llamadas ruido, proporcionando una alimentación de corriente más estable.

- **Resistencias de 10 k $\Omega$ :** Para proteger los circuitos internos de la PCB, así como del microprocesador, se ha requerido del uso de dos resistencias de 10 k $\Omega$ , las cuales limitarán la corriente que circule a través de ellas.

Una de estas dos resistencias actuará como protector del microprocesador y su receptor esclavo frente a corrientes excesivas que podrían generarse en un cortocircuito accidental o errores de conexionado, sin embargo, la otra resistencia estará conectada al pin 0 analógico del microprocesador actuando como "Pull-down resistor" lo que hace que el procesador, en ausencia de una señal activa recoja un cero lógico en lugar de recoger ruido, lo que podría llevar recoger lecturas fluctuantes [28].

- **Mosfet IRLB8721:** El uso de un mosfet para este proyecto es necesario a la hora de utilizar dispositivos que requieren de más energía que la que un microcontrolador como el Wemos D1 Mini puede entregar directamente y es que al recibir una señal de baja potencia del microcontrolador, el mosfet activa o desactiva la carga de alta potencia, entregándola a elementos que lo requieran como puede ser el motor paso a paso o el bloque calentador, y es que el funcionamiento del mosfet permite controlar el flujo de corriente a través de un canal semiconductor que se puede activar o desactivar mediante el voltaje aplicado en una de sus tres patillas G (gate), D (drain) y S (source), diferenciadas en la Figura 20, es este caso la G, actuando como puerta, permitiendo así que fluya corriente desde el drenaje (D) hasta la fuente (S) o bloqueando su paso [29]. Además, al usar el MOSFET, el microcontrolador está protegido de altas corrientes y voltajes.



*Figura 20. Partes del MOSFET [30]*

La elección de este modelo específico es que puede manejar voltajes de hasta 30 V y corrientes significativas de hasta 62 A, lo que abarca con creces los rangos que cubrirá la presente máquina. Además, en la Figura 21 se podrán observar las características técnicas de dicho mosfet.

**• ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS( $T_a=25^\circ\text{C}$ )**

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$V_{DSS}$	Drain-Source Voltage	30	V
$V_{GS}$	Gate-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_D$	Drain Current-Continuous	62	A
$I_{DM}$	Drain Current-Single Pulsed	250	A
$P_D$	Total Dissipation @ $T_C=25^\circ\text{C}$	65	W
$T_j$	Max. Operating Junction Temperature	175	$^\circ\text{C}$
$T_{stg}$	Storage Temperature	-55~175	$^\circ\text{C}$

Figura 21. Especificaciones máximas absolutas ( $T^a = 25^\circ\text{C}$ ) de ILRB8721 [31]

Del mismo modo que otros componentes, es un dispositivo ampliamente disponible y económico, lo que facilita su adquisición y reemplazo.

- **Driver DRV8825:** A la hora de utilizar un motor paso a paso es imprescindible el uso de un driver o un controlador, que permita la comunicación entre el microcontrolador y el motor, pues sin el uso de un driver dedicado a ello, el motor no podría entrar en funcionamiento.

Este driver va a permitir al microcontrolador operar al motor mediante señales digitales simples, ya que ese tipo de motores se componen de dos bobinas, las cuales los hacen funcionar. Además, el controlador DRV8825 permitirá ajustar la resolución de pasos del motor, lo que significa que el motor podrá funcionar en 6 modos distintos con la realización de un paso por vuelta, hasta 1/32 de paso por vuelta con las 8 combinaciones distintas de sus pines mostradas en la Figura 22.

MODE0	MODE1	MODE2	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full step
High	Low	Low	Half step
Low	High	Low	1/4 step
High	High	Low	1/8 step
Low	Low	High	1/16 step
High	Low	High	1/32 step
Low	High	High	1/32 step
High	High	High	1/32 step

Figura 22. Resolución de micro pasos de DRV8825 [32]

- **Mini convertidor Reductor de CC-CC de 12-24 V a 5 V y 3 A:** Para alimentar todo el sistema, ha sido necesario el uso de una fuente de alimentación de 12 V y 5 A, pero hay elementos de la electrónica que no son capaces de soportar dicho voltaje o amperaje, es por ello que se hace imprescindible el uso de un reductor de tensión, en este caso de corriente continua a corriente continua y de 12V a 5V.

Elementos como el microcontrolador funcionan con un voltaje de entre 3 y 5 V como se ha visto anteriormente, por ello, este convertidor ayudará a pasar el voltaje de la fuente de alimentación, a un voltaje que pueda tolerar dicho dispositivo. Además, el reductor de tensión permite regular y estabilizar voltajes de salida para asegurar una salida constante sin fluctuaciones, proporcionando algo de seguridad a los demás componentes.

- **Bloques de Terminales (Bloques de conexión):** Puesto que elementos en la electrónica disponen de conexiones mediante cable, como pueden ser la fuente de alimentación, el bloque calentador o el sensor final de carrera, es preciso la utilización de este componente para conectar dichos componentes a la PCB.

Este componente se compone de un bloque con conexiones de patillas para poder soldarlo a la PCB y en la parte superior un sistema capaz de amordazar los cables conectados mediante pequeños tornillos como se puede apreciar en la Figura 23.

Esto proporcionará puntos de conexión robustos, evitando que los cables de otros dispositivos se puedan soltar. Además, el uso de conexión por tornillo permite cambiar componentes fácilmente sin la necesidad de desoldar la placa para el mantenimiento de los elementos.



*Figura 23. Bloques terminales [33]*



## 4. CÁLCULOS

En el presente apartado se procederá a redactar los cálculos que han sido necesarios a la hora de la realización de la máquina recicladora de botellas PET, a partir de los cuales se ha podido dimensionar correctamente la máquina, así como la puesta en marcha de alguno de los aparatos electrónicos que porta la estructura.

### 4.1. DETERMINACIÓN DE ESPESOR DE CORTE DE LAS BOTELLAS DE PLÁSTICO.

Como bien se ha indicado anteriormente, para comenzar el proceso de reciclaje de botellas de plástico para su transformación de filamento apto para la impresión 3D se debe preparar las botellas a reciclar, para ello es crucial saber con qué tipo de botella se está contando, pues no todas las botellas presentan los mismos espesores para sus paredes, existiendo botellas más robustas como las de las bebidas carbonatadas o más finas como la de algunas marcas de agua. Es por ello, que a la hora de cortar las tiras de plástico se debe tener en cuenta a qué altura hay que ajustar el cortador de botellas.

Para poder obtener un filamento de sección constante y funcional sin tener que modificar en exceso los parámetros a la hora de laminar la pieza a producir, se necesita que el filamento producido tenga la misma consistencia y volumen para cada tipo de botella reciclada. Para ello, los siguientes cálculos se basan en el principio de conservación del volumen, desarrollado en la Ecuación 1 pues el mismo volumen de las tiras que se cortan mediante el cortador de botellas es el que se quiere producir en formato de filamento para la impresora 3D.

Las tiras de plástico cortado presentan un volumen de prisma regular, como si de barras se tratase, de modo que el volumen de estas “barras” será el siguiente:

$$V_{tira} = anchura \times espesor \times longitud \quad Ec. 1$$

De modo que la anchura será a la que se deberá de cortar las tiras de la botella, el espesor será el propio de las paredes de la botella y, por último, la longitud será la obtenida por cada botella.

Así mismo, el filamento producido se presentará como un cilindro alargado, a modo de tubería, por lo que el volumen de este cilindro se regirá mediante la Ecuación 2:

$$V_{\text{filamento}} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \text{longitud} \quad \text{Ec. 2}$$

Para poder aplicar el principio de conservación de volumen, se deberá igualar cada uno de los dos términos anteriores, procedimiento desarrollado en las Ecuaciones 3, 4 y 5:

$$V_{\text{tira}} = V_{\text{filamento}}; \quad \text{Ec. 3}$$

$$\text{anchura} \times \text{espesor} \times \text{longitud} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \text{longitud}; \quad \text{Ec. 4}$$

$$\text{anchura} \times \text{espesor} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{Ec. 5}$$

Por lo que se puede llegar a una sencilla ecuación para determinar la anchura a la que se debe de cortar la botella dependiendo del espesor de las paredes de la botella, ya que solo se dispone de la variable “anchura” para despejar ya que “d” será el diámetro del filamento que se quiere producir, dicha variable se mantendrá constante en 1,75 mm, que será el diámetro normativo para cualquier impresora del mercado. Así mismo el espesor vendrá determinado por la botella que se quiera cortar, el cual se tendrá que medir previamente antes de cortar.

Para hacer una demostración de cómo se debe calcular el ancho de la tira para ajustar el corta botellas, se cogerá una botella de la marca “Solan de Cabras”, la cual tiene un espesor medio de 0,3 mm. Dichos cálculos son reflejados en las Ecuaciones 6, 7 y 8:

$$\text{anchura} \times 0,3 = \pi \times \left(\frac{1,75}{2}\right)^2 \quad \text{Ec. 6}$$

$$\text{anchura} \times 0,3 = 2,405; \quad \text{Ec. 7}$$

$$\text{anchura} = \frac{2,405}{0,3} = 8,02 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm} \quad \text{Ec. 8}$$

Con este pequeño cálculo se ha obtenido que para una botella de la marca “Solan de Cabras” se ha de cortar la tira de plástico con una anchura de aproximadamente 8 mm.

Para agilizar futuros cálculos con otras botellas, se ha procedido a determinar la anchura necesaria de corte para los espesores de botellas más comunes del mercado, quedando como resultado los valores mostrados en la Tabla 2.

RELACIÓN ANCHURA - ESPESOR	
ANCHURA DE LA TIRA DE PLÁSTICO (mm)	ESPEJOR DE LA BOTELLA (mm)
10	0,2
9	0,25
8	0,3
7	0,35

Tabla 2. Relación de anchura de la tira de plástico con el espesor de la pared de la botella.

Estos cálculos garantizan que el que volumen de plástico sea el adecuado para producir filamento de 1,75 mm de diámetro, lo cual es esencial para la calidad y uniformidad de las impresiones.

#### 4.2. CÁLCULO PARA LA DISTANCIA ENTRE EJES DE LAS POLEAS EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

El movimiento del motor paso a paso es transmitido al medio bobinador mediante un sencillo sistema de correa de distribución con dos poleas, la primera en el eje del motor paso a paso, la cual será la polea motriz y la segunda, que será la polea conducida que actuará a su vez como bobinador.

Se ha optado por un sistema con correa de distribución, en lugar de un mecanismo basado en engranajes ya que el primero ofrece diversas ventajas frente al segundo, y es que el sistema de correa de distribución ofrece una operación más silenciosa frente al de engranajes, además de un menor mantenimiento, ya que la correa presenta menos fricción directa que los engranajes, pudiendo desgastarse con el paso del tiempo pero sobre todo por el diseño compacto que presenta el sistema de correa de distribución frente al de engranajes.

Aún con este modelo se tienen que hacer una serie de cálculos para acomodar los ejes de las poleas, para ello se ha procedido a calcular la distancia entre ejes con la Ecuación 9 [34]:

$$L = \frac{\pi \times (d_p + D_p)}{2} + 2 \times C - \frac{(D_p - d_p)^2}{4 \times C} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

- C es la distancia entre centros.
- $D_p$  y  $d_p$  son los diámetros primitivos de las poleas conducida y motriz respectivamente mostrados con la misma nomenclatura en la Figura 24.
- L es la longitud de la correa.

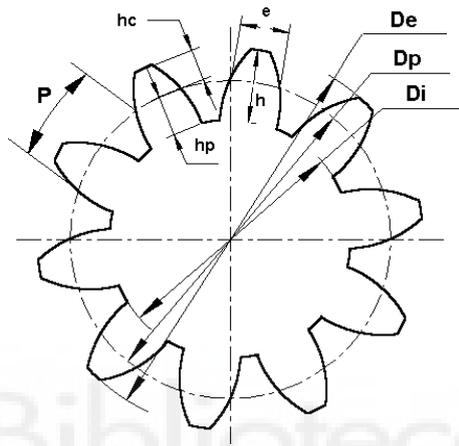


Figura 24. Diámetros de un engranaje [35]

Si se sustituyen los valores de los que se disponen, tal y como se hace en la Ecuación 10, queda de la siguiente manera:

$$300 = \frac{\pi \times (12 + 50)}{2} + 2 \times C + \frac{(50 - 12)^2}{4 \times C}; \quad \text{Ec. 10}$$

$$C = 99,49 \text{ mm}$$

Operando, se obtiene que la distancia entre centros que deben de llevar las poleas ha de ser de 99,49 mm, lo que resultará realmente útil a la hora de diseñar la pieza que las separa y a su vez porta el motor paso a paso.

### 4.3. ALTERNATIVA A POLEAS DENTADAS CON ENGRANAJES DISEÑADOS.

El sistema mecánico utilizado en el proyecto consta de dos poleas dentadas, tal y como se ha definido anteriormente, a pesar de ello existe otra alternativa a estas poleas, que es el

diseño íntegro de poleas dentadas impresas en 3D, acopladas a la bobina, en caso de la polea conducida mediante engranajes rectos que transmitan su giro con la correa de distribución. Para ello se ha de utilizar la herramienta “Design Accelerator” en el programa “Autodesk Inventor” la cual, mediante la modificación de diferentes parámetros en la ventana emergente mostrada en la Figura 25, permite el diseño completo del engranaje, tal y como se muestra en la Figura 25.A.

Para la realización del cálculo de los engranajes, lo más determinante es el paso entre diente y diente, puesto que la correa de distribución adquirida posee un paso de 2 mm, lo que el diseño de un engranaje con paso distinto al mencionado pueda ocasionar un mal encaje de la correa y la polea. Los diámetros de las poleas vienen dados por la comodidad de su uso, se ha elegido un diámetro de 12 mm para la polea motriz y un diámetro de 50 mm para el engranaje de la polea conducida.

Uno de los parámetros que hay que meter en la herramienta generadora de engranajes es el módulo que tendrá el engranaje, para ello se ha utilizado la Ecuación 11, con la cual se puede obtener el módulo en función del paso entre diente y diente:

$$m = \frac{p}{\pi} \quad \text{Ec. 11}$$

Siendo:

- m el módulo del engranaje.
- p el paso entre diente y diente.

$$m = \frac{2}{\pi} = 0,6366 \text{ mm} \quad \text{Ec. 12}$$

Obteniendo así un módulo de 0,6366 mm para cada una de las poleas dentadas, calculado en la Ecuación 12.

Para el diseño del engranaje de la polea es necesario calcular el número de dientes para mantener la compatibilidad de paso con la correa y para ello se ha hecho uso de la Ecuación 13:

$$N = \frac{\pi \times D_p}{p}$$

Ec. 13

Siendo:

- N el número de dientes.
- $D_p$  el diámetro primitivo de la patea.
- p el paso entre diente y diente.

