



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño y desarrollo de una estación modular de reciclaje
de botellas de PET para la obtención de filamento
termoplástico para impresión 3D

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Collado Martínez, Sergio

Tutor/a: Balart Gimeno, Rafael Antonio

Cotutor/a: Ivorra Martínez, Juan

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Título: Diseño y desarrollo de una estación modular de reciclaje de botellas de PET para la obtención de filamento termoplástico para impresión 3D.

Título en valenciano: Disseny i desenvolupament d'una estació modular de reciclatge de botelles de PET per a l'obtenció de filament termoplàstic per a impressió 3D.

Título en inglés: Design and development of a modular PET bottle recycling station to obtain thermoplastic filament for 3D printing.

Resumen.

El principal objetivo del Trabajo de Fin de Grado propuesto es el diseño y desarrollo de una estación modular de reciclaje de botellas de polietilén tereftalato (PET) para la obtención de monofilamento apto para impresión 3D mediante *"fused deposition modeling"* (FDM), con una elevada tolerancia dimensional. La propuesta viene motivada por el creciente uso de las tecnologías de FDM en fabricación aditiva, y su amplia implementación a nivel de usuario. Esta propuesta pretende abordar la reducción del coste del material para impresión 3D a nivel de usuario, fundamentalmente de tipo polietilén tereftalato (PET), sometiendo a las botellas a un proceso de corte en tiras, y su acoplamiento a una boquilla extrusora con control de temperatura, y posterior enrollamiento del filamento obtenido, que sea capaz de proporcionar un filamento de diámetro 1.75 mm, con una tolerancia de ± 0.02 mm. Esta propuesta también ofrece una fuerte connotación social y medioambiental en tanto en cuanto propone la revalorización de las botellas de PET desechadas, en la fabricación de filamento apto para impresión 3D. A nivel técnico, la propuesta plantea el desarrollo de módulos independientes acoplables a una estación modular para un aprovechamiento integral de los residuos de botellas de PET. Se contempla el diseño y optimización de los subsistemas térmico, de guiado, de pultrusión, de pigmentación, de corte, y de unión de filamentos.

Summary.

The main objective of the proposed Final Degree Project is the design and development of a modular recycling station for polyethylene terephthalate (PET) bottles to obtain monofilament suitable for 3D printing using fused deposition modeling (FDM), with high dimensional tolerance. The proposal is motivated by the growing use of FDM technologies in additive manufacturing and their widespread implementation at the user level. This proposal aims to address the reduction of material costs for 3D printing at the user level, primarily polyethylene terephthalate (PET), by subjecting bottles to a strip cutting process, coupling them to an extruder nozzle with temperature control, and subsequently winding the obtained filament, capable of providing a filament with a diameter of 1.75 mm, with a tolerance of ± 0.02 mm. This proposal also offers a strong social and environmental connotation as it proposes the revalorization of discarded PET bottles in the manufacture of filament suitable for 3D printing. At a technical level, the proposal involves the development of independent modules that can be coupled to a modular station for the comprehensive utilization of PET bottle waste. The design and optimization of the thermal, guiding, pultrusion, pigmentation, cutting, and filament joining subsystems are contemplated.

Resum.

L'objectiu principal del Treball de Fi de Grau proposat és el disseny i desenvolupament d'una estació modular de reciclatge d'ampolles de politereftalat de etilè (PET) per a l'obtenció de monofilament apte per a impressió 3D mitjançant "fused deposition modeling" (FDM), amb una elevada tolerància dimensional. La proposta ve motivada per l'creixent ús de les tecnologies de FDM en fabricació additiva, i la seua àmplia implementació a nivell d'usuari. Aquesta proposta pretén abordar la reducció del cost del material per a impressió 3D a nivell d'usuari, fonamentalment de tipus politereftalat de etilè (PET), sotmetent les ampolles a un procés de tall en tires, i el seu acoblament a una boquilla extrusora amb control de temperatura, i posterior enrotllament del filament obtingut, que siga capaç de proporcionar un filament de diàmetre 1.75 mm, amb una tolerància de ± 0.02 mm. Aquesta proposta també ofereix una forta connotació social i mediambiental en tant que proposa la revalorització de les ampolles de PET rebutjades, en la fabricació de filament apte per a impressió 3D. A nivell tècnic, la proposta planteja el desenvolupament de mòduls independents acoblables a una estació modular per a un aprofitament integral dels residus d'ampolles de PET. Es contempla el disseny i optimització dels subsistemes tèrmic, de guia, de pultrusió, de pigmentació, de tall, i d'unió de filaments.

Los contenidos mínimos que se abordarán en el TFG son:

- Definición de requisitos y especificaciones técnicas.
- Diseño preliminar de componentes de la estación modular para revalorización de botellas de PET en filamento para impresión 3D.
- Selección de materiales para componentes.
- Diseño y cálculo de mecanismos de transmisión de potencia y sistema reductor.
- Cálculo, selección y programación de sistemas eléctricos y electrónicos de automatización.
- Fabricación, viabilidad técnica y económica de la estación modular.

Durante la realización del proyecto, el estudiante trabajará las siguientes competencias propias de la titulación:

- Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.
- Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.
- Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.
- Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.
- Capacidad para aplicar los principios y métodos de la calidad.
- Capacidad para aplicar el conocimiento sobre la seguridad y salud laboral, prevención de riesgos laborales y seguridad en máquinas, según la normativa vigente en protección pasiva y activa sobre incendios, y aspectos de contaminación acústica.

- Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador.
- Conocimientos de los fundamentos de ciencia, tecnología y química de materiales. Comprender la relación entre la microestructura, la síntesis o procesado y las propiedades de los materiales.
- Conocimientos y capacidades para la aplicación de la ingeniería de materiales.
- Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- Conocimiento de los principios de teoría de máquinas y mecanismos.
- Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos de la elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales.
- Conocimientos y capacidades para el cálculo, diseño y ensayo de máquinas.
- Conocimiento aplicado de sistemas y procesos de fabricación, metrología y control de calidad.

Así pues, el presente proyecto, tal y como se ha expuesto, TIENE UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR QUE CUBRE DIVERSAS COMPETENCIAS INCLUIDAS EN EL GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA.

Palabras Clave: polietilén tereftalato (PET); revalorización; filamento; impresión 3D; estación modular.

Key Words: polyethylene terephthalate (PET); revalorization; filament; 3D printing; modular station.

Paraules Clau: politereftalat de etilè (PET); revalorització; filament; impressió 3D; estació modular.

Tutores: Rafael Antonio Balart Gimeno, Juan Ivorra Martínez.

Índice de contenido.

Índice de ilustraciones.	8
Índice de tablas.	12
Elementos explicativos:	13
CAPÍTULO I	14
Introducción.....	15
Motivación, justificación y contexto.....	15
Objetivos.	15
Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.....	17
Estructura del TFG y memoria.	18
CAPÍTULO II	19
CAPÍTULO III	21
Estado del Arte.....	22
Introducción al PET.	22
Capacidades y aplicaciones.....	22
Antecedentes en la industria.	24
CAPÍTULO IV	25
Sistemas.	26
Subsistemas.	26
Subsistema térmico.	26
Subsistema refrigeración.	26
Subsistema de sensores.....	26
Subsistema de guías.....	26
Subsistema pultrusor.....	27
Subsistema de pigmentación.....	27
Subsistema de alimentación eléctrica.	27
Componentes.....	27
Motores.....	28
Controladores de temperatura.....	29
<i>Nozzle</i> y bloque calefactable.	30

Refrigeración.....	32
Sensor de filamento.....	33
Controlador de Motor.....	33
CAPÍTULO V.....	37
Diseño del producto.....	38
Primer diseño.....	38
Segundo diseño.....	39
Tercer diseño.....	39
Zona de influencia.....	40
Cliente real.....	40
Cliente potencial.....	41
CAPÍTULO VI.....	42
Base.....	43
Subsistema pultrusor.....	43
Subsistema térmico.....	45
Subsistema de refrigeración.....	46
Subsistema de guías.....	46
Guía de pigmentación.....	46
Guía de sensor.....	49
Controlador de motor.....	51
Resultado del diseño final preliminar.....	51
CAPÍTULO VII.....	53
Estudio de tensión necesaria para la extrusión.....	54
Limitaciones del sistema pultrusor y cálculo de velocidades angulares.....	58
Dimensionado de engranajes.....	59
Cálculo diámetro D1.....	59
Cálculo diámetro D2.....	60
Verificación de fuerza transmitida.....	60
Diseño de engranajes.....	60
Engranaje 1 (piñón conductor).....	61
Engranaje 2 (piñón conducido).....	61
CAPÍTULO VIII.....	62

Diseño de soporte.....	63
Selección de rodamientos.....	63
Análisis por simulación.	65
CAPÍTULO IX.....	69
Moldeo por inyección.....	70
Termocompresión y moldeo por transferencia.....	70
Impresión 3D (fabricación aditiva).....	71
Moldeo por soplado.....	72
Selección del proceso de fabricación.....	72
Pliego de Condiciones.....	74
Introducción.....	75
Componentes y herramientas necesarias.	75
Componentes principales.	75
Componentes impresos.	75
Herramientas y tornillería necesarias.....	75
Acondicionamiento de la base.....	76
Procedimiento de montaje.....	79
Preparación del área de trabajo.	79
Montaje de la estación.	79
Conexiones eléctricas.	80
Mantenimiento y seguridad.	84
Mantenimiento preventivo.....	84
Medidas de seguridad.....	84
Anexo de cálculos.....	85
Datos Iniciales.	86
Cálculo 1- Dimensionado de engranaje 1.	86
Cálculo 2- Dimensionado de engranaje 2.	86
Cálculo 3- Verificación de fuerza mínima transmitida.....	87
Estudio Económico.....	88
Introducción.....	89
Coste de componentes electrónicos.	89
Coste estructural de la estación.	89

Consumo energético.....	91
Coste de tornillería y rodamientos de la estación.....	92
Conclusión y coste total de la estación.....	93
Anexo de Planos.....	94
Tolerancias dimensionales.....	95
Base.....	96
Soporte delantero para motor DC 12 V.....	97
Soporte trasero para motor DC 12 V.....	98
Guía de coloración.....	99
Tapa de guía de coloración.....	100
Guía sensor de filamento.....	101
Guía estabilizadora dimensional.....	102
Soporte embellecedor para potenciómetro.....	103
Engranaje 1.....	104
Engranaje 2.....	105
Patas (opcionales).....	106
Soporte para carrete tractor.....	107
Referencias.....	108

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1. Probetas impresas en 3D para comprobación de prestaciones de distintos materiales.	22
Ilustración 2. Comparativa de resistencia a la tracción de diversos materiales comerciales y filamento reciclado.	23
Ilustración 3. Comparativa de resistencia al impacto (Charpy) de diversos materiales comerciales y filamento reciclado.	23
Ilustración 4. Imagen de estación de reciclaje de botellas PET desarrollada por Yang Reiten Cheng, con nombre comercial "Polumaker".	24
Ilustración 5. Motor DC 12 voltios con caja de engranajes metálica incorporada y velocidad angular del vástago de 7 RPM.	28
Ilustración 6. Motor paso a paso NEMA 14 de 12 V y un par de 0.15 N.m.	28
Ilustración 7. Controlador de temperatura de configuración manual, con medición máxima hasta los 110 °C y alimentado por 5 V, previo a modificación.	29
Ilustración 8. Controlador de temperatura digital modelo STC-3008, con medición máxima hasta los 120 °C, alarma integrada y alimentado a 12 V.	30
Ilustración 9. Pack con bloque calefactable hasta 280 °C y una potencia de 40 W, boquilla de 0.4 mm y termistor que ofrece la marca AOKIN.	30
Ilustración 10. Boquilla o nozzle comercial con un diámetro de boca de 2 mm de la marca Kingroom.	31
Ilustración 11. Diodos rectificadores 1N408 necesarios para ajustar la lectura de nuestro controlador de temperatura y así lograr medir al menos 200 °C.	31
Ilustración 12. Ventilador de flujo axial con velocidad máxima de 6000 RPM y funcionamiento a 5 V.	32
Ilustración 13. Ventilador de flujo radial, velocidad de 6000 RPM y funcionamiento a 12 V.	32
Ilustración 14. Interruptores de 3 pines que solo permiten la circulación de la corriente cuando estos son presionados.	33
Ilustración 15. Arduino Uno modelo R3 MEGA 328P, 4 pines de entrada/salida digital (de los cuales 4 pueden ser utilizados para salidas PWM), 6 entradas análogas y un resonador cerámico de 16 MHz.	34
Ilustración 16. Interruptor autoblocante que solo permite circular la corriente una vez pulsado, con un rango de funcionamiento hasta 125 V.	34
Ilustración 17. Controlador de motor DC/ potenciómetro con un rango de voltaje desde 4.5 V hasta 28 V y una corriente máxima de salida de 5 A. Potencia máxima 90 W.	35
Ilustración 18. Primer diseño de estación de reciclaje en configuración horizontal y un recorrido de producción en forma de "U" llevado a cabo mediante guías.	38
Ilustración 19. Segundo diseño de estación de reciclaje en configuración vertical y un recorrido de producción con forma de "L" llevado a cabo mediante guías.	39

