

Trabajo Fin de Grado

Diseño y desarrollo de un sistema de reciclaje de
residuos plásticos para la impresión 3D

Design and development of a plastic waste
recycling system for 3D printing

Autor

Ángela Arellano Jarauta

Director/es

David Ranz Angulo
José Antonio Gómez García

Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2022/2023

Índice

Resumen.....	5
INTRODUCCIÓN	6
Objeto	6
Alcance	6
Metodología	7
Planificación.....	8
INVESTIGACIÓN.....	10
Primera búsqueda de información	10
Impresión 3D.....	10
Materiales en impresión.....	10
Extrusión y extrusores.....	12
Sistemas de reciclaje existentes en el mercado	12
Sistemas a partir de pellet	12
Sistemas a partir de cinta procedente de botellas	12
Sistemas a partir de sobras de bobinas comercializadas.....	13
Tabla comparativa entre sistemas	13
Análisis de usuario	14
Residuos reciclables en impresión	16
Residuos de impresión	16
Residuos producidos por el usuario de otros ámbitos	16
Conclusiones.....	16
Análisis de entorno	17
Doméstico	17
Taller/laboratorio.....	17
Especificaciones de diseño.....	17
Funcionalidad.....	18
Usuarios objetivos.....	18
Entorno	18
IDEACIÓN	19
Concepto 1: <i>Do It Yourself</i>	19
Definición.....	19
Boceto.....	19
Secuencia de uso	20

Concepto 2: <i>Punto de recogida</i>	21
Definición.....	21
Boceto.....	21
Secuencia de uso	22
Concepto 3: <i>Módulo de reciclaje</i>	23
Definición.....	23
Boceto.....	23
Secuencia de uso	24
Selección del concepto.....	24
DISEÑO Y DESARROLLO.....	26
Desarrollo técnico	26
Sistema de alimentación	28
Sistema de preparación del material.....	28
Sistema de ordenación del filamento.....	29
Sistema de refrigeración	30
Sistema de re direccionamiento del filamento	30
Sistema de bobinado.....	30
Sistema de control	30
Sistema de soporte.....	31
Dimensionado	33
Engranajes.....	33
Varilla del servomotor.....	33
Soportes del sistema de bobinado.....	34
Cuerpo del plastómetro.....	34
Tolva y líneas de referencia.....	35
PRODUCTO FINAL	36
Definición del producto/ servicio.....	36
Características destacables.....	37
Principio de funcionamiento	37
Precio	38
Sistema de bobinado.....	38
Sistema de ordenación de filamento.....	39
Usuario.....	39
Entorno	39
Secuencia de uso.....	40

Infini.....	40
Montaje del sistema de alimentación.....	42
Montaje de la bobina	43
Componentes	43
Sistema de alimentación	44
Sistema de accionamiento.....	46
Sistema de preparación del material.....	47
Sistema de refrigeración.....	48
Sistema de re direccionamiento del filamento	48
Sistema de ordenación de filamento.....	49
Sistema de bobinado.....	50
Sistema de control	51
Sistema de soporte.....	52
Funcionamiento.....	53
Montaje.....	54
Fabricación.....	54
Branding	55
Packaging.....	56
Guía de materiales	58
Presupuesto.....	58
Componentes comerciales	59
Componentes normalizados.....	59
Componentes no imprimibles por el usuario.....	60
Coste de venta	60
Conclusiones	61
Bibliografía	62

Resumen

El siguiente proyecto, con título “Diseño y desarrollo de un sistema de reciclaje de residuos plásticos para la impresión 3D”, ha sido desarrollado a lo largo de cuatro meses.

Para la realización del mismo, además de la ayuda de los directores, se han contado con varias consultas cuando han surgido dudas más técnicas, a otros profesores de campos más especializados como la impresión 3D, diseño con materiales plásticos y ciencia de los materiales.

La idea del proyecto, parte de dar una solución a la gran cantidad de desechos plásticos producidos en el proceso de impresión, ya que se desaprovecha gran parte de cada bobina. Esto puede ser debido a piezas defectuosas por diversos factores como atascos, rebabas y poca adherencia entre capas, así como por soportes y últimos metros de bobina inservibles. Finalmente, la idea ha evolucionado hasta convertirse en un dispositivo comercial que puede reciclar también otro tipo de residuos plásticos.

En cuanto al desarrollo del proyecto, se ha llevado a cabo mediante cuatro fases principales; investigación, destacando las entrevistas a usuarios llevadas a cabo y el estudio de los diferentes sistemas actuales de reciclado, ideación, desarrollando tres conceptos y eligiendo uno según unos criterios, desarrollo, estudiando los componentes, modelándolos y definiendo el servicio y marca, y por último el testeo, creando una simulación sobre el movimiento de los componentes para comprobar su funcionamiento, así como su montaje.

Cabe destacar que durante la fase de desarrollo, hubo un cambio importante en el diseño, concretamente, en el principio de funcionamiento del mismo, pasando de una extrusora, que era demasiado compleja a nivel técnico y de precio tan alto que dejaba de ser viable en el proyecto, a un plastómetro, que se adecuaba mejor a la necesidades definidas.

Por último, el resultado final del mismo ha sido *Infini*, un producto económico que va dirigido a un usuario amateur en la impresión 3D, en un entorno doméstico. Este se basa en un servicio en el cual se le proporcionan unos archivos al usuario para que imprima la mayor parte de las piezas del producto, y las otras restantes, se le envían en un paquete a domicilio. De esta manera, con ellas y otras facilidades, es el propio usuario el que monta el producto en casa, disminuyendo los costes y respetando en mayor medida el medioambiente.

INTRODUCCIÓN

Objeto

Este proyecto consiste en el diseño y desarrollo de un sistema de reciclaje de residuos plásticos generados en un entorno no industrial para la impresión 3D tipo FDM, de manera que puedan ser nuevamente utilizados en impresión. La procedencia de estos residuos puede ser de la propia impresión, o de otros residuos plásticos generados en el entorno.

Por tanto, el objetivo del proyecto es la definición completa del dispositivo a nivel de componentes y del servicio que conlleve para poder ser comercializado.

Gracias a esto, se contribuiría al gran problema actual de contaminación de plásticos en el medio ambiente debido a que, en lugar de ser desechados tras un solo uso, se alargaría su vida incentivando la economía circular. Además, de esta manera, el usuario reduciría la compra de nuevo material, contribuyendo también a la escasez de materias primas presente.

Alcance

El desarrollo de este proyecto se extiende hasta la finalización del diseño y desarrollo del mismo, pasando previamente por una fase de investigación del mercado, entrevistas a usuarios, entorno, materiales... y una fase de ideación con varias propuestas de diseño.

Se incluye la definición técnica de todos sus componentes, cálculos de velocidades de motores, dimensionado teniendo en cuenta los elementos comerciales, presupuesto de los mismos, modelado de las piezas mediante el software *SolidWorks*, ensamblaje del conjunto, renderizado y planos necesarios.

Asimismo, contiene un pequeño testeo del producto a modo de vídeo de funcionamiento y montaje del mismo

También se abarca la explicación del servicio mediante secuencias de uso, así como el branding y packaging del producto.

El proyecto excluye la programación necesaria para los motores y otros componentes que la necesiten, y el cálculo de temperaturas y tiempos necesarios para fundir cada material mediante testeos reales.

También se excluye la integración y/o diseño del método de preparación del material, como el triturado o la limpieza.

Metodología

Con el propósito de alcanzar todos los objetivos del proyecto, se ha seguido una metodología dividida en cuatro fases:

01 Fase de Investigación

En esta fase se incluye una etapa de investigación acerca de la impresión 3D para introducirse en la misma, con su principio de funcionamiento, partes básicas, materiales utilizados en el campo, y características de los mismos, extrusora, etc.

También abarca un estudio sobre la situación y variedad de los sistemas actuales de reciclado en la impresión, segmentando el mercado y comparando unos con otros.

Por otro lado, con el objetivo de sacar las necesidades de usuario, se incluyen una serie de entrevistas y encuestas para generar diferentes perfiles mediante el método persona y generar un *Customer Journey*. Con ello también se ha realizado un análisis de entorno

Asimismo, se han analizado los diferentes residuos plástico y su compatibilidad para la impresión 3D, seleccionando cuales son los más favorables para la tarea.

Por último, todo ello ha servido para realizar unas conclusiones de cada análisis y generar unas especificaciones de diseño preliminares para proceder a la siguiente fase de generación de conceptos.

02 Fase de Ideación

En la siguiente fase, partiendo de estas EDPs, se incluyen una serie de conceptos, junto a su definición, usuario, secuencia de uso, etc.

Por último, esta breve fase acaba con la selección de uno de ellos para el desarrollo mediante una matriz de puntuación según unos criterios.

03 Fase de Diseño y Desarrollo

A continuación, en esta fase se procede a la definición completa del concepto escogido. Esto abarca el diseño de cada uno de sus componentes, dividiendo el producto en subconjuntos según la función desempeñada.

También se incluyen los cálculos necesarios para definir el funcionamiento, como velocidades, volúmenes, ángulos u otros, y la selección de los componentes comerciales, dimensionado y posicionamiento en función de ello.

También abarca el modelado 3D mediante el software *SolidWorks*, ensamblaje, renderizado y planos de las piezas necesarias.

Por otro lado, esta fase también abarca la definición del servicio, así como la creación de una marca y el packaging.

Por último, se incluye un presupuesto de coste del producto.

04 Fase de Testeo

Finalmente, el proyecto acaba con un pequeño testeo del funcionamiento del mismo mediante una simulación del movimiento de sus componentes y un video de montaje de sus piezas.

Planificación

La planificación inicial planteada en este proyecto se muestra por fases, indicando también las diferentes subtareas generales dentro de cada una. Se muestran a continuación:

Tabla 1: Esquema de la planificación inicial

TAREAS	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Fase de Investigación					
Documentación					
Diferentes análisis					
Conclusiones y EDPs					
Fase de Ideación					
Conceptos					
Selección del concepto					
Fase de Desarrollo					
Desarrollo de componentes					
Dimensionado					
Modelado 3D					
Branding y packaging					
Presupuesto					
Fase de Testeo					
Vídeo de funcionamiento					
Vídeo de montaje					

Pero, debido al trabajo de otros proyectos llevados simultáneamente, un cambio significativo en el desarrollo del producto final y otros más que han surgido en el modelado, teniendo que rehacer algunas partes, la planificación se ha visto afectada:

Tabla 2: Esquema de la planificación con retrasos

TAREAS	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Fase de Investigación					
Documentación					
Diferentes análisis					
Conclusiones y EDPs					
Fase de Ideación					
Conceptos					
Selección del concepto					
Fase de Desarrollo					
Desarrollo de componentes					
Dimensionado					
Modelado 3D					
Branding y packaging					
Presupuesto					
Fase de Testeo					
Vídeo de funcionamiento					
Vídeo de montaje					

INVESTIGACIÓN

Primera búsqueda de información

Tal y como se puede ver en el Anexo del Dossier, en primer lugar se buscó información acerca de varios temas relacionados para una puesta en contexto:

Impresión 3D

Se llevó a cabo un estudio acerca de los diferentes tipos de impresión 3D, destacando la FDM o FFF, de la cual trata el trabajo. Una vez aclarado el tipo de impresión, se investigó acerca de su funcionamiento, partes principales, etc.

Materiales en impresión

A continuación, se realizó una búsqueda de información acerca de los materiales en la impresión, pasando por el diámetro de filamento que deben tener, siendo el más popular el diámetro de 1,75mm en impresoras económicas y el de 2,85mm o 3mm para profesionales, así como factores que afectan a la calidad como la constancia de diámetro, si la sección es constantemente circular, impurezas...

Una vez visto esto, se estudiaron los diferentes materiales existentes utilizados en la impresión por filamento; propiedades, ventajas, desventajas, aplicaciones. De todos ellos, como se puede ver en el Anexo del Dossier, se ha realizado una tabla comparativa de los cinco más empleados y comunes como se puede ver en la *Tabla 3*.

Tabla 3: Tabla comparativa entre los materiales más usados en la impresión

MATERIAL	CARACT. FÍSICAS	VENTAJAS PRINCIP.	DESVENTAJAS PRINCIP.	APLICACIÓN
1. PLA	-Densidad: 1,24 g/cm ³ -Tg: 55°C -Tªextrusión: 190-220°C -Resist.Trac: 55MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Biodegradable e inodoro • Fácil de imprimir • Desprende agradable fragancia al imprimir. • Adecuado para el contacto con alimentos. • Rígido, fuerte • Contrae menos que ABS • Resistente a productos químicos. • Cambia de aspecto y caract. con aditivos. Compatible con gran variedad de ellos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frágil • Poco resistente al calor 	<ul style="list-style-type: none"> • Producto de un solo uso • Envase alimenticio • Prototipado estético • Piezas sin función mecánica
2. ABS	-Densidad: 1,07 g/cm ³ -Tg: 110°C -Tªextrusión: 220-250°C -Resist.Trac: 33MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Muy fácil de imprimir • Muy buenas propiedades mecánicas. • Rígido, fuerte. • Ligero • Biodegradable e inodoro • Disponible en amplia variedad de colores. • Se puede pulir, lijar, limar, agujerear, pintar y pegar con extrema facilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Frágil • Menor resistencia al calor • Menor resistencia a productos químicos. • Desprende humos tóxicos al alcanzar pto de fusión. • Filamento sensible a la humedad ambiental • Contracción considerable 	<ul style="list-style-type: none"> • Componentes de automóvil • Tubos • Piezas lego • Carcasas de electrodomesticos
3. PETG	-Densidad: 1,27 g/cm ³ -Tg: 85°C -Tªextrusión: 220-250°C -Resist.Trac: 91MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Estable químicamente • Apto para uso alimenticio. • Más resistente que PLA • Buena adhesión entre capas, objetos resistentes a la humedad, impermeables. • Alta transparencia. • Imprimible a temperaturas bajas, mayor velocidad en impresión • Poca contracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos rígido. • Más difícil que el PLA 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipamiento en jardinería • Envases alimenticios
4. Nailon	-Densidad: 1,14 g/cm ³ -Tg: 47°C -Tªextrusión: 240-260°C -Resist.Trac: 78MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Muy resistente • Buenas propiedades mecánicas • Duradero y ligero • Parcialmente flexible • Resistente al calor e impactos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de imprimir • Requiere un cabezal full-metal. • Contracción considerable 	<ul style="list-style-type: none"> • Prototipos funcionales • Piezas resistentes al desgaste.
5. TPE, TPU, TPC	-Densidad: 0,9-1,2 g/cm ³ -Tg: 60°C -Tªextrusión: 210-230°C -Resist.Trac: 150MPa	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibles. • Propiedades mecánicas muy buenas. • Buena resistencia a la intemperie. • Buena resistencia a impactos • Excelente amortiguación de vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy difíciles de imprimir • Requiere un cabezal full-metal. • Contracción considerable 	<ul style="list-style-type: none"> • Piezas de automóviles • Piezas de electrodomésticos • Equipos médicos

Extrusión y extrusores

En el este apartado se quiso investigar acerca de la extrusión en impresión comenzando a nivel más general con la extrusión industrial, viendo su funcionamiento y principales partes.

Después de eso ya se pasó a los extrusores utilizados en la impresora, viendo sus partes, los tipos, directo e indirecto, y los principales problemas que puedes aparecer en el mismo, relacionado con la temperatura, calidad del filamento, polvo y suciedad.

Sistemas de reciclaje existentes en el mercado

A continuación, se han estudiado los diferentes sistemas de reciclaje en el mercado. Los hay ya tanto comercializados como a un nivel más “casero”. Se pueden diferenciar claramente tres categorías diferentes según la forma de la materia prima que utiliza para crear el filamento:

Sistemas a partir de pellet

En esta categoría encontramos sistemas que utilizan pellet virgen y/o de materiales reciclados para crear filamento a través de un extrusor con husillo alimentado por una tolva e impulsado por un motor. Es el sistema de reciclado más común que se encuentra en el mercado, el más comercializado por diferentes empresas. En el Anexo se puede encontrar una tabla comparativa entre los diferentes sistemas en el mercado de este tipo.

Sistemas a partir de cinta procedente de botellas

En este sistema se utilizan botellas de plástico para formar una cinta previa a la extrusión. Para ello, todas estas botellas necesitan previamente un proceso de preparación; calentar el plástico para alisar sus rugosidades, cortarlas en la forma de cinta y enrollarlas en una bobina. Por el momento, no hay ningún sistema comercializado. Todos cuentan con un funcionamiento a base de un calentador, motor, engranaje y bobinas. En el Anexo se puede encontrar una tabla comparativa entre los diferentes sistemas en el mercado de este tipo.

Sistemas a partir de sobras de bobinas comercializadas

En este último sistema se utilizan los últimos metros de filamento de diferentes bobinas que normalmente se tiran, para crear nuevo hilo continuo y así aprovechar este material que se mal pierde. Todo esto lo consigue empleando el calor para fusionar dos extremos de hilo diferentes. En el Anexo del Dossier se puede encontrar una tabla comparativa entre los diferentes sistemas en el mercado de este tipo.