Sustituyendo los valores como se muestra en la Ecuación 14 anterior se obtiene que para la patea conducida son necesarios 79 dientes:

$$N = \frac{\pi \times 50}{2} = 78,53 \approx 79 \text{ dientes}$$

Ec. 14

Y para la patea motriz, de menor tamaño, realizando el mismo cálculo en la Ecuación 15 se llega a la conclusión que son necesarios 19 dientes:

$$N = \frac{\pi \times 12}{2} = 18,85 \approx 19 \text{ dientes}$$

Ec. 15

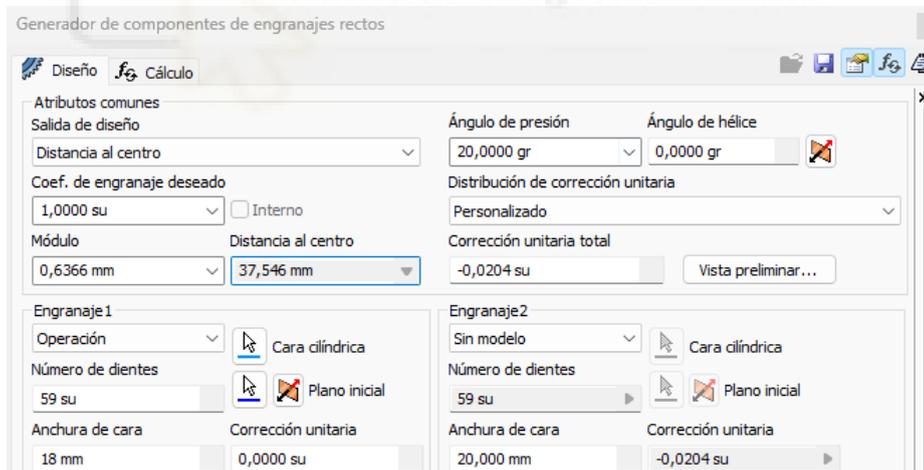
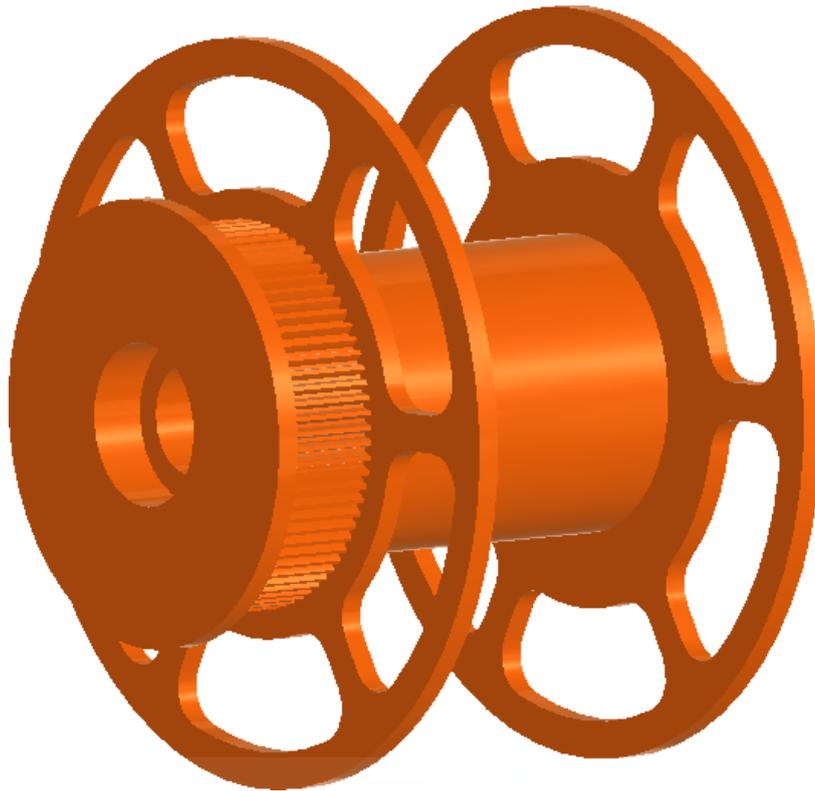


Figura 25. Herramienta Design Accelerator de Autodesk Inventor.



*Figura 25.A. Engranaje recto de polea conducida diseñado en "Design Accelerator"*

No obstante, el diseño y la fabricación de los engranajes previamente descritos en una impresora con tecnología FDM presenta ciertas carencias por lo que se ha terminado por elegir las poleas dentadas de aluminio ya que guardan mejor las tolerancias que las impresas en 3D, permitiendo así que la correa acople perfectamente con las poleas, evitando pérdidas de pasos o que la misma correa resbale en el engranaje.

#### **4.4. CÁLCULO DE TENSIONES DE REFERENCIA EN DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS.**

A la hora de llevar a cabo el montaje de la parte electrónica del proyecto hay que tener en cuenta el método de funcionamiento de algunos componentes, como pueden ser el controlador DRV 8825 o el reductor de tensión. Estos dos elementos necesitarán un ajuste en el voltaje de referencia para que puedan trabajar bajo el régimen que interesa a la máquina.

El voltaje de referencia precisa de un ajuste previo a la conexión de la fuente de alimentación, ya que esto permitirá, por ejemplo, en el caso del driver, que el motor reciba

la cantidad correcta de corriente evitando tanto el sobrecalentamiento como el par insuficiente durante su operación esto generará una mejor eficiencia del motor y evitará ruidos electromagnéticos durante el funcionamiento.

Para ajustar los potenciómetros de estos elementos será necesario el uso un destornillador conectado a un configurado para medir el voltaje, lo que permitirá que moviendo el destornillador lentamente se pueda ver reflejado el en multímetro los valores de voltaje arrojados.

Para saber cuál es el valor correcto al que hay que ajustar el voltaje de referencia se habrá de seguir la Ecuación 16 [36]:

$$V_{ref} = I_{max} \times 5 \times R_s \quad \text{Ec. 16}$$

Siendo:

- $V_{ref}$  el voltaje de referencia.
- $I_{max}$  la corriente máxima por fase.
- $R_s$  valor de la resistencia ubicada en la placa.

Dado que el controlador utilizado en el proyecto es un DRV 8825, la ecuación se puede simplificar de la siguiente manera, teniendo en cuenta que el valor de la resistencia ubicada en la placa es de  $0,1 \Omega$  [37] y que la intensidad máxima del motor es de 1 A como se muestra en la Figura 10, el valor al que debemos ajustar el voltaje de referencia es de 0,5 V tal y como se desarrolla en la Ecuación 17:

$$V_{ref} = 1 \times 5 \times 0,1 = 0,5 V \quad \text{Ec. 17}$$

Sin embargo, para el caso del reductor de tensión, solo es necesario ajustar el potenciómetro hasta los 5 V, ya que será la tensión máxima con la que pueda trabajar el microcontrolador "Wemos D1 Mini".

## 5. ENSAYOS

En el presente apartado se procederá a la redacción de los ensayos realizados mediante probetas impresas en 3D de los siguientes materiales: PLA, PETG y ABS, comparando estos materiales con el material obtenido de las botellas PET recicladas mediante la máquina desarrollada a lo largo de este trabajo.

Para poder llevar a cabo esta experimentación se ha hecho uso de la probeta de ensayo para materiales plásticos “ASTM D638”, la misma para todos los materiales, la cual tiene las medidas estandarizadas como se ve en la Figura 26.

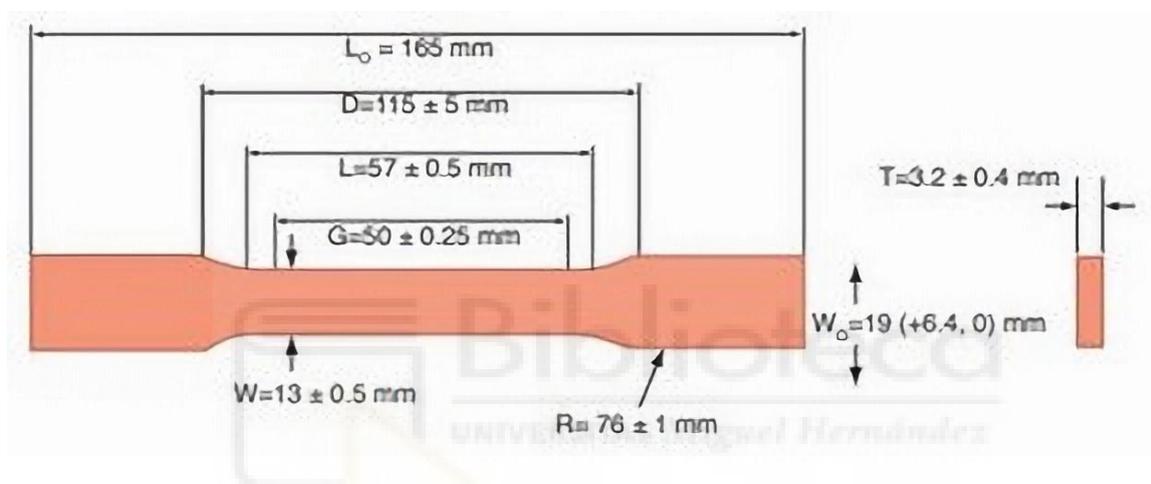
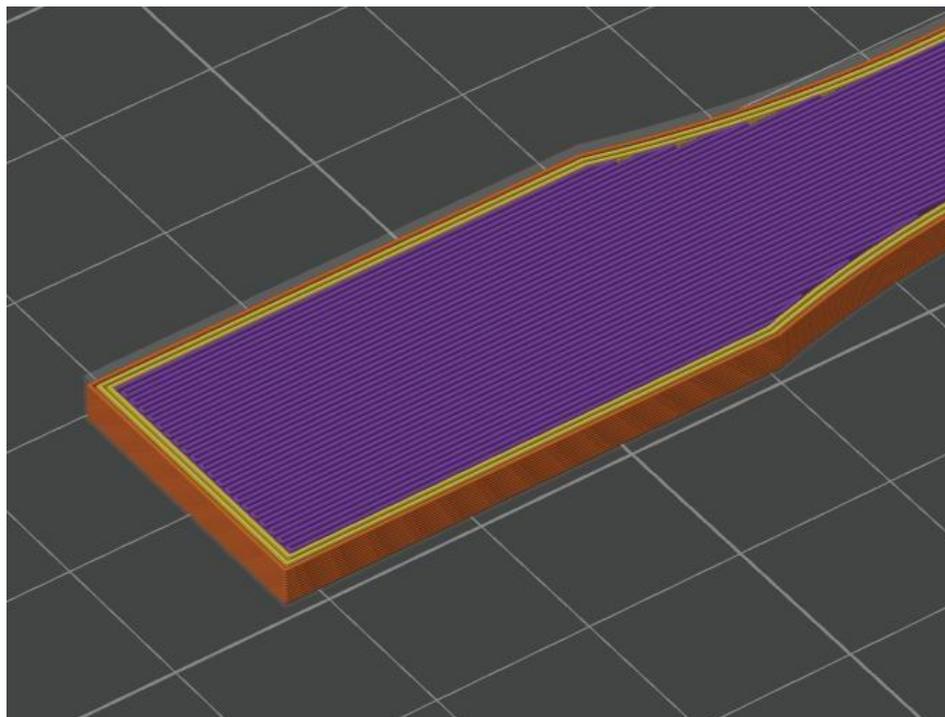


Figura 26. Dimensiones de probeta de ensayo ASTM D638 [38]

A la hora de laminar los archivos 3D en formato “.stl”, es preciso el uso de un software específico, en este caso “Orca Slicer” [39], un programa de laminación de código abierto, en el que se ajustarán todos los parámetros necesarios para llevar a cabo la impresión. Entre muchos de estos parámetros, destacan el ajuste de calidad de la impresión, la velocidad, realización de soportes en caso de que la pieza en cuestión lo requiera para partes en voladizo o el ajuste del relleno, permitiendo decidir el patrón a usar en la impresión o la densidad de este.

En esta ocasión se ha decidido utilizar una densidad de relleno del 100% para que la probeta sea una pieza maciza, como si de una pieza de inyección de plástico se tratara. Además, dado que los esfuerzos a realizar en la probeta se llevarán a cabo a lo largo de ella se ha elegido un patrón de relleno para cada una de las probetas de líneas depositadas longitudinalmente, tal y como se puede apreciar en la Figura 27.



*Figura 27. Laminación de probeta en programa Orca Slicer.*

Puesto que el material reciclado de las botellas PET no es un material diseñado para la impresión 3D como pueden ser los de las demás probetas se han tenido que modificar algunos de los ajustes en el laminador. Para situar en contexto, el plástico comercial PETG se trata del mismo material que el utilizado en las botellas de plástico convencionales, a diferencia de la G al final de su nombre. Esta G hace referencia al componente glicol, el cuál mantiene la posibilidad de realizar piezas resistentes además de un fácil termoformado o extrusión [40]. Es por ello, que algunos de los parámetros modificados son la velocidad, reduciéndola a 50 mm/s para mejorar la extrusión del filamento, además de aumentar el flujo de extrusión hasta el 130%, lo cual permite facilitar la cohesión del polímero entre capas evitando así que salga un diámetro muy inferior al deseado por el nozzle o boquilla.

Como parámetros fundamentales para la impresión de cualquier material, hay que tener en cuenta las temperaturas de fusión, así como la temperatura de la cama caliente, en caso de que la impresora disponga de ella, que será donde el extrusor vaya depositando el plástico fundido. Para el plástico PET reciclado se han tomado unas temperaturas de 250 °C y de 65 °C para el bloque calentador y la cama caliente respectivamente.

Con todo ello se ha procedido a la impresión de 3 probetas para cada material, 12 en total, con el fin de facilitar el ensayo y tener comparaciones de unas con otras en caso de que alguno de los ensayos resulte erróneo.

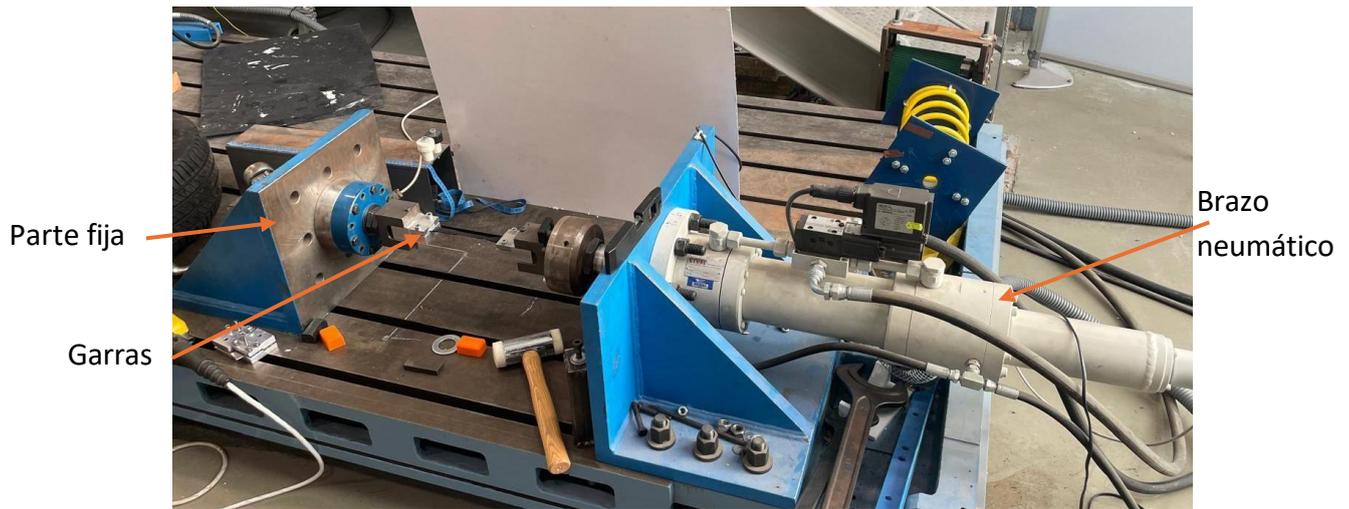
Impresas en diferentes colores para diferenciar los materiales se han obtenido las probetas que se observan en la Figura 28, teniendo el color azul para PLA, negro para PETG, verde oscuro para PET reciclado y por último blanco para ABS.