Ilustración 20. Tercer diseño de estación de reciclaje en configuración lineal y un recorrido de producción que no requiere de guías para dirigir el filamento en la dirección deseada...	40
Ilustración 21. Diseño de la base donde se colocarán el resto de los componentes.....	43
Ilustración 22. Motor 12 V de corriente continua y sus medidas aportadas por el fabricante.	44
Ilustración 23. Diseño del soporte trasero para el motor DC.....	44
Ilustración 24. Diseño del soporte delantero para el motor DC.....	45
Ilustración 25. Ángulo metálico que cumplirá la función de soporte del bloque calefactable.	46
Ilustración 26. Proceso de extrusión ampliado donde se aprecia una contracción del material sobre sí mismo más que una fusión de este.....	47
Ilustración 27. Rotuladores “edding”, así como sus dimensiones.	47
Ilustración 28. Diseño de la guía/sistema de coloración donde se aprecia una cámara cilíndrica donde irán alojadas las tiras PET y un saliente vertical donde irá colocado el rotulador “edding”	48
Ilustración 29. Diseño de la tapa para guía/sistema de coloración con un agujero central por donde se pasará un tornillo y anclará la tapa con el resto del cuerpo de la guía.	48
Ilustración 30. Sensor seleccionado, interruptor de tres pines con palanca accionadora de 21mm.	49
Ilustración 31. Diseño de la guía que contendrá el interruptor de 3 pines a modo de sensor.	50
Ilustración 32. Diseño de la guía que contendrá un tubo de teflón a modo de estabilizador dimensional.....	50
Ilustración 33. Diseño de un embellecedor para contener el potenciómetro y un interruptor general de la estación.	51
Ilustración 34. Diseño de la estación final con los componentes y guías al descubierto.....	51
Ilustración 35. Diseño de la estación final con los componentes y guías cerradas.....	52
Ilustración 36. Proceso de conversión de botellas PET en tiras plásticas mediante una guía manual de corte.	54
Ilustración 37. Medición de tiras PET para asegurar un correcto proceso de pultrusión, así como una correcta estabilidad dimensional en el filamento.	54
Ilustración 38. Proceso de medición de tensión de extrusión óptima mediante báscula digital.....	55
Ilustración 39. Filamento PET extruido con 1 kg de fuerza.	56
Ilustración 40. Filamento PET extruido con 7 kg de fuerza.	56
Ilustración 41. Filamento PET extruido con 3 kg de fuerza.	57
Ilustración 42. Boceto simple del experimento donde se representan las fuerzas que actúan en el experimento de extrusión, siendo estas la masa y la gravedad.	57
Ilustración 43. Renderizado 3D del engranaje 1 que irá unido a presión gracias a que el vástago del motor es achatado en la punta, evitando deslizamientos.	61

Ilustración 44. Renderizado 3D del engranaje 2 que será el encargado de realizar la fuerza necesaria para la extrusión del filamento.	61
Ilustración 45. Carrete tractor unido con engranaje conducido y sus soportes.	63
Ilustración 46. Dimensiones del rodamiento seleccionado dentro del catálogo NSK, siendo este el 6800ZZ.	65
Ilustración 47. Renderizado final de la estación de reciclaje PET.....	65
Ilustración 48. Proceso de mallado del conjunto de engranajes.....	66
Ilustración 49. Resultados de tensión de von Mises.	66
Ilustración 50. Resultados del factor de seguridad del engranaje tractor.	67
Ilustración 51. Resultados de deformación en mm.	68
Ilustración 52. Proceso de inyección donde se funde grana en un sinfín calefactado para posteriormente inyectarse en un molde con la geometría deseada.	70
Ilustración 53. Proceso de termocompresión y moldeo por transferencia, donde el material plástico se comprime dentro del molde calefactado hasta que adquiere la geometría deseada.	71
Ilustración 54. Representación esquemática del proceso de impresión 3D mediante sistema de deposición en fundido.	71
Ilustración 55. Proceso de moldeo por soplado donde a una preforma precalentada se le inyecta aire a presión con el fin de deformar la probeta hasta adquirir la geometría deseada.	72
Ilustración 56. Dimensiones en mm recomendadas óptimas para la construcción de la estación.....	76
Ilustración 57. Representación gráfica orientativa de los taladros necesarios en sus respectivas posiciones.	76
Ilustración 58. Representación mediante agrupación de agujeros de los componentes y estructuras que se atornillan a la base.	77
Ilustración 59. Representación de cotas generales entre componentes, escala 1:52.	77
Ilustración 60. Representación ampliada de la sección B, donde se muestran las cotas entre agujeros de los soportes para el motor y los soportes del engranaje tractor, escala 1:2.....	78
Ilustración 61. Representación ampliada de la sección C, donde se muestran las cotas entre los agujeros de la guía sensor, los agujeros para el soporte del potenciómetro, la guía estabilizadora dimensional y el recorte situado en el centro para el ventilador de flujo axial, escala 1:2.	78
Ilustración 62. Representación ampliada de la sección D, donde se muestran las cotas entre agujeros de la guía de coloración y el agujero de 5 mm donde se atornillará el ángulo que sujeta el bloque calefactor, escala 1:2.....	79
Ilustración 63. Representación gráfica de la colocación de los componentes respetando las cotas previamente mostradas.	80
Ilustración 64. Ilustración esquemática de la modificación necesaria al termistor para que pueda ser capaz de leer temperaturas por encima de 200 °C.	80

Ilustración 65. Representación esquemática de las conexiones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento de la guía de autoapagado, así como de la estación de reciclaje. .	81
Ilustración 66. Representación visual del sensor a utilizar, así como de la carcasa que cubrirá a este y que se colocará en los agujeros prediseñados en la base.....	81
Ilustración 67. Imagen ilustrativa del conjunto de boquilla, termistor, bloque de aluminio y cartucho calefactor ya ensamblados.	82
Ilustración 68. Representación esquemática del ensamblaje necesario entre el bloque calefactable, la boquilla roscada y el ángulo metálico situado entre medias.	83
Ilustración 69. Representación esquemática de las conexiones necesarias a realizar ente el controlador de temperatura manual, el termistor y el cartucho calefactable.	83

Índice de tablas.

Tabla 1. Componentes electrónicos y su coste.....	36
Tabla 2. Especificaciones del motor JGB37-520 DC, tomando como necesarias aquellas especificaciones de acuerdo al conjunto reductor que queramos, en este caso 12 V y 7 rpm.	58
Tabla 3. Catálogo NSK de rodamientos de bolas de una hilera.	64
Tabla 4. Propiedades mecánicas del PET	67
Tabla 5. Precio de componentes electrónicos adquiridos en portales web asiáticas.	89
Tabla 6. Precio por componente del coste de filamento invertido para la impresión.....	90
Tabla 7. Consumo energético en formato tiempo y euros por componente de la estación. .	92
Tabla 8. Coste de tornillería y rodamientos de la estación.	92
Tabla 9. Costes totales desglosados en ámbitos.	93

Elementos explicativos:

PC Blend: mezcla de policarbonato generalmente con fibras.

PLA: ácido poliláctico.

Bottle PET: polietilén tereftalato obtenido mediante reciclaje de botellas.

PCTG: tereftalato de policiclohexilendimetileno modificado por glicol.

PETG: tereftalato de polietilén modificado con glicol.

PA: poliamida.

ASA: acrilonitrilo Estireno Acrilato-nitrilo.

ABS: acrilonitrilo butadieno estireno.

PP: polipropileno.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ESTRUCTURA

**Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el
reciclaje de botellas PET en filamento 3D.**

Introducción.

Motivación, justificación y contexto.

El reciclaje de materiales plásticos se ha convertido en una prioridad global en el contexto actual de creciente preocupación por la sostenibilidad y la gestión de residuos. Debido a su amplia utilización en la industria de bebidas y alimentos, las botellas de polietilén tereftalato (PET) representan una parte significativa de los desechos plásticos. Sin embargo, su reciclaje eficiente presenta retos técnicos y económicos que deben ser abordados para reducir el impacto ambiental y fomentar una economía circular.

Este trabajo de final de grado se enfoca en el desarrollo, diseño y fabricación a nivel de usuario de una estación de reciclaje de botellas de tereftalato de polietileno, con un enfoque particular en la sostenibilidad y la accesibilidad económica. El objetivo principal es desarrollar una solución viable que permita a comunidades de diferentes tamaños y recursos gestionar sus residuos plásticos de manera efectiva, así como el cálculo de un sistema reductor que garanticen la tensión y velocidad óptima de este proceso para la obtención de monofilamento apto para impresión 3D mediante “*fused deposition modeling*” (FDM), con una elevada tolerancia dimensional.

La concepción detrás de la estación de reciclaje propuesta es reducir los costos de producción y operación al mismo tiempo que optimiza el proceso de reciclaje. Se deberán considerar varias tecnologías y métodos innovadores para lograrlo, siempre teniendo en cuenta la sostenibilidad. La estación deberá ser accesible y adaptable a una variedad de contextos económicos y geográficos gracias al uso de materiales reciclados y de bajo costo, así como a un diseño modular y fácilmente replicable.

Objetivos.

El desarrollo de una estación de reciclaje de botellas PET con el objetivo de producir filamento de calidad estandarizada para la impresión 3D no solo responde a una necesidad técnica, sino también a una demanda social y medioambiental cada vez más apremiante. Los objetivos de este proyecto se dividen en cuatro categorías principales: tecnológicos, industriales, sociales y medioambientales, cada uno con sus respectivos retos y beneficios.

Objetivos tecnológicos.

- **La transformación de láminas plásticas en filamento sin maquinaria industrial especializada:** la transformación de láminas plásticas en filamento requiere un proceso de extrusión preciso, que normalmente se realiza con maquinaria industrial costosa y compleja. El objetivo de este TFG es innovar en este campo creando un sistema de extrusión simple que pueda funcionar sin usar equipos industriales sofisticados. Esto no solo reduce los costos iniciales y operativos, sino que también permite que escuelas, hogares y pequeños talleres participen activamente en el reciclaje de plástico, lo que democratiza el acceso a la tecnología de reciclaje.
- **Garantizar un diámetro de 1.75 mm y una tolerancia de ± 0.02 mm:** Para garantizar un rendimiento óptimo en la impresión 3D, es esencial la calidad del filamento. El diámetro consistente de 1.75 mm con una variación mínima de ± 0.02 mm garantiza que el filamento se alimente uniformemente en las impresoras 3D, evitando atascos y asegurando la calidad del producto final. Durante el proceso de extrusión, se requiere un sistema de control de calidad preciso y continuo que mantenga las especificaciones utilizando sensores y técnicas de calibración avanzadas.

Objetivos industriales.

- **Reducir el precio por metro de filamento en al menos un 10%:**

El costo del filamento reciclado en comparación con el filamento virgen es uno de los principales obstáculos para la adopción masiva del filamento reciclado. Se propone que este TFG reduzca en, al menos, un 10% el costo de producción por metro de filamento reciclado para hacerlo más accesible para una mayor cantidad de usuarios. La optimización del proceso de reciclaje, el uso de materiales y tecnologías más económicas y la reducción de la dependencia de maquinaria especializada pueden reducir los costos.

- **Igualar la velocidad de producción industrial del material producido en metros por segundo (m/s):**

Para que el reciclaje a nivel doméstico o comunitario sea viable y competitivo, es necesaria la eficiencia de producción. El objetivo es alcanzar una velocidad de producción comparable a la de las plantas industriales, lo que permitirá a los usuarios producir filamento de manera rápida y eficiente. Este objetivo requiere la creación de un sistema de extrusión que no solo sea fácil de usar y económico, sino que también pueda funcionar a velocidades comerciales sin comprometer la calidad del producto.

Objetivos sociales.