Tabla comparativa entre sistemas

Con el fin de comparar cada uno de ellos, se ha realizado la siguiente tabla:

Tabla 4: Tabla comparativa entre los diferentes sistemas de reciclaje

PRODUCTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	OPORTUNIDADES
Sistemas a partir de pellet	<ul style="list-style-type: none"> Gran libertad para reciclar más elementos disponibles en casa y materiales. Se puede dar diferentes diámetros según necesidad. Permite crear materiales compuestos implementando cargas. Permite dar y crear colores. Por lo general, permiten controlar y regular la temperatura del extrusor. Posibilidad de que sea el propio cabezal y no un dispositivo externo. 	<ul style="list-style-type: none"> Mucha competencia en el mercado. La preparación del material; triturarlo en granos. Si no se tritura uniformemente y quedan granos demasiado grandes, puede ser que no fundan del todo y que por tanto el material una vez en la pieza sea en esas partes más débiles. Suelen ser pensadas de cara a la industria. Precios bastante altos. Por lo general no incluye un sistema de bobinado. En general, tolva pequeña de manera que no permite crear mucho hilo con un solo llenado de la misma. El usuario no pone la temperatura adecuada para el plástico 	<ul style="list-style-type: none"> Incluir una trituradora que asegure el mismo tamaño de grano. Incluir un sistema de bobinado. Incluir un sistema de alimentación con mayor capacidad. Incluir un manual de usuario sencillo que indique las temperaturas a dar al extrusor según material y/o combinaciones, que además te diga que productos en casa contienen dichos materiales para utilizarlos y te indique que combinaciones pueden hacerse y cuales no. Incluir el último punto en una pantalla táctil integrada al producto
Sistemas a partir de cintas procedentes de botellas	<ul style="list-style-type: none"> Nula competencia en el mercado. La mayoría de las piezas pueden ser impresas por el usuario. El resto son comerciales, de manera que es económica. Se puede dar diferentes diámetros según necesidad. Se puede controlar la velocidad del motor, es decir, la de producción, mediante un potenciómetro. Por lo general, permiten controlar y regular la temperatura del extrusor. 	<ul style="list-style-type: none"> La preparación de la botella; calentarla para quitar sus rugosidades y cortarla, que además va separada de la propia máquina. El material a reciclar se restringe a PET y variantes. El sistema de bobinado está poco desarrollado, hay que estar pendiente para distribuir el hilo en la bobina. La longitud de hilo de la bobina resultante dependerá del tamaño de la botella, de manera que por norma se generarán bobinas de poca longitud. Si el usuario no tiene conocimiento, puede dar una velocidad incorrecta, evitando formar hilo en buenas condiciones. No está desarrollado el sistema de sujeción de el primer tramo de hilo con la bobina (actualmente se hace tirando con alicates). El usuario no pone la temperatura adecuada para el plástico 	<ul style="list-style-type: none"> Incluir un sistema de bobinado autónomo. Incluir un sistema de preparación de la botella autónomo. Incluir un sistema de unión entre diferentes bobinas producidas. Incluir una interfaz sencilla para el usuario, con unas marcas fijas de niveles de velocidad del motor para según el material y velocidad deseados, pero que aseguren las correctas.
Sistemas a partir de cintas procedentes de botellas	<ul style="list-style-type: none"> Poca competencia en el mercado. Permite mezclar diferentes colores de hilo. No se necesita preparación del material como en los anteriores. Posibilidad de que sea el propio cabezal y no un dispositivo externo. Sencillo de usar 	<ul style="list-style-type: none"> Se deben emplear siempre hilo de mismo diámetro. No permite reciclar apenas elementos, se reduce tan solo al reciclaje del hilo 	<ul style="list-style-type: none"> Hacer un híbrido entre el sistema pellet para que este sea tan solo asistente que mantenga la producción constante de hilo cuando la tolva acaba.

Análisis de usuario

Para poder distinguir los diferentes usuarios y a su vez poder ampliar el conocimiento sobre este campo y saber de primera mano su opinión sobre el reciclaje de los plásticos en impresión, se han llevado a cabo cinco entrevistas y una encuesta a personas que posean una impresora 3D, para así finalmente poder generar varios perfiles. Todas estas entrevistas pueden verse en el Anexo.

Con ellas, se han generado unas conclusiones de las que se pueden destacar las siguientes:

- Claramente se pueden distinguir dos **tipos de usuario**: el **usuario amateur** en impresión, que imprime por hobby con su impresora en casa, no consume mucho plástico y por tanto, no produce mucho desperdicio y suele utilizar PLA, y el **usuario** que utiliza la impresión **en su trabajo**, que consume bastante más plástico y por tanto produce más sobras, y además ha trabajado con una amplia variedad de materiales según la aplicación de la pieza.
- Los **materiales** que más gustan para imprimir son el **PLA**, por su facilidad de impresión, siempre y cuando no se busque un acabado bueno ni buenas propiedades mecánicas, y el **ABS**, cuando al contrario que el PLA, se busca estos acabados y propiedades, aunque es más difícil de imprimir, ya que tiene peor adherencia entre capas.
- En cuanto a **desperdicio de material de impresión**, depende completamente de la impresora, en el usuario **amateur** que suele tener una impresora menos estable, suele producir bastantes piezas defectuosas por la mala calidad de impresión. En cambio, soportes, pocos, pues esta mala calidad de impresión se hace muy complicado usarlos. Para el usuario que imprime en **trabajo**, pasa justo lo contrario, al tener impresoras de mayor calidad, la cantidad de piezas defectuosas es menor y de soportes mayor, ya que al ser una impresora buena que permite generarlos sin dar problemas.
- Todos los usuarios **tienden a guardar los restos de impresión** porque les da cosa tirarlo y piensan que en un futuro podrán hacer algo con ellos. El **problema** es que **no separan** estas sobras por material, algo necesario para su reciclaje.
- En cuanto a sobras de impresión, las **piezas defectuosas** además de por fallos de la impresora, también se pueden generar **por fallo en el diseño** del usuario, calcular mal unas tolerancias, dejarse alguna parte, dimensionado, etc. También cabe destacar que además de piezas defectuosas, sobrante de hilo o soportes, se genera mucho **desecho en prototipos** que tienen un **tiempo de vida útil muy breve** o que tras un uso ya no te sirven.

Con estas conclusiones, se ha realizado un método persona en el cual se han generado dos perfiles; usuario amateur y usuario profesional:

Usuario amateur**Javier Martinez** *"En casa apañó cualquier cosa"*

EDAD 23
TRABAJO/ ESTUDIOS Estudios Universitarios
FRECUENCIA EN IMPRESIÓN Media-Baja

CONTEXTO DE USO IMPRESIÓN Hobbie

IMPRESORA Ender 3

NIVEL ADQUISITIVO Medio-Bajo

MARCAS**CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA**

- Calidad de impresión: baja
- Materiales usados: PLA
- Precisión dimensional: baja
- Ubicación: casa

DESECHOS

- Cantidad de desperdicios: Baja
- Tipos de desechos más comunes: piezas defectuosas por impresión, piezas defectuosas por mal diseño (en dimensiones, tolerancias, etc.) y de vez en cuando sobrantes de bobinas.

VISIÓN ACERCA DEL RECICLAJE

- Disposición a utilizar un sistema de reciclaje: sí, si es barato y fácil
- Conocimiento sobre sistemas de reciclaje actuales: bajo
- Conocimiento sobre formulación de plásticos y compatibilidad: baja
- Visión acerca del reciclaje de basura plástica generada en casa: pesimista
- En general, miedo a utilizar nuevos plásticos en impresión

OBJETIVOS

- Hacer regalos creativos a las personas de su alrededor.
- Entretenerse
- Arreglar objetos en casa modelando e imprimiendo las piezas rotas.
- Diseñar e imprimir a medida objetos que ayuden en casa como organizadores de cajones, para los mandos de televisión, etc.

FRUSTRACIONES

- Cuando cambio de color de PLA, la parte baja de la pieza sale con colores mezclados.
- Se me taponó el extrusor muchas veces.
- Me es imposible generar piezas complejas, ya que mi impresora es un desastre generando soportes.
- 1 de cada 4 piezas que hago salen defectuosas por fallos de impresión.
- Muchas veces me equivoco con algunas dimensiones y tengo que volver a imprimir la pieza entera.
- Si se me acaba el hilo en medio de una impresión, lo generado tengo que tirarlo y volver a empezar.
- No sé qué hacer con las piezas defectuosas, las guardo en una caja.

Figura 1: Perfil del usuario amateur

Usuario profesional**Francisco Hernandez** *"La impresión tiene infinitas posibilidades"*

EDAD 42
TRABAJO/ ESTUDIOS Ingeniero

FRECUENCIA EN IMPRESIÓN Alta

CONTEXTO DE USO IMPRESIÓN Trabajo

IMPRESORA Ultimaker S5

NIVEL ADQUISITIVO Medio-Alto

MARCAS**CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA**

- Calidad de impresión: alta
- Materiales usados: ABS, PLA principalmente, pero también muchos otros como PETG.
- Precisión dimensional: media-alta
- Ubicación: laboratorio

DESECHOS

- Cantidad de desperdicios: Alta
- Tipos de desechos más comunes: sobrantes de hilo de bobinas, soportes, alguna pieza defectuosa, pero sobre todo prototipos con corta vida útil.

VISIÓN ACERCA DEL RECICLAJE

- Disposición a utilizar un sistema de reciclaje: sí
- Conocimiento sobre sistemas de reciclaje actuales: medio
- Conocimiento sobre formulación de plásticos y compatibilidad: media
- Visión acerca del reciclaje de basura plástica generada en casa: neutral
- En general, un poco miedo a utilizar nuevos plásticos en impresión y en ese caso, siempre utilizar el mismo, ej: botellas de agua

OBJETIVOS

- Gastar el menor material posible.
- Crear prototipos buenos en cuanto a acabados.
- Si necesario, crear prototipos buenos en cuanto a propiedades mecánicas.

FRUSTRACIONES

- El extrusor se taponó muchas veces, sobre todo cuando es material cargado con fibra, o cuando de material, o cuando el material coge agua.
- No sé qué hacer con todos los restos de impresión, me da cosa tirarlos, los guardo en una caja todos juntos.
- A veces, para algunas piezas grandes se gasta muchísimo material, sale carísimo.

Figura 2: Perfil de usuario profesional

Residuos reciclables en impresión

A continuación se han estudiado los diferentes residuos que podrían ser reciclables en impresión, se pueden dividir en dos grandes bloques:

Residuos de impresión

Entre los que se encuentran:

- **Pieza defectuosa:** por una mala impresión o por fallo en el diseño (dimensional, tolerancias, falta una parte de la pieza...)
- **Filamento sobrante de bobina**
- **Material de soporte**
- **Carrete de soporte de la bobina:** pueden ser de diversos materiales, PC, PS, ABS o SAN. Viene indicado de manera fácil de ver normalmente.

Residuos producidos por el usuario de otros ámbitos

Como se puede ver en el Anexo del Dossier, se han enumerado diversos residuos con sus materiales de varios campos como alimentación, papelería, juguetes, limpieza, higiene personal.

Con todos ello, se ha creado una tabla en la cual se han clasificado por materias aquellos envases o residuos que fuesen de alguno de los materiales ya mencionados anteriormente para impresión.

Conclusiones

Con todo esto, se ha elaborado unas conclusiones en las cuales se han seleccionado, además de los residuos de la propia impresión, las botellas y los vasos desechables de PLA para reciclar en el producto a desarrollar.

El resto de productos, aunque también se produzcan en cierta forma constante, no se puede asegurar su material, ya que no viene información sobre ello en el envoltorio o envase, de manera que no es fiable usarlos para imprimir si no es seguro el cocimiento del material.

Análisis de entorno

Una vez hecho el análisis de usuario, como se ha visto anteriormente, se han diferenciado dos posibles perfiles de usuario; amateur y profesional. Cada uno de ellos se encuentra bajo un entorno ligeramente diferente, de manera que se ha procedido a estudiar cada uno de ellos y se han generado las siguientes conclusiones:

Doméstico

- El producto no requerirá de herramientas complejas, es decir, nada más allá de un destornillador básico o similar. Si no es así, deberá incluir lo necesario.
- El producto deberá tener unas dimensiones reducidas, lo más posible.
- Esta carcasa deberá ser formalmente simple para una limpieza sencilla y de un material resistente a los agentes químicos.
- El producto deberá ser dificultoso de mover a ojos de mascotas y niños. Ejemplo, base pesada, gomas antideslizantes en la base, etc.
- Aquellas partes eléctricas, deberán ir protegidas y/o estar bien selladas.
- Los materiales del producto deberán ser lo suficientemente estables térmicamente para aguantar el calor de la calefacción en invierno.
-

Taller/laboratorio

- El dispositivo tendrá permitido requerir si necesario de herramientas en el montaje, sin necesidad de tener que incluirlas en el producto.
- El producto podrá tener unas dimensiones mayores al doméstico si necesario.
- El producto podrá utilizar materiales cuyo trabajo de preparación sea más complejo, abriendo más las posibilidades.
- Esta carcasa deberá ser formalmente simple para una limpieza sencilla y de un material resistente a los agentes químicos.

Especificaciones de diseño

Tras toda la investigación anterior y sus conclusiones, se han extraído unas especificaciones de diseño generales que han guiado la fase siguiente de generación de conceptos.

Como se puede ver en el Anexo del Dossier, se han clasificado en diferentes apartados como vida útil, coste, dimensiones, ergonomía, seguridad, montaje, materiales, etc. Pero, de todas ellas, se pueden destacar las siguientes:

Funcionalidad

- Deberá ser un dispositivo que permita reciclar tanto materiales de impresión como otros residuos plásticos.
- La forma final de este material reciclado será en forma de filamento.
- Deberá ser capaz de producir los dos tamaños normalizados de hilo: diámetros de 1,75mm y 2,85mm.
- Deberá ser capaz de bobinar el filamento de manera autónoma.

Usuarios objetivos

- Deberá estar pensado para uno de los siguientes usuarios: **usuario amateur** en impresión, que imprime por hobby con su impresora en casa, no consume mucho plástico y por tanto, no produce mucho desperdicio y suele utilizar PLA, y el **usuario profesional**, que consume bastante más plástico y por tanto produce más sobras, y además ha trabajado con una amplia variedad de materiales según la aplicación de la pieza.

Entorno

- El entorno podrá ser, según el usuario, doméstico o taller/laboratorio.
- Para el entorno doméstico, el producto deberá ser dificultoso de mover a ojos de mascotas y niños. Ejemplo, base pesada, gomas antideslizantes en la base, etc.

IDEACIÓN

Una vez acabada la etapa de investigación, y tras formar unas especificaciones de diseño, se ha procedido a la fase de ideación, mediante la cual tras una lluvia de ideas, han surgido los siguientes conceptos:

Concepto 1: *Do It Yourself*

Definición

Se trataría de un servicio en el cual se proporcionasen al usuario todo lo necesario para crear un dispositivo de reciclaje de plásticos para su conversión el nuevo filamento en forma de bobina. Empezando por facilitar archivos .STL listos para imprimir de todas aquellas partes del producto imprimibles. El resto, como el extrusor, pantalla u otros componentes, se enviarían a domicilio o se recogerían en tienda.

Además, también se proporcionarían vídeos explicativos para el montaje del mismo, y las herramientas para hacerlo, siempre que fuesen necesarias.

Por último, para ayudar al usuario en la selección de materiales y los residuos, se incluiría una guía en la cual en función de la aplicación de la pieza y propiedades que se quisiese dar, recomendase materiales y dijese de qué residuos se podrían sacar.

De esta manera, este servicio iría dirigido a **usuarios amateur** que imprimen con una frecuencia media y desechan una cantidad relativamente baja de plástico. Estos usuarios tienen impresoras de unos 250€ y por tanto necesitan de un sistema con un precio menor a esto.

De esta manera, el producto iría dirigido a **un entorno doméstico** y por tanto, deberá ceñirse a las especificaciones de diseño de este.

Para más detalles consultar Anexo del Dossier (factor diferenciación, componentes, EDPs...)

Boceto

A continuación se muestra un boceto de la composición de los elementos:

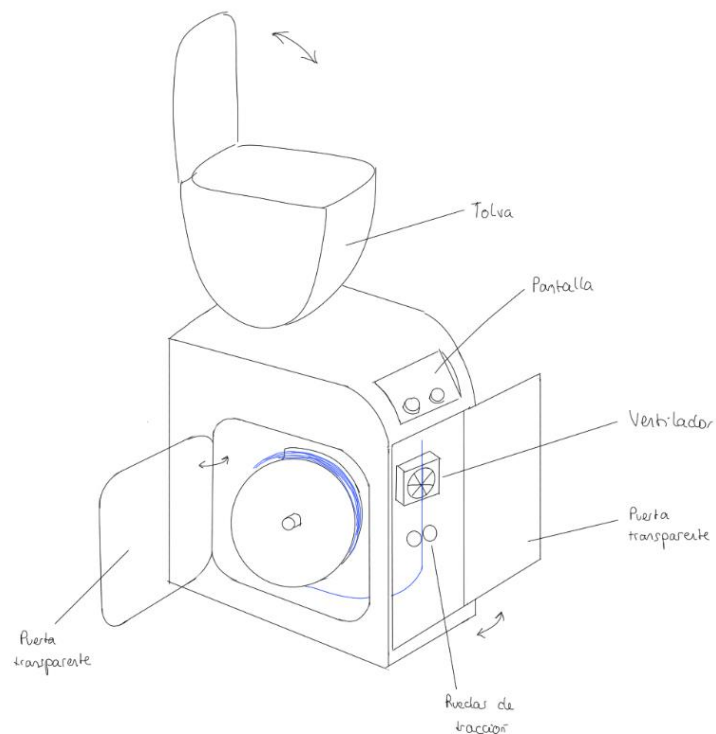


Ilustración 1: Concepto 1: Do It Yourself

Secuencia de uso



Ilustración 2: Secuencia de uso del concepto 1

Concepto 2: *Punto de recogida*

Definición

Consistiría en un servicio en el cual se establecería un punto de recogida de materiales plásticos de sobras de impresión o de residuos de casa.