Figura 28. Probetas de los materiales a ensayar

## 5.1. ENSAYO DE TRACCIÓN

Para poder comparar la resistencia de estos materiales entre ellos mismos se ha realizado un ensayo a tracción de las probetas, el cual se ha realizado con una máquina especializada para ello, que cuenta con dos garras que sujetarán la probeta a examinar, una de ellas situada en un extremo fijo y la otra en el otro extremo, unida a un brazo neumático que irá traccionando de la probeta con el fin de estirarla lo máximo posible hasta la rotura de esta. El sistema utilizado se puede ver en la Figura 29.



*Figura 29. Máquina para ensayo de tracción.*

Con este tipo de estudio se permite comprobar diferentes factores del material, como pueden ser el principal, analizar cuánta tensión es capaz de soportar, el módulo de Young del material, cuando se encuentra en la zona elástica o cuando entra en zona plástica, zona que se aprecia en la Figura 30. Todos estos factores ayudarán a conocer cada material permitiendo así conocer la aplicación más correcta para cada uno de ellos.



*Figura 30. Zona plástica de la probeta PETG*

Para que los ensayos estén realizados bajo normativa, además de utilizar la probeta "ASTM D638", se ha configurado el programa utilizado (propio del equipo de la Universidad Miguel Hernández) para el que el brazo que ejerce la tracción lo haga a una velocidad constante de 5 mm/min. A su vez este programa, una vez finalizado el ensayo, guarda una tabla de datos asociando la fuerza ejercida, medida en newtons, con el tiempo transcurrido medido en segundos y la deformación producida, medida en milímetros, tomando valores de todo ello cada 0,1 s permitiendo así una gran lista de valores que

resultará especialmente útil para analizar cada material con su gráfica pertinente, teniendo comparativas de fuerza frente a deformación así como de fuerza frente a tiempo, las cuales se analizarán a continuación.

### 5.2.1. PLA

El primer material en analizar será el PLA, material más común a la hora de realizar impresiones en 3D. Tras realizar los tres ensayos de las respectivas probetas, se ha obtenido en primer lugar una gráfica representando la fuerza soportada por las probetas frente a la deformación sufrida por las mismas, representando dichos datos en la Figura 31.

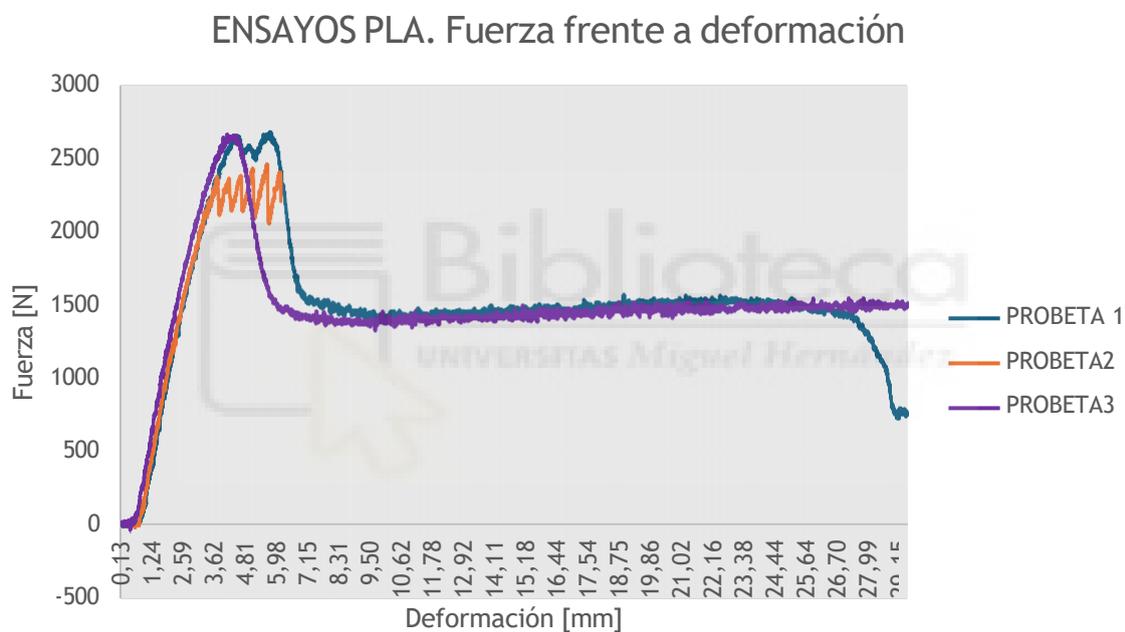


Figura 31. Gráfica fuerza frente a deformación PLA

Y a continuación en la Figura 32, una gráfica muy similar a la anterior, representando fuerza frente a tiempo:

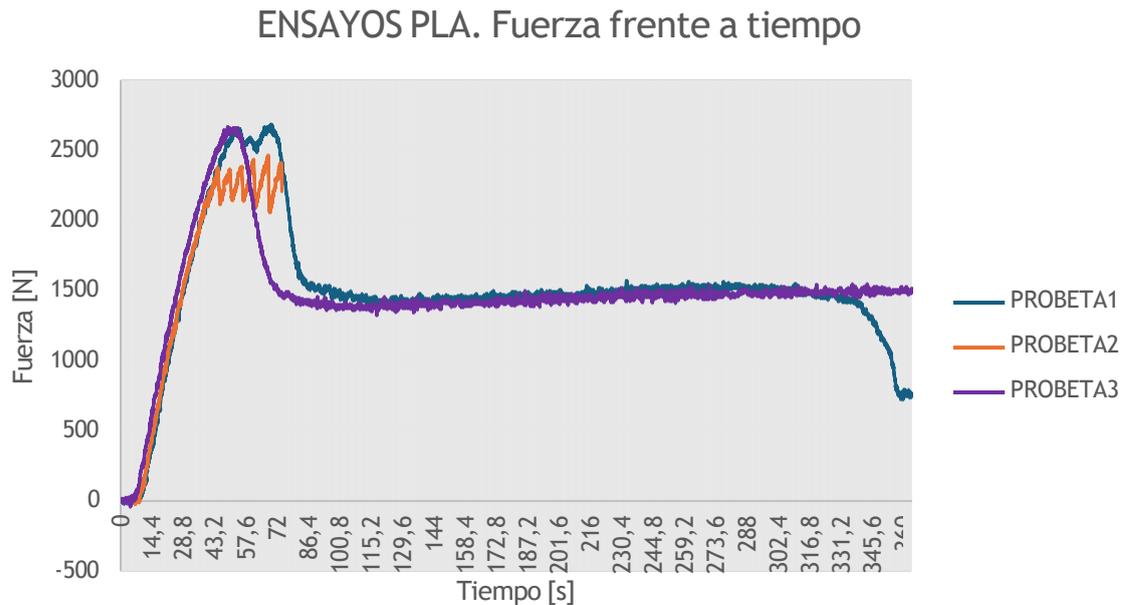


Figura 32. Gráfica fuerza frente a tiempo PLA

Observando las dos gráficas anteriores se puede observar que tanto la probeta 1 como la 3 han tenido resultados muy similares, llegando a valores de tensión de hasta 2666,82 N. Sin embargo, la probeta 3 presenta una serie de picos un poco antes de llegar al máximo de tensión admitida, esto es debido a un error en la colocación de la probeta en la máquina de ensayos, pues al soltarse poco a poco variará los valores obtenidos.

Para poder interpretar mejor las gráficas se necesitarán varios puntos característicos de ellas, estos son:

- La pendiente inicial: Aquí, el material es estirado uniformemente hasta llegar a su máximo de tensión, en el caso del PLA, 2666,82 n como se ha mencionado anteriormente. Esta pendiente indica que el material se encuentra en su zona elástica, esto es, si se deja de aplicar tensión sobre ella, el material podrá recuperar su forma inicial, sin verse afectado ninguno de los parámetros vistos en la Figura 24.
- Primer tramo descendente: Una vez pasado el límite elástico, la probeta entrará en la región plástica, lo que significará que no admite más tensión, por lo que la probeta empezará a deformarse reduciendo así la tensión admitida. Este cambio en la gráfica indicará que la probeta acaba de entrar en la región plástica, lo que

significa que se apreciará una notable elongación de la probeta y no será capaz de volver a su forma original.

- Descenso brusco de la curva: Una vez el material ha pasado la región plástica llega el punto de rotura de la probeta, apreciable sobre todo en la Probeta 1, ya que la Probeta 3 mantuvo considerablemente su región plástica.

### 5.2.2. PETG

El PETG es un material de impresión que puede presentar mejores prestaciones que el PLA y que al igual que él, no presenta complicaciones notables a la hora de su impresión. En este estudio se han obtenido las siguientes gráficas de fuerza frente a deformación en la Figura 33 y de fuerza frente a tiempo en la Figura 34.

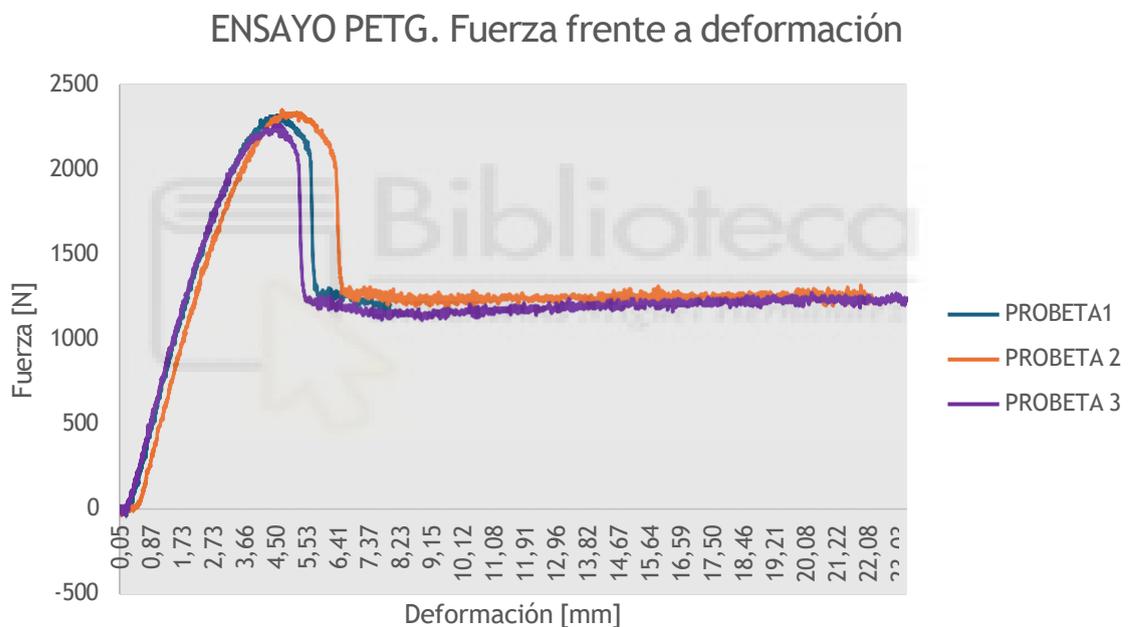


Figura 33. Gráfica de fuerza frente a deformación PETG

Lo más destacable de esta gráfica, atendiendo a las regiones descritas para el PLA, es su extensa zona plástica, pues una vez alcanzado su límite elástico, las probetas de PETG se mantuvieron alrededor de los 1200 N de fuerza elongando la probeta considerablemente.

Otro factor a tener en cuenta es el máximo de tensión soportado por este material, en concreto de la marca “Geeetech” [41] pues, aunque ha soportado una gran elongación,

ha mostrado un punto de tensión máxima de 2352,65 N, menor al obtenido en las probetas de PLA.

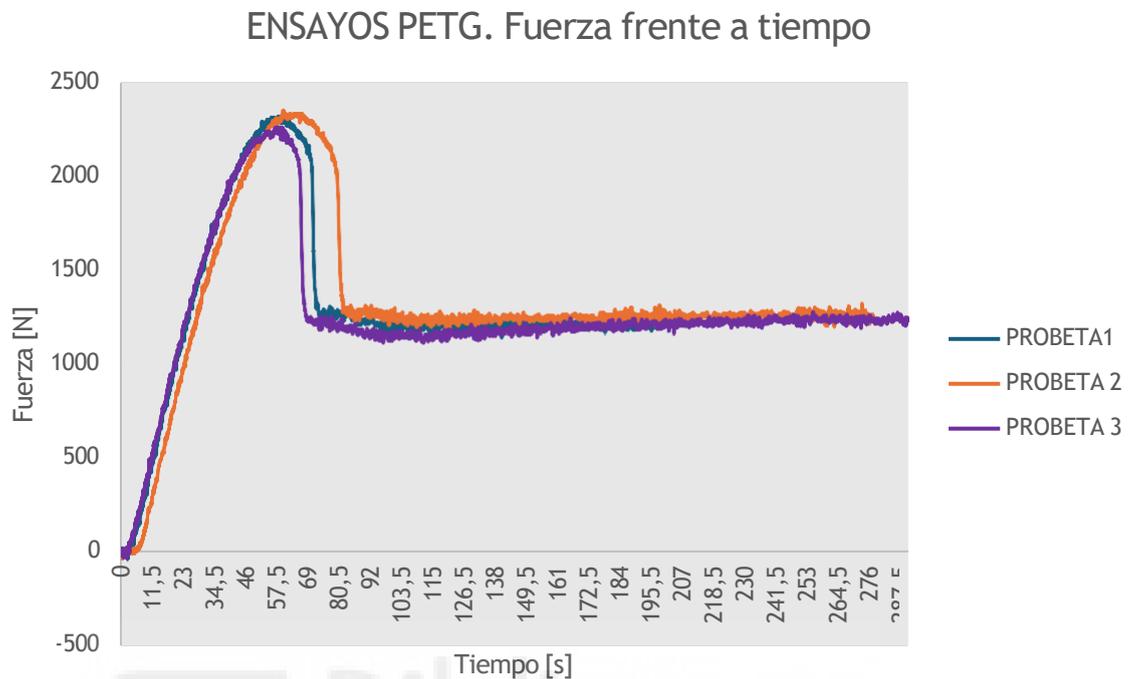


Figura 34. Gráfica de fuerza frente a tiempo de PETG

En la gráfica de la Figura 32 se observa que, al mantener la región plástica, este material ha tardado mucho más en romper, llegando a aguantar antes de su rotura hasta 30 minutos.

### 5.2.3. ABS

En este apartado se estudiará otro de los materiales más comerciales, el ABS, que pese a su complicada impresión 3D, ofrece grandes características.

Su complicada producción en impresoras 3D es debido a que necesita un ambiente muy estable para imprimirse, pues pequeñas corrientes de aire podrían hacer que las capas no se adhieran correctamente entre sí, por lo que para su impresión es necesario el uso de una impresora cerrada, que evite estas corrientes indeseadas, además de un bloque calefactor de mayor temperatura y una cama caliente, ya que sus temperaturas de impresión rondan los 260 °C y los 65 °C respectivamente.