- **Concienciación popular sobre la reutilización de botellas plásticas al darles valor añadido:**

Más allá de los beneficios técnicos y económicos, este proyecto tiene un componente educativo y social significativo. Al convertir botellas de plástico desechadas en productos valiosos como el filamento para impresión 3D, se aumenta la conciencia del reciclaje y la reutilización de materiales. El objetivo es transformar el plástico en un recurso valioso, propiciando una cultura de sostenibilidad y responsabilidad ambiental en la sociedad.

Objetivos medioambientales.

- **Reducir la cantidad de desechos plásticos en los hogares en al menos un 5%:**

El reciclaje de botellas PET en filamento para impresión 3D ayuda a reducir los desechos plásticos en el hogar. El objetivo de este TFG es reducir la cantidad de desechos plásticos producidos por las familias en al menos un 5%, ofreciendo una solución de manejo de desechos económica y práctica. Al convertir el plástico reciclado en nuevos productos útiles, esta reducción no solo reduce la cantidad de basura que termina en el medio ambiente o en los vertederos, sino que también contribuye a la economía circular.

Objetivo global.

- El objetivo principal de este proyecto es diseñar y construir una estación de reciclaje de botellas PET que sea económica y capaz de producir filamento de calidad estandarizada. Este objetivo general está en línea con la necesidad de fomentar el reciclaje de termoplásticos en la sociedad, lo que facilitará la tecnología de reciclaje y contribuirá a un futuro más sostenible y responsable con el medio ambiente.

Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son una serie de objetivos globales establecidos por las Naciones Unidas en 2012 como parte de la “*Agenda 2030*” (United Nations agency on international development, 2012). Los ODS son una continuación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y tienen como finalidad abordar los desafíos globales más urgentes, incluyendo la pobreza, la desigualdad, el cambio climático, la degradación ambiental, la paz y la justicia.

Este TFG basado en el diseño y fabricación de una estación de reciclaje de botellas PET en filamento para impresión 3D se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas, de entre los cuales podemos destacar:

- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura** (United Nations agency on international development, 2012).
El objetivo es crear infraestructuras resilientes, promover una industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la creatividad. Este objetivo se alcanza a través de la creación de una estación que convierte botellas PET en filamento para impresión 3D, ya que promueve el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos industriales, así como un manejo más sostenible de los residuos plásticos.
- **ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles** (United Nations agency on international development, 2012).
Este objetivo se enfoca en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. La estación de reciclaje de PET contribuye a la reducción de la cantidad de residuos plásticos en las ciudades, promoviendo prácticas de gestión de residuos más sostenibles, así como proporcionar acceso a tecnologías de reciclaje y fabricación a pequeña escala.
- **ODS 12: Producción y Consumo Responsables** (United Nations agency on international development, 2012).
Este objetivo busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles. Al convertir botellas PET en filamento para impresión 3D, se fomenta la economía circular, donde los materiales se reciclan y reutilizan en lugar de desecharse.
- **ODS 13: Acción por el Clima** (United Nations agency on international development, 2012).
El objetivo 13 insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. El reciclaje de botellas PET para la producción de filamento reduce la necesidad de producir nuevo plástico virgen, lo que a su vez disminuye las emisiones de carbono asociadas con la producción y el transporte de plástico nuevo.
- **ODS 14 y 15: Vida Submarina y Ecosistemas Terrestres** (United Nations agency on international development, 2012).
Estos objetivos buscan conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, así como proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres. Al disminuir la cantidad de plástico que termina en vertederos y en el medio ambiente, se protege la biodiversidad y los ecosistemas terrestres y oceánicos.

Estructura del TFG y memoria.

A lo largo del desarrollo de este TFG, se irán documentando en la siguiente memoria todas las consideraciones necesarias, así como contextos, cálculos y planos.

Se ha optado por la separación de la memoria en capítulos, así como la inclusión de los respectivos anexos necesarios para llevar a cabo el TFG.

El **Capítulo I** será destinado a la introducción del mismo trabajo, donde se podrá apreciar también los objetivos del mismo y la estructura que este seguirá.

Posteriormente, en el **Capítulo II**, se desarrollará la normativa vigente en lo referente a filamento 3D, así como a las impresoras 3D.

Seguidamente, en el **Capítulo III**, se expondrán los antecedentes de esta tecnología, así como el estado del arte en lo referente al polímero y a los diferentes procesos de transformación de este en material reciclado.

En el **Capítulo IV** se expondrán los sistemas, subsistemas y posibles componentes que deberán analizarse con el fin de elegir los componentes óptimos para los objetivos que deseados.

Posteriormente, en el **Capítulo V**, se procederá a la realización de tres bocetos iniciales con el fin de estudiar sus pros y contras con respecto al diseño final y se analizarán los posibles clientes y zona de influencia.

En el **capítulo VI**, una vez analizadas las diferentes posibilidades y componentes a utilizar se procederá a la selección de los óptimos para los fines deseados, así como el diseño de la estructura y partes principales de la estación a falta del sistema pultrusor.

A continuación, en el **Capítulo VII**, se procederá al establecimiento de limitaciones en el sistema pultrusor con los que se desarrolla los cálculos de dimensionamiento de los engranajes, así como la utilización de software para validar estos cálculos.

El **Capítulo VIII** abarcará todo lo relacionado con el soporte donde irá situado el carrito recolector, así como la unión de este al engranaje tractor, la selección de rodamientos y el análisis estático mediante software.

Por último, en el **Capítulo IX**, se mostrarán y analizarán los distintos procesos más recomendados, necesarios para fabricar los componentes de la solución desarrollada en este TFG.

La memoria estará complementada por anexos como el pliego de condiciones, cálculos, planos, estudio económico, entre otros.

CAPÍTULO II

Normativa vigente

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

En lo referente a normativa vigente aplicable, es necesario referirse a la norma ISO 3167:2014 sobre plásticos y probetas de usos múltiples, ya que los materiales utilizados en la impresión 3D pertenecen a la categoría de plásticos. La ISO 3167:2014 establece los requisitos para los materiales plásticos que se utilizan en los procesos de moldeo por inyección o compresión.

A día de hoy y gracias a la popularización de este proceso de conformado existen normativas específicas con requisitos que deben cumplir los filamentos de plástico, así como las propias impresoras 3D. Estas normativas son las siguientes: (CORSÁN Ingeniería de Gestión, S.L.U., 2018).

- **UNE-EN-ISO 178.** “Plásticos. Determinación de las propiedades de flexión.”
- **UNE-EN-ISO 179-1.** “Plásticos. Determinación de las propiedades de Impacto Charpy.”
- **UNE-EN ISO 604.** “Plásticos. Determinación de las propiedades en compresión.”
- **UNE-EN-ISO/ASTM 52900:2017.** “Fabricación aditiva. Principios generales. Terminología.”
- **UNE-EN- ISO/ASTM 52915:2017.** “Especificación para el formato de archivo para la fabricación aditiva (AMF).”
- **UNE-EN- ISO/ASTM 17296-2:2017.** “Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 2: Visión general de categorías de procesos y de materias primas.”
- **UNE-EN- ISO/ASTM 17296-3:2017.** “Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 3: Características principales y métodos de ensayo correspondientes.”
- **UNE-EN- ISO/ASTM 17296-4:2017.** “Fabricación aditiva. Principios generales. Parte 4: Visión general del intercambio de datos.”
- **UNE-EN- ISO/ASTM 52921:2017.** “Terminología normalizada para la fabricación aditiva. Sistemas de coordenadas y métodos de ensayo.”

Esta normativa se tendrá presente durante todo el desarrollo del TFG, así como a la hora de elegir el material óptimo para la fabricación de la estación.

CAPÍTULO III

Antecedentes

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

Estado del Arte.

Introducción al PET.

El polietilén tereftalato (PET) es un tipo de plástico perteneciente a la familia de los poliésteres. Este material se caracteriza por su resistencia, versatilidad, y transparencia. El PET se emplea en una diversa variedad de aplicaciones, siendo las botellas de bebida uno de sus usos más reconocidos. Además, este material también se utiliza en el envasado de alimentos, en la industria farmacéutica para recipientes de medicamentos, y como fibra en textiles como el poliéster, gracias a ser altamente resistente a la corrosión química (Tecnología del Plástico, 2023).

Sin embargo, esta última cualidad junto con una gestión inadecuada del PET desechado representa un desafío ambiental importante. Las botellas de PET pueden tardar cientos de años en degradarse en el medio ambiente, contribuyendo a la contaminación de los diferentes ecosistemas.

El reciclaje de este material es un objetivo crítico en la gestión de residuos plásticos y en la promoción de prácticas sostenibles. Existen dos modalidades principales para el reciclaje de este polímero: mecánico y químico, cada uno con sus ventajas y limitaciones.

Capacidades y aplicaciones.

El PET, y más específicamente el PETG (polietilén tereftalato modificado con glicol), ha ganado popularidad como material de impresión 3D debido a su resistencia, durabilidad y claridad propias del PET, pero con una mayor facilidad de impresión. Gracias a sus propiedades y su facilidad para impresión, el PETG es uno de los materiales más empleados para la producción de modelos mediante impresoras que utilizan la técnica de fabricación de modelado por deposición fundida (FMD). Como cabe esperar, el PETG también se utiliza ampliamente para la creación de prototipos gracias a su relativa rentabilidad y a sus adecuadas propiedades. Además, gracias a su resistencia al calor y a los productos químicos, puede utilizarse incluso en aplicaciones más duraderas, como en utillaje, componentes de prueba o piezas de uso final para máquinas (RecaudaPET, 2013).

Con el fin de ser capaces de apreciar las capacidades mecánicas de estos materiales, y a modo comparativo, se utilizarán los datos obtenidos por *Stefan Hermann* con el fin de caracterizar mecánicamente el PET reciclado respecto al resto de polímeros utilizados en la industria para la producción de filamento 3D (Hermann, 2022).



Ilustración 1. Probetas impresas en 3D para comprobación de prestaciones de distintos materiales.

Se han examinado probetas como las que se muestran en la imagen a ensayos tanto de tracción como de impacto Charpy, junto con los polímeros más utilizados en el mercado de la impresión 3D.

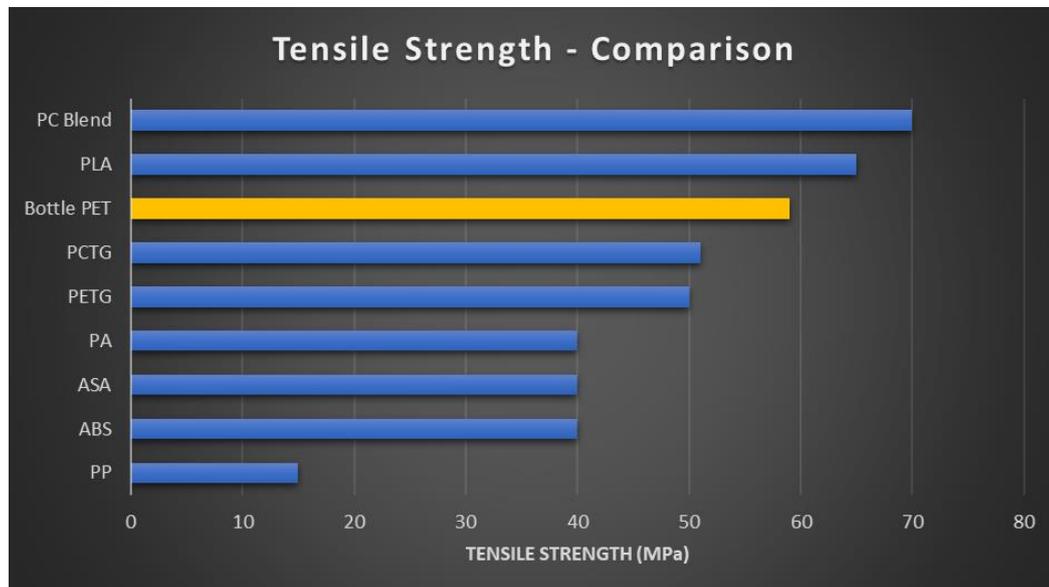


Ilustración 2. Comparativa de resistencia a la tracción de diversos materiales comerciales y filamento reciclado.

En la comparativa a tracción se puede observar cómo el PET reciclado tiene un mejor comportamiento mecánico que el PETG, estableciéndose como el tercero más resistente a la tracción por debajo del PLA y del PC Blend.