Al usuario se le sería entregado unos pequeños contenedores para acumulación y separación de plásticos en el cual tuviese varias cavidades en función del material. Estas cavidades, tendría un volumen específico el cual una vez lleno, significaría que el usuario tendría la cantidad perfecta para llevar este material al punto de recogida y obtener una bobina a cambio, pagando una pequeña suma de dinero. El usuario, aunque solo acumulase un material, una vez allí podría consultar disponibilidad de otros materiales e incluso otros colores para elegir,

El material procedente de los usuarios una vez allí sería triturado y convertido a hilo por un dispositivo.

Por tanto, este servicio iría dirigido a **usuarios amateur** que imprimen con una frecuencia media y desechan una cantidad relativamente baja de plástico. Concretamente, aquellos más reacios a comprar o montar el propio sistema de reciclaje, o que incluso les asusta la complejidad del proceso.

El dispositivo de reciclaje iría dirigido a un **entorno de taller/laboratorio** y por tanto, deberá ceñirse a las especificaciones de diseño de este. Además se deberá considerar el entorno doméstico a la hora del diseño de los contenedores para el usuario cliente final.

Para más detalles consultar Anexo del Dossier (factor diferenciación, componentes, EDPs...)

Boceto

A continuación se muestra un boceto con sus partes principales:

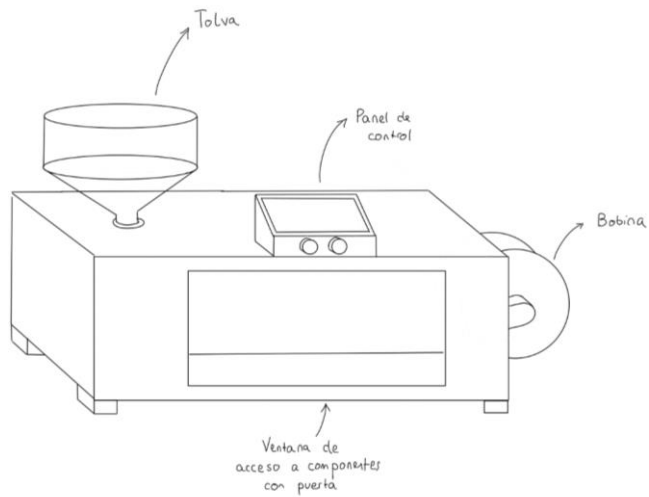


Ilustración 4: Máquina utilizada en el punto de recogida

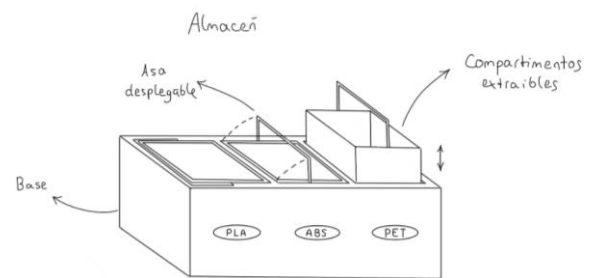


Ilustración 3: Almacén proporcionado al usuario

Secuencia de uso



Ilustración 5: Secuencia de uso utilizada en el concepto 2

Concepto 3: *Módulo de reciclaje*

Definición

El concepto consistiría en un módulo de reciclaje, es decir, un dispositivo de reciclaje en un formato especial el cual pudiese acoplarse a cualquier impresora FDM de forma universal. Y que de esta manera, una vez introducido el pellet, lo convirtiese en filamento, dando la posibilidad de acumularlo al lado mientras se utiliza otra bobina de material, o directamente alimentar mientras se produce.

Además, para ayudar al usuario en la selección de materiales y los residuos, se incluiría una guía en la cual en función de la aplicación de la pieza y propiedades que se le quisiese dar, recomendase materiales e indicase de que residuos constates y accesibles en casa se podrían sacar.

La idea de este módulo sería que se vendería este primero de base, que sería algo sencillo, pero que si el usuario quisiese, se le pudiesen añadir otros pequeños módulos o ampliaciones.

En este caso, al ser un producto polivalente, el usuario objetivo podría ser tanto el **usuario amateur**, adquiriendo tan solo el módulo base de reciclaje, tanto el **profesional**, adquiriendo las diferentes ampliaciones formando así un producto más grande, complejo y profesional.

En el caso de que el usuario amateur empezase a evolucionar a un perfil más profesional, como podría pasar en el caso de estudiantes universitarios, este producto daría así la opción de hacerlo con él, permitiendo al usuario poco a poco ir integrando el resto de módulos a su gusto.

Por tanto, como podría servir para ambos usuarios, el producto irá dirigido a **ambos entornos; doméstico y taller**. En el caso del módulo de reciclaje base, deberá estar adaptado principalmente a las especificaciones de entorno doméstico y el resto de ampliaciones al entorno de laboratorio/taller.

Para más detalles consultar Anexo (factor diferenciación, componentes, EDPs...)

Boceto

A continuación se muestra un boceto con sus partes principales:

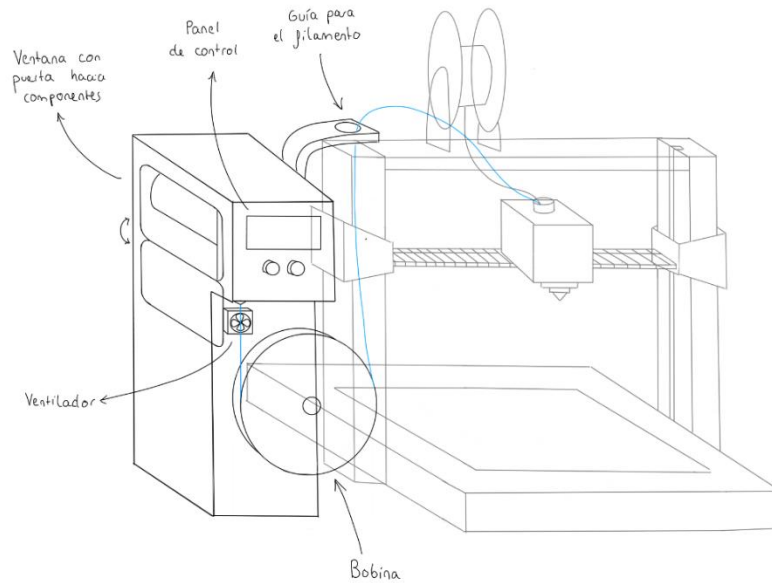


Ilustración 6: Concepto 3: Módulo de reciclaje

Secuencia de uso



Ilustración 7: Secuencia de uso del concepto 3

Selección del concepto

Para seleccionar el concepto a desarrollar, se ha generado una matriz de selección en base a unos criterios que se explican en el Anexo del Dossier. Cada uno de los conceptos ha sido valorado en función de ellos, recibiendo una puntuación del 0 al 5, para generar de esta manera diferentes puntuaciones entre ellos.

Finalmente, el concepto ganador ha sido el **Concepto 1: *Do It Yourself***, en el cual se pueden destacar aspectos como:

- **La satisfacción de los usuarios:** ya que al preguntarles, todos afirmaron que era una buena idea y original.
- **La preferencia de los usuarios:** ya que el 100% de ellos eligió este por encima del resto.
- **La complejidad:** ya que técnicamente, es el más sencillo y que por tanto, el que mejor se podrá desarrollar en el proyecto.
- **El mantenimiento:** ya que al ser montable y desmontable, es fácil cambiar una pieza si se estropea o romper, sobre todo si esta pieza es de las impresas, ya que puedes volver a fabricarla rápidamente sin tener que comprar nada.
- **El medioambiente:** ya que al ser el propio cliente el que imprime muchas de las piezas, se ahorra mucha energía y materiales disminuyendo procesos de fabricación de las mismas, además al transportar pocas piezas y ir desmontado, se ahorra también mucha energía en transporte y asimismo evitas el montaje en planta que sería un paso más en la fabricación.

DISEÑO Y DESARROLLO

Cabe destacar que, tal y como se explica en el concepto escogido, su principio de funcionamiento se basaba en el uso de una extrusora, pero, tras un estudio acerca de ello, se ha visto que era demasiado complejo a nivel técnico.

Aun así, también se ha intentado encontrar husillos y cuerpos comerciales para plástico que pudiesen adaptarse a la necesidad para así evitar hacer este desarrollo técnico. Pero, se ha visto que tienen un precio demasiado elevado, ya que en general no bajan de los 1000€. Como excepción, se han encontrado conjuntos de husillo, cuerpo y resistencias por valor aproximado de 250€ en la web *Aliexpress*. [1]

De manera que se ha pensado en una alternativa para la parte de conversión de pellet a hilo y ha surgido la idea de utilizar un mecanismo similar al que utiliza un **plastómetro**.

Gracias a una profesora del área de materiales, se pudo ver en primera persona y comprobar su funcionamiento y partes.

De esta manera, un **plastómetro** es un dispositivo que se utiliza en laboratorios para medir el nivel de fluidez de un material, generalmente plástico. En él, se vierte material en forma de granza dentro de una cavidad tubular que es calentada por resistencias. Una vez el material funde y alcanza una temperatura homogénea, mediante un sistema de pesas, se le hace pasar a este material fundido por un cabezal de abertura cónica de pequeño diámetro.

El resultado del proceso es un filamento de mayor o menor diámetro según el peso empleado cayendo a una velocidad según su fluidez; a mayor peso, mayor es la velocidad de salida del material y por tanto menor es el diámetro del filamento producido, por lo contrario, a menor peso, menor es la velocidad de salida y mayor es el diámetro del hilo. Esto varía según el material utilizado.

Desarrollo técnico

Tras este cambio a nivel de componentes en el producto, se han vuelto a estudiar los diferentes sistemas que compondrán el mismo (en el Anexo del Dossier se puede observar el primer desarrollo técnico con la extrusora). Para ello, se ha hecho un boceto preliminar del mecanismo del producto, con todos los componentes necesarios, que finalmente han ido cambiando:

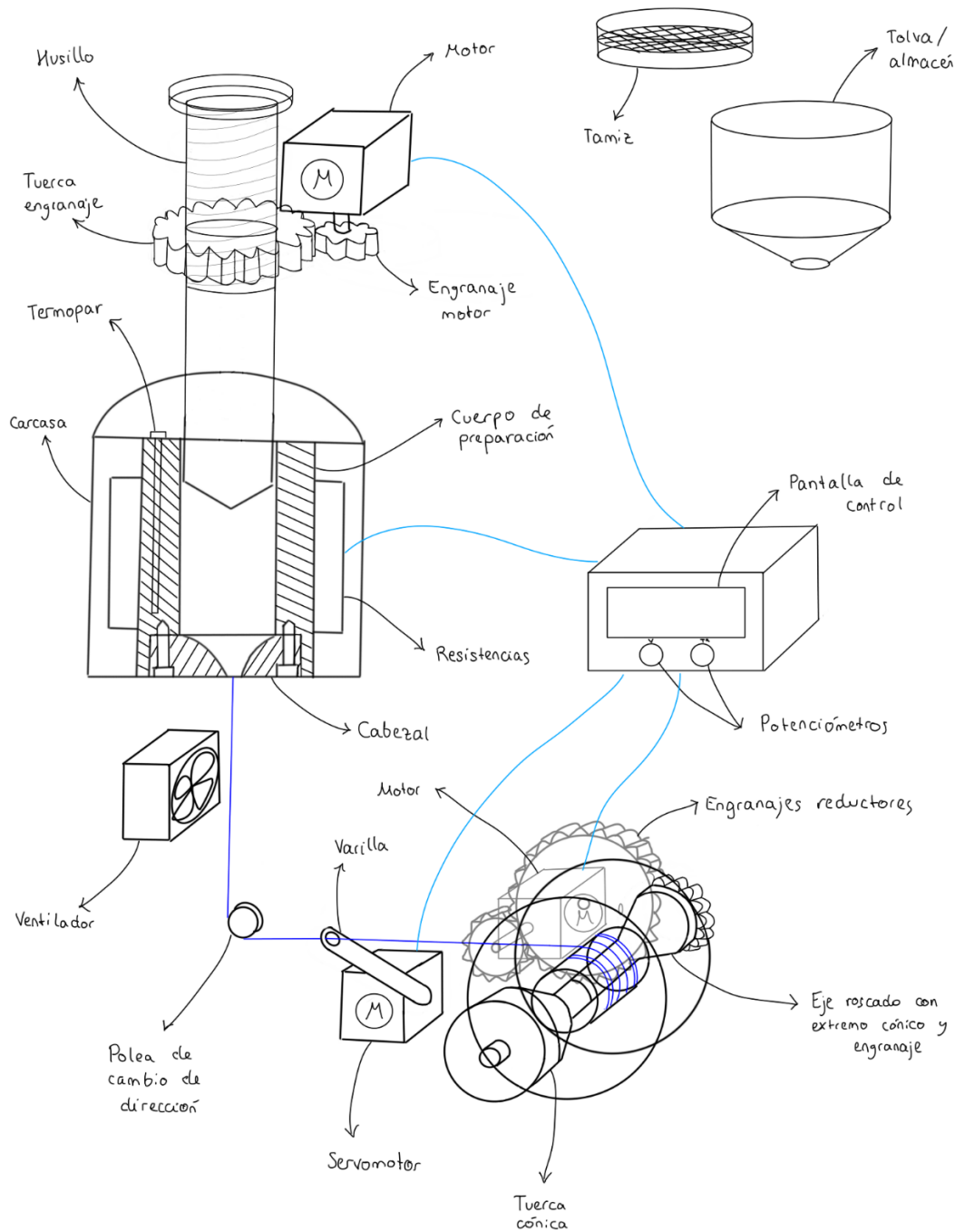


Ilustración 8: Conjunto de componentes inicial

Además, se ha realizado un esquema de los componentes agrupándolos en varios conjuntos según la función desempeñada; sistema de alimentación, sistema de preparación del material, sistema de accionamiento, sistema de ordenación del filamento, sistema de refrigeración, sistema de re direccionamiento del filamento, sistema de bobinado, sistema de control y elementos comerciales, de manera que se han ido estudiando ordenadamente la manera más eficiente de solucionar cada uno de ellos. En el

Anexo puede observarse un esquema de todos los componentes divididos en estos conjuntos.

A continuación, en cada uno de los sistemas, se estudian y bocetan varias ideas en las cuales finalmente mediante una tabla de ventajas y desventajas, se elige el más óptimo. Esto puede verse en el Anexo del Dossier, ya que a continuación tan solo se muestran estas ideas ganadoras:

Sistema de alimentación

Se basa en una compuerta giratoria. Para ello, este sistema estaría compuesto de varias piezas; La tolva-almacén la cual en el suelo de la boca estarían una de las dos partes de los agujeros, además, en el exterior de la boca habría una rosca, esta roca sería para la siguiente pieza, una tuerca. Entre estas dos piezas se encontraría la pieza giratoria que contendría el mismo patrón de agujeros de cuartos. Por último, para mejorar la interacción y ergonomía del gira, se le añadirían a la pieza giratoria unos agarres.

Por el otro lado estaría el tamiz, que se colocaría en la parte superior de la tolva y sería igual que en las demás ideas.

En el Anexo se encuentran más bocetos detallando el mismo.

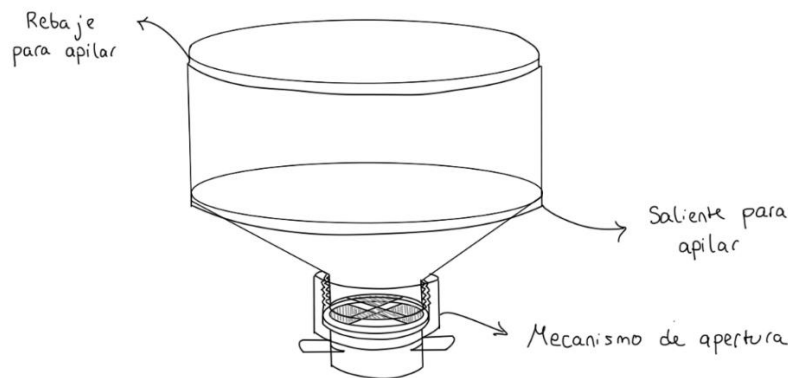


Ilustración 9: Sistema de alimentación elegido

Sistema de preparación del material

Consiste en un cuerpo con una cavidad en la cual se introduce el material, que mediante unas resistencias tipo abrazadera, se logra fundir. Después, mediante el cabezal, le da forma de filamento. En este sistema también se incluyen el material aislante y la carcasa que asilan el calor:

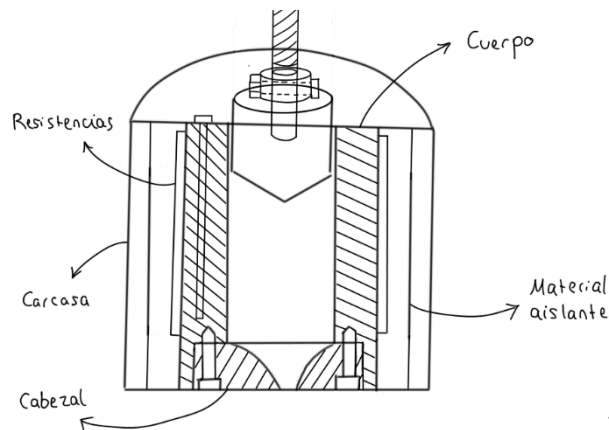


Ilustración 10: Sistema de preparación del material

Sistema de accionamiento

Aunque el plastómetro visto en el laboratorio funcionaba a base de colocar pesas de mayor o menor peso en función del material y diámetro de hilo deseado, se optó, teniendo en cuenta las especificaciones de diseño, por un sistema automático.

De manera que finalmente, se ha optado por un actuador lineal comercial.