### ENSAYO DE ABS. Fuerza frente a deformación

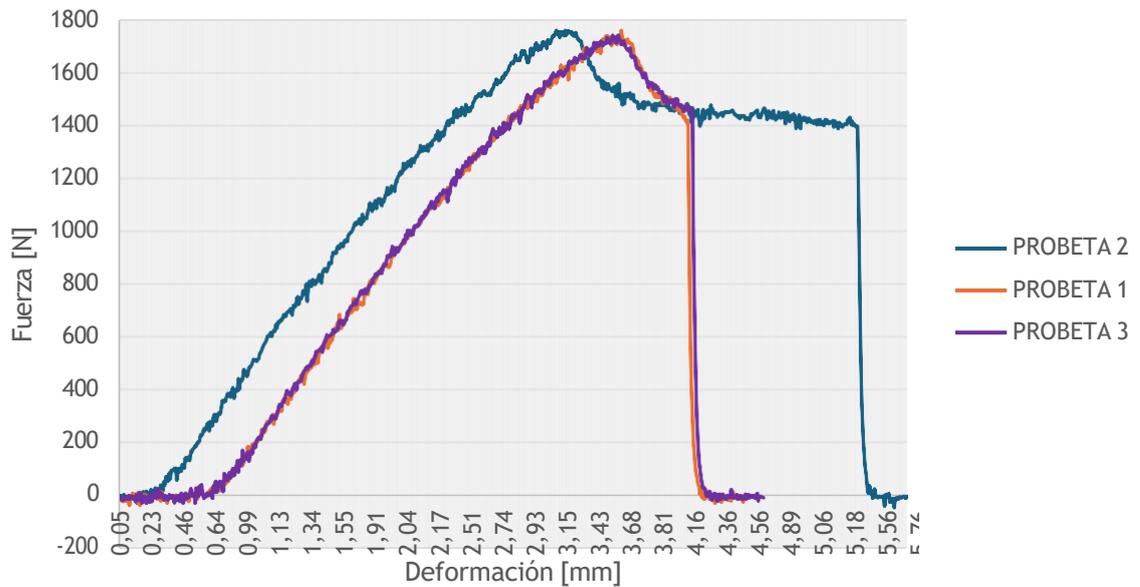


Figura 35. Gráfica fuerza frente a deformación ABS

### ENSAYOS ABS. Fuerza frente a tiempo

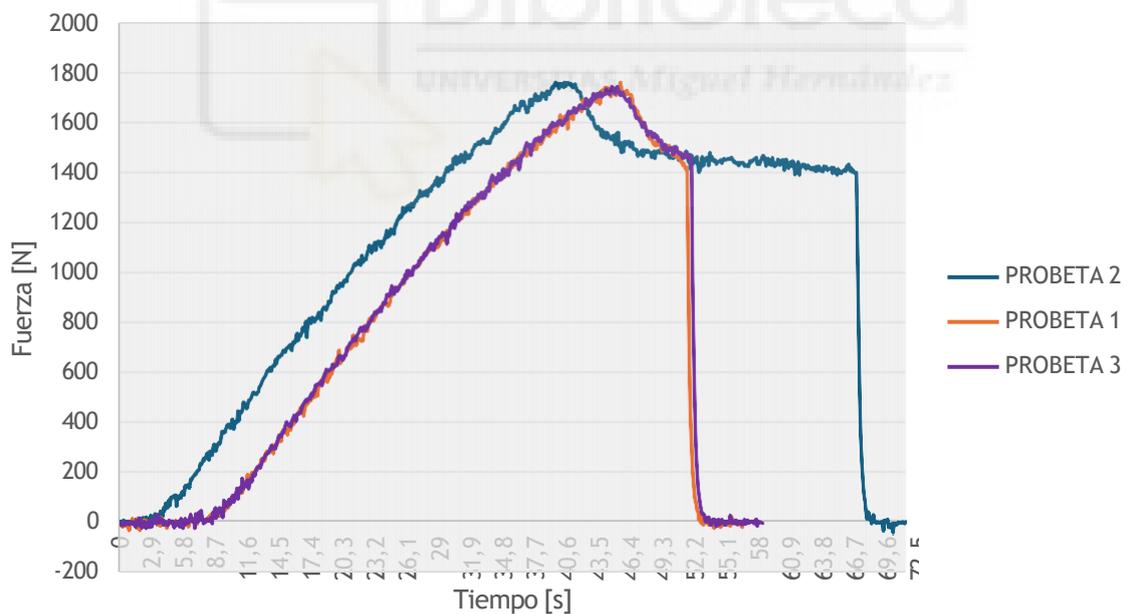


Figura 36. Gráfica fuerza frente a tiempo ABS

Tras analizar las gráficas obtenidas para el ABS, representadas en las Figuras 35 y 36, se puede observar que este material tarda más tiempo en alcanzar su límite elástico pero que el punto de rotura llega mucho antes que el de los otros materiales.

Al igual que el PETG, el máximo valor de tensión ha sido muy inferior al esperado, llegando hasta los 1761 N de fuerza, casi 100 N de fuerza menos que el material PLA.

#### 5.2.4. PET RECICLADO

Por último, se analizarán los resultados obtenidos por el material reciclado PET, en este caso de una botella de aceite de oliva de 5 L, lo que proporcionó 14 m de filamento de manera continua.

El resultado de los ensayos de las probetas de PET reciclado se ven reflejados en las Figuras 37 y 38, mostrando, al igual que con los otros materiales, las comparativas de fuerza con deformación y tiempo respectivamente.

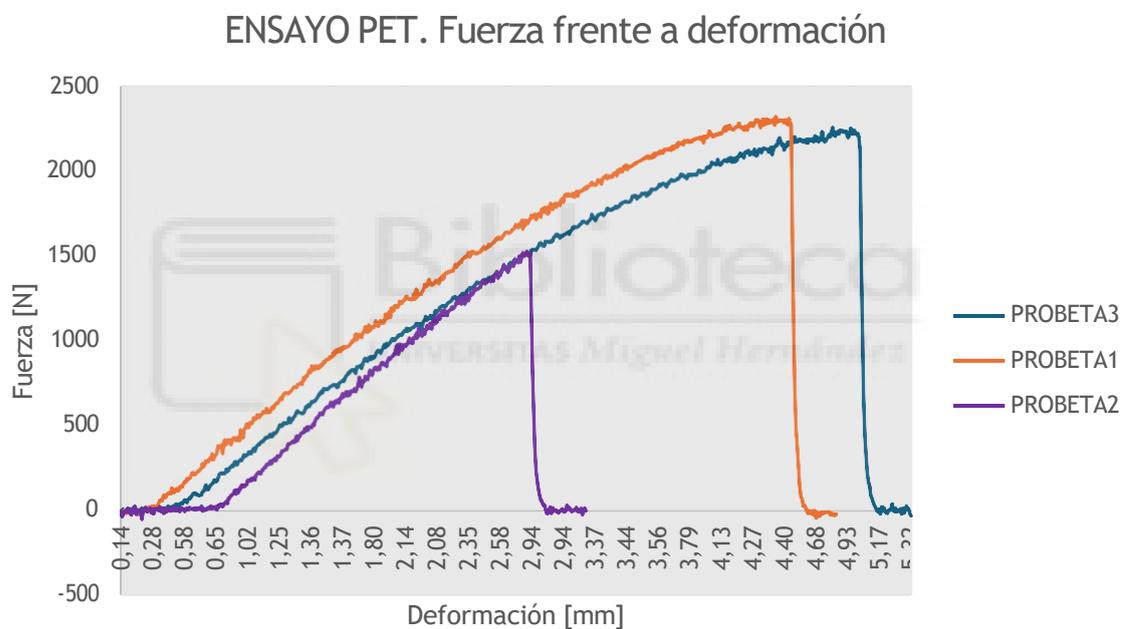


Figura 37. Gráfica de fuerza frente a deformación PET reciclado

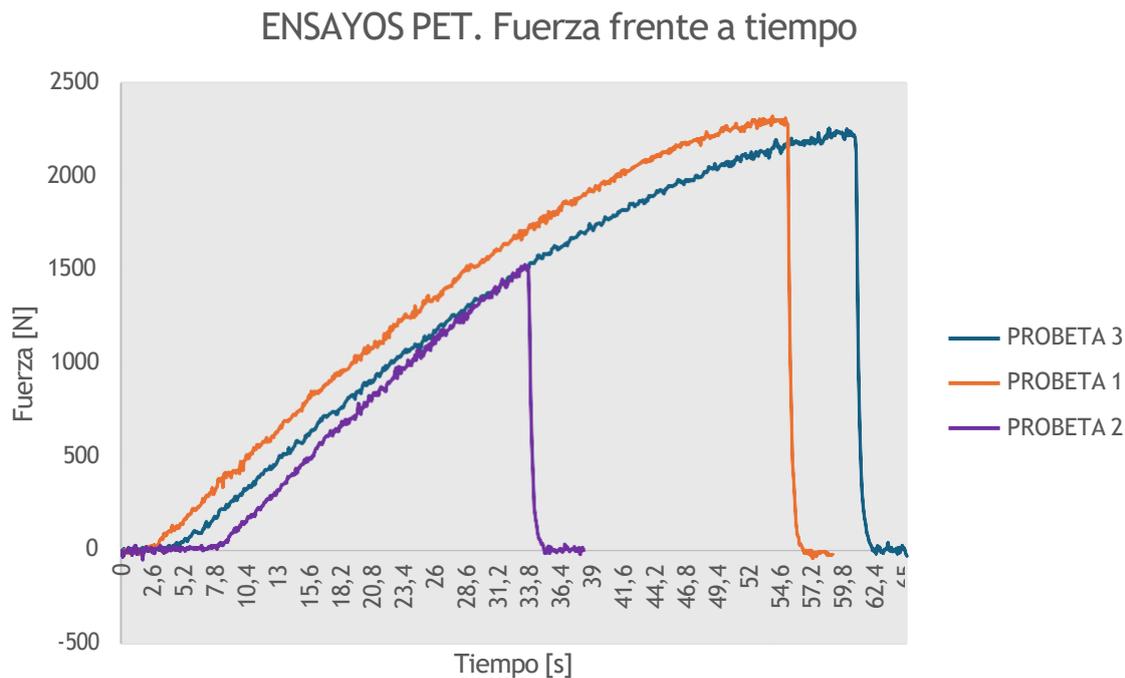


Figura 38. Gráfica de fuerza frente a tiempo PET reciclado

En estas gráficas se puede observar cómo va aumentando progresivamente la fuerza aplicada a las probetas hasta llegar a un máximo de 2317,53 N, rompiéndose bruscamente, sin apenas haber entrado en la región plástica, cosa que resulta impactante comparándola con su homólogo el PETG, el cual ha sido el material con mayor región plástica.

### 5.3. RESULTADOS

Una vez comparados los cuatro materiales estudiados, se ha llegado a la conclusión de que el filamento obtenido de botellas PET no tiene nada que envidiar al filamento comercial, tal y como se ve en la Tabla 3, ya que se han obtenido valores de tensión máxima superiores al PETG y al ABS, además de una amplia región elástica, haciendo de este material, un filamento eficaz para la producción de prototipos y piezas funcionales mediante la impresión 3D, pues conociendo la manera de obtenerlo e imprimirlo correctamente puede suplir el uso del filamento comercial, con la ventaja de estar reutilizando material plástico que podría llegar a contaminar el medio ambiente.

Tabla 3. Comparativa de resultados en tensiones máximas

COMPARATIVA DE RESULTADOS					
MATERIAL	PARÁMETRO	PROBETA			MEDIA
		1	2	3	
PLA	FUERZA MÁX. [N]	2683,61	2463,31	2666,82	2604,58
	ELONGACIÓN MÁX [mm]	30,16	6,19	57,21	31,19
PETG	FUERZA MÁX. [N]	2260,88	2319,63	2352,65	2311,05
	ELONGACIÓN MÁX [mm]	23,88	146,21	22,86	64,32
ABS	FUERZA MÁX. [N]	1760,99	1760,99	1742,11	1754,70
	ELONGACIÓN MÁX [mm]	4,72	5,88	4,9	5,17
PET reciclado	FUERZA MÁX. [N]	2317,53	1525,46	2253,5	2032,16
	ELONGACIÓN MÁX [mm]	5,03	3,14	5,48	4,55

## 6. PRESUPUESTOS

Una de las principales bases de este proyecto es la fácil accesibilidad al mismo, la máquina diseñada a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado promete, además de ser respetuosa con el medio ambiente, que cualquier persona pueda disfrutar de ella para poder producir su propio filamento, desde escuelas con bajos recursos como pequeños emprendedores que quieran ahorrar algo de plástico al planeta. Es por ello por lo que los materiales de este proyecto han sido elegidos en gran medida debido a su bajo coste de adquisición, permitiendo el montaje de la máquina a la mayoría de los usuarios.

En este apartado se va a proceder a la revisión de cada componente adquirido indicando su precio, desde los elementos de catálogo que se hayan podido comprar en tiendas como los propiamente hechos por el usuario que monte la máquina, indicando la cantidad y precio de filamento invertido en el proyecto.

### 6.1. PRESUPUESTO DE PIEZAS DE CATÁLOGO

En el presente subapartado se comentará el presupuesto invertido en los elementos mencionados en el apartado anterior “3.5. PIEZAS DE CATÁLOGO” así como en el apartado “3.6. ELECTRÓNICA” las cuales se han adquirido en comercios y no han sido de propia

fabricación o diseño, para ello se hará uso de la Tabla 4, la cual indica el componente del que se trata, la cantidad utilizada, el coste unitario por cada artículo y el proveedor.

Tabla 4. Presupuestos piezas de catálogo.

TABLA DE PRESUPUESTOS DE PIEZAS DE CATÁLOGO				
COMPONENTE	CANTIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL	PROVEEDOR
MOTOR NEMA 17	1	12,59 €	12,59 €	AliExpress
ENCHUFE IEC320 C14	1	1,72 €	1,72 €	AliExpress
RODAMIENTOS 608ZZ	4	0,29 €	1,16 €	AliExpress
INSERCIONES DE LATÓN	44	0,04 €	1,76 €	AliExpress
TORNILLERÍA	53	0,04 €	2,12 €	AliExpress
FUENTE DE ALIMENTACIÓN	1	2,81 €	2,81 €	AliExpress
BLOQUE CALEFACTOR	1	3,59 €	3,59 €	AliExpress
BOQUILLA DE EXTRUSIÓN	1	0,23 €	0,23 €	AliExpress
CORREA DE DISTRIBUCIÓN	1	1,54 €	1,54 €	AliExpress
POLEA DENTADA 20 DIENTES	1	2,57 €	2,57 €	AliExpress
POLEA DENTADA 80 DIENTES	1	4,59 €	4,59 €	AliExpress
SENSOR FINAL DE CARRERA	1	0,39 €	0,39 €	AliExpress
ESCUADRA DE ACERO	1	0,30 €	0,30 €	AliExpress
PCB	1	0,94 €	0,94 €	JLPCB
PINES CONECTORES	1	2,79 €	2,79 €	AliExpress
MICROCONTROLADOR WEMOS D1 MINI	1	3,53 €	3,53 €	Amazon
CONDENSADOR 35 V 100 µF	1	0,08 €	0,08 €	AliExpress
RESISTENCIAS 10 kΩ	2	0,02 €	0,04 €	AliExpress
MOSFET IRLB8721	1	0,29 €	0,29 €	AliExpress
DRIVER DRV8825	1	1,37 €	1,37 €	AliExpress
REDUCTOR DE TENSIÓN	1	4,82 €	4,82 €	AliExpress
BLOQUES TERMINALES	3	0,17 €	0,51 €	AliExpress
VARILLA ROSCADA M8 (1m)	1	1,02 €	1,02 €	Leroy Merlin
VARILLA ROSCADA M6 (1m)	1	0,41 €	0,41 €	Leroy Merlin
TUERCAS M8	3	0,02 €	0,06 €	Leroy Merlin
PLANCHA POLIESTIRENO (1000*500*4 mm)	1	22,99 €	22,99 €	Leroy Merlin
TOTAL PRESUPUESTO PIEZAS DE CATÁLOGO			74,22 €	

En total, el presupuesto empleado en piezas de catálogo asciende a 74,22 € (SETENTA Y CUATRO EUROS Y VEINTIDOS CÉNTIMOS).