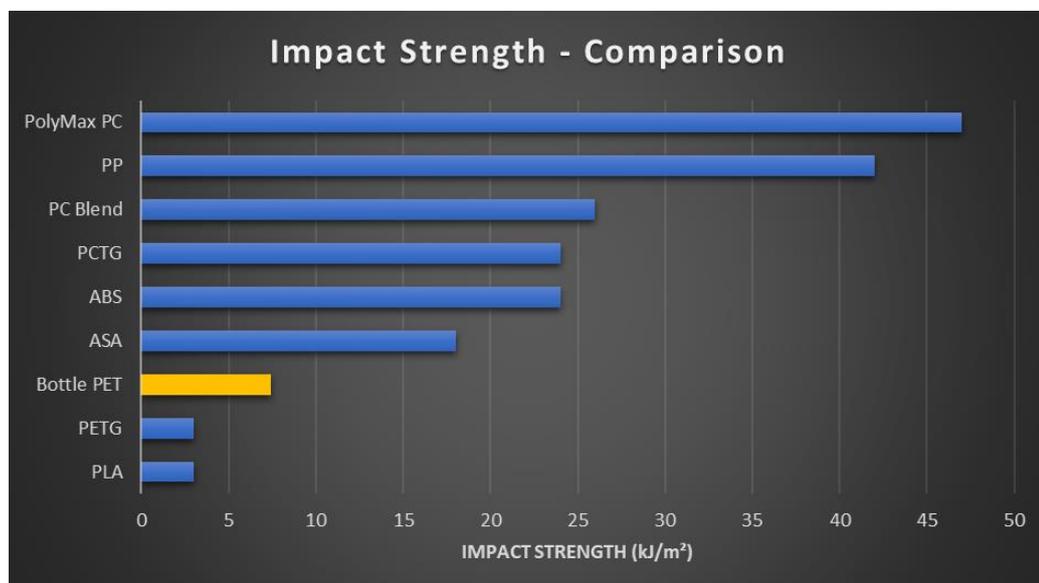


Ilustración 3. Comparativa de resistencia al impacto (Charpy) de diversos materiales comerciales y filamento reciclado.

Por otra parte, se muestra como un material frágil en comparación al resto de polímeros. Cabe destacar que, a pesar de la baja energía requerida para romper la probeta, este material obtiene mejores resultados que el PETG y el PLA, siendo este último el polímero para impresión 3D más usado en la actualidad.

Antecedentes en la industria.

Varios proyectos han explorado la creación de estaciones de reciclaje compactas capaces de convertir botellas de PET y otros desechos en filamento de impresión 3D. Estas soluciones varían desde pequeñas unidades de escritorio hasta sistemas industriales más grandes, demostrando la factibilidad técnica de transformar desechos de PET directamente en un recurso valioso para la impresión 3D.

El diseño de estas estaciones aborda varios retos, incluyendo la eficiencia del proceso de reciclaje, la calidad del filamento producido, y la facilidad de uso. Innovaciones en el diseño de extrusoras, sistemas de pultrusión y mecanismos de coloración juegan un papel crucial en la producción de filamento de alta calidad con un gran atractivo para el cliente.

Un ejemplo de ello es el diseñador industrial *Yang Reiten Cheng*, quien promociona su estación de reciclaje de botellas PET (Polymaker, como según él ha denominado) a través de su página web (Cheng, 2022).



Ilustración 4. Imagen de estación de reciclaje de botellas PET desarrollada por Yang Reiten Cheng, con nombre comercial "Polumaker".

CAPÍTULO IV

Sistemas, subsistemas y posibles componentes

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

Sistemas.

- **Estación modular** de reciclaje de botellas PET para la obtención de filamento para impresión 3D.

Subsistemas.

Subsistema térmico.

El subsistema térmico de la estación de reciclaje juega un papel crucial en el proceso de pultrusión, destinado a transformar la materia prima (tiras de polímero PET) en filamento 3D. Este sistema permite que el plástico se caliente a una temperatura precisa para que se funda uniformemente, permitiendo ser extruido a través de una boquilla. Garantizar una temperatura uniforme es crucial para la consistencia del diámetro del filamento, así como su calidad.

Este subsistema cuenta con varios componentes indispensables para su funcionamiento: controlador de temperatura (termostato regulable), bloque calefactable, termistor y un cartucho calentador de al menos 40 W.

Subsistema refrigeración.

La refrigeración es esencial dentro de la creación de filamento por medio de pultrusión. El fin de esta refrigeración es solidificar rápidamente el filamento extruido, asegurándose así que este mantiene su forma y tolerancias dimensionales antes de ser enrollado. Después de que el material plástico haya sido fundido y extruido, debe ser enfriado de manera eficiente con el fin de evitar deformaciones y garantizar la consistencia del diámetro del filamento.

La función de este subsistema es usualmente llevada a cabo por un ventilador.

Subsistema de sensores.

Con el fin de automatizar el proceso, este sistema de sensores detecta cuando la estación ha dejado de producir filamento, procediendo al apagado automático. Esto supone la comodidad del usuario al no tener que llevar una cuenta estricta del tiempo del proceso o estar presente mientras este se lleva a cabo, con el riesgo de dejar la máquina trabajando de manera indefinida produciendo el desgaste o rotura de la misma.

Esta función es generalmente incorporada mediante la implementación de un interruptor conectado al circuito principal. Este irá colocado en el interior de una guía (generalmente antes del carrete principal) al igual que llevan implementadas las propias impresoras 3D.

Subsistema de guías.

Con el fin de mantener la dirección del filamento se diseña un sistema de guías. De entre ellas cabe destacar la función de la guía situada inmediatamente después de la boquilla extrusora y antes del sistema de refrigeración, ya que esta no solo rige la dirección del filamento, sino que a su vez cumple la función de estabilizador dimensional al forzar al filamento a pasar a través de la guía con el diámetro comercial antes de solidificarse.

Subsistema pultrusor.

Este sistema debe ser capaz de ejercer una fuerza de tracción suficiente para extruir el filamento de una manera constante a través de la boquilla del bloque calefactable. Junto con el subsistema térmico son los componentes principales de la estación. Una velocidad y tensión constante son primordiales para conseguir un diámetro regular y un buen acabado superficial del filamento; esto último no solo afecta a la calidad del filamento sino a la calidad de la pieza impresa en 3D. Un ritmo desigual de tracción provocaría estrechamientos del filamento en aquellos puntos donde se produjese un cambio de velocidad. Con el objetivo de prevenir los defectos previamente comentados se deberá implementar un conjunto de engranajes, priorizando la fuerza de tracción por encima de la velocidad, la cual nos interesa que a su vez sea baja para propiciar una correcta fusión del material durante el paso por la boquilla.

Este subsistema cuenta con varios componentes indispensables para su funcionamiento: motor tractor, sistema de engranaje, carrete y controlador de velocidad.

Subsistema de pigmentación.

Uno de los mayores inconvenientes a la hora de utilizar filamento reciclado PET es la escasa variedad de colores disponibles. Dentro del mercado de embotellamiento podemos encontrar los colores verde, azul, amarillo o incluso rosa, pero siguen siendo mayoría los envases hechos a partir de PET sin pigmentos o transparentes. Este sistema cumple como función la coloración de las tiras precortadas de PET transparente antes de que estas se extruyan por la boquilla calefactada, dando como resultado un filamento que tras su impresión produce piezas del color deseado.

Este subsistema se implementará con una guía específica que deberá diseñarse para contener un cartucho de pigmentación.

Subsistema de alimentación eléctrica.

Con el fin de alimentar eléctricamente el resto de los subsistemas, se deberá implementar una fuente de alimentación o batería con una potencia suficiente para abastecer todos los componentes.

Componentes.

A continuación, se procede a mostrar un catálogo de componentes con sus ventajas e inconvenientes de entre los cuales se seleccionarán aquellos más apropiados para implementar en el diseño final. La manera más económica y sencilla de buscar estos componentes es mediante proveedores asiáticos, generalmente provenientes de China que se publicitan en aplicaciones intermediarias como Aliexpress o Alibaba. Estas páginas permiten realizar compras tanto al por mayor como a nivel usuario, asegurando a la empresa que fabrica la estación un amplio margen de beneficio a la vez que una fácil accesibilidad a recambios como particular. Tanto el presupuesto de este prototipo como los precios que se muestran a continuación en los componentes se han tomado accediendo a los precios de compra por particular, teniendo en cuenta que si el prototipo fuese fabricado en masa los costes por componente podrían verse reducidos hasta en un 20%.

Motores.

En cuanto a los motores se dispone de dos grandes campos donde escoger: **motores paso a paso o motores de corriente continua.**

Los motores de corriente continua (como el que se muestra a continuación) son por regla general más económicos y sencillos de implementar en el modelo, siendo su mayor inconveniente la imposibilidad de poder regir el movimiento que este hace.



Ilustración 5. Motor DC 12 voltios con caja de engranajes metálica incorporada y velocidad angular del vástago de 7 RPM.

-Motor de engranaje de alto torque, caja de engranajes de metal, eléctrico, JGB37-520 DC, 12 V, 7 RPM (BoBo 06 Store, 2024).

Por otra parte, los motores paso a paso son capaces de conseguir un desplazamiento o rotación más preciso que los motores DC. Económicamente los precios entre ambos motores suelen ser similares, teniendo los motores paso a paso el inconveniente de tener que implementar un controlador de velocidad, siendo los más comunes para estos propósitos una placa programable Arduino, lo cual vuelve al proyecto más complejo y costoso.

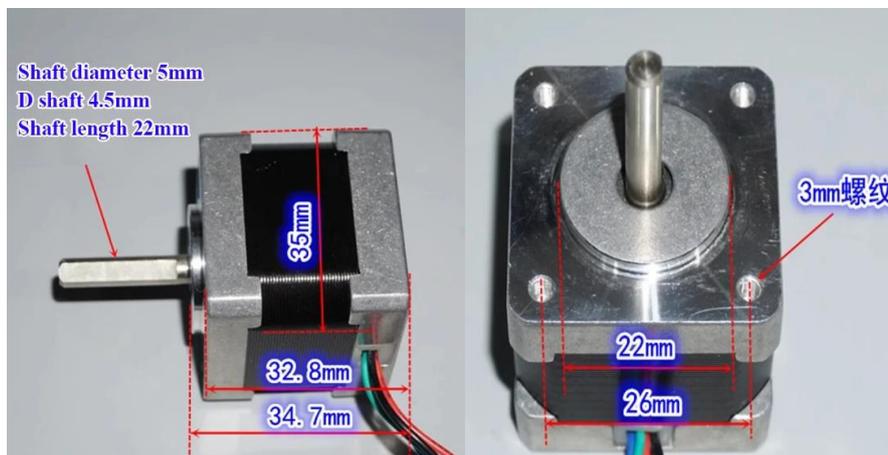


Ilustración 6. Motor paso a paso NEMA 14 de 12 V y un par de 0.15 N.m.

- NEMA 14 mini motor paso a paso de 35 mm, 1.8 grados, 2 fases, 4 cables (Motor Sky Store, 2024).

Controladores de temperatura.

Para el subsistema térmico se plantean dos opciones principales para usar a modo de controlador de temperatura:

El mayor inconveniente a la hora de escoger entre los siguientes termostatos es la necesidad de cambiar el bloque calefactable por uno de al menos 40 W, junto con la soldadura de un diodo rectificador al termistor; esto se hace con el objetivo de poder trabajar a temperaturas mayores de las que el propio controlador lee de fábrica, ya que se necesita alcanzar los 200 °C. A continuación, se listan los controladores de temperatura:

En un primer lugar se distinguen los termostatos de configuración manual, con la ventaja de ser los más económicos del mercado. La lectura de temperatura máxima es de 110 °C y cuenta con unas dimensiones muy reducidas. Por otra parte, al tratarse de una placa base desnuda a las manos del usuario es más fácil de dañar si se rompen alguno de los pines al manipularla o se pone en funcionamiento encima de una superficie metálica; provocando un cortocircuito.

- Control de temperatura del termostato, controlador de temperatura, termómetro, luz azul/roja, DC 12 V, W12090 (SAMIORE Store, 2024).



Ilustración 7. Controlador de temperatura de configuración manual, con medición máxima hasta los 110 °C y alimentado por 5 V, previo a modificación.

Por otro lado, se pueden encontrar controladores térmicos digitalizados que, aunque más caros, su modo de empleo y conexión puede resultar algo más intuitiva, además de la cubierta protectora plástica que previene cualquier daño a la circuitería. La lectura de temperatura máxima es de 120 °C. Los inconvenientes principales son su elevado coste en comparación a los controladores más económicos, así como sus grandes dimensiones y la difícil modificación de la placa para que pueda leer la temperatura mínima necesaria para la extrusión.