Sistema de ordenación del filamento

Por otro lado, se encuentra el sistema de ordenación del hilo. Tras la fase de investigación, se pudo ver que era algo necesario y que se echaba en falta en todos los sistemas actuales. De manera que si se quiere automatizar el proceso para facilitar la tarea al usuario, es necesario integrarlo, ya que el hilo por sí solo no se distribuye de manera óptima en el carrete. Esta solución, además de evitar que el usuario esté pendiente, ayuda a prevenir los nudos que a veces se generan en la bobina y pueden parar la impresión.

Finalmente se eligió un motor con una varilla que tiene un orificio por donde pasa el filamento que oscila cierto ángulo a cierta velocidad angular.

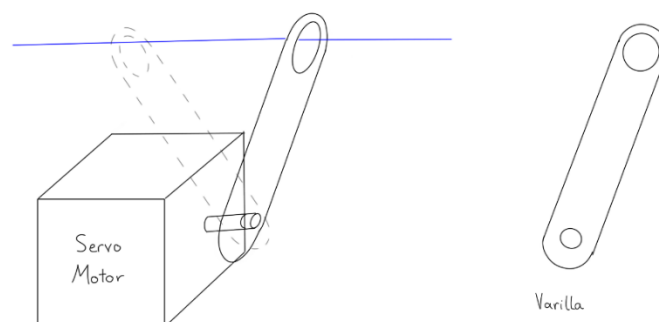


Ilustración 11: Sistema de ordenación por servomotor

Sistema de refrigeración

En este sistema, tan solo cabe destacar que se escogió un ventilador adecuado. Además también van incluidas las piezas para sujetarlo y fijarlo.

Sistema de re direccionamiento del filamento

La función de este sistema es cambiar la dirección de movimiento del hilo 90°. En cuanto componentes, es bastante sencillo. Tan solo es necesario una rueda sencilla con un canal, como el de una polea, y un eje para que pueda girar entre sí.

Sistema de bobinado

El sistema de bobinado consiste en recoger el filamento producido y guiado por el sistema de ordenación, enrollándolo en un carrete. Para ello, este necesita girar a la misma velocidad lineal que el filamento, de manera que mediante un tren de engranajes se transmite al carrete un par generado por un motor con la velocidad angular necesaria. Este sistema se detalla mejor más adelante en el apartado de Componentes del Producto Final.

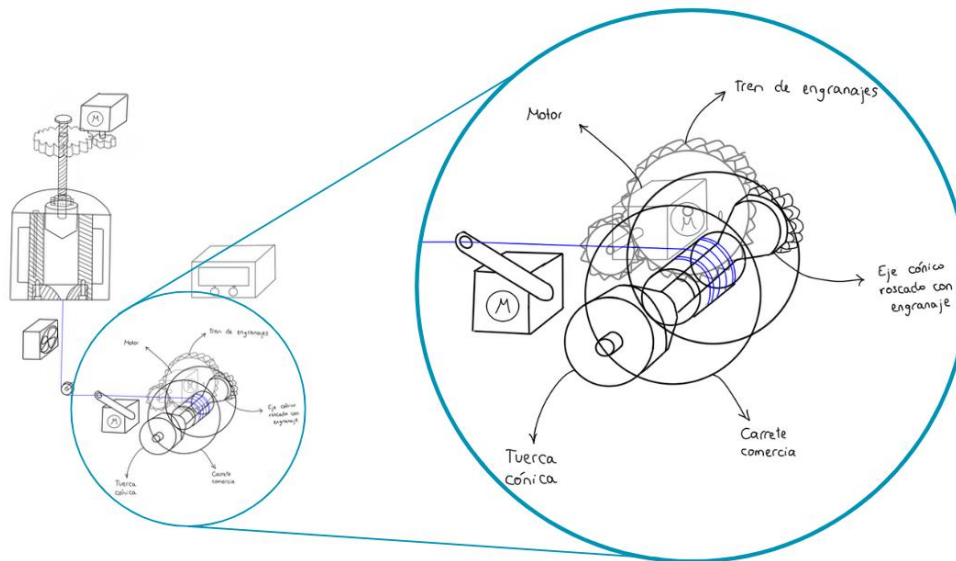


Ilustración 12: Sistema de bobinado

Sistema de control

Consiste en aquellos componentes que sirven para controlar, medir o visualizar los diferentes parámetros del conjunto. En el Anexo del Dossier se explican más detalladamente. A continuación, un esquema del mismo con sus conexiones:

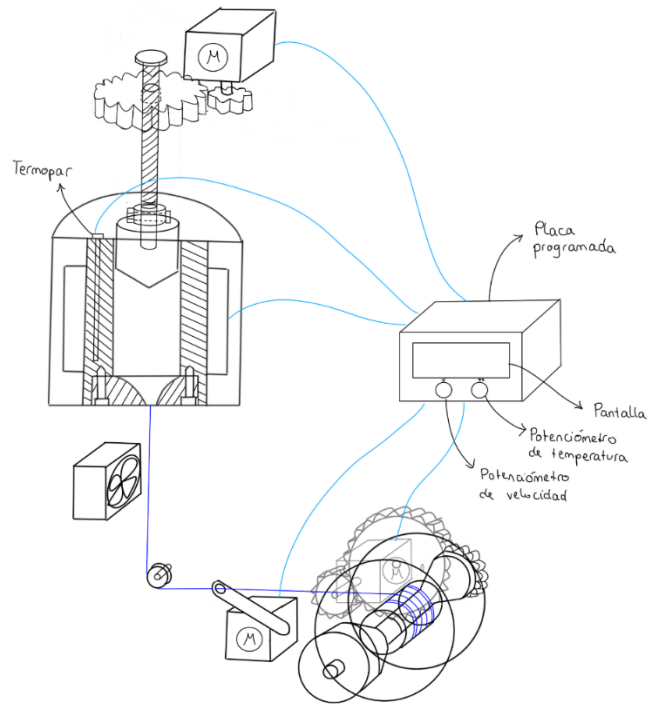


Ilustración 13: Sistema de control

Sistema de soporte

Por último tenemos el sistema de soporte, cuya función es la de posicionar y fijar los diferentes componentes en el espacio. Están compuestos por muchas piezas que se verán más adelante, pero en general, pueden dividirse en tres bloques:

SOPORTE DEL ACTUADOR LINEAL

Finalmente se ha optado por unir por la parte superior al actuador lineal mediante tornillos a una placa metálica y que esta a su vez sea sustentada por cuatro barras. Estas barras estarían unidas a otra placa a su vez unida al cuerpo metálico.

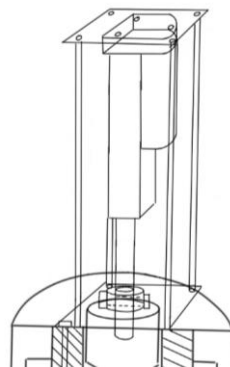


Ilustración 14: Sistema de soporte del actuador lineal de barras

SOPORTE DEL SISTEMA DEL BOBINADO

Consiste en dos placas que pueden ser impresas con alojamientos para los ejes y rodamientos de los diferentes engranajes. Una primera versión es la siguiente:

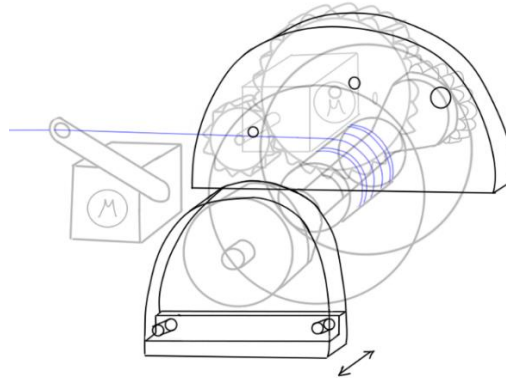


Ilustración 15: Sistema de soporte del bobinado

SOPORTE DE TODO EL CONJUNTO

En un principio se han utilizado dos barras huecas para sujetar todo el conjunto de accionamiento y preparación del material, a las cuales se fijarán mediante abrazaderas el sistema de refrigeración y el de re direccionamiento del filamento. Aunque finalmente han evolucionado a tres como se puede ver en el producto final.

Estas barras van unidas a una base que puede ser una placa o conglomerado con las correspondientes muescas y cavidades para colocar el resto de elementos.

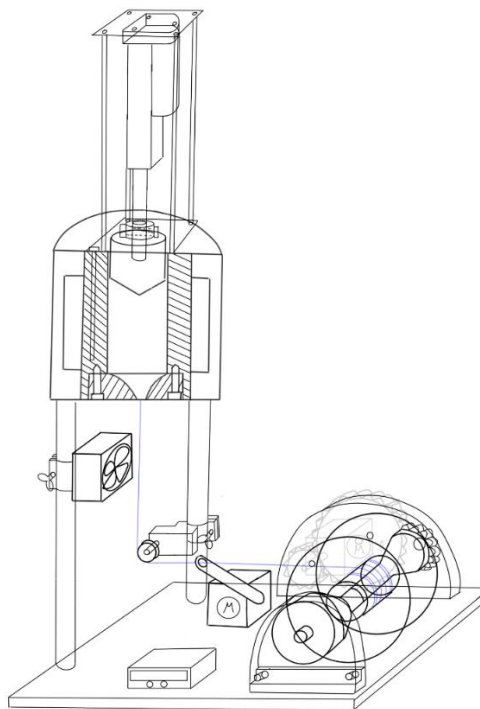


Ilustración 16: Sistema de soporte de todo el conjunto

Dimensionado

A continuación, se ha procedido a hacer el dimensionado de aquellos no comerciales.

Pero, antes de ello, ha sido necesario conocer las dimensiones de todos los comerciales, influyen en el diseño del resto. Todos estos componentes comerciales seleccionados, se pueden encontrar en el Anexo del Dossier.

En cuanto al resto de elementos, su dimensionado también puede verse en el Anexo del Dossier. Pero, a continuación, se exponen algunos componentes para los cuales ha debido hacerse varios cálculos algo más complejos que el resto:

Engranajes

Para definir los engranajes, ha sido necesario antes calcular la velocidad de filamento ϑ_f y por tanto, la velocidad angular ω que debe llevar el engranaje que gira simultáneamente con la bobina, siendo:

$$\vartheta_f = 20 \text{ mm/s}$$

$$\omega_0 = 0,5 \text{ rad/s en la primera capa}$$

$$\text{Siendo } \omega_n = \frac{20}{40 + 1,75n} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] \text{ la ecuación para la capa } n \text{ de filamento}$$

Para calcular el número de dientes, radio y módulo, basta con tomar la velocidad angular de la capa 0, $\omega_0 = 5 \text{ rpm}$, y la velocidad angular de motor $\omega_m = 66 \text{ rpm}$, siendo la relación de transmisión $K = 14$. De manera que, finalmente, los engranajes han resultado tener un módulo de 2,5 y los siguientes parámetros:

Tabla 5: Parámetros de los engranajes

Engranaje	1	2	3	4
Z_n	10	30	10	44
ω (rpm)	66	22	22	5
R_n (mm)	12	36	12	52,8

Varilla del servomotor

Como se puede ver en el Anexo del Dossier, además de calcular la longitud de radio r , se ha calculado también a la velocidad angular a la que debe girar, así como el ángulo en relación al ancho del carrete.

De esta manera, la velocidad angular sigue nuevamente una ecuación en relación al número de capa n :

$$\omega_n = \frac{v_n}{r} = \frac{0,138 - 0,005n}{r}$$

Además, a partir de las dimensiones del carrete, su altura con respecto al suero y la altura del eje del servomotor, se ha calculado que $r = 65mm$.

Por último, el ángulo que deberá girar será $\alpha = 2\beta = 45,24^\circ \approx 45^\circ$

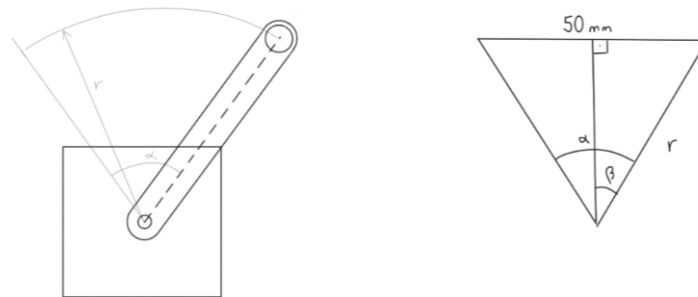


Ilustración 17: Cálculo del ángulo α

Soportes del sistema de bobinado

Para dimensionar los soportes de los engranajes, debemos primero posicionar los centros de los ejes de los mismos.

En cuanto a la altura h de los centros, la ha dado el carrete, ya que es el mayor diámetro, con $r = 80mm$, que sumándole un margen de $30mm$, la altura de los centros deberá ser $h = 110mm$.

En cuanto a la distancia entre centros, siendo C_1 la distancia entre el engranaje del motor y el engranaje 2-3, y C_2 la distancia entre el engranaje 2-3 y el del carrete:

$$C_1 = \frac{2,5(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{2,5(10 + 30)}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$C_2 = \frac{2,5(Z_3 + Z_4)}{2} = \frac{2,5(10 + 44)}{2} = 67,5 \text{ mm}$$

Cuerpo del plastómetro

Para dimensionar el cuerpo del plastómetro se han tenido en cuenta las medidas más restrictivas, el diámetro y altura de la cavidad en la cual se prepara el material.

Para calcularlas, se ha partido de la cantidad de filamento que se ha querido sacar, $500g$ más un 5% por pérdidas, $m = 525g$. Por tanto, se ha calculado el volumen ocupado por los

diferentes materiales con distintas densidades, PLA, ABS y PET y se ha cogido el volumen mayor, que ha resultado ser el ABS con $V = 490,7\text{cm}^3 \approx 500\text{cm}^3$.

De esta manera, teniendo en cuenta la fórmula del volumen, $V = 500\text{cm}^3 = \pi r^2 h$, finalmente la altura de la cavidad ha sido $h = 10\text{ cm}$ y el diámetro interno, $\varnothing = 8\text{ cm}$. Con ello, se han dado el resto de medidas para definir el cuerpo como puede verse en el Anexo.

Tolva y líneas de referencia

En cuanto al dimensionado de la tolva-almacén, depende únicamente del diámetro de la cavidad del cuerpo del plastómetro en la parte inferior o boca de la misma $\varnothing = 80\text{mm}$ y del volumen necesario para almacenar varias cargas, en este caso, con 3 han sido suficientes.

De forma que, teniendo en cuenta que una carga es $V = 500\text{cm}^3$, y que su forma se conforma por dos cilindros y un tronco cónico, se han calculado las alturas para la que se deberá situar las marcas de carga con los volúmenes de las tres geometrías, resultando:

$$h = 0,47\text{cm} \approx 0,5\text{cm}$$

Altura con respecto al comienzo del segundo cilindro, para la primera línea de referencia, que rellena también el resto de geometrías. Una vez en el cilindro grande, el resto de cargas tendrán una altura:

$$h_{\text{por carga}} = \frac{500}{\pi 8^2} = 2,49\text{cm} \approx 2,5\text{cm}$$

Así, la altura de este último cilindro será $H = 5\text{mm} + 25\text{mm} + 25\text{mm} + 30 = 85\text{mm}$, dando un margen de 30mm de seguridad y para alojar el tamiz.

PRODUCTO FINAL

Definición del producto/ servicio

Este producto/servicio consiste en un sistema de reciclaje de residuos plásticos para su uso en impresión 3D en el entorno doméstico, reconvirtiéndolos en filamento bobinado que pueda volver a usarse en el proceso.

El **material** plástico, que deberá estar previamente triturado, deberá ser PLA, ABS o PET sin mezclar. Este mismo podrá proceder de la propia impresión, ya sea en piezas defectuosas o de corta vida útil, filamento sobrante de bobinas y soportes, para PLA y ABS, o de envases de alimentación, principalmente pensando en botellas de agua, refrescos, etc. para PET.

El producto capaz de lograr esta tarea, sería una **máquina *do it yourself***, es decir, cuyas piezas montaría el usuario. Estas piezas, serían parte impresas por el mismo a partir de archivos .STL proporcionados por email, y otra parte, referida a los componentes mecánicos, eléctricos u otros, enviadas a domicilio. Así, una vez el usuario tuviese todas ellas, podría seguir un vídeo de montaje intuitivo para lograr ensamblar todas ellas. Tras estar listo, y en función del material que quisiese imprimir, el usuario tan solo debería configurar unos parámetros, velocidad de motor y temperatura de resistencias, que se indicarían en una guía de materiales, para ponerla en marcha.

Además, para ayudar al usuario en la **acumulación y almacenamiento** adecuados del material, se incluyen en los archivos .STL, un almacén apilable que el usuario podría imprimir las veces que quisiera en función de la variedad de materiales que quisiese. Además, este mismo a su vez haría la función de tolva mediante un método de apertura y forma. También se le podría colocar un tamiz para filtrar el tamaño del plástico, ya que será importante que este no sobrepase un tamaño de 4x4mm para asegurar fundir todo el material y así obtener un filamento de calidad.

En cuanto al **funcionamiento**, se basaría en el de un plastómetro. De manera resumida, ya que se detalla más adelante, se introduciría el material en una cavidad calefactada que fundiría el plástico y al cual se le forzaría a pasar por un diámetro muy pequeño, para lograr crear filamento de 1,75mm de diámetro. Tras esto, se bobinaría para crear un carrete listo para usar en la impresora.

Por tanto, se pueden distinguir claramente dos partes:

- **La tangible o el dispositivo:** que se refiere a todas las piezas imprimibles por el propio usuario y a las piezas no imprimibles enviadas a domicilio como los componentes mecánicos, normalizados u otros.
- **La intangible o el servicio:** referido a los archivos .STL de estas piezas que tendría que imprimir, vídeo proporcionado sobre el montaje del mismo para facilitar la tarea y una guía en archivo PDF que ayudaría de forma gráfica y sencilla a configurar los parámetros según material utilizado, recomendaría el uso de un material según las aplicaciones que se le quiera dar a la pieza, e incluso aconsejaría de donde podría sacar estos materiales para convertir en hilo.