Es de especial interés comentar que la mayoría de los componentes han sido importados que, pese a su precio, ofrecen muy buenas prestaciones, además de poder comprar estos artículos desde cualquier parte del mundo, cosa que con algunos proveedores sería bastante difícil.

## 6.2. PRESUPUESTO PIEZAS IMPRESAS EN 3D.

El uso de una impresora 3D en este proyecto es de especial utilidad, puesto que además de poder reflejar el diseño de la máquina rápidamente, supone una gran ventaja económica y es que, pese al plástico utilizado, la impresión de todas las piezas que componen la recicladora de botellas no supone el uso de más de una bobina de plástico PLA, haciendo el proyecto más económico.

En este subapartado se reflejará el coste por cada una de las piezas necesarias para poder llevar a cabo el proyecto, para ello se hará uso de la Tabla 5 para reflejar el componente, cantidad de plástico en gramos, precio unitario de la pieza, tiempo y coste energético, puesto que este último factor es una variable para tener en cuenta.

El precio de cada pieza se estipulará según el precio de una bobina de PLA promedio, la cual se puede adquirir en bobinas de 1 kg cuyo precio ronda los 20 €.

Para unificar todos los datos anteriores se supondrá que las piezas están impresas en la impresora 3D “Creality K1”, una impresora actual que proporcionará tiempos de impresión similares a las impresoras vigentes del mercado. Es por ello por lo que se supondrá un consumo de máximo de la impresora 3D de 350 W [42].

Para poder calcular el coste energético que supone la impresión de todas las piezas se ha estipulado un precio del kWh medio de 0,1195 € [43], el cual puede variar dependiendo la hora del día o la etapa del año, pero este factor es de carácter orientativo.

Antes de realizar la tabla de presupuestos similar a la del subapartado anterior, serán necesarios la realización de los cálculos energéticos mostrados en las Ecuaciones 18 y 19 de la impresora en cuestión.

$$\begin{aligned} \text{Coste energético por hora} &= \\ &= \frac{\text{Potencia (W)} \times \text{Horas de uso}}{1000} \times \text{Costo por kWh}; \end{aligned} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\text{Coste energético por hora} = \frac{350 \text{ W} \times 1 \text{ h}}{1000} \times 0,1195 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}; \quad \text{Ec. 19}$$

$$\text{Coste energético por hora} = 0,0418 \text{ €}$$

Con estos sencillos cálculos se demuestra que el coste energético por hora de la impresora 3D “Creality K1” es de 0,0418 €, precio que habrá que multiplicar por las horas de impresión que dedica cada una de las piezas impresas.

Tabla 5. Presupuesto de piezas impresas en 3D

TABLA DE PRESUPUESTOS PIEZAS IMPRESAS EN 3D							
COMPONENTE	CANTIDAD DE MATERIAL (g/ud)	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€)	COSTE TOTAL EN MATERIAL (€)	HORAS DE IMPRESIÓN	COSTE ENERGÉTICO	COSTE TOTAL (€)
ESQUINERA	7,84	7	0,16	1,12	3,6	0,15	1,27
ESQUINERA CONTRAEJE	34,35	1	0,69	0,69	1,3	0,05	0,74
APOYOS TPU	3,61	4	0,07	0,28	0,73	0,03	0,31
ACOPLE SENSOR DE FILAMENTO	11,07	1	0,22	0,22	0,78	0,03	0,25
PORTABOBINAS	42,8	1	0,86	0,86	1,53	0,06	0,92
CAJA ELECTRÓNICA	32,76	1	0,66	0,66	1,18	0,05	0,71
BOBINADOR	69,38	1	1,39	1,39	2,53	0,11	1,50
POLEA CONDUCTIDA	42,01	1	0,84	0,84	2,1	0,09	0,93
CORTABOTELLAS	17,3	1	0,35	0,35	0,75	0,03	0,38
TOTAL	261,12	-	5,24	6,41	14,5	0,61	7,02

Observando los datos reflejados en la tabla anterior se puede ver que el presupuesto calculado para las piezas impresas en 3D asciende a 7,02 € (SIETE EUROS CON DOS CÉNTIMOS).

Recicladora de botellas PET en filamento apto para la impresión 3D

Para concluir el presente apartado, hay que mencionar que el presupuesto total de la máquina recicladora de botellas PET es de 81,24 € (OCHENTA Y UN EUROS CON VEINTICUATRO CÉNTIMOS). Lo que supone un presupuesto muy ajustado haciendo del reciclaje de botellas PET un proceso económico y sostenible.



## 7. CONCLUSIONES

Este Trabajo de Fin de Grado ha consistido en el diseño y construcción de una máquina automatizada enfocada en la utilización eficiente de materiales reciclados como son las botellas de plástico PET para la fabricación de filamento apto para impresoras 3D. El objetivo principal ha sido desarrollar un sistema mecánico controlado electrónicamente capaz de llevar a cabo la tarea anteriormente mencionada a la par que promover el reciclaje de materiales que pueden acabar dañando los ecosistemas como es el plástico.

A lo largo del desarrollo del proyecto se han integrado diversas tecnologías como pueden ser el uso de controladores para motores paso a paso, sensor final de carrera o microcontroladores como el caso del “Wemos D1 Mini”, todo ello para asegurar un proceso de extrusión estable de filamento, haciendo especial énfasis en materiales reciclados que se puedan obtener de viejas impresoras 3D o de un bajo coste para que la máquina sea asequible para cualquier usuario.

Tras el desarrollo de este proyecto se han llevado a cabo diferentes logros, como puede ser la implementación de un sistema de control preciso, el cual permite la regulación de los parámetros de operación como son la temperatura a la que se calienta el bloque calentador o la velocidad a la que gira el motor paso a paso para poder tirar del plástico extruido, todo ello mediante la utilización de una página web.

Otro de los logros a destacar es la creación de una nueva herramienta a través de la cual se puedan convertir las botellas de plástico en tiras de diferentes anchos de medida para su uso en la máquina recicladora de botellas, todo ello mediante el uso de rodamientos que puedan efectuar el sistema de corte.

La construcción y mejora continua del prototipo inicial ha sido un logro crucial, pues la evolución en la integración de todos los elementos hasta llegar a un objetivo final ha supuesto numerosos cambios tanto en diseño como en estructuración de la máquina.

Además, el proyecto ha contribuido a la sostenibilidad ambiental al proporcionar una solución práctica y efectiva para el problema de los desechos plásticos, convirtiendo estas botellas de plástico en un recurso valioso para todos los “makers” cuya cultura es basada

en la tecnología y nuevas herramientas [44], promoviendo una economía más circular y reduciendo la dependencia de materiales no reutilizados.

A lo largo del desarrollo del proyecto se han presentado diferentes desafíos técnicos los cuales ha requerido de readaptaciones del diseño inicial, estos desafíos han sido fundamentales para el aprendizaje, así como para la mejora de la máquina.

Durante el diseño del sistema de transmisión se planteó el reto de la creación de un sistema capaz de manejar la fuerza necesaria para tirar del filamento extruido, contemplando la realización de engranajes mediante la impresión 3D o adaptando poleas dentadas de aluminio. Para superar esto se diseñó una bobina que recogiese el material final (polea conducida), la cual permitiese el acople de diferentes poleas dentadas cambiando tanto su diámetro como número de dientes capaces de cambiar la relación de transmisión como si de una bicicleta se tratara, además de la correcta elección del material para que la correa soportase la carga sin que esta se saliera o se rompiera. Este proceso implicó numerosas iteraciones de diseño para finalmente encontrar un equilibrio con las poleas dentadas de aluminio, las cuales encajaban perfectamente con la correa de transmisión.

El desarrollo del sistema electrónico también planteó desafíos notables, inspirado en otros sistemas como el de la máquina PETALOT de Function3D [19], la creación de un proyecto como este ha supuesto un gran aprendizaje en campos como la programación y la electrónica, experimentando con múltiples componentes, incluyendo pantallas LCD, potenciómetros y otros dispositivos electrónicos, lo que finalmente condujo al modelo deseado.

Además, la producción de este nuevo material ha permitido el estudio del mismo y comprobar sus características principales como son la fuerza máxima admitida en tracción o su capacidad de elongación máxima, parámetros que han resultado muy satisfactorios, y es que los valores arrojados han mostrado que la transformación de las botellas PET permite obtener un filamento perfectamente viable para su uso en el campo de la impresión 3D.

Recicladora de botellas PET en filamento apto para la impresión 3D

Todo ello ha supuesto la aplicación tanto teórica como práctica en la fabricación de la máquina, de los conocimientos adquiridos en ramas de la ingeniería como ingeniería gráfica, cálculo, diseño y ensayo de máquinas e ingeniería de materiales.





## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Learn.g2.com, "Más de 75 estadísticas y tendencias de impresión 3D que seguirán en 2025", [En línea]. Disponible: <https://learn.g2.com/3d-printing-statistics>
- [2] Prusa3D.com, "Impresora 3D Original Prusa MK4S", [En línea]. Disponible: <https://www.prusa3d.com/es/producto/impresora-3d-original-prusa-mk4s-8/>
- [3] Plastics Europe, "Plastics - The Facts 2023," *Plastics Europe*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://plasticseurope.org/es/plastics-europe-publica-plastics-the-fast-facts-2023/>
- [4] OCDE, "Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options," 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.oecd.org>.  
<https://www.retema.es/actualidad/solo-el-9-de-los-residuos-plasticos-generados-en-el-mundo-se-recicla-segun-la-ocde> [informe anterior segun retema]
- [5] Ecoembes, "España recicló más de 1,6 millones de toneladas de envases domésticos de plástico, metal, briks y papel y cartón en 2022", 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.ecoembes.com/es/datos-de-reciclaje-2022>
- [6] LinkedIn, "La Tecnología de Impresión 3D más famosa del mundo: FDM", [En línea]. Disponible: <https://www.linkedin.com/pulse/la-tecnolog%C3%ADa-de-impresi%C3%B3n-3d-m%C3%A1s-famosa-del-mundo-fdm-sebas-romo/>
- [7] Xometry.pro, "Impresión 3D por estereolitografía (SLA): Visión general de la tecnología", [En línea]. Disponible: <https://xometry.pro/es/articulos/impresion-3d-sla-tecnologia/>
- [8] Formlabs, "Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)", [En línea]. Disponible: <https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>
- [9] D. Hakkens, "Precious Plastic Project," *Precious Plastic*, 2016. [En línea]. Disponible: <https://preciousplastic.com>.
- [10] Ecodecat, "RePET: PET filament from plastic bottles," *Ecodecat GitHub*, 2023. [En línea]. Disponible: <https://github.com/ecodecat3d/RePET>.
- [11] Filabot, "Filabot EX2 Filament Extruder," *Filabot*, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.filabot.com>.

- [12] TME Electrónica Components, “1386883 BOSSARD”, [En línea]. Disponible: [https://www.tme.eu/es/details/b4\\_bn1052/plantillas-roscadas/bossard/1386883/](https://www.tme.eu/es/details/b4_bn1052/plantillas-roscadas/bossard/1386883/)
- [13] Vevor, “Grabador Láser De Co2 80w Kh7050 + Cw-3000 Enfriador De Agua + Eje Rotativo Cnc”. Disponible: [https://www.vevor.es/otro-c\\_11229/grabador-laser-de-co2-80w-kh7050-cw-3000-enfriador-de-agua-eje-rotativo-cnc-p\\_010131346585?srsId=AfmBOor15rH1v\\_6YLVruUkAD6KNggzjXjiBl4XmYXZwhE58fTmTEBJz](https://www.vevor.es/otro-c_11229/grabador-laser-de-co2-80w-kh7050-cw-3000-enfriador-de-agua-eje-rotativo-cnc-p_010131346585?srsId=AfmBOor15rH1v_6YLVruUkAD6KNggzjXjiBl4XmYXZwhE58fTmTEBJz)
- [14] Sawers, “608ZZ Rodamiento de bolas 8x22x7 mm”, [En línea]. Disponible: <https://tienda.sawers.com.bo/608zz-rodamiento->
- [15] BricoGeek, “Echufe IEC320 C14 con fusible 10 A”, [En línea]. Disponible: <https://tienda.bricogeek.com/varios/1215-enchufe-iec320-c14-con-fusible.html>
- [16] Impresoras3D.com, “Hotends para impresoras 3D” [En línea]. Disponible: [https://www.impresoras3d.com/accesorios/hotend/?filter\\_tipo-de-recambio=bloque-calentador&query\\_type\\_tipo-de-recambio=or](https://www.impresoras3d.com/accesorios/hotend/?filter_tipo-de-recambio=bloque-calentador&query_type_tipo-de-recambio=or)
- [17] AliExpress, “Motor paso a paso Nema 17” [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/1005005878820507.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.79.7ee1194dQ7xwiT&gatewayAdapt=glo2esp](https://es.aliexpress.com/item/1005005878820507.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.79.7ee1194dQ7xwiT&gatewayAdapt=glo2esp)
- [18] AliExpress, “Correa de distribución GT-2” [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/1005007353631488.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.237.7ee1194dto0p1r&gatewayAdapt=glo2esp](https://es.aliexpress.com/item/1005007353631488.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.237.7ee1194dto0p1r&gatewayAdapt=glo2esp)
- [19] Aliexpress, “Polea dentada de 20 dientes” [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/32947700437.html?spm=a2g0o.productlist\\_main.2.d8d31bddGCHQWHCalgo\\_pvid=ed9538b9-43f0-4d81-88f2-1016dc453404Calgo\\_exp\\_id=ed9538b9-43f0-4d81-88f2-1016dc453404-1Cpdp\\_npi=4%40dis%21EUR%210.36%210.27%21%21%210.36%210.27%21%40210390c917387776531546929e4a91%2112000028498744783%21sea%21ES%21932907495%21XCcurPageLogUid=7cgo5ny2Z6zqCutparam-url=scene%3Asearch%7Cquery\\_from%3A](https://es.aliexpress.com/item/32947700437.html?spm=a2g0o.productlist_main.2.d8d31bddGCHQWHCalgo_pvid=ed9538b9-43f0-4d81-88f2-1016dc453404Calgo_exp_id=ed9538b9-43f0-4d81-88f2-1016dc453404-1Cpdp_npi=4%40dis%21EUR%210.36%210.27%21%21%210.36%210.27%21%40210390c917387776531546929e4a91%2112000028498744783%21sea%21ES%21932907495%21XCcurPageLogUid=7cgo5ny2Z6zqCutparam-url=scene%3Asearch%7Cquery_from%3A)