STC-3008 MICROCOMPUTER TEMPERATURE CONTROLLER



Ilustración 8. Controlador de temperatura digital modelo STC-3008, con medición máxima hasta los 120 °C, alarma integrada y alimentado a 12 V.

- Controlador de temperatura digital dual STC-3008, regulador de temperatura de AC110-220 V DC12 V/24 V con termostato de calentador y refrigerador (Dream Tools Store, 2024).

Nozzle y bloque calefactable.

Siguiendo dentro del subsistema térmico, también se encuentran los bloques calefactores, termistores y boquillas.

Una manera de incorporar estos componentes es adquirirlos por separado para después ser ensamblados.

Esto, aunque ventajoso en algunos aspectos, supone un gran coste económico, así como tiempo al tener que contactar varios distribuidores (uno para cada componente). Siguiendo con la búsqueda y al tratarse de unos componentes que habitualmente también se usan para el sistema de impresión 3D, se accede a un proveedor que facilita todas las piezas necesarias a un precio muy competitivo.



Ilustración 9. Pack con bloque calefactable hasta 280 °C y una potencia de 40 W, boquilla de 0.4 mm y termistor que ofrece la marca AOKIN.

-Boquilla extrusora de latón MK8 para impresora 3D, tubo de garganta A8, bloque calentador, Termistor NTC 0.4, 12 V, 40 W, 3950 mm (AOKIN Official Store, 2024).

El único inconveniente a esta alternativa es la incorporación de una boquilla “nozzle” de 0.4 mm, siendo un diámetro de 2 mm el necesario para extruir nuestro filamento PET. Este problema puede resolver aprovechando las boquillas ya incorporadas en el pack, realizándoles un proceso de taladrado al diámetro necesario. Otra opción es la compra de boquillas adaptadas al diámetro necesario, aunque esto supondría un desembolso extra más por unidad y la creación de residuos al tener que desechar las boquillas que ya nos vienen en el *pack* del bloque calefactor.



Ilustración 10. Boquilla o nozzle comercial con un diámetro de boca de 2 mm de la marca Kingroom.

- Boquilla de latón MK8 M6, boquilla de latón de 2.0 mm (KINGROOM Official Store, 2024).

Como ya se ha mencionado anteriormente, será necesaria la incorporación de un diodo (más concretamente el 1N5408) para conseguir falsear la lectura del controlador y poder trabajar a una temperatura el doble de la mostrada en la pantalla.



Ilustración 11. Diodos rectificadores 1N408 necesarios para ajustar la lectura de nuestro controlador de temperatura y así lograr medir al menos 200 °C.

-Diodo rectificador 1N5408, 50 unidades (YX Electronic Components, 2024).

Refrigeración.

Con lo referente al subsistema de refrigeración se puede emplear un ventilador conectado a la base de la estación y a su vez conectado a la fuente de alimentación. De entre los tipos de ventiladores que se pueden encontrar, destacan:

Ventiladores de flujo axial cuya ventaja suele ser la capacidad de acople en cualquiera de las direcciones a la vez de sus dimensiones simétricas y reducidas (Wisdom Interest Store, 2024).

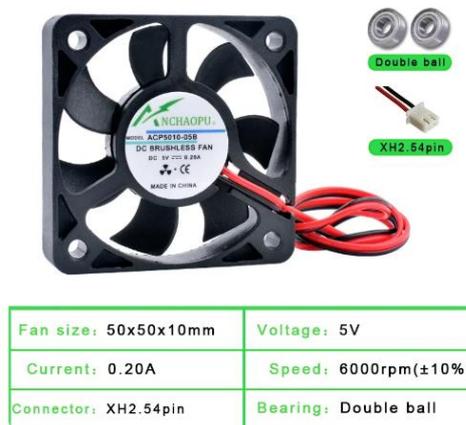


Ilustración 12. Ventilador de flujo axial con velocidad máxima de 6000 RPM y funcionamiento a 5 V.

Por otra parte, los ventiladores de flujo radial permiten concentrar un caudal de aire en una dirección de manera más eficiente que los ventiladores axiales, sin embargo, estos ocuparían un gran espacio dentro de la estación y gran parte del diseño tendría que ir en relación con el ventilador ya que este necesita ser encarado hacia el filamento (Maecoom Official Store, 2024).



Ilustración 13. Ventilador de flujo radial, velocidad de 6000 RPM y funcionamiento a 12 V.

Sensor de filamento.

Para elegir el sensor que se necesita, es posible el uso de diferentes tipos. Todos ellos siguen el mismo funcionamiento accionador de tres pines, solo cambiando el extremo del interruptor para adecuarse a la función que pretendan desempeñar:



Ilustración 14. Interruptores de 3 pines que solo permiten la circulación de la corriente cuando estos son presionados.

- Mini micro interruptor de límite, NO NC, 3 pines, terminales PCB SPDT 5 A, 125 V, 29 mm (IC Components Store, 2024).

Ya que todos cumplen la misma función y trabajan de igual manera, para el diseño final se elegirá aquel que se considere que cumple de manera más efectiva la función de sensor de filamento instalado dentro de una guía.

Controlador de Motor.

Tanto si se selecciona un motor paso a paso como si se opta por corriente continua, ambos requerirán controladores de velocidad específicos para ajustar la rotación del carrete tractor. Esto busca conseguir un movimiento y velocidad uniforme para proporcionar una estabilidad dimensional óptima al filamento.

Como ya se ha mencionado previamente, si se selecciona un motor paso a paso lo más apropiado para su control son placas programables, o lo que a nivel de consumidor conocemos como Arduino. Existen varios modelos de estas placas, así como distintos distribuidores que fabrican sus propias versiones de estas a un precio más asequible.

El mayor inconveniente de estas placas es la necesidad de conocer un lenguaje de programación propio, además de ser notablemente más caras en comparación con el resto de los controladores que se verán a continuación. De entre las opciones que se han podido encontrar se opta por la que se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 15. Arduino Uno modelo R3 MEGA 328P, 4 pines de entrada/salida digital (de los cuales 4 pueden ser utilizados para salidas PWM), 6 entradas análogas y un resonador cerámico de 16 MHz.

- ARDUINO UNO R3 ATMEGA16U2 / UNO + WiFi R3 MEGA328P Chip CH340G (Si Tai&SH Official Store, 2024).

Si se decide optar por un motor en corriente continua y atendiendo a la lógica del funcionamiento de este, se encuentran dos posibles controladores.

En primer lugar, se puede plantear la idea de usar un interruptor de botón autobloqueante que conecte en serie el subsistema de refrigeración y el subsistema tractor (el motor) con la fuente de alimentación. Al accionar el interruptor ambos subsistemas se pondrían en marcha de manera independiente al subsistema térmico. La ventaja de este método es la facilidad de instalación junto con su económico precio (ya que solo necesitaríamos un interruptor):



Ilustración 16. Interruptor autoblocante que solo permite circular la corriente una vez pulsado, con un rango de funcionamiento hasta 125 V.

- Interruptores de botón autobloqueantes y momentáneos DS228 DS428, 6 piezas, 12 mm, 3 A /125 V-AC DS-228 (ZHENGYICHENG Smart Home Electrical Official Store, 2024).

Sin embargo, este sistema no permite un control real de la velocidad del motor, ya que solo nos permite la parada y la puesta en marcha del motor a régimen nominal (es decir, al máximo rango de voltaje; 12 V).

Este mismo sistema puede llevarse a cabo de una manera más eficiente aplicando un módulo controlador de velocidad para corriente continua, que no deja de ser un potenciómetro. A diferencia de la anterior alternativa aquí si se puede acelerar o decelerar el giro del motor al poder controlar el voltaje de entrada. Para esto, se considerará como potencia nominal la que el motor puede ejercer cuando el potenciómetro le entrega 12 V al motor.



Ilustración 17. Controlador de motor DC/ potenciómetro con un rango de voltaje desde 4.5 V hasta 28 V y una corriente máxima de salida de 5 A. Potencia máxima 90 W.

- Módulo controlador de velocidad del motor, regulador de velocidad ajustable, interruptor de 5 A, 90 W, PWM, DC, 4.5 V-28 V (Glintdeer Store, 2024).

Tamaño: **30mm x 26mm x 14mm** (sin mango).

Por último, a modo comparativo, se procede a la realización de una tabla con los precios de los componentes mostrados anteriormente, lo cual servirá en un futuro a una mejor selección de los componentes, así como a la posterior realización del estudio económico.

Componente	Precio por pedido	Precio unitario
Motor de corriente continua JGB37-520	7.40 €	7.40 €
Motor paso a paso NEMA	8.14 €	8.14 €
Controlador de temperatura manual marca FEIYANG	1.17 €	1.17 €
Controlador de temperatura digital modelo STC-3008	6.74 €	6.74 €
Pack AOKIN de boquilla extrusora, bloque calefactor y termistor	1.54 €	1.54 €
Boquilla de latón MK8 M6 de 2.0 mm marca Kingroom	1.48 €	1.48 €
Diodo rectificador 1N5408	1.11 € (50 uds)	0.02 €
Ventilador de flujo axial	1.43 €	1.43 €
Ventilador de flujo radial	2.29 €	2.29 €
Interruptores de 3 pines NO NC	0.33 € (5 uds)	0.07 €
Arduino Uno modelo R3 MEGA 328P	3.84 €	3.84 €
Interruptores de botón autobloqueantes	1.9 € (6 uds)	0.32 €
Potenciómetro interruptor de 5 A, 90 W, PWM, DC, 4.5 V-28 V	0.87 €	0.87 €

Tabla 1. Componentes electrónicos y su coste.

CAPÍTULO V

Bocetos preliminares, clientes y zona de influencia.

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

Diseño del producto.

Los componentes principales de la estación (y los de mayor tamaño) son el carrete tractor (compuesto por el carrete y el motor) y el extrusor calefactable. En los diferentes diseños se han tenido en cuenta principalmente estos componentes, a los que se les han incorporado las guías y el resto de los elementos de manera orientativa, por lo que la apariencia final o distribución de los componentes se llevará a cabo cuando se realice el diseño final.

Primer diseño.

Como primer diseño se opta por una configuración horizontal tanto de los componentes como de la propia producción de filamento sobre una base cuadrada. Las ventajas que nos aporta esta configuración son varias, de entre las cuales destaca la facilidad de manipulación de los componentes respecto de la estructura base. Esto junto a la abundancia de espacio entre piezas facilita el montaje de la estación o la sustitución de alguno de los componentes a nivel de usuario doméstico. También, como se puede apreciar, este diseño cuenta con la opción de empezar el proceso de pultrusión en dos puntos distintos; en el carril inferior si se pretende que las tiras PET pasen por el sistema de coloración para después ser extruidas o directamente en carril superior para obtener filamento del color propio de la botella. Por otra parte, al querer trabajar en dos líneas paralelas (una para coloración de las tiras PET y otra para la pultrusión del filamento) se obtiene como resultado una estación de una envergadura mediana pero una anchura considerable.