Figura 3: Producto Infini

Características destacables

En cuantos a características o rasgos que diferencien a *Infini* de la competencia, se pueden destacar los siguientes:

Principio de funcionamiento

Infini, como se ha explicado anteriormente, se basa en el principio de funcionamiento de un plastómetro sencillo, aprovechando la gravedad y ayudado por un motor, de manera,

que, tras el estudio de los diferentes sistemas de reciclaje existentes en el mercado, nos damos cuenta de que es el primero de ellos en emplearlo; la mayoría de ellos utilizan un sistema de extrusión a base de una cámara y un husillo, un calefactor para transformar la cinta en hilo, o un sistema de fusión y unión de diferentes filamentos.

Precio

La característica anterior nos lleva a la siguiente: el precio. Los husillos de los extrusores son técnicamente muy complejos y además tienen un precio muy elevado, elevando el precio del producto en general cerca de los mil euros. La solución del plastómetro es mucho más económica, haciendo el producto más accesible al público.

Este precio tan inferior, de 198,85€, con respecto al de la competencia que no baja de los 500 euros, lo diferencia claramente del resto, haciéndolo más atractivo al comprador.

Sistema de bobinado

Nuevamente, si nos fijamos en la competencia, se puede observar que no todos tienen un sistema de bobinado, pero además, los que sí lo tienen, se tratan de sistemas de bobinado poco útiles e incómodos.

Esto es principalmente a la hora de obtener el filamento bobinado. En todos ellos, el método de sacarlo es, una vez acabado el proceso, tirar del filamento y desenrollarlo a mano, resultando una bobina desordenada y sin carrete como se puede observar a continuación:



Figura 4: Filamento desordenado obtenido en la competencia

Pero, *Infini* cuenta con un sistema fácil y cómodo: se aprovechan carretes comerciales gastados, bobinando nuevamente sobre ellos y obteniendo una bobina lista para usar. Para ello, cuenta con un sistema adaptable para diferentes anchos de bobina mediante eje y tuerca cónico y ranuras en la plancha base que permiten este cambio de anchura.

Una vez acaba el proceso, tan solo se deben aflojar las tuercas de la varilla eje, sacar el conjunto hacia arriba y desenroscar la tuerca cónica del eje cónico roscado.

Sistema de ordenación de filamento

Por último, para construir una bobina ordenada, *Infini* cuenta con un sistema de ordenación de hilo. Si volvemos a recordar a la competencia estudiada, ninguno de ellos cuenta con el mismo, Convirtiéndose así en una característica destacada del producto, siendo además un sistema bastante sencillo que no encarece el producto.

Usuario

Infini es un producto que va dirigido a un perfil de **usuario amateur** en la impresión 3D, como el que se puede ver en el método persona de la fase de investigación.

Se trata de un usuario que imprime por hobby y que por ello tiene una impresora FDM económica que no supera los 350€, poco estable. En relación con ello, produce bastantes piezas defectuosas inservibles debido a la mala calidad de la impresión, además de por un mal diseño en cuanto a dimensiones o tolerancias, filamento sobrante de bobinas...

Por tanto, es un usuario que no estaría dispuesto a pagar un precio mayor al de su propia impresora, haciendo *Infini*, un producto viable para el mismo, por un precio inferior a 200€.

Además, se trata de una persona apañada a la cual le gustan las manualidades, arreglar objetos rotos o que no funcionan. De forma que *Infini* se plantea como un reto, algo que resolver, como un puzzle, maqueta o incluso como los juguetes de *Lego* y *Meccano*. Se trata de un desafío en cuanto al proceso; impresión y montaje del mismo, que una vez logrado, hace que el usuario se sienta orgulloso y satisfecho.

Por otro lado, es un usuario que mayoritariamente utiliza PLA, y en caso de emplear otro material, este es ABS. Fuera de estos materiales, no emplea ninguno otro por precio o facilidad de impresión. De esta manera, *Infini* se adapta a los materiales que utiliza el mismo.

Entorno

El entorno del producto va totalmente relacionado con el usuario, de forma que hablamos del **entorno doméstico**.

Dentro del mismo, este usuario normalmente tiene la impresora 3D, y por tanto *Infini*, en una habitación extra o secundaria de la casa como el despacho o ático, aunque también en su propia habitación si tiene espacio para ello.

En este entorno, no se puede asegurar la presencia de herramientas especiales y técnicas, de forma que *Infini*, se adecua con ello, tan solo necesitando para su montaje de un destornillador simple en forma de cruz.

Por otro lado, se dispone de poco espacio. *Infini* tiene un tamaño máximo de 454x330x600mm, dimensiones que no se alejan de la propia impresora, al contrario que otros sistemas de reciclaje de tamaños más grandes e industriales.

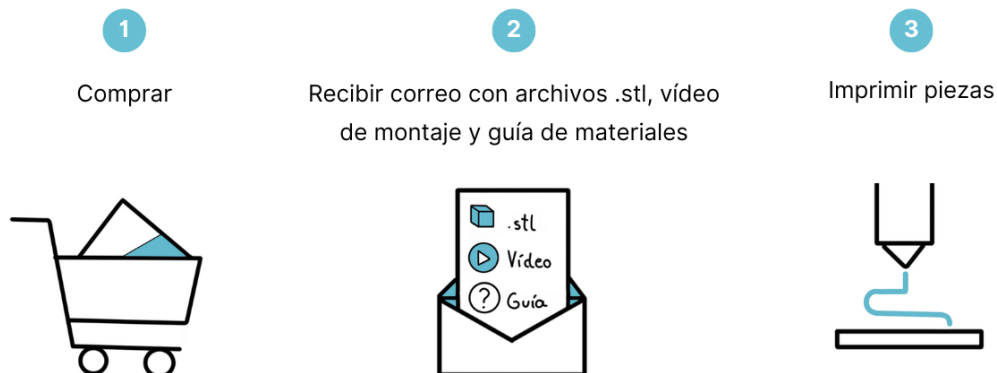
Además, las piezas enviadas principalmente de acero, son fáciles de limpiar al poseer superficies lisas y ser resistentes a los agentes químicos y temperaturas. En el caso de las piezas imprimibles, si llegasen a estropearse por polvo o calefacción, son fácilmente reemplazables por el usuario, con tan solo volver a imprimirlas, sin depender de nadie.

Por último, en relación con las mascotas o niños, es un producto de base estable y peso considerable difícil de volcar. En cuanto a seguridad, los componentes más peligrosos que se calientan a altas temperaturas están adecuadamente aislados para que nadie pueda lastimarse en contacto con el producto. Aunque los engranajes y motores no estén protegidos mediante una carcasa, tampoco supondría un peligro, ya que no son motores potentes de manera que en caso de meter el dedo, estos componentes se pararían por falta de fuerza en el par.

Secuencia de uso

Infini

A continuación, se muestra la secuencia de uso de *Infini* como producto/servicio:



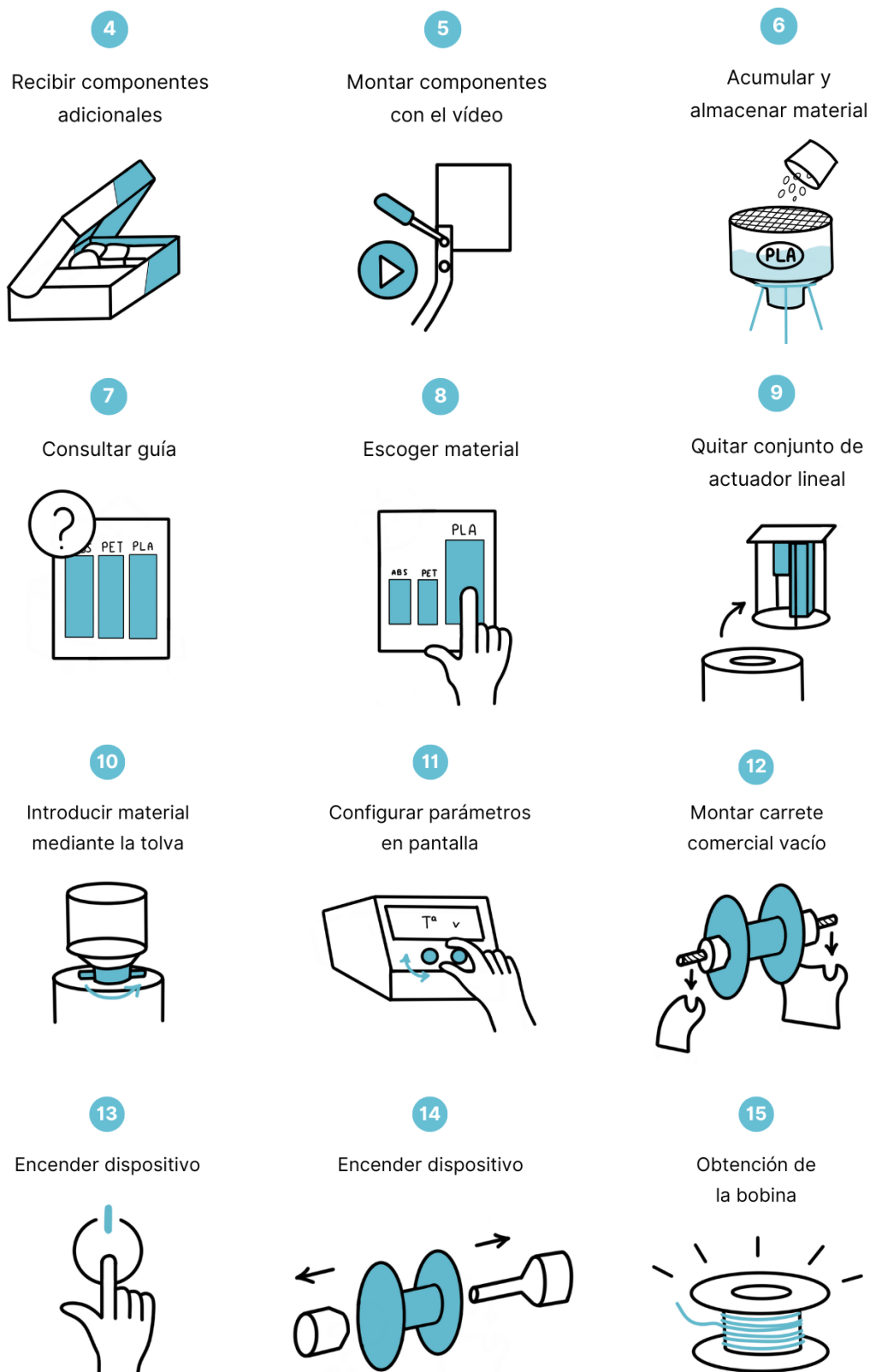


Ilustración 18: Secuencia de uso de Infini

Montaje del sistema de alimentación

Además, también se ha llevado a cabo la secuencia del sistema de alimentación, debido a que se ha considerado necesaria para el usuario:

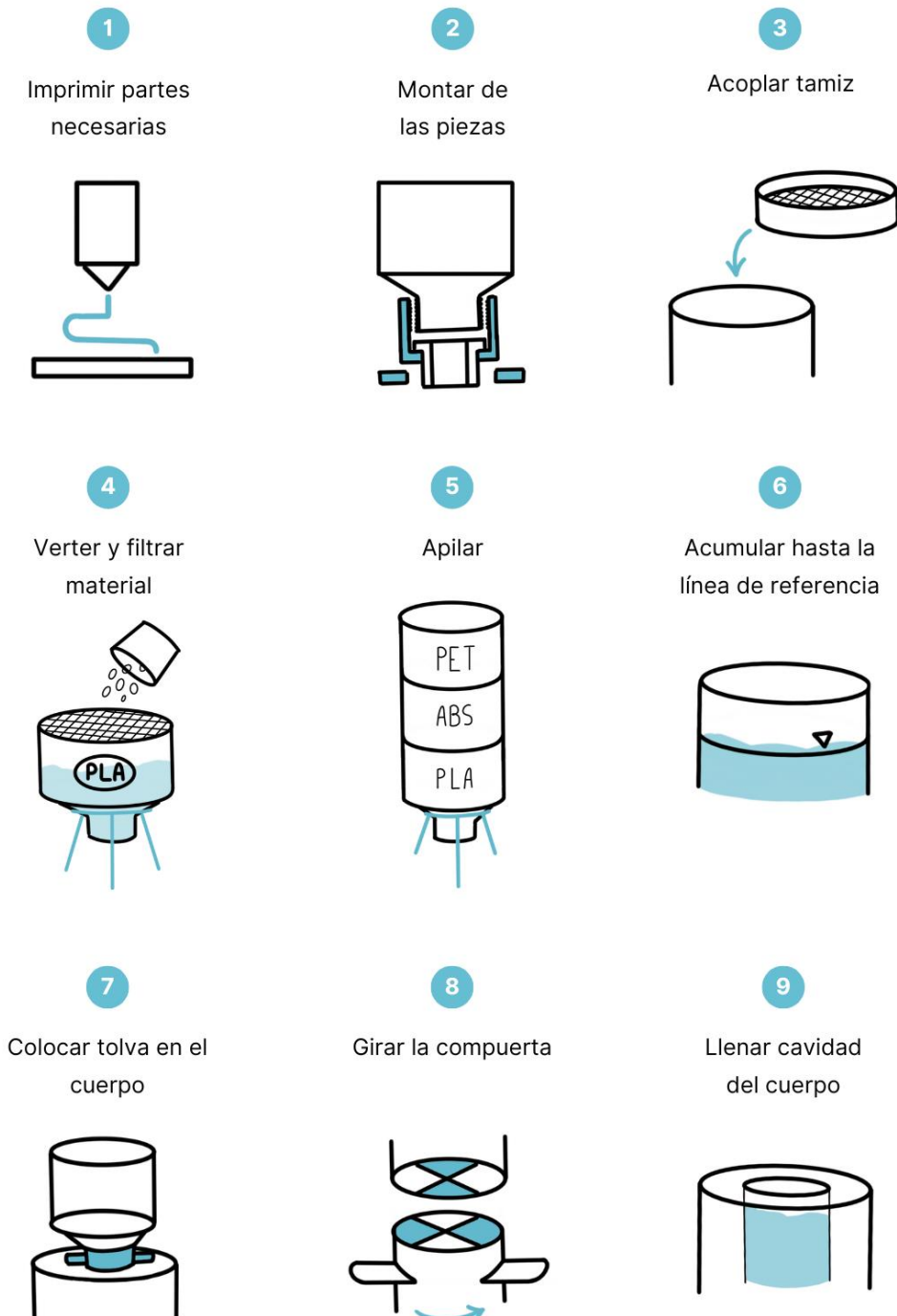


Ilustración 19: Secuencia de uso del sistema de alimentación

Montaje de la bobina

Por último, al igual que con el sistema de alimentación, también se ha llevado a cabo la secuencia de uso del montaje y preparación del conjunto de la bobina que se coloca sobre los soportes, ya que es una tarea con varios pasos que el usuario debe hacer siempre que utilice el producto:

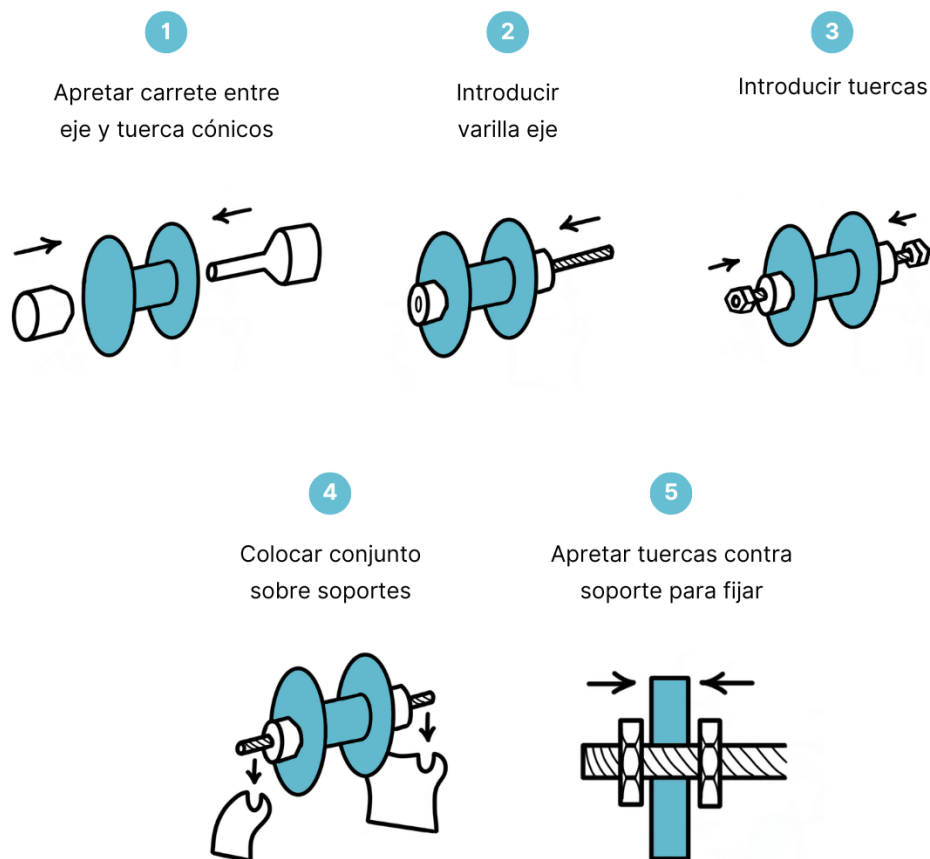


Ilustración 20: Secuencia de uso del montaje de la bobina

Cabe destacar que esta misma secuencia en sentido contrario sirve para el desmontaje de la bobina con filamento cuando acaba el proceso.