- [20] Aliexpress, “Polea dentada de 80 dientes” [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/1005007541344843.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.36.3727194dHEjmvNCgatewayAdapt=glo2esp](https://es.aliexpress.com/item/1005007541344843.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.36.3727194dHEjmvNCgatewayAdapt=glo2esp)
- [21] Aliexpress, “Sensor final de carrera”, [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/4001033375208.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.121.7215194dw5ZUP3&gatewayAdapt=glo2esp#nav-description](https://es.aliexpress.com/item/4001033375208.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.121.7215194dw5ZUP3&gatewayAdapt=glo2esp#nav-description)
- [22] Function3D, “Petalot Project”, GitHub repository, [En línea]. Disponible: <https://github.com/function3d/petalot/tree/master>
- [23] Elate, “¿Qué es una PCB o un circuito impreso?”, [En línea]. Disponible: <https://elatesa.com/que-es-una-pcb-o-un-circuito-impreso/?lang=es#:~:text=El%20significado%20de%20los%20PCB,desarrollo%20de%20un%20circuito%20electr%C3%B3nico.>
- [24] JLCPCB, [En línea]. Disponible: <https://jlcpcb.com/>
- [25] SAP, “¿Qué es internet de las cosas (IoT)?”, [En línea]. Disponible: <https://www.sap.com/spain/products/artificial-intelligence/what-is-iot.html#page>
- [26] BricoGeek, “Wemos D1 Mini ESP8266 Wifi”, [En línea]. Disponible: <https://tienda.bricogeek.com/wemos-d1-mini/1588-wemos-d1-mini-esp8266-wifi.html>
- [27] Aranacorp.com, “Descripción general del microcontrolador Wemos D1 Mini”, [En línea]. Disponible: <https://www.aranacorp.com/es/descripcion-general-del-microcontrolador-wemos-d1-mini/>
- [28] Programarfacil.com, “Resistencia pull up y pull down”, [En línea]. Disponible: <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/resistencia-pull-up-y-pull-down/> Diario de Valderrueda, “Resistencias pull up y pull down ¿para qué sirven?”, [En línea]. Disponible: <https://www.diariodevalderrueda.es/texto-diario/mostrar/3339514/resistencias-pull-up-pull-down-sirven#:~:text=La%20resistencia%20pull%2Ddown%20mantiene,la%20impedancia%20del%20circuito%20l%C3%B3gico.>

- [29] Revista Española De Electrónica, “MOSFET: Qué es, Funcionamiento y Aplicaciones”, [En línea]. Disponible: <https://www.redeweb.com/actualidad/mosfet/#:~:text=El%20MOSFET%20contro la%20el%20flujo,fuente%20o%20bloqueando%20su%20paso.>
- [30] AreaTecnología, “Mosfet”, [En línea]. Disponible: <https://www.areatecnologia.com/electronica/mosfet.html>
- [31] alldatasheet.com, “IRLB8721 Datasheet”, [En línea]. Disponible: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1009957/ISC/IRLB8721.html>
- [32] HTA3D, “DRV8825 – Controlador para motor paso a paso, Alta intensidad – Driver”, [En línea]. Disponible: <https://www.hta3d.com/es/drv8825-controlador-para-motor-paso-a-paso,-alta-intensidad-driver>
- [33] Aliexpress, “Conector de bloque de terminales”, [En línea]. Disponible: [https://es.aliexpress.com/item/1005007055503766.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.176.7215194dw5ZUP3CgatewayAdapt=glo2esp](https://es.aliexpress.com/item/1005007055503766.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.176.7215194dw5ZUP3CgatewayAdapt=glo2esp)
- [34] indarbelt.es, “Fórmulas para el cálculo de transmisiones”, [En línea]. Disponible: <https://www.indarbelt.es/html/formulas.htm>
- [35] polamalu.50webs.com, “Engranajes”, [En línea]. Disponible: <http://polamalu.50webs.com/OF1/mecanica/engranajes.htm>
- [36] Luis Llamas Ingeniería, informática y diseño, “Motores paso a paso con Arduino y driver A4988 o DRV8825”, [En línea]. Disponible: <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>
- [37] Electrostore, “Controlador pololu DRV8825 para motor paso a paso alta corriente”, [En línea]. Disponible: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/controladores-de-motores/drv8825-controlador-de-motor-paso-a-paso-alta-corriente/#:~:text=Las%20resistencias%20de%20detecci%C3%B3n%20de,soporte%20DRV8825%20son%200.100%20%CE%A9.>
- [38] Mexpolimeros, “Ensayo de tracción ASTM D638”, [En línea]. Disponible: <https://www.mexpolimeros.com/lab/astm-d638.html>
- [39] Orca Slicer, “3D Printing Software”, [En línea]. Disponible: <https://orca->

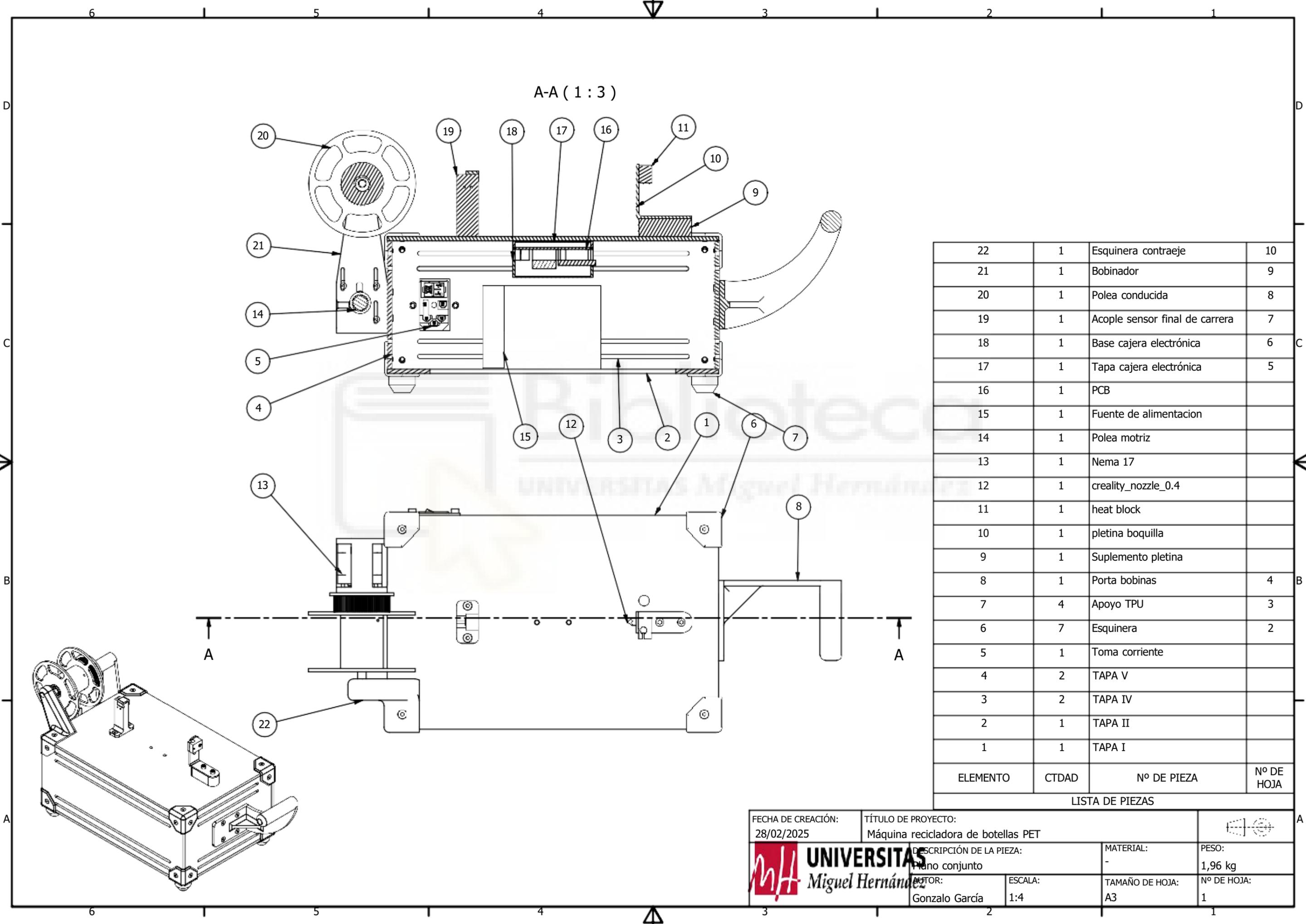
[slicer.com/](https://slicer.com/)

- [40] Filament2print, “¿Qué es el PETG?”, [En línea]. Disponible: <https://filament2print.com/es/blog/petg?slug=petg&module=smartblog>
- [41] GEEETECH, “PETG Black 3d Printer Filament 1.75mm 1kg/roll”, [En línea]. Disponible: <https://www.geeetech.com/petg-black-3d-printer-filament-175mm-1kgroll-p-1153.html>
- [42] Creality, “Impresora 3D Creality K1”, [En línea]. Disponible: <https://www.creality3dofficial.eu/es/products/k1-3d-printer-eu>
- [43] Tarifaluzhora, “Precio de la luz por horas hoy”, [En línea]. Disponible: <https://tarifaluzhora.es/>
- [44] Wikipedia, “Cultura maker”, [En línea]. Disponible: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cultura\\_maker](https://es.wikipedia.org/wiki/Cultura_maker)



## 9. ANEXO I PLANOS





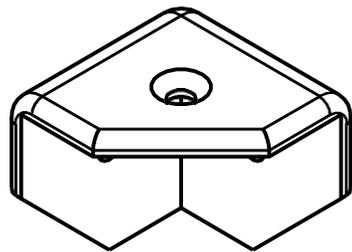
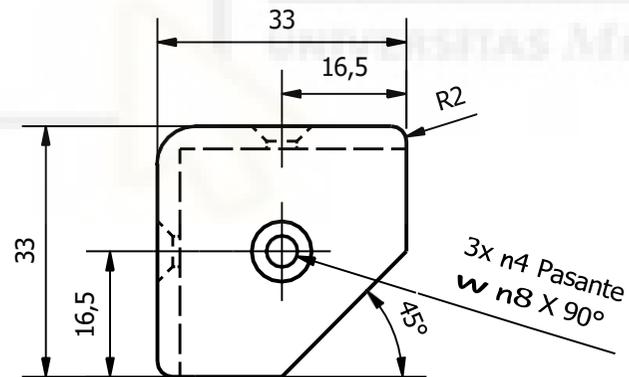
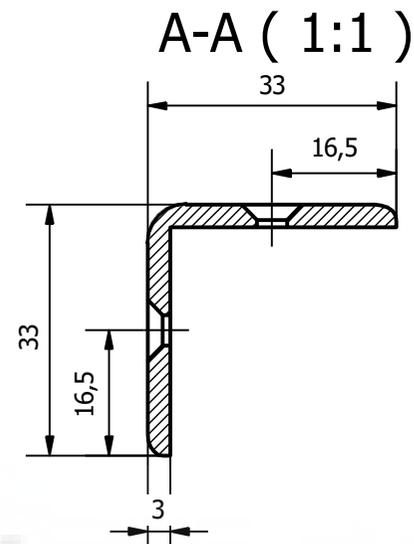
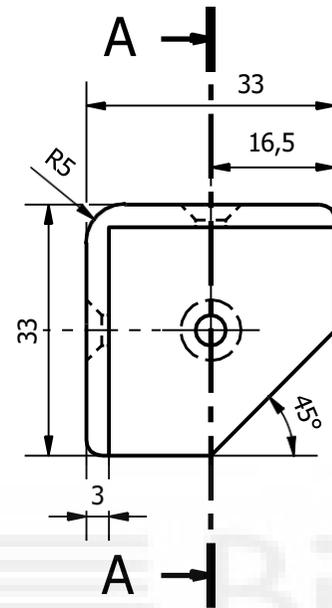
A-A ( 1 : 3 )

22	1	Esquinera contraeje	10
21	1	Bobinador	9
20	1	Polea conducida	8
19	1	Acople sensor final de carrera	7
18	1	Base cajera electrónica	6
17	1	Tapa cajera electrónica	5
16	1	PCB	
15	1	Fuente de alimentacion	
14	1	Polea motriz	
13	1	Nema 17	
12	1	creality_nozzle_0.4	
11	1	heat block	
10	1	pletina boquilla	
9	1	Suplemento pletina	
8	1	Porta bobinas	4
7	4	Apoyo TPU	3
6	7	Esquinera	2
5	1	Toma corriente	
4	2	TAPA V	
3	2	TAPA IV	
2	1	TAPA II	
1	1	TAPA I	
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	Nº DE HOJA

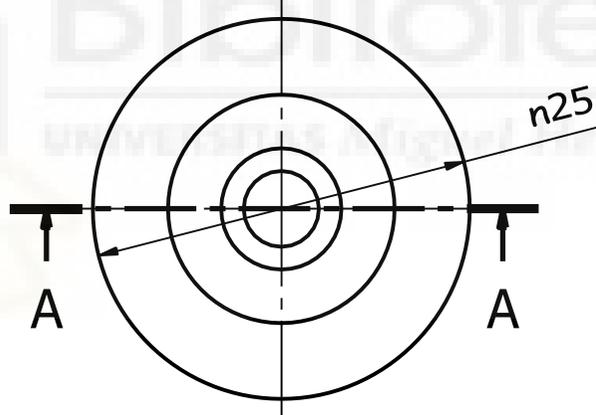
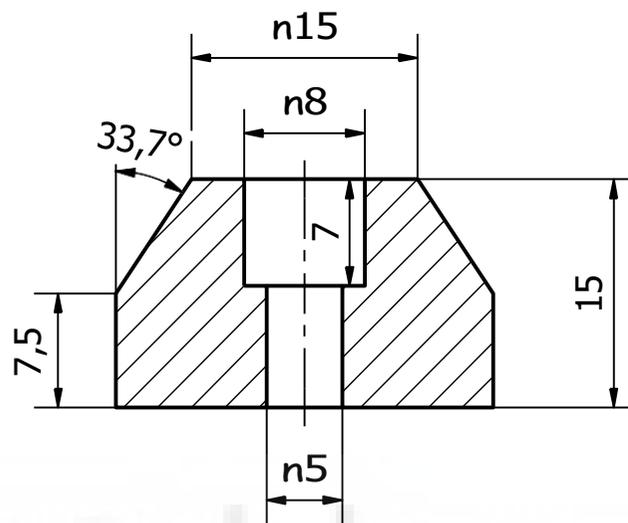
LISTA DE PIEZAS

FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025	TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET		
DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Plano conjunto		MATERIAL: -	PESO: 1,96 kg
AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:4	TAMAÑO DE HOJA: A3	Nº DE HOJA: 1