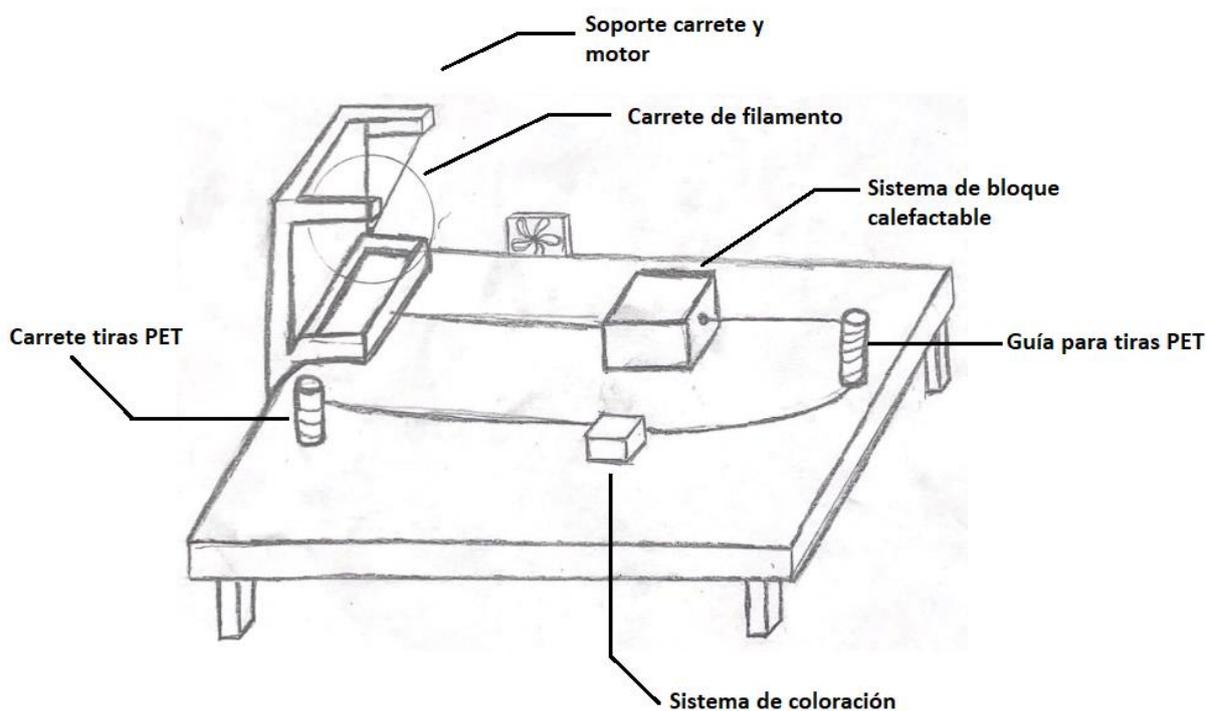


Ilustración 18. Primer diseño de estación de reciclaje en configuración horizontal y un recorrido de producción en forma de "U" llevado a cabo mediante guías.

Segundo diseño.

Para el segundo diseño se ha optado esta vez por una estación con forma de "L", combinando una configuración horizontal para el sistema de pultrusión mientras que el sistema de coloración, así como el carrete de las tiras PET, se encuentran en una orientación vertical. Esta configuración convierte a esta estación en el diseño más compacto y que menor espacio ocupa, ya que sus dimensiones de anchura se reducen a la mitad en comparación al diseño anterior al no necesitar un segundo carril. La envergadura de este modelo también se ve reducida cerca del 50% al desplazar parte del proceso al eje vertical. Sin embargo, a nivel doméstico, aunque llamativo, puede resultar un diseño desafortunado por el escaso espacio de maniobra a la hora del ensamblaje o reparación. También habría que considerar que para este diseño la base principal o estructura sobre la que se ensamblan el resto de los componentes tiene una geometría compleja, por lo que aumentaría considerablemente el gasto de fabricación al necesitar un procesado más complejo para obtenerla.

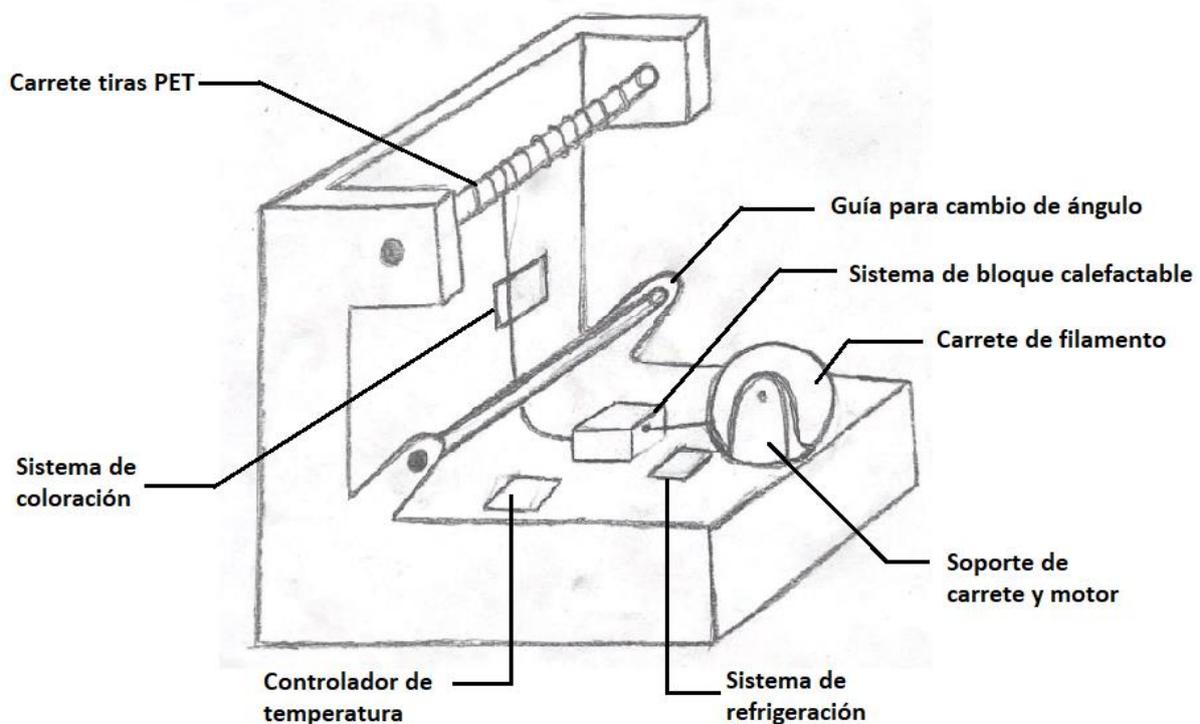


Ilustración 19. Segundo diseño de estación de reciclaje en configuración vertical y un recorrido de producción con forma de "L" llevado a cabo mediante guías.

Tercer diseño.

Por último, para este tercer diseño se ha decidido mantener una configuración horizontal al igual que en el primero, pero eliminando el carril destinado al sistema de coloración para este ser implementado dentro del carrete de tiras PET. Esto la vuelve una estación lineal con una envergadura mayor que la anchura. Este modelo cuenta con la misma reducción de anchura que el modelo anterior, aunque sigue con las mismas dimensiones de envergadura que el primer diseño. Se sigue manteniendo la simpleza del diseño para facilitar una manipulación de los componentes si fuera necesario. Para este diseño también se ha decidido incorporar un sensor entre el bloque calefactor y el carrete de

filamento con el fin de automatizar el proceso y que la máquina pare por sí sola una vez se haya extruido todo el filamento PET.

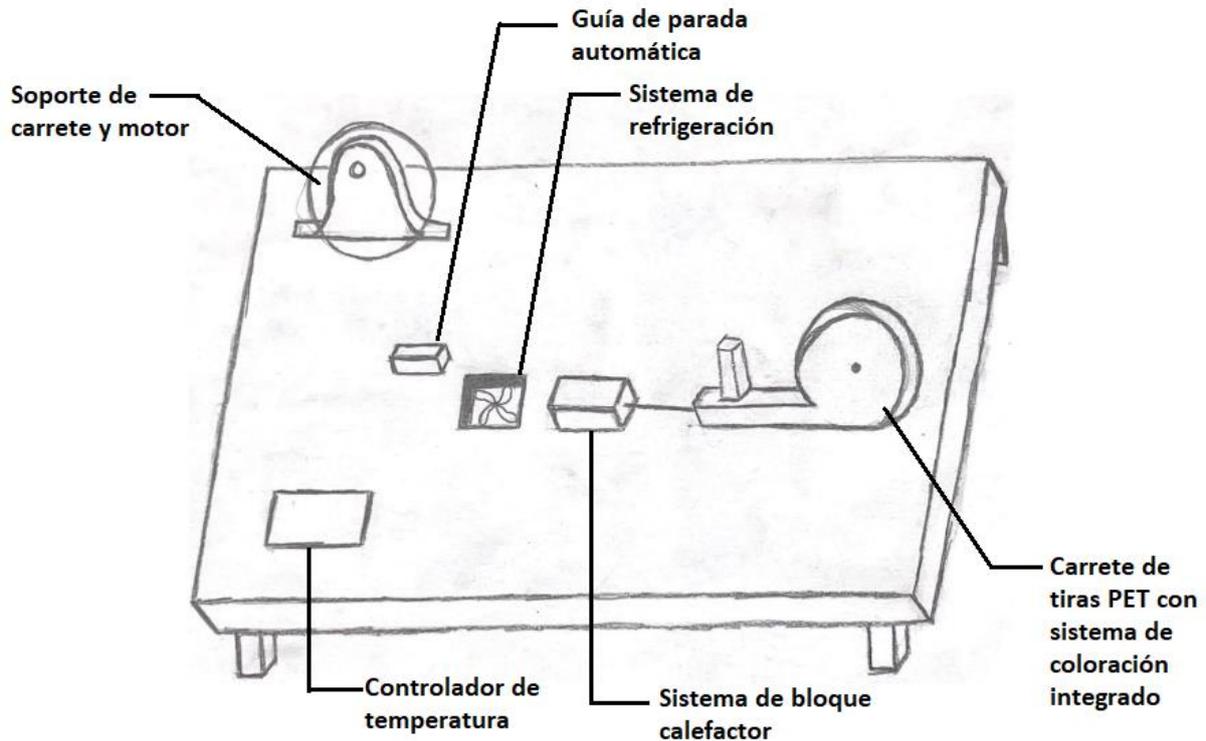


Ilustración 20. Tercer diseño de estación de reciclaje en configuración lineal y un recorrido de producción que no requiere de guías para dirigir el filamento en la dirección deseada.

Después de analizar los tres diseños y siempre atendiendo a los requerimientos que pueda requerir un usuario promedio, se concluye con la selección de este tercer diseño gracias a su simplicidad y eficacia, ofreciendo las ventajas de producción de filamento con color, una fácil accesibilidad a los componentes de la máquina y unas dimensiones que la vuelven compacta pero atractiva al público.

Zona de influencia.

El producto final contará con un peso total bastante reducido, así como su volumen gracias a tratarse de un kit modular para ensamblar. Estas condiciones facilitan el envío del producto si fuese necesario, así como de las piezas necesarias para una posible reparación. Teniendo todo lo anterior en cuenta se considerará una zona de influencia a nivel nacional gracias a la posibilidad de envíos ordinarios y accesibilidad a recambios que pueden ser adquiridos o autoproducidos.

Cliente real.

El cliente real demanda una estación sencilla capaz de transformar botellas PET en filamento sin la necesidad de un preprocesado excesivo. También se reclama la utilización de algún sistema sensor que apague el sistema de forma automática una vez esta ha acabado de producir filamento, con el fin de no depender de la presencialidad para acabar el proceso.

Ciente potencial.

Uno de los mayores inconvenientes en el reciclaje de plástico en filamento es la ausencia de colores deseados para la impresión o la monocromía que presentan las botellas PET. Se plantea la implementación de un subsistema previo a la pultrusión que pigmente las tiras plásticas con el fin de solucionar el inconveniente previamente mostrado y agregarle un valor añadido al producto final.

CAPÍTULO VI

Diseño y componentes finales de la estación de reciclaje PET

**Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el
reciclaje de botellas PET en filamento 3D.**

Después de estudiar los diferentes diseños, así como las diferentes opciones de componentes que formarán la estación, se ha llegado al siguiente resultado final.

La geometría seleccionada para la estación de reciclaje final corresponderá de manera lo más similar posible al tercer diseño preliminar; por lo que se ha decidido trabajar con una estación rectangular con dimensiones de anchura reducidas y optando por extruir el filamento de manera lineal. Se ha llegado a esta conclusión, ya que la estación final deberá ser lo más sencilla posible (premisa que se mantendrá durante todo el desarrollo) para facilitar la comprensión de la estación, manipulación, reparación o el propio ensamble en forma de kit.

Todas las cotas que se muestran a continuación tienen las **unidades de milímetros (mm)**.

Base.

Las dimensiones totales de la base donde se incorporarán el resto de los componentes contarán con las medidas que se muestran en la siguiente ilustración:

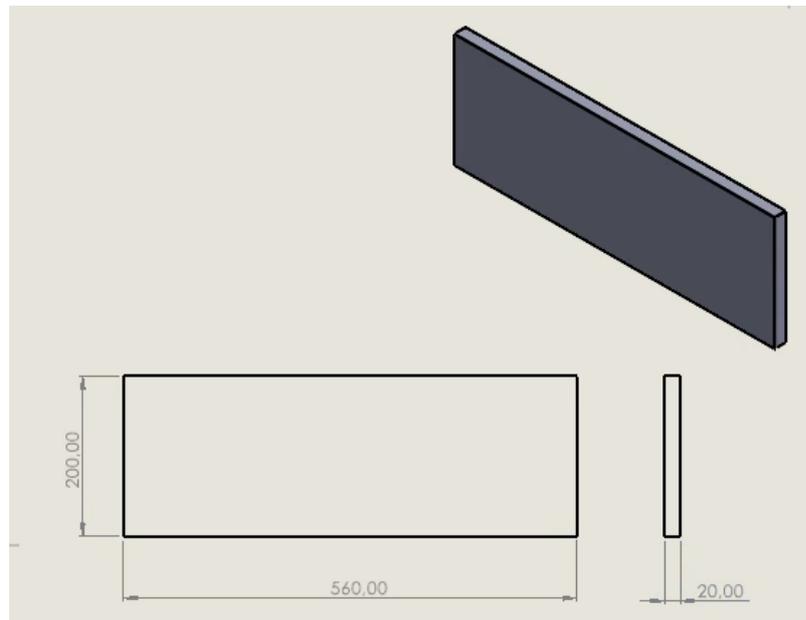


Ilustración 21. Diseño de la base donde se colocarán el resto de los componentes.