Componentes

El producto se divide en diferentes subconjuntos según la función que desempeñan en el conjunto total.

Entre ellos se encuentran el sistema de alimentación, el sistema de accionamiento, el sistema de preparación del material, el sistema de refrigeración, el sistema de re direccionamiento, el sistema de ordenación del filamento, el sistema de bobinado, el sistema de soporte y el sistema de control.

A continuación se muestra un esquema en el que se pueden observar los componentes de cada uno de ellos jerarquizados:

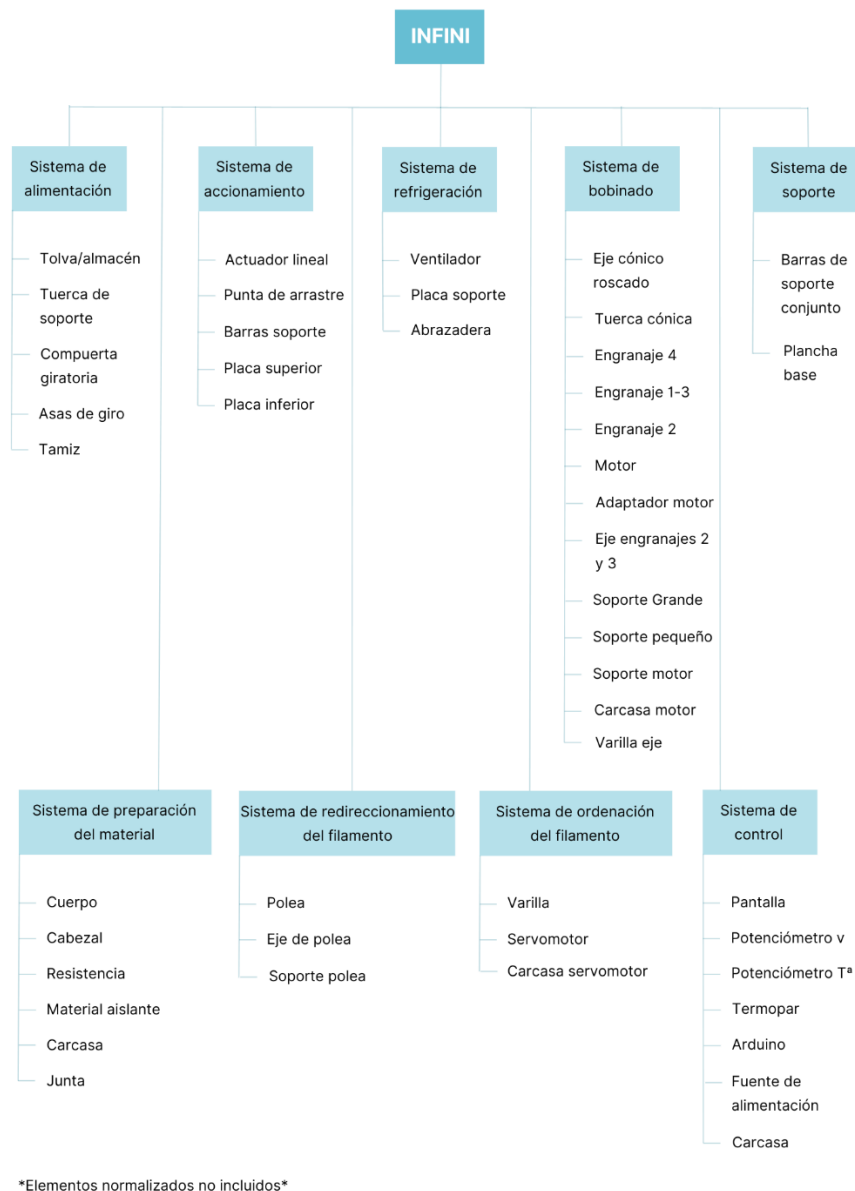


Figura 5: Esquema de subconjuntos y sus componentes

Sistema de alimentación

El sistema de alimentación consiste en aquellos elementos que ayudan a introducir el material en la cavidad del cuerpo. En este caso, abarca también el **almacenamiento** a su

vez, de manera que se ha buscado una solución que unificase tanto este **almacén**, como una **tolva**.

Está compuesto por los siguientes elementos:

1. **Tolva/almacén:** una pieza impresa con forma de tolva. La idea es que el usuario pueda imprimir la cantidad de almacenes que quiera en función de la cantidad y variedad de materiales que pueda acumular y los pueda apilar en la vertical. Además, cada uno tiene una capacidad suficiente para almacenar hasta 3 tres cargas, comunicadas al usuario mediante líneas de referencia. Cabe destacar que es muy recomendable que el usuario lo imprima con material transparente o translúcido, para observar mejor las medidas.
2. **Tuerca de soporte:** se trata de una pieza impresa que se rosca a la boca de la tolva cuya función es la de sujetar la compuerta giratoria.
3. **Soporte:** se trata de una pieza impresa con tres patas que tiene como objetivo sujetar la tolva cuando se utiliza como almacén.
4. **Asas de giro:** piezas impresas que van unidas mediante pegamento a la compuerta para facilitar la interacción y ergonomía.
5. **Tamiz:** filtro que deja pasar pellet de hasta 4x4mm, de manera el usuario deberá asegurar una trituración adecuada. Esta pieza es importante en relación con la calidad del material, ya que hace de filtro para granos demasiado grandes que en la preparación del material no llegarían a fundir por completo, que daría como resultado unas propiedades mecánicas de filamento muy malas.
6. **Compuerta giratoria:** componente impreso que se introduce en la tuerca que tiene agujeros por cuartos de círculo. Como la tolva tiene estos mismos agujeros, mediante el gira se podrá mantener o abierto o cerrado el flujo de plástico.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

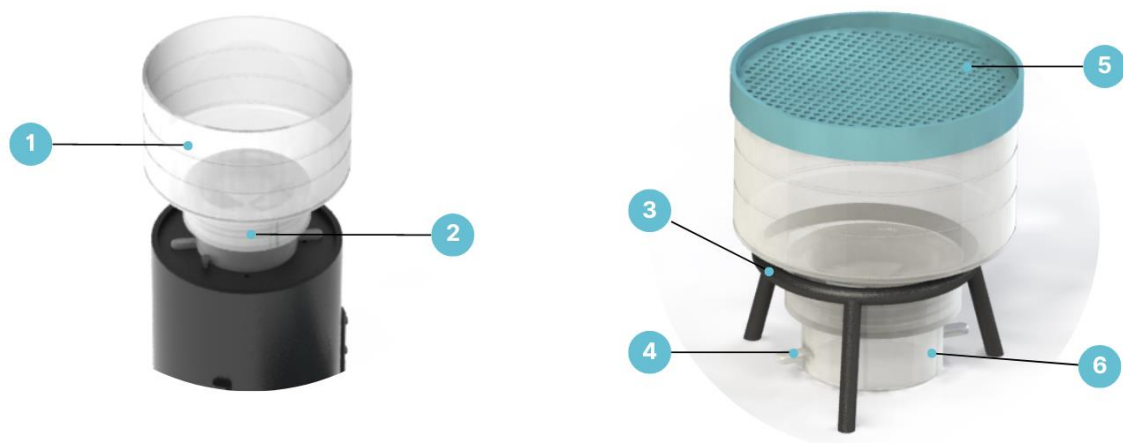


Figura 6: Sistema de alimentación/almacenaje

Sistema de accionamiento

La función del sistema de accionamiento es la de ejercer una fuerza en dirección vertical hacia abajo, para generar una presión suficiente sobre el material previamente fundido de la cavidad para forzarlo a salir por el cabezal ya en forma de filamento.

Todas sus piezas de soporte son en material acero debido a su unión con el cuerpo calefactado que alcanza muy altas temperaturas que un material plástico no podría alcanzar.

Se descompone en los siguientes elementos:

1. **Actuador lineal:** se trata de un motor comercial de 150mm de carrera, 1500N de fuerza, 12V y velocidad máxima de 4mm/s, que genera un movimiento a velocidad uniforme [2].
2. **Barras de soporte del actuador:** consisten en cuatro barras de acero de 15mm de diámetro y 211mm de altura.
3. **Placa superior:** se trata de una placa de acero que se une a las barras y al actuador mediante tornillos, de manera que tiene los agujeros necesarios para ello. Centra el actuador lineal sobre la cavidad del cuerpo de plastómetro.
4. **Punta de arrastre:** se trata de una pieza de acero cilíndrica con punta cónica al igual que el cabezal del cuerpo del plastómetro. Es el componente que entra en contacto directo con el material fundido y va unido al husillo del actuador lineal mediante tornillo y tuerca.
5. **Placa base inferior:** es otra placa de acero circular cuya función es la de hacer una unión sólida entre el cuerpo del plastómetro y los elementos anteriores. Para ello, también utiliza tornillos, de manera que cuenta con los agujeros necesarios. Cabe destacar que los tornillos que unen los elementos anteriores y la placa son de palometa para que el usuario puede quitar fácilmente todo ello a la hora de colocar el sistema de alimentación.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:



Figura 7: Sistema de Accionamiento

Sistema de preparación del material

En cuanto a la preparación del material, el sistema se basa en el de un plastómetro visto en el laboratorio. Su función es la de fundir el material que se introduce en la cavidad y dar forma al filamento con el cabezal. Este sistema se divide en 5 componentes:

1. **Cuerpo con cavidad:** se trata de una pieza cilíndrica de acero con una cavidad, también cilíndrica en el interior de 80mm de diámetro y un alojamiento en un extremo para el cabezal. Esta pieza es la que está en contacto con el material y es la responsable de transmitir el calor de las resistencias y actuar de “horno” para lograr fundir el material de la cavidad. Tiene la capacidad para alojar medio kilogramo de material.
2. **Cabezal:** consiste en una pieza también cilíndrica cuya función es la de dar forma al material fundido para conseguir filamento a la salida del cuerpo. Para ello, cuenta con un agujero cónico que pasa de 80mm de diámetro a 1,5mm. Además, se une al cuerpo mediante tornillos, de forma que deberá llevar varios agujeros para esto.
3. **Resistencia:** se trata de un componente comercial con capacidad para alcanzar temperaturas de 300-400°. Es una resistencia cilíndrica que abraza el cuerpo para calentarlo con diámetro interior igual al del cuerpo (100mm) y 100mm de altura. [3]
4. **Junta:** componente de goma que se coloca entre la parte superior del sistema y la placa base del actuador lineal del sistema de accionamiento. Su función es mantener el calor dentro y sellar completamente el conjunto. Para ello, tiene los orificios necesarios para dejar pasar los tornillos de la placa y la sonda termopar.
5. **Material aislante:** se trata de lana de roca que recubre la superficie lateral de cuerpo, resistencias incluidas tanto para mantener el calor dentro, como de elemento de seguridad, de manera que se puede poner una carcasa en el exterior para que el usuario lo pueda manipular sin peligro.
6. **Carcasa:** Se trata en una pieza metálica que recubre y agrupa todos los componentes anteriores. Es aquella con la que manipula el usuario y sobre la que se fijan las barras de soporte del conjunto mediante tornillos.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

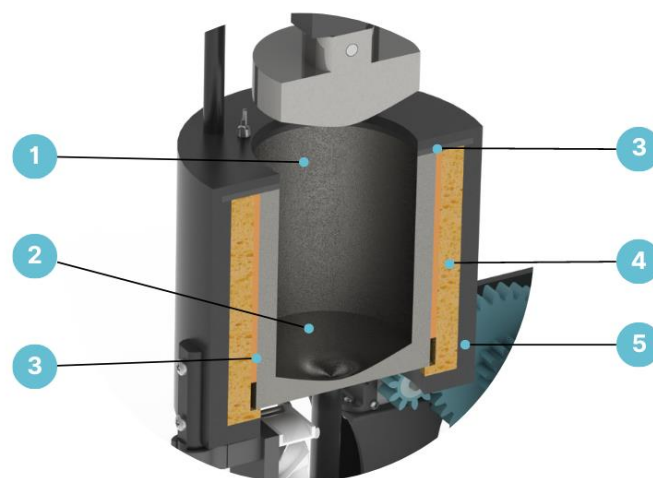


Figura 8: Sistema de preparación del material

Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración tiene como función enfriar el filamento que sale por el cabezal. Consigue que el filamento endurezca lo suficiente para que no se deforme con la rueda de re direccionamiento y el sistema de bobinado.

Se compone de los siguientes:

1. **Abrazadera:** componente impreso que sirve para sujetar los elementos anteriores a una de las barras de soporte del conjunto.
2. **Soporte del ventilador:** es una pieza intermedia impresa por el usuario que une el ventilador mediante tornillos con a la abrazadera. Tiene las dimensiones precisas para situarlo cerca del filamento.
3. **Ventilador:** se trata de un componente comercial de dimensiones 40x40x20mm y que funciona a 12V. [4]

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

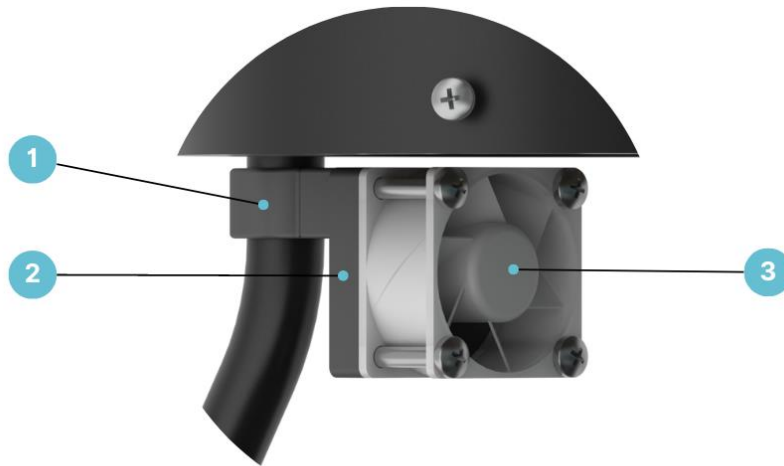


Figura 9: Sistema de refrigeración

Sistema de re direccionamiento del filamento

La función de este sistema es cambiar la dirección de movimiento del hilo 90°. Esto es necesario para poder introducir el sistema de ordenación de filamento, ya que si en la misma dirección de salida se estuviese moviendo, el hilo recién formado sin terminar de plastificar se deformaría, evitando una constancia de forma y diámetro.

Se compone de tres elementos:

1. **Polea:** consiste en una pieza impresa cilíndrica con un canal para guiar el hilo que tiene permitido el giro con el eje.
2. **Eje de la polea:** consiste en una pieza impresa cilíndrica con un tope en un lado que se fija al soporte mediante un tornillo.

3. **Soporte de la polea:** se trata de un componente impreso que soporte las piezas anteriores a la altura necesaria previamente calculada (71mm) y que va unida mediante tornillos a la plancha base. Además posiciona la polea alineada con la caída de filamento del cuerpo.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

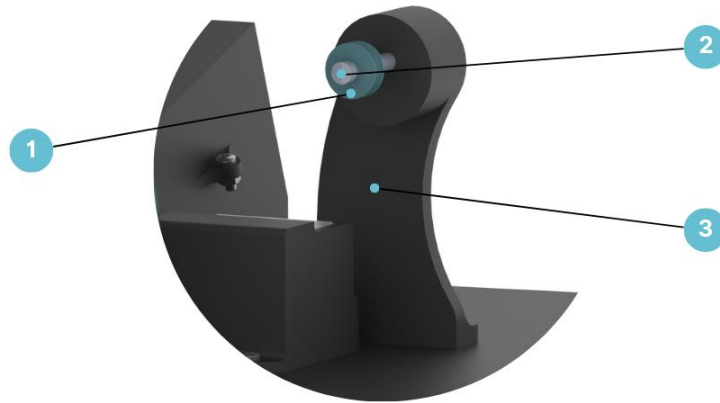


Figura 10: Sistema de re direccionamiento

Sistema de ordenación de filamento

La función de este sistema, como indica su nombre, es la de ordenar el filamento en la bobina para formar capas uniformes sin nudos y así dejar la bobina lista para imprimir, evitando atascos y parones en la impresión a causa de ellos.

Para ello, una varilla se gira un ángulo en función del ancho de la bobina, de manera que se adapta a la variedad de carretes, a una velocidad angular adecuada, todo ello calculado.

Se compone de tres elementos:

1. **Carcasa del servomotor:** Pieza impresa encargada de fijar el servomotor a la plancha base mediante tornillos.
2. **Servomotor:** componente comercial que funciona a 12V encargado del movimiento de gira. [5]
3. **Varilla:** elemento impreso por el usuario unido en un extremo al servomotor. En el extremo contrario cuenta con un agujero mayor por el que se introduce el filamento. Tiene una dimensión de largo adecuada para estas a la misma altura que la parte inferior del carrete, en este caso 65mm.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

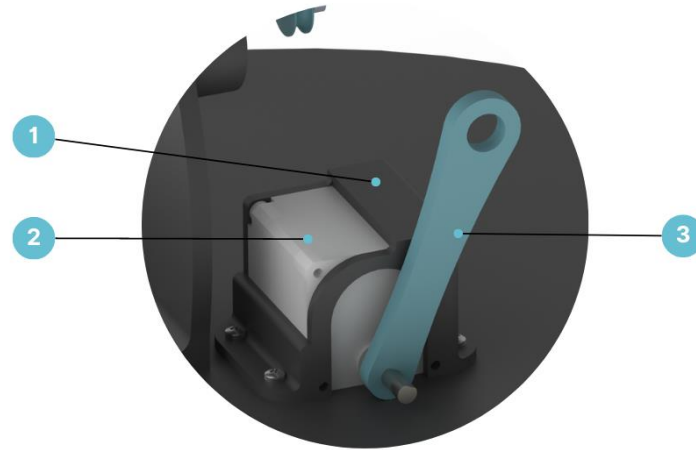


Figura 11: Sistema de ordenación de filamento

Sistema de bobinado

El sistema de bobinado consiste en recoger el filamento producido y guiado por el sistema de ordenación, enrollándolo en un carrete. Para ello, el carrete gira a la misma velocidad lineal que el filamento, de manera que mediante un tren de cuatro engranajes se transmite al carrete un par generado por un motor con la velocidad lineal adecuada ya calculada.