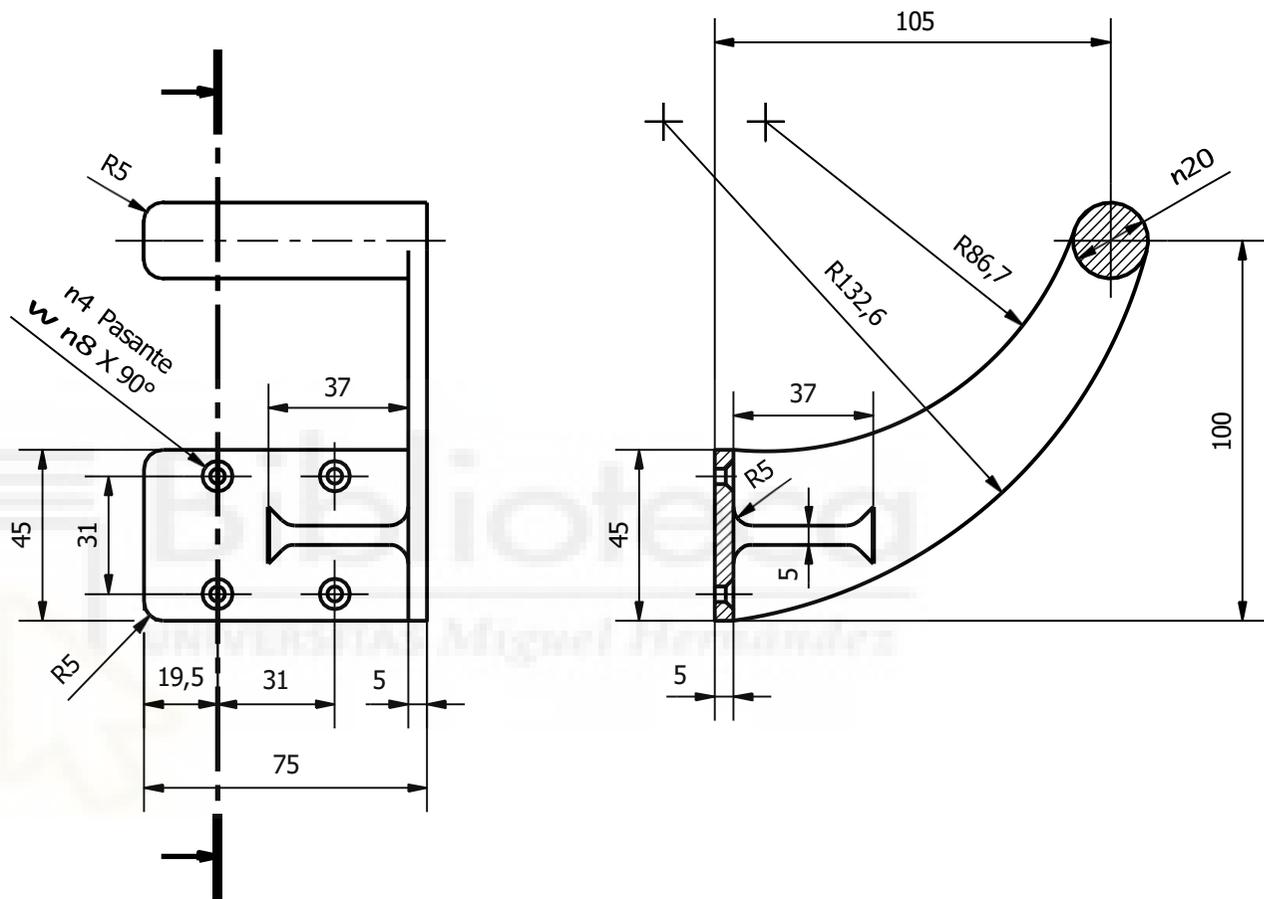
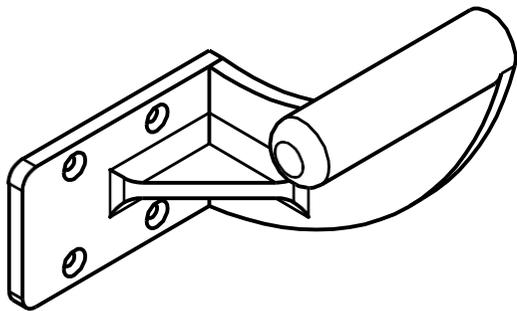




FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET		
	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Esquinera		MATERIAL: PLA	PESO: 7,84 g
	AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 2



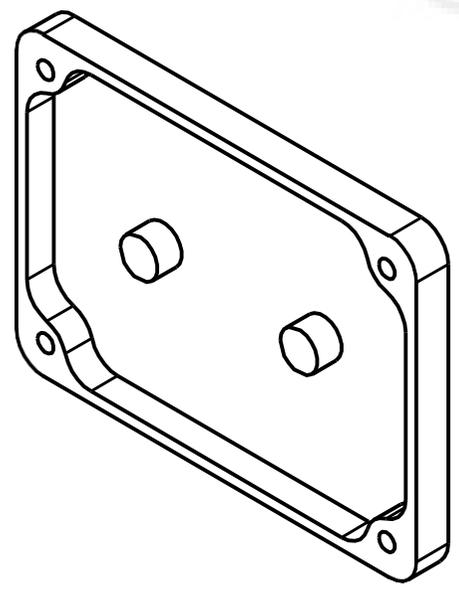
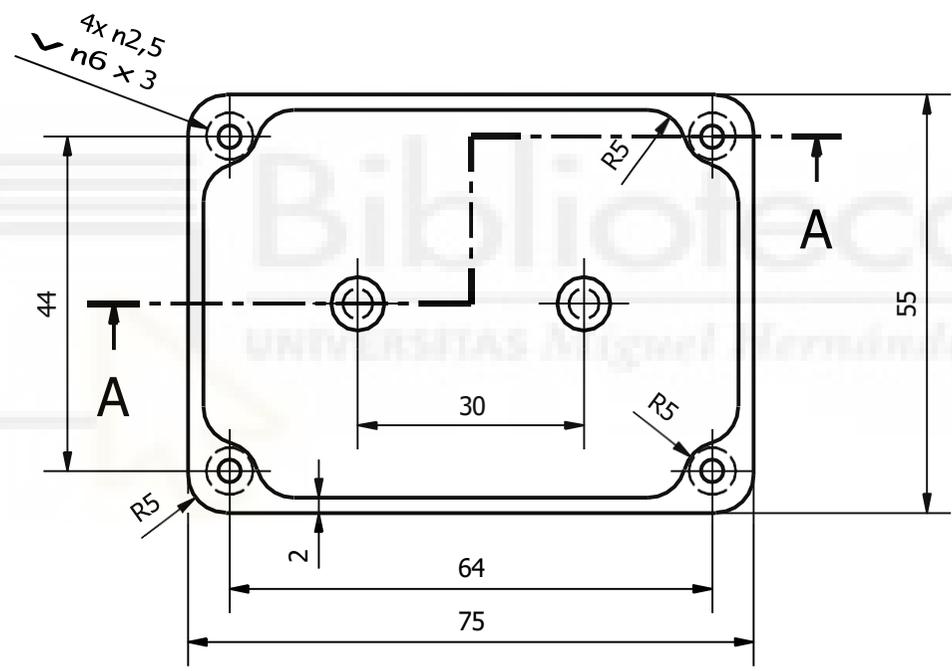
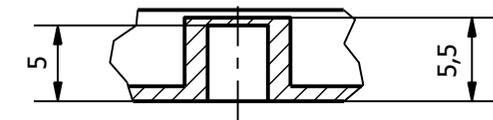
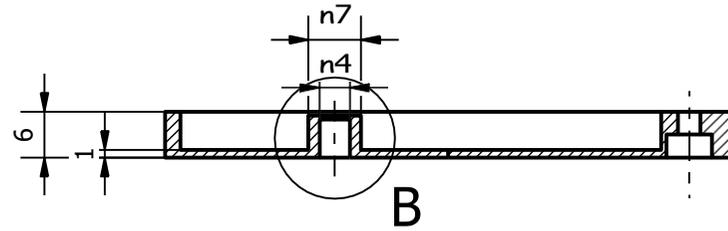
FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025	TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET		
	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Apoyo TPU	MATERIAL: PLA	PESO: 3,61 g
	AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 2:1	TAMAÑO DE HOJA: A4
		Nº DE HOJA: 3	



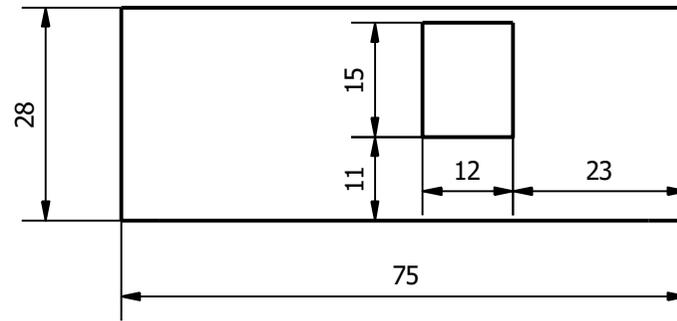
FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Portabobinas		MATERIAL: PLA	PESO: 48,8 g
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:2	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 4

A-A (1:1)

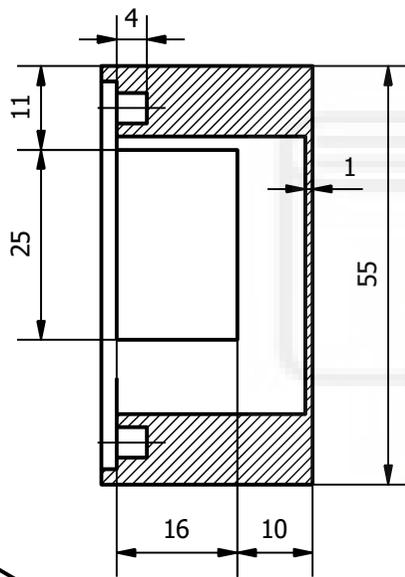
B (2:1)



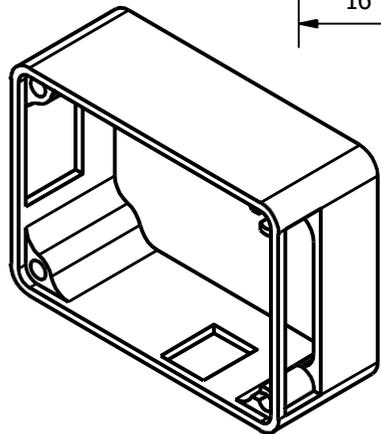
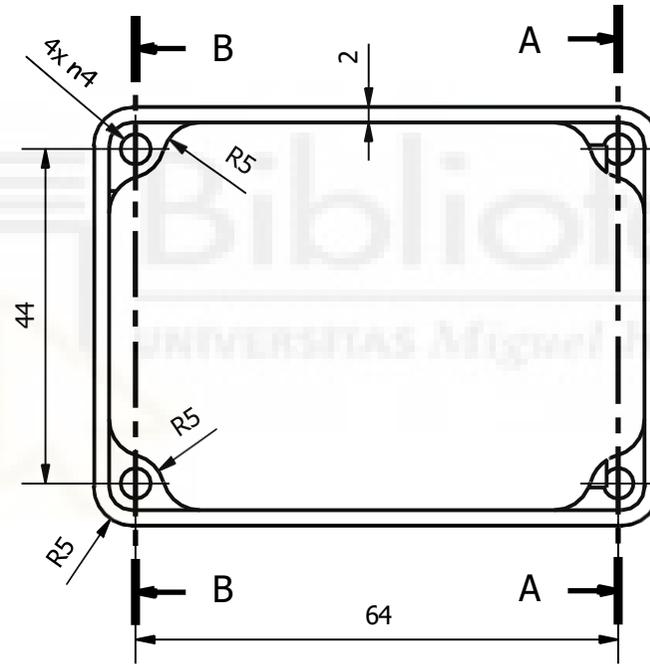
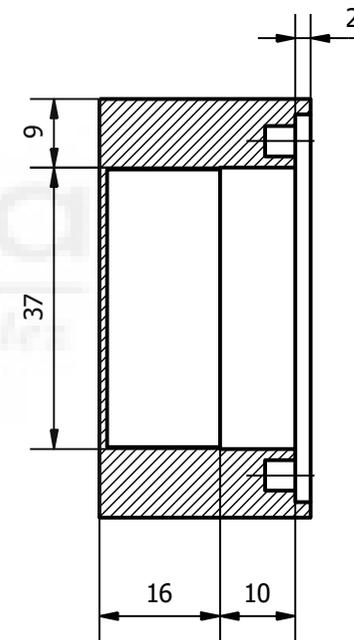
FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET		
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Tapa caja electrónica	MATERIAL: PLA	
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4

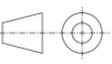


B-B (1 : 1)

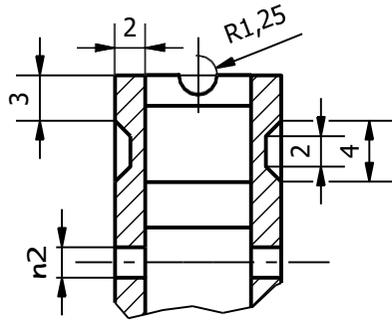


A-A (1 : 1)

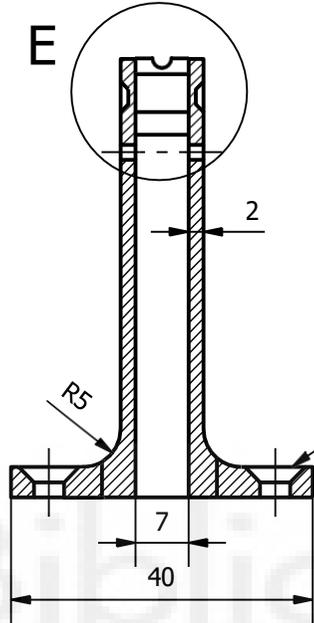


FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET		
 <b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Base caja electrónica	MATERIAL: PLA	
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4

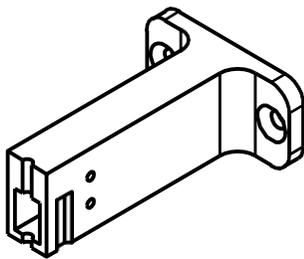
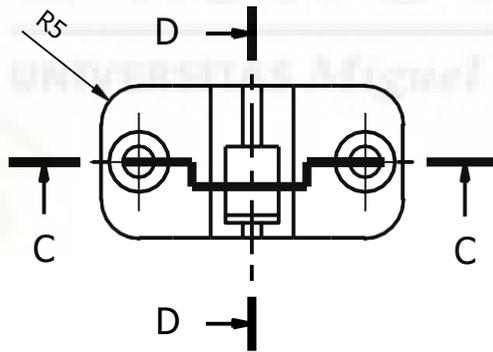
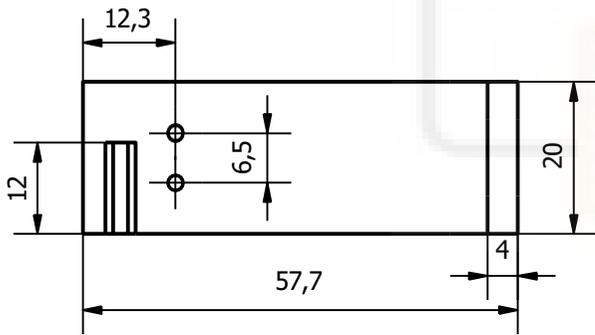
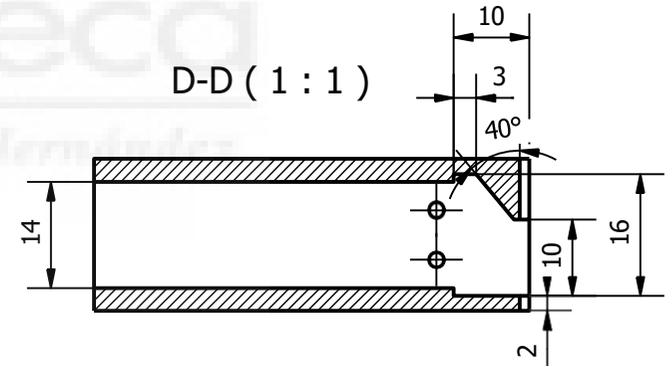
E (2 : 1)