Para poder seguir una estructura lógica, se procede a continuación con la argumentación de los componentes y diseños seleccionados para cada subsistema.

Subsistema pultrusor.

En lo referente al subsistema tractor, se ha optado por la implementación del motor en corriente continua por el mismo motivo que ya se ha expresado en el apartado anterior. El hecho de tener que programar la placa Arduino lo vuelve un proyecto más complejo de lo deseado para el consumidor, por ello y porque se puede conseguir el mismo resultado, se ha optado por la versión DC por encima

de los motores paso a paso. Esto implica que el resto de los componentes que se seleccionen a continuación deberán ser los correspondientes para esta tipología de motores.

Con esto en mente y con la información de las medidas que aporta el propio fabricante del motor se procede a diseñar los soportes que lo mantendrán sujeto a la base.



Ilustración 22. Motor 12 V de corriente continua y sus medidas aportadas por el fabricante.

Atendiendo a la geometría del motor y conociendo que cuenta con un cambio de grosor se decide dividir el soporte en dos partes. La parte trasera se encargará de sostener el extremo final con un grosor más delgado, así como parte de la zona más gruesa. Ambos extremos de este soporte serán huecos, con el fin de dejar sobresalir el motor por la parte trasera para poder conectar los cables posteriormente.

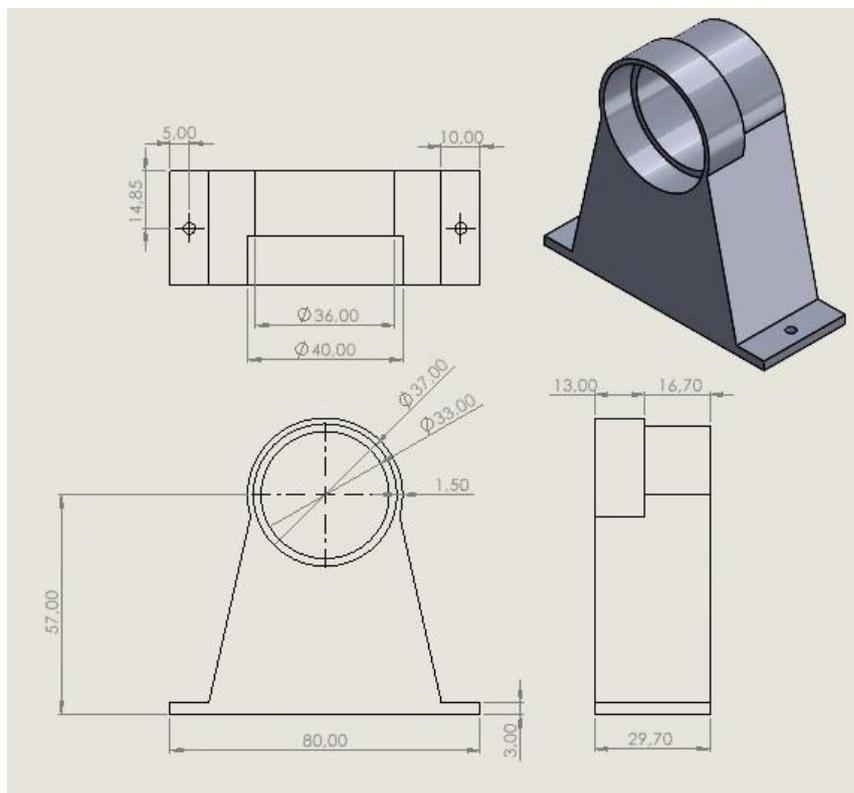


Ilustración 23. Diseño del soporte trasero para el motor DC.

Por otra parte, el soporte frontal se diseñará para poder anclar el motor mediante 6 tornillos M3x2 mm. Es importante remarcar que el motor cuenta con sistema reductor propio (independiente al que será realizado en este proyecto). Esto hace que el eje de salida de giro no esté alineado con el centro geométrico del motor; este aspecto también deberá ser considerado.

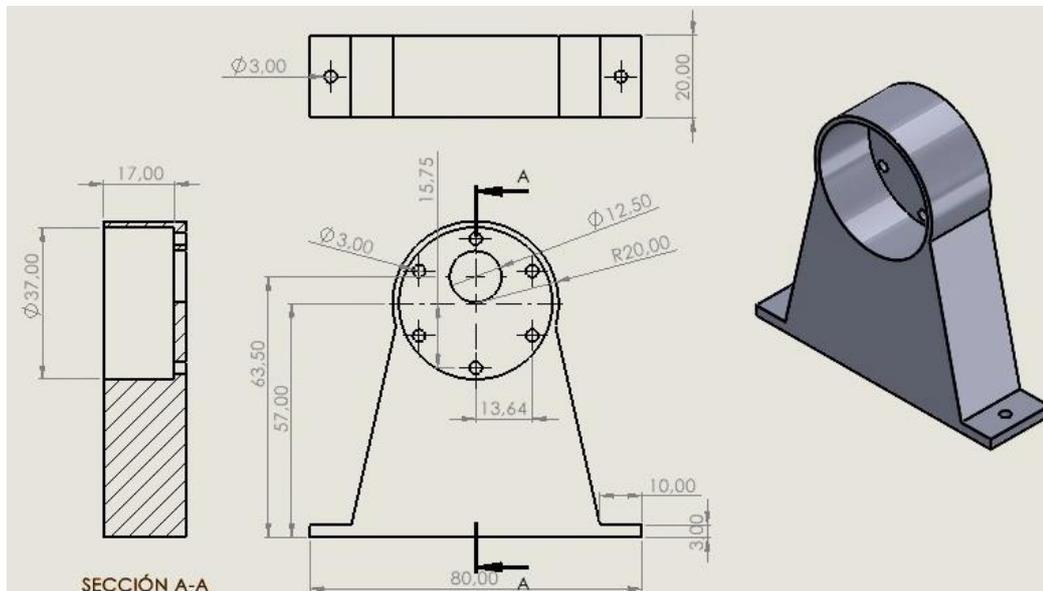


Ilustración 24. Diseño del soporte delantero para el motor DC.

Dentro del subsistema de tracción también sería necesario el diseño de un juego de engranajes que asegurase una fuerza suficiente para la extrusión óptima del filamento. Sin embargo, es necesario la realización de cálculos para el dimensionado de estos con el fin de conocer el módulo de los engranajes, número de dientes, y fuerza capaz de ejercer, lo cual se llevará a cabo en el capítulo VI. Por ahora el conjunto de engranajes y el carrete tractor serán representados como geometrías circulares en el diseño final preliminar.

Subsistema térmico.

En lo referente al subsistema térmico la alternativa escogida es el controlador térmico de configuración manual, ya que son los más económicos del mercado. La lectura de temperatura de este termostato es de 10 °C inferior a la otra opción planteada, pero ya que será inevitable la instalación de un diodo rectificador en ambos casos, se elige la configuración manual por su bajo coste y reducido tamaño. Otra ventaja del controlador manual es la opción que ofrece el fabricante de incluir una carcasa de metacrilato con el fin de proteger la placa electrónica. Esta carcasa a la vez que cumple la función de protección sirve como soporte que solo deberemos atornillar a la base. Por otra parte, el bloque calefactor irá anclado a la base mediante un ángulo metálico con las medidas que se muestran a continuación (Good Quality Home Store Store , 2024).



Ilustración 25. Ángulo metálico que cumplirá la función de soporte del bloque calefactable.

También se decide adquirir el pack con el termistor de 40 W, el bloque calefactor y boquilla, siendo conscientes de que se prefiere un procesamiento de las boquillas en fábrica por encima de contactar a diferentes proveedores para cada componente y adquirir boquillas con el diámetro específico.

Subsistema de refrigeración.

Para el subsistema de refrigeración se opta por un ventilador de flujo axial gracias a su posibilidad a ser incorporados en la propia base. Como se podrá ver en el diseño final, se decide usar un ventilador incrustado en la base de la estación, aprovechando más el espacio disponible de esta.

Subsistema de guías.

Dentro del subsistema de guías se tendrán en mente dos diseños principales: la guía que sea capaz de albergar un sensor capaz de parar el proceso y otra capaz de albergar las tiras PET y que a su vez les proporcione pigmentación.

Guía de pigmentación.

Empezando por este último, es importante conocer cómo funciona la extrusión de filamento PET. Como bien se muestra en el blog "[CNC Kitchen](#)" del ya nombrado *Stefan Hermann* (Hermann, 2022), el filamento no se funde completamente para salir en forma de hilo, sino que el material se contrae a causa del calor y el paso por la boquilla fuerza al material a enrollarse sobre sí mismo como se puede ver en las siguientes imágenes:

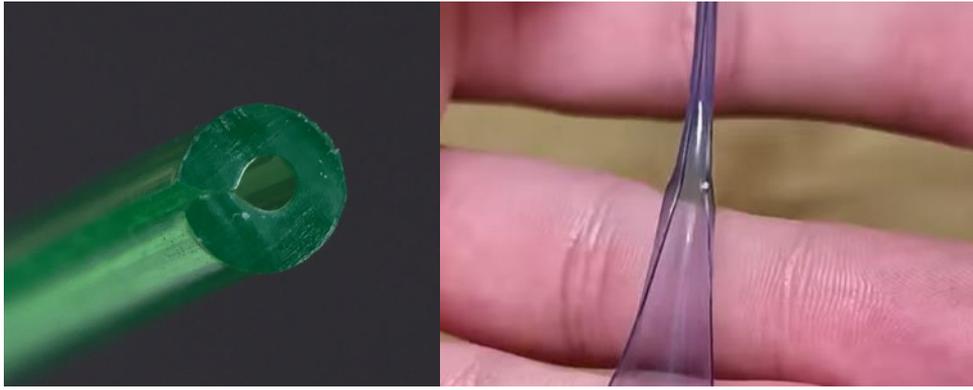


Ilustración 26. Proceso de extrusión ampliado donde se aprecia una contracción del material sobre sí mismo más que una fusión de este.

Esta peculiaridad puede ser aprovechada a nuestro favor, añadiendo una tira de pigmento en el centro de la tira PET antes de ser extruida. Al pasar por la boquilla el material se enrolla sobre sí mismo envolviendo el colorante y facilitando que el filamento pueda ser manipulado posteriormente sin riesgo de decoloración. Esta ubicación de los pigmentos propicia la correcta distribución del pigmento una vez el filamento se funde por completo en el proceso de impresión.

Se requiere encontrar un dispositivo o herramienta que pueda aplicar una línea de pigmento capaz de adherirse a la superficie del plástico y que no deje residuos voluminosos capaz de perjudicar las dimensiones del filamento.

Comercialmente se encuentra una solución a nuestro problema gracias a lo que hoy en día conocemos como rotuladores indelebles, también conocidos como marcadores permanentes.

La tinta utilizada en los rotuladores indelebles contiene disolventes y colorantes especiales que se adhieren firmemente a la superficie, de manera rápida y resistiendo la acción del agua y la fricción, volviéndolos perfectos para este proyecto no solo por sus características físicas sino por la cantidad de colores disponibles que se pueden encontrar en el mercado. De entre ellos destaca la marca “edding” y de la cual se toman las medidas de sus marcadores como diámetro máximo que es capaz de sostener nuestra guía, aunque siempre será capaz de albergar otros rotuladores con diámetros inferiores (SelfPaper, 2024).



Ilustración 27. Rotuladores “edding”, así como sus dimensiones.