Está conformado por los siguientes componentes:

1. **Soporte motor:** Soporte impreso que une la carcasa con la plancha base a la altura necesaria para que engranen la rueda dentada.
2. **Carcasa motor:** pieza impresa que recubre el motor y lo fija a su soporte mediante tornillos.
3. **Motor:** componente comercial con velocidad máxima de 66rpm y de 12V. [6]
4. **Adaptador engranaje 1:** pieza impresa que se encaja entre el engranaje 1 y el motor para adaptar el tamaño de agujero central al eje del motor.
5. **Engranaje 2:** rueda dentada impresa con 30 y módulo 3 dientes que engrana con el 1 y se une con el 3 mediante un tetón.
6. **Engranaje 1-3:** rueda dentada impresa de 10 dientes y módulo 2,5. Se utiliza en ambos engranajes, una de ellas engrana con el 4 y va fijada a la 2 mediante un agujero para tetón, y la otra se ancla al motor con el adaptador.
7. **Eje engranajes 2 y 3:** se trata de un eje roscado de acero que fija los engranajes mediante su sección de media luna. Va apoyada en los soportes con rodamientos para permitir su giro y fijada mediante tuercas.
8. **Soporte grande:** Soporte impreso en el que se apoyan la varilla eje y el eje de los engranajes 2 y 3.
9. **Engranaje 4:** rueda dentada impresa por el usuario de 44 dientes y módulo 2,5, anclada al eje.
10. **Eje cónico roscado:** pieza impresa que fija la bobina con su parte cónica y la tuerca para adaptarse a diferentes carretes. En él también se fija el engranaje 4 y se sustenta gracias a la varilla eje mediante rodamientos que permiten el giro.

11. **Carrete:** el carrete usado deberá ser uno gastado previamente por el usuario para así poder siempre reutilizarlos y alargar su vida útil. El más óptimo sería utilizar uno de 50 mm de ancho de eje y 80mm de diámetro de eje, es decir un carrete de entre 0,5 y 0,7kg, aunque el sistema es adaptable.
12. **Tuerca cónica del eje:** pieza impresa en forma cónica para adaptarse a diferentes diámetros de cavidad de carretes con una rosca en su interior que se une al eje.
13. **Varilla eje:** varilla de acero roscada que se apoya en los soportes y se fija en ellos mediante tuercas. Esta varilla pasa por el interior del eje cónico roscado, girando este último entorno a ella gracias a dos rodamientos intermedios.
14. **Soporte pequeño:** pieza impresa repetida que soporta un lado del eje de los engranajes dos tres y un el lado de la varilla eje.

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

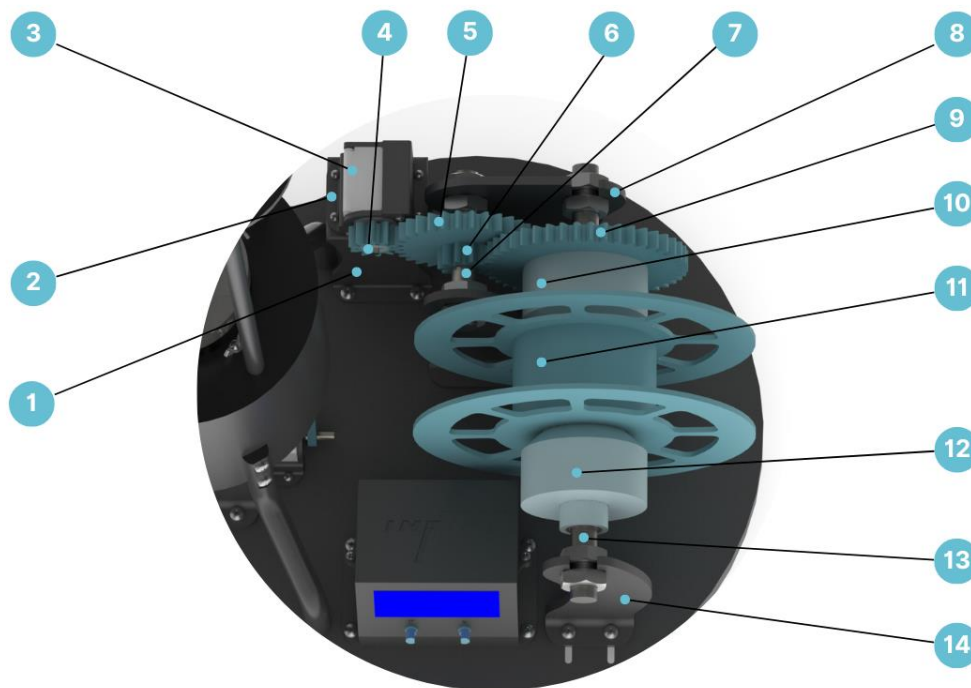


Figura 12: Sistema de bobinado

Sistema de control

Consiste en aquellos componentes que sirven para controlar, medir o visualizar los diferentes parámetros del conjunto.

Entre los componentes se encuentran los siguientes:

1. **Pantalla LCD:** componente comercial que se utiliza para visualizar los valores cuya placa tiene unas dimensiones de 80x36mm y funciona a 12V. [7]

2. **Potenciómetros:** componente comercial para regular los valores que funciona a 12V. De esta forma hay dos, uno para regular la velocidad de los motores, y otro para la temperatura de la resistencia. [8]
3. **Placa *Arduino*:** componente comercial en el que van conectados los componentes y que va programado, funciona a 12V. [9]
4. **Carcasa:** pieza impresa compuesta por dos partes, superior e inferior, unidas mediante tornillos y tuercas. Su función es la de agrupar y alojar todos estos componentes y hacer una interfaz sencilla para el usuario, dejando ver tan solo la pantalla y los potenciómetros. Se fija mediante tornillos a la plancha base.
5. **Fuente de alimentación:** componente comercial conectada a la placa cuya función es la de alimentar todos los componentes y adaptar la red de 220V a 12V, voltaje con el que trabajan todos los componentes a excepción de la resistencia. [10]
6. **Termopar:** componente comercial que va alojado dentro del cuerpo y cuyo objetivo es digitalizar los incrementos de temperatura a tiempo real. Tiene una longitud de sonda de 150mm, diámetro de 5mm y funciona a 12V. [11]

A continuación se muestra una imagen del conjunto:

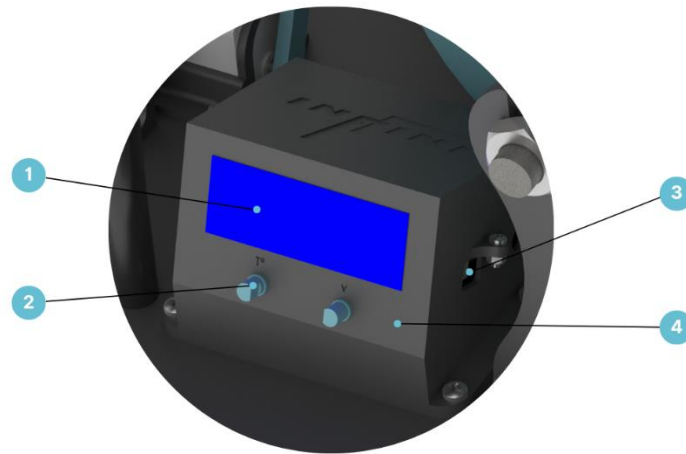


Figura 13: Sistema de control

Sistema de soporte

Por último tenemos el sistema de soporte, cuya función es la de posicionar y fijar los diferentes componentes en el espacio.

Está compuesto por:

1. **Barras de soporte del conjunto:** se trata de 3 barras de acero unidas al cuerpo del plastómetro y fijadas a la plancha base. Tienen la altura perfecta para posicionar el resto de componentes.

2. **Plancha base:** plancha de conglomerado que posiciona y sirve de base para todos los elementos. Tiene diferentes agujeros para para fijar cada componente con alojamientos para las tuercas o cabezas de tornillo.

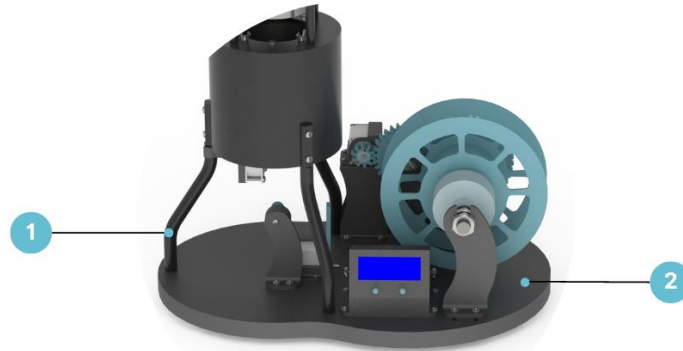


Figura 14: Sistema de soporte

Funcionamiento

Una vez el usuario ha introducido el material con la tolva y ha configurado los parámetros en el sistema de control, las resistencias empiezan a funcionar, calentándose hasta alcanzar la temperatura configurada. Mientras tanto, el termopar va informando al usuario través la pantalla como va incrementando la temperatura de la resistencia. Una vez llega hasta esta, tras un tiempo, el material acaba fundiendo del todo.

Es entonces cuando el actuador lineal empieza a funcionar, bajando a una velocidad de 0,01mm/s. La punta de arrastre empuja al material dentro de la cavidad, forzándolo a salir adaptando la forma del filamento, de 1,75mm de diámetro. Este material ya formado sale a una velocidad de 20mm/s. Nada más salir, el sistema de refrigeración se encarga de que plastifique lo más rápido posible.

El filamento, una vez pasa el ventilador, se encuentra con la polea del sistema de re direccionamiento, que lo hace girar 90°, pasando de la vertical a la horizontal. Después de esto, unos centímetros más adelante se topa con el sistema de ordenación. La varilla lo recoge con el agujero y lo hace oscilar 45°, 22,5° hacia cada lado de forma constante, y a una velocidad angular que disminuye en cada capa que forma en el carrete (ya que se incrementa el diámetro del mismo), siendo en la capa 0, $\omega_0=0,002\text{rad/s}$.

Por último, el filamento llega al sistema de bobinado, generándose las capas alrededor del carrete que gira gracias al motor que transmite su movimiento mediante el tren de engranajes. La velocidad angular de giro del eje, también va cambiando en función del número de capa en incrementos de $\Delta\omega=0,02\text{rad/s}$, siendo la de la capa 0, $\omega_0=0,5\text{rad/s}$.

Cabe destacar que el primer tramo de filamento hay que pasarlo a mano por el agujero de la varilla y por el orificio que llevan todos los carretes comerciales a un lado para sujetarlo.

Esto ha podido comprobarse en la simulación del movimiento de los componentes.



Figura 15: Orificio para meter el hilo en un carrete comercial

Montaje

En cuanto al montaje del producto, el usuario lo realizará en casa con la ayuda del video de montaje que ya se ha mencionado anteriormente. De esta manera, el usuario tan solo necesitará un destornillador en cruz, una herramienta habitual en el entorno doméstico, y seguir paso a paso las indicaciones de este vídeo para lograrlo.

Fabricación

Tal y como ya se ha mencionado anteriormente, la mayor parte de las piezas las imprimirá el usuario. Pero, hay algunas piezas que necesitan unas mejores propiedades mecánicas o térmicas de manera que no podría ser impresas en plástico.

Estas piezas, de material de acero y conglomerado para la plancha basa, serán fabricadas para ser enviadas. Por tanto, se han generado unos planos para cada una de ellas, siendo en su mayoría un mecanizado o un simple corte. Estos planos se adjuntan en el Anexo de Planos.

A continuación, se muestra una pre visualización del plano de conjunto:

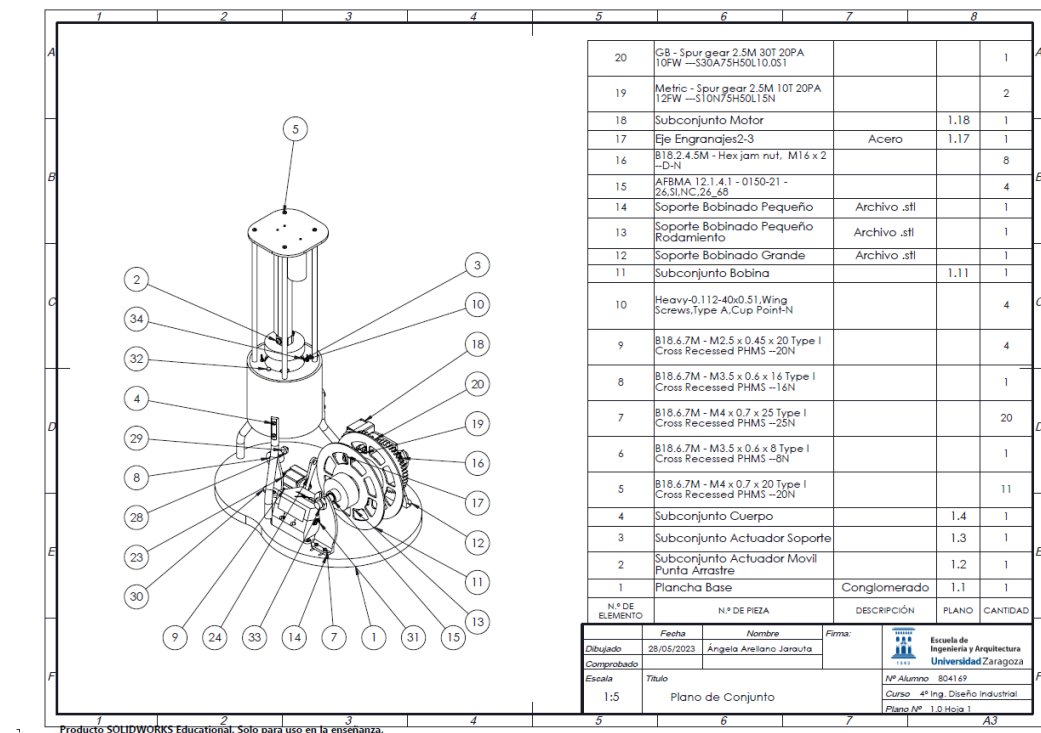


Figura 16: Plano de conjunto

Branding

La marca del producto ha sido llamada **Infini**, cuya traducción del francés es infinito, tras varias ideas como se puede ver en el Anexo. Esto viene del concepto de **filamento infinito**, que además ha resultado finalmente ser también el **eslogan**. Esta idea se debe a que el producto consigue reutilizar y reciclar los materiales plásticos para lograr un máximo aprovechamiento y llegar a tener filamento infinito siempre que el usuario desee.

Además, en la construcción del logotipo, se ha puesto como objetivo transmitir una serie de **valores** al usuario para hacerlo más atractivo y que al verlo lo vincule a unas ideas. Entre estos se encuentran; tecnología, innovación, dinamismo, sostenibilidad y amigable, que se explican más detalladamente en el Anexo del Dossier.

Entre estos valores y un **análisis del sector** como se puede ver en el Anexo del Dossier, es decir, un análisis de diversos logotipos de empresas y marcas del campo de la impresión 3D y/o reciclaje de los plásticos en el mismo, ya que tratan de expresar valores similares, se ha diseñado el siguiente logotipo:

*Figura 18: Logotipo**Figura 17: Logotipo con eslogan*

Packaging

Tal y como se ha mencionado en la definición del producto, gran parte de las piezas son impresas por el usuario. Sin embargo, el resto, incluyendo los componentes mecánicos, normalizados y aquellas otras piezas que requieran de un material diferente al plástico impreso, son enviados al cliente en un paquete.

Las dimensiones de esta caja han sido condicionadas por los elementos más grandes que contiene. Estos han sido dos, la plancha base, dándole a la caja el ancho x alto, 455x330mm, y la carcasa del plastómetro, definiendo la profundidad, 138mm. De esta manera, dejando cierto margen, las dimensiones finales de la caja son 465x340x150mm.

La plantilla de la caja ha sido elegida de tipo estuche para dar al cliente una imagen de calidad. Una vez plegada tendría una forma similar a la siguiente, pero con proporciones diferentes:

*Figura 19: Forma plegada del formato del packaging*

En su interior, cada componente iría en fundas de plástico. Pero, los componentes mecánicos, al ser más frágiles, estarían adicionalmente envueltos con papel burbuja. El exterior, el cierre iría asegurado mediante cinta transparente.

Por otro lado, el material de la caja sería un cartón blanco de canal simple de 5mm de espesor, el más habitual, que es grosor suficiente para soportar el peso de los componentes.

Por último, En cuanto al diseño gráfico, se ha utilizado el logotipo del producto y el uso del color azul corporativo PANTONE P 115-13 C y el PANTONE P 179-16 C para el negro. Ambos colores impresos, son por tanto tintas planas para mayor calidad de impresión.