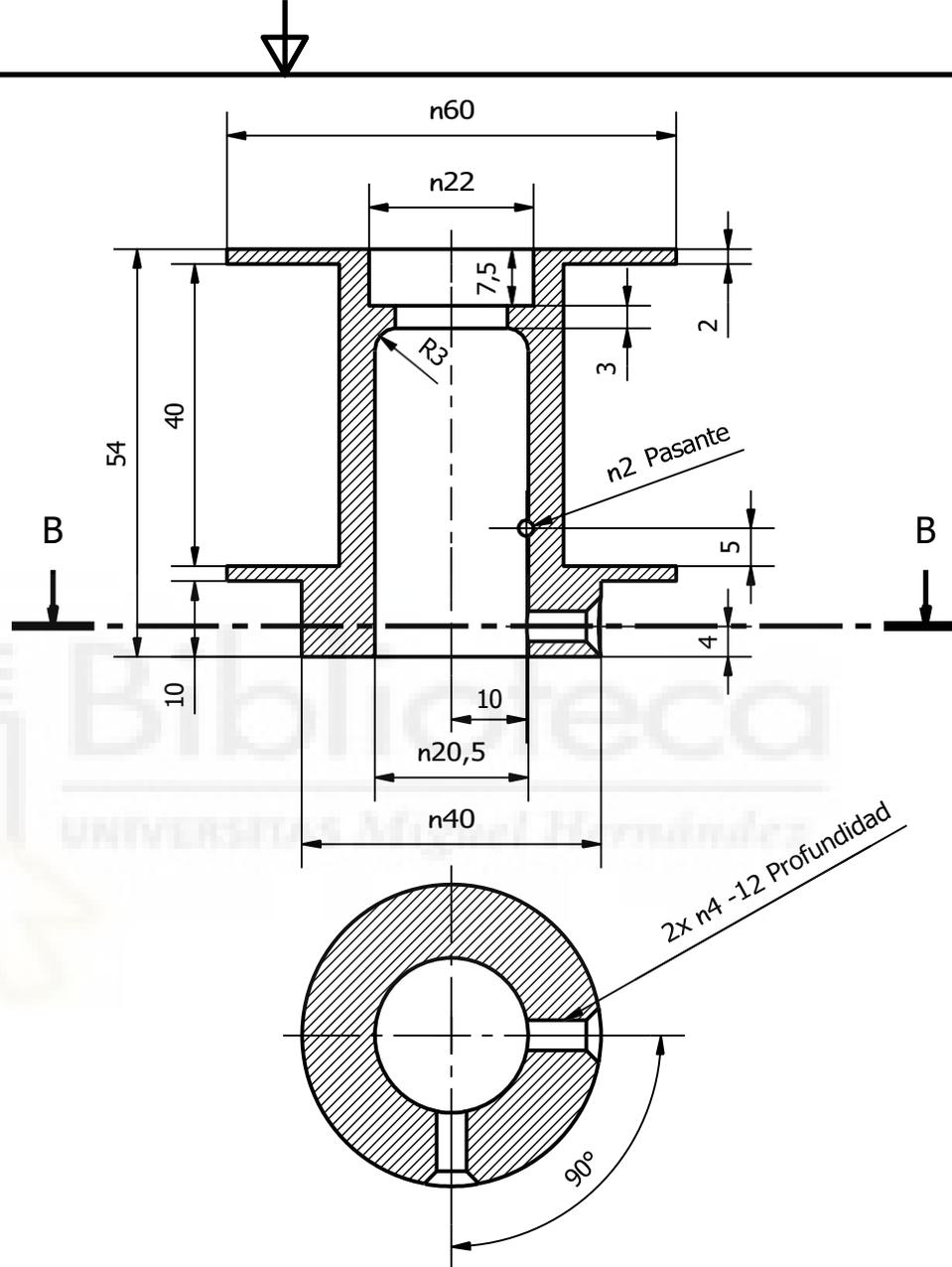
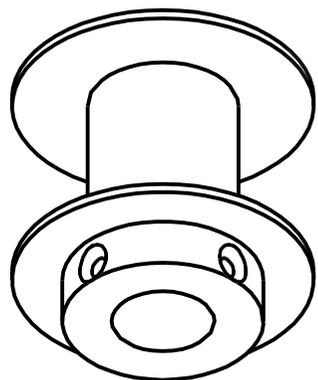
C-C (1 : 1)



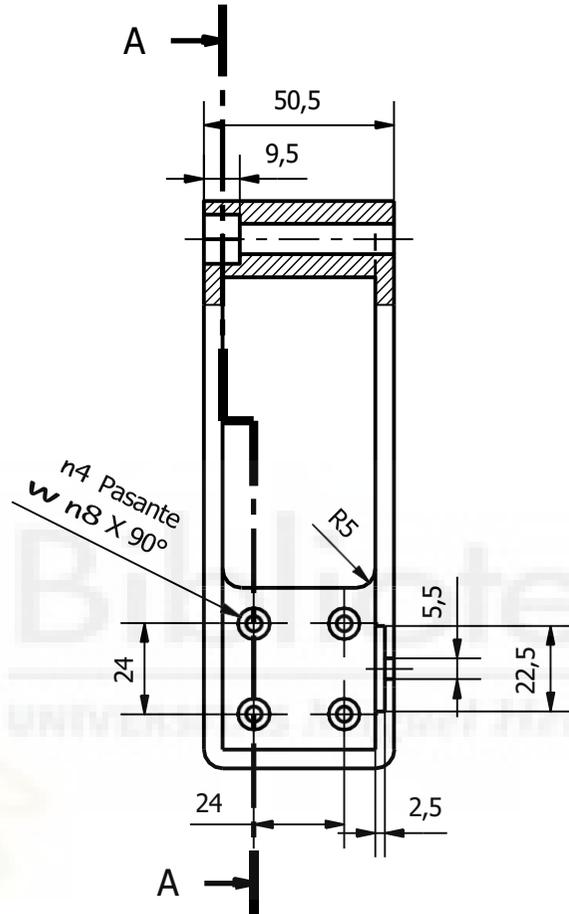
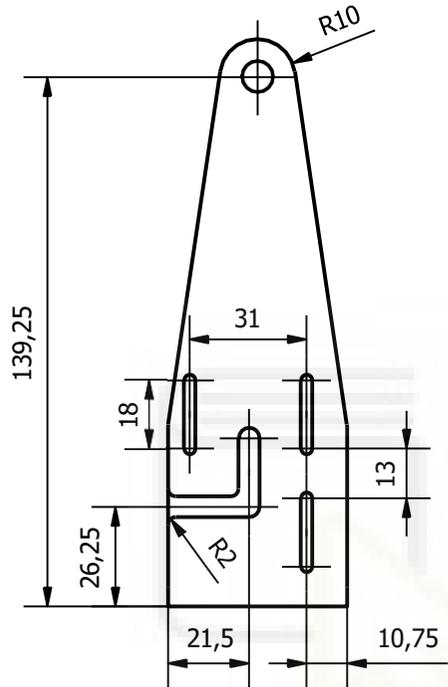
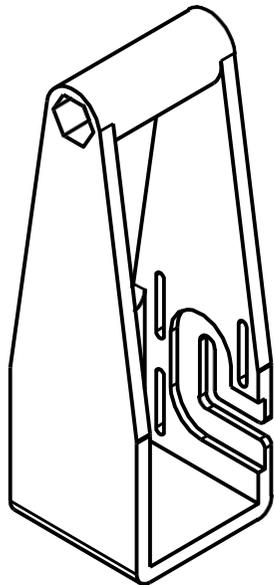
D-D (1 : 1)



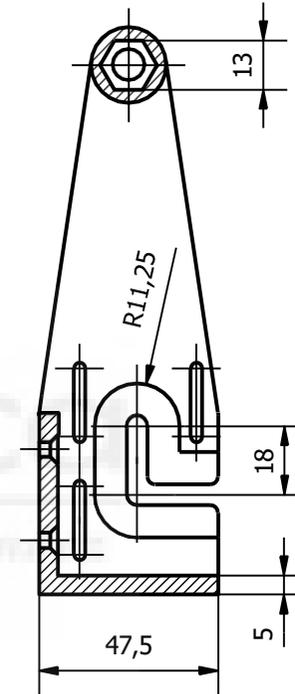
FECHA DE CREACIÓN: 28/05/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET			
		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Acople sensor final de carrera		MATERIAL: PLA	PESO: 11,07 g
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 7



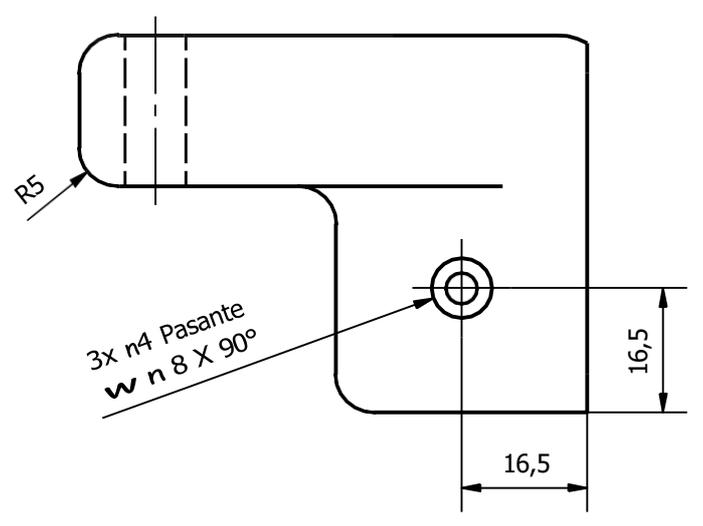
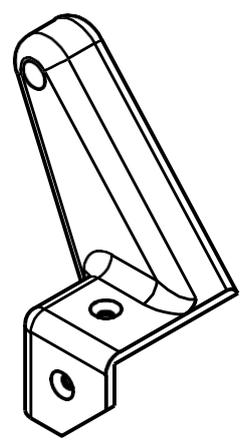
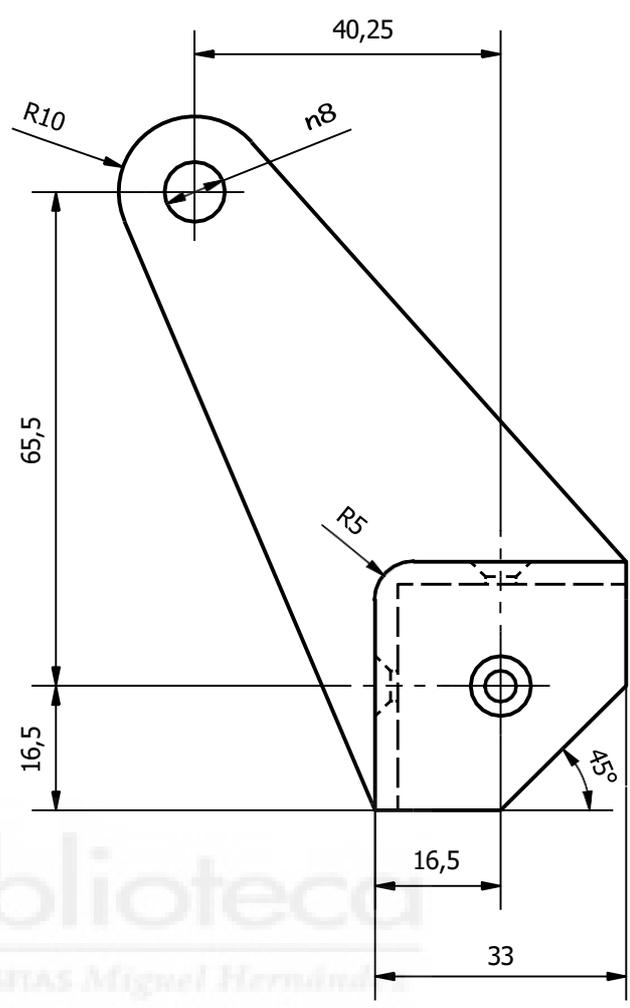
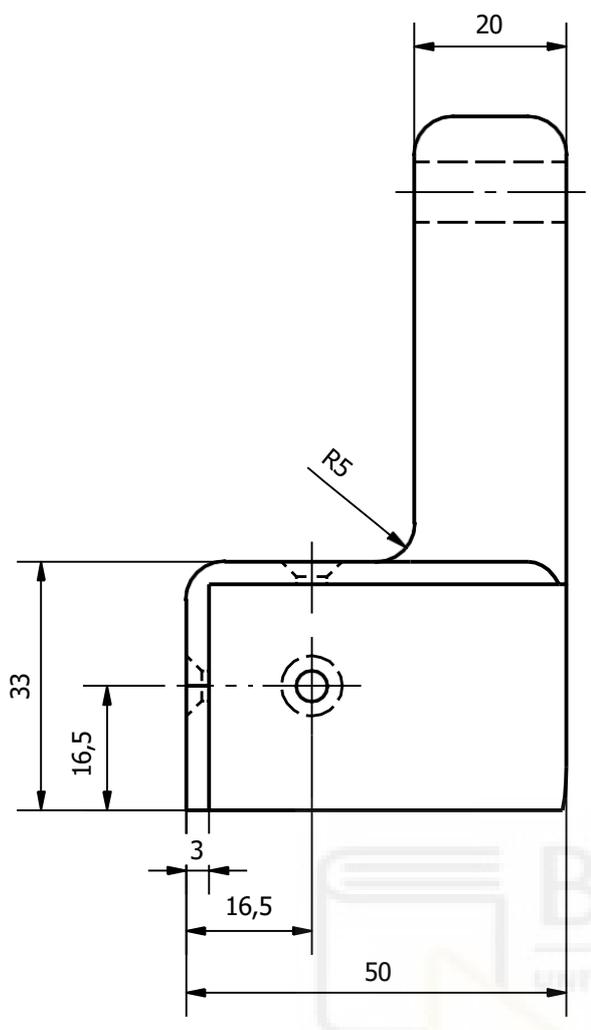
FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Polea conducida		MATERIAL: PLA	PESO: 42,01 g
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 8



A-A ( 1 : 2 )



FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández		DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Bobinador		MATERIAL: PLA	PESO: 69,38 g
		AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:2	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 9



FECHA DE CREACIÓN: 28/02/2025		TÍTULO DE PROYECTO: Máquina recicladora de botellas PET			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández	DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA: Esquinera de contra eje		MATERIAL: PLA	PESO: 34,35 g	
	AUTOR: Gonzalo García	ESCALA: 1:1	TAMAÑO DE HOJA: A4	Nº DE HOJA: 10	