Además, están incluido varios símbolos: marcado CE, frágil, que no se debe mojar y reciclaje. También se ha incluido un código de barras para la trazabilidad del producto en varias caras para mayor comodidad del operario y un código QR en la parte trasera que lleva al usuario directo al vídeo de montaje.

El archivo en CMYK en formato PDF con los elementos ordenados listos para llevar a imprenta, es decir, con las diferentes capas de troquel de corte, troquel de doblado e impresión, las tintas planas, el sangrado, las barras de color y las marcas de registro, se muestra en el Anexo de Packaging. A continuación se muestra una pre visualización:

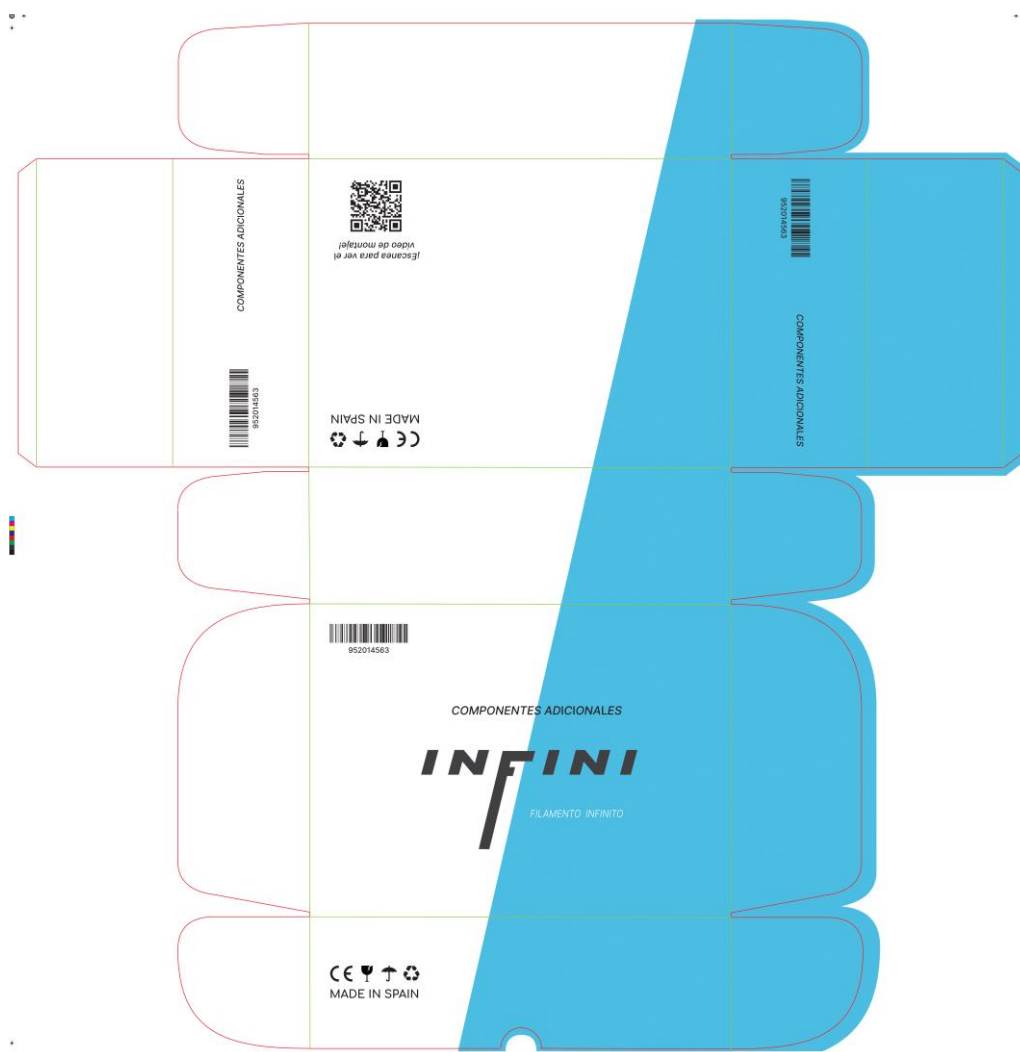


Figura 20: Packaging del producto

Guía de materiales

Tal y como ya se ha mencionado anteriormente, con el fin de ayudar al usuario y dar recomendaciones, se ha elaborado la siguiente guía.

En ella, se pueden encontrar los parámetros para la configuración del producto en el sistema de control, con la temperatura y velocidad recomendadas para cada material.

Además, en la siguiente hoja, se encuentra una tabla comparativa entre las propiedades y características de los tres posibles materiales que ayuda al usuario a escoger un material en función de las necesidades que se quieran obtener de la pieza a imprimir.

Por último, se encuentra una hoja con indicaciones gráficas sobre las fuentes de cada material, es decir, donde puede encontrarlo para así acumularlo. Esta guía puede encontrarse en el Anexo de Guía de Materiales, pero a continuación se muestra una pre visualización:

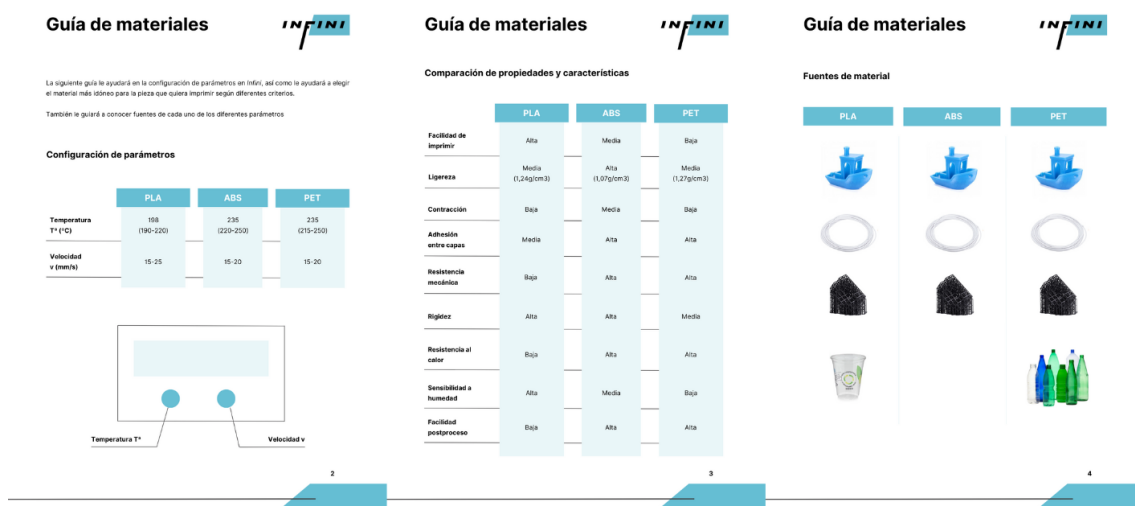


Figura 21: Pre visualización de la guía de materiales

Presupuesto

A continuación, se muestra el cálculo de coste de venta del producto para el cliente.

Para ello, se ha generado una tabla con el precio de todos los componentes comerciales, normalizados y/o otros que no puedan ser impresos por el usuario debido a necesitar mayores propiedades mecánicas.

En esta tabla se han incluido las siguientes columnas:

- **Componente:** donde se nombra a cada uno.

- **Cantidad:** ya que en algunos casos son varios los necesarios
- **Precio unitario:** es decir, precio por cada uno de los productos en la tienda o web elegidas. (En caso de venderse por pack de varias unidades, dividir este precio por número de componentes).
- **Precio al por mayor:** precio unitario menos un 20%. Esto es debido a que al comercializar el producto y vender un gran número de unidades, el precio de las webs de la columna anterior no es real, ya que se comprarían al por mayor a un precio menor.
- **Total:** es el precio que costaría en total un tipo de componente para montar una unidad de producto. De esta manera, se calcula multiplicando la cantidad por el precio al por mayor.

Componentes comerciales

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO AL POR MAYOR (-20%) (€)	TOTAL (€)
Motor Actuador Lineal	1	18,81	15,05	15,05
Resistencia	1	16,26 (65,04/4)	13,00	13,00
Ventilador	1	8,16	6,53	6,53
Termopar	1	1,24	0,99	0,99
Servomotor	1	3,66 (10,99/3)	2,93	2,93
Motor Bobinado	1	14,88	11,91	11,91
Pantalla LCD	1	8,95	7,16	7,16
Arduino	1	12,49	9,99	9,99
Potenciómetro	2	1,81	1,45	2,90
Fuente de alimentación	1	5,99	4,79	4,79
TOTAL COMPONENTES COMERCIALES (€)				75,25

Componentes normalizados

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO AL POR MAYOR (-20%) (€)	TOTAL (€)
Rodamientos $\phi_{int}=15\text{mm}$, $\phi_{int}=21\text{mm}$, ancho=5mm	4	3,54	2,83	11,32
Arandela M6	1	0,05 (4,66/100)	0,04	0,04
Tuerca M15	8	1,65 (41,15/25)	1,32	10,56
Tuerca M6	1	0,08 (7,71/100)	0,06	0,06
Tuerca M4	18	0,03 (8,09/250)	0,02	0,36
Tuerca M2.5	8	0,10 (4,85/50)	0,08	0,64
Tornillo M6, L=40mm	1	0,26 (26,46/100)	0,21	0,21
Tornillo M4, L=25mm	16	0,62 (31,16/50)	0,50	8,00
Tornillo M4, L=20mm	8	0,12 (12,49/100)	0,10	0,80
Tornillo M4, L=13mm	8	0,45 (22,35/50)	0,36	2,86

Tornillo palometa M4	4	0,39 (1,96/5)	0,31	1,24
Tornillo M3.5, L=16mm	1	0,44 (22,03/50)	0,35	0,35
Tornillo M2.5, L=20mm	4	0,06 (5,80/100)	0,05	0,20
Tornillo M2.5, L=10mm	4	0,05 (5,34/100)	0,04	0,16
Tornillo M2.5, L=4mm	6	0,05 (4,82/100)	0,04	0,24
Tornillo M2, L=20mm	4	0,05 (5,23/100)	0,04	0,16
TOTAL COMPONENTES NORMALIZADOS (€)				37,20

Componentes no imprimibles por el usuario

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO AL POR MAYOR (-20%) (€)	TOTAL (€)
Barra soporte actuador	4	2,04	1,63	6,53
Placas soporte actuador	2	3,03 (6,06/2)	2,42	4,85
Cuerpo plastómetro	1	23,65	18,92	18,92
Cabezal plastómetro	1	5,59	4,47	4,47
Punta de arrastre	1	4,86	3,88	3,88
Barras soporte conjunto	3	3,34	2,67	8,01
Plancha base de conglomerado negro e=19mm	1	4,99	3,99	3,99
Ejes Roscados	2	1,67 (10,04/6)	1,34	1,68
Junta	1	1,54	1,23	1,23
TOTAL COMPONENTES NO IMPRIMIBLES (€)				53,56

Coste de venta

Para finalmente calcular el precio/unidad de producto, deberemos sumar los totales de cada una de las tablas, esto conformará el coste fijo del producto:

$$C_{Comerciales} + C_{Normalizados} + C_{No imprimibles} = 75,25 + 37,20 + 53,56 = 165,71€$$

Pero, además de esto, se le deberá sumar un margen de beneficio del 20%. De forma, que el coste de venta final del producto será:

$$Coste de Venta = 165,71 \cdot 1,2 = 198,85€$$

El coste de desarrollo del proyecto no se incluye debido a que el proyecto ha sido destinado para la comunidad de la impresión 3D, de forma que los beneficios obtenidos tan solo serán originados del margen de beneficio anterior.

Conclusiones

Tras la finalización del proyecto, se puede observar que ha sido bastante completo. Esto se refiere a que, dentro del mismo, se ha trabajado con diversos campos estudiados a lo largo de todo el grado, mezclando aspectos tanto técnicos y mecánicos como diseño y otros.

Entre ellos, se pueden destacar; diseño y desarrollo del producto, diseño gráfico con la creación de la marca, envase y embalaje con el desarrollo del packaging, expresión gráfica mediante los planos realizados, diseño asistido por ordenador por el modelado, ensamblaje y vídeos efectuados, expresión artística con la gran cantidad de bocetos dibujados, mecanismos por medio de los engranajes y la transmisión del movimiento, gestión de proyectos con la planificación y presupuesto, y más. Es decir, que este proyecto ha servido para dar un repaso de toda la carrera.

Por otro lado, el tema del proyecto me ha ayudado a sumergirme en el mundo de la impresión 3D, un campo que cada día crece más, cobrando mayor importancia por la gran cantidad de posibilidades y puertas que abre de cara al diseño e innovación, y que debido a diversos motivos, todavía no había visto. Además del tema de reciclaje de plásticos, que hoy en día también es muy relevante en relación con el cuidado del medioambiente y mejor aprovechamientos de los recursos.

Por otra parte, el proyecto me ha servido para darme cuenta de que me encantaría seguir formándome y profundizar a un mayor nivel técnico, ya que me ayudará en un futuro a realizar proyectos más completos y con un diseño realista en cuanto a fabricación.

Por último, cabe destacar que como trabajo a futuro, el proyecto podría seguir desarrollándose, realizando un prototipo real y funcional, para definir los parámetros de la configuración como la temperatura a la que fundir cada uno de los materiales, teniendo en cuenta que en los reciclados es diferente a la del material virgen, tiempo en fundir de los mismos dentro de la cavidad, velocidades lineales de filamento óptimas para obtener un mayor o menor diámetro al gusto del usuario, etc. Así como, también realizarse la programación de la placa para relacionar motores, resistencia y ventilador.

Bibliografía

- [1] «Extrusora económica,» nº
https://es.aliexpress.com/item/1005003391350818.html?spm=a2g0o.detail.1000060.1.5c154431JiOy5k&gps-id=pcDetailBottomMoreThisSeller&scm=1007.13339.291025.0&scm_id=1007.13339.291025.0&scm-url=1007.13339.291025.0&pvid=fb321b86-cce5-404b-8a2a-2c99072fe101&_t=
- [2] «Actuador lineal,» [En línea]. Available:
https://es.aliexpress.com/item/32809655815.html?spm=a2g0o.productlist.main.3.c0be9561Dv0k44&algo_pvid=0952855b-9ffc-4d43-ada7-99631ac7f7cd&algo_exp_id=0952855b-9ffc-4d43-ada7-99631ac7f7cd-1&pdp_npi=3%40dis%21EUR%2123.42%2118.74%21%21%21%21%21%402145294416
- [3] «Resistencia,» [En línea]. Available:
<https://es.aliexpress.com/item/1005002751626661.html?spm=a2g0o.detail.1000023.2.7.2759703buZQnqp&gatewayAdapt=glo2esp>
- [4] «Ventilador de refrigeración,» [En línea]. Available:
https://www.amazon.es/Ventilador-40x40x20mm-3dBA-Sunon-HA40201V41000UA99/dp/B07B65FT8F/ref=asc_df_B07B65FT8F/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=420379794380&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=6586966694430740519&hvpone=&hvpstwo=&hvmqmt=&hvdev=c&hvdvcmld=&hvlocint=&
- [5] «Servomotor,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Miuzei-Caminar-Helic%C3%B3ptero-Veh%C3%ADculo-Control/dp/B0BBR4D8SZ/ref=sr_1_2_sspa?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=187W83ZKNVK0J&keywords=servomotor%2Barduino&qid=1684309585&sprefix=servomotor%2Barduino%2Caps%2C104&s
- [6] «Motor del bobinado,» [En línea]. Available: [https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/4130622?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_google-_CSS_ES_ES_Automatizacion_y_Control_de_Procesos_Whoop_-\(ES:Whoop!\)+Motores+DC-_4130622&matchtype=&aud-827186183686:pla-308751753777&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspFKQRF-MiDmh](https://es.rs-online.com/web/p/motores-dc/4130622?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_google-_CSS_ES_ES_Automatizacion_y_Control_de_Procesos_Whoop_-(ES:Whoop!)+Motores+DC-_4130622&matchtype=&aud-827186183686:pla-308751753777&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspFKQRF-MiDmh)
- [7] «Pantalla LCD,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/Freenove-Display-Compatible-Arduino-Raspberry/dp/B0B76YGDV4/ref=sr_1_7?adgrpid=58915688551&hvadid=275317995825&hvdev=c&hvlocphy=1005548&hvnetw=g&hvmqmt=e&hvrnd=16410024022460480446&hvtargid=kwd-343664603962&hydadcr=11858_1752987&keyw
- [8] «Potenciómetro,» [En línea]. Available: https://es.rs-online.com/web/p/codificadores-giratorios-mecanicos/7899624?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_google-_

CSS_ES_ES_Componentes_Pasivos_Whoop-_-
(ES:Whoop!)+Codificadores+Giratorios+Mec%C3%A1nicos-_-
7899624&matchtype=&aud-827186183686:pla-340393897589&gclid=.

- [9] «Placa Arduino,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/AZDelivery-UNO-R3-compatible-Arduino/dp/B01MDJA464/ref=asc_df_B01MDJA464/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=301444355645&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17262052659062231803&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1005.
- [10] «Fuente de alimentación,» [En línea]. Available: https://www.amazon.es/OcioDual-Adaptador-Transformador-Convertidor-Alimentaci%C3%B3n/dp/B06XT7NZQJ/ref=asc_df_B06XT7NZQJ/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=339932012056&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=17017146756690132445&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl.
- [11] «Termopar,» [En línea]. Available: https://es.aliexpress.com/item/10000134668319.html?pdp_npi=2%40dis%21EUR%211%2C53%E2%82%AC%211%2C22%E2%82%AC%21%21%21%21%40211b5db316843148252296686e866d%2120000000125845947%21btf&_t=pvid%3A1266df0f-0ee8-4e90-964e-ec06001be87e&afTraceInfo=1000013466831.
- [12] «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Impresora_3D.