Para el diseño de esta guía se opta por un diseño abierto y con forma circular para posteriormente cerrarse y servir de sistema de almacenaje de tiras PET. Posteriormente se puede encontrar un orificio con forma de chimenea el cual nos permitirá introducir un marcador por él. Si nos fijamos podremos ver cómo el tubo cuenta con un agujero de 3 mm diseñado para poder incorporar un tornillo de la misma métrica que trabaje como prisionero y así poder utilizar rotuladores con diámetros inferiores.

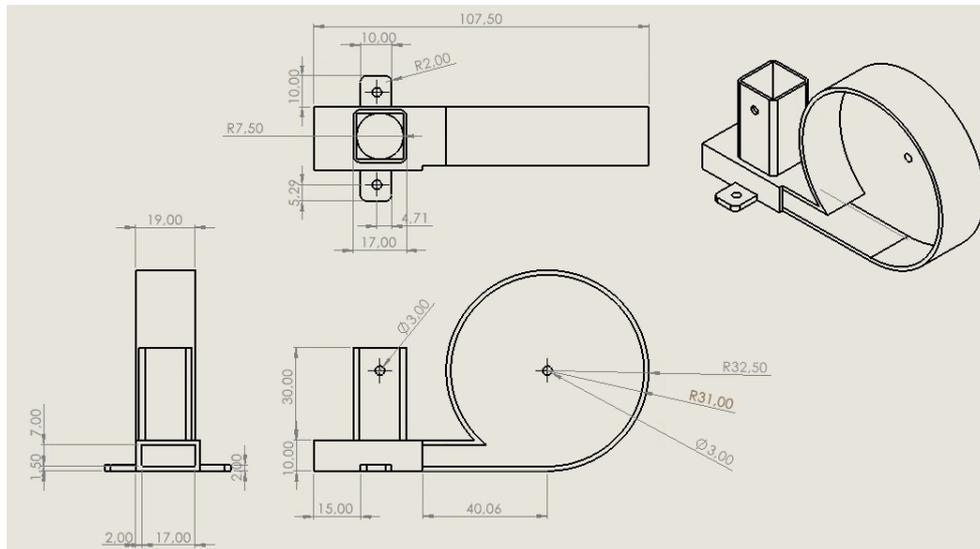


Ilustración 28. Diseño de la guía/sistema de coloración donde se aprecia una cámara cilíndrica donde irán alojadas las tiras PET y un saliente vertical donde irá colocado el rotulador "edding".

Al contar con una parte abierta será necesario el diseño de una tapa con el fin de evitar que las tiras se salgan del carrete y provoquen obstrucciones. La tapa y carrete se podrán unir con un tornillo pasador en el centro de la pieza de 3 mm de diámetro.

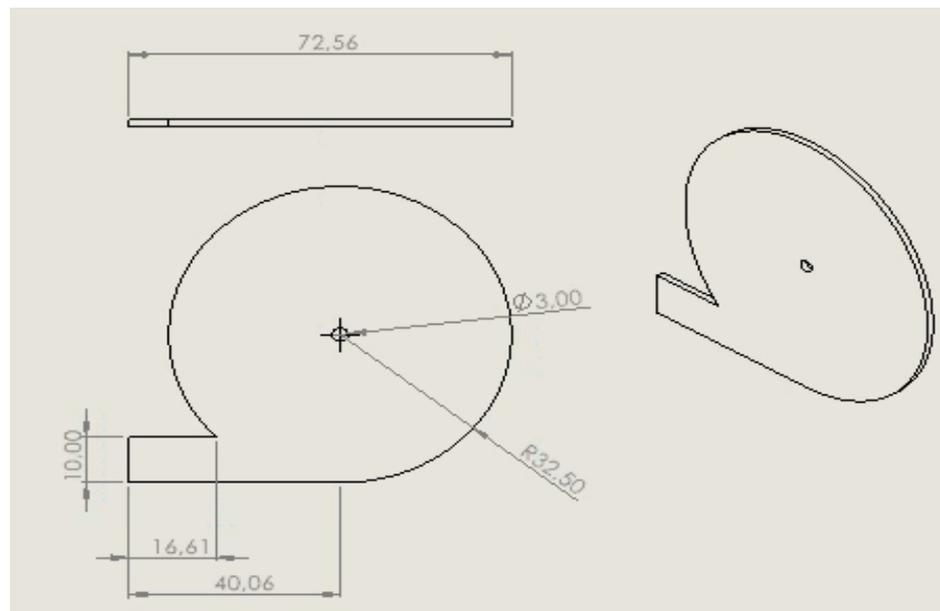


Ilustración 29. Diseño de la tapa para guía/sistema de coloración con un agujero central por donde se pasará un tornillo y anclará la tapa con el resto del cuerpo de la guía.

Guía de sensor.

Por otra parte, para realizar la guía que contendrá el sensor de filamento se necesitan conocer las medidas de este. El proveedor nos facilita esta información en la página de compra del producto y las medidas son las siguientes:

Tamaño del cuerpo: 20 x 6 x 10mm (L * W * H).

Tipo de palanca accionadora: 16mm, 21mm, 55mm.

Tipo rodillo.

Para la función que pretenden desarrollar se estima que la versión óptima es la siguiente, contando con una palanca de longitud media (21 mm) y un rodillo que facilita el paso del filamento a través de la guía:



Ilustración 30. Sensor seleccionado, interruptor de tres pines con palanca accionadora de 21mm.

Se decide optar por la utilización de dos piezas simétricas iguales con el fin de poder realizar las conexiones del sensor antes del cierre de la guía mediante dos tornillos y tuercas de 3 mm. Esta guía deja un espacio suficiente para que el filamento circule a través de ella y presione la palanca del interruptor de tres pines, manteniendo el circuito en funcionamiento. En el momento en el que se acaba la producción de filamento el interruptor deja de ser pulsado deteniendo de forma instantánea la estación de reciclaje.

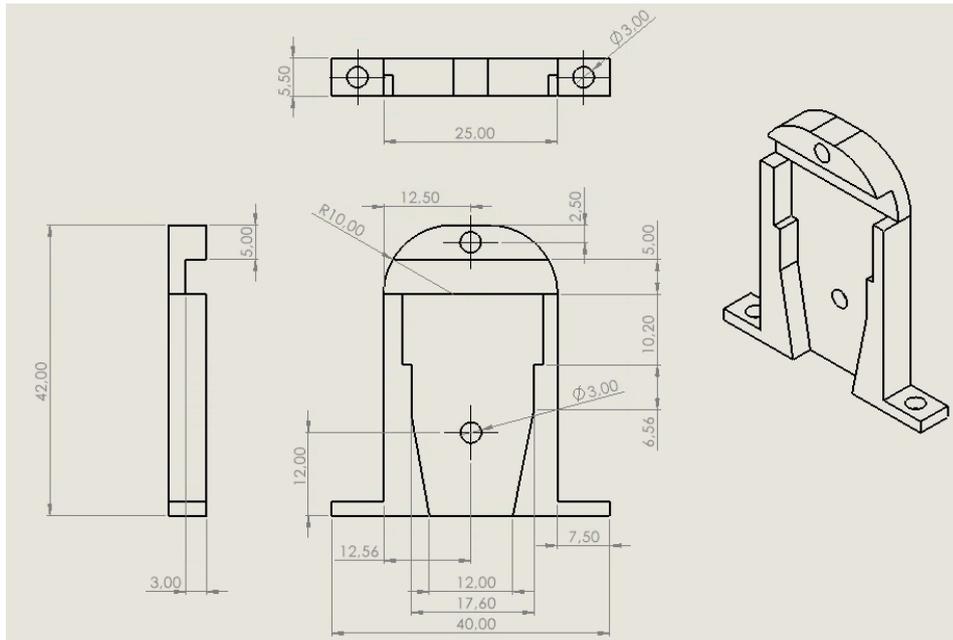


Ilustración 31. Diseño de la guía que contendrá el interruptor de 3 pines a modo de sensor.

Por último, otra guía necesaria para el proyecto es aquella situada justo después de la boquilla extrusora, encargada de albergar un tubo de teflón antiadherente de 1.75 mm de diámetro interno y por la que se hará pasar el filamento recién extruido para lograr conseguir una buena estabilidad dimensional del mismo.

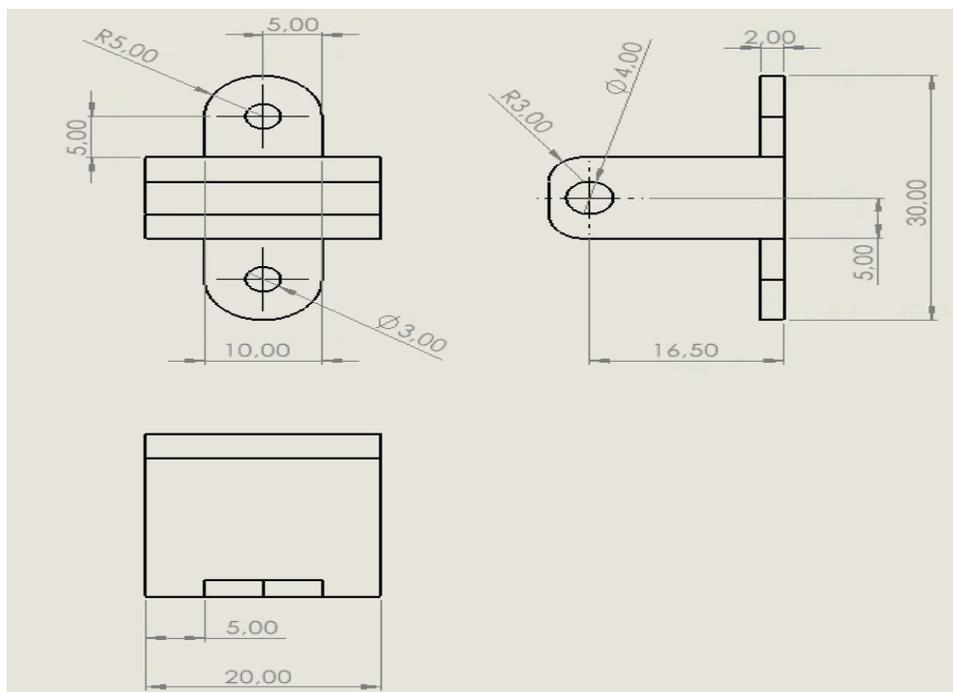


Ilustración 32. Diseño de la guía que contendrá un tubo de teflón a modo de estabilizador dimensional.

Controlador de motor.

También se ha diseñado un soporte que sirva de control de mandos para un interruptor principal del circuito, así como del controlador de velocidad del motor.

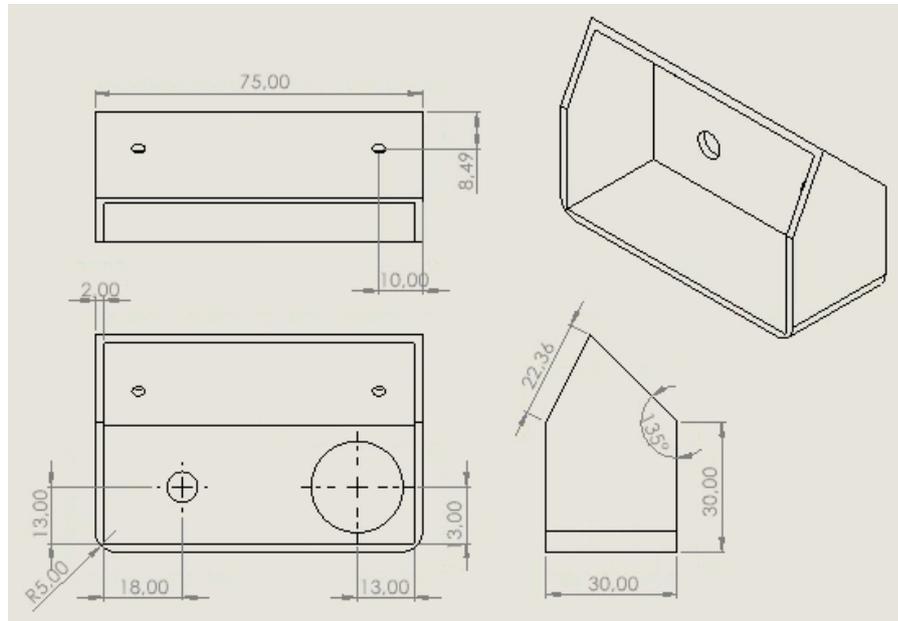


Ilustración 33. Diseño de un embellecedor para contener el potenciómetro y un interruptor general de la estación.

Resultado del diseño final preliminar.

A continuación, se muestra un ensamblaje prototipo para poder apreciar cómo sería el resultado final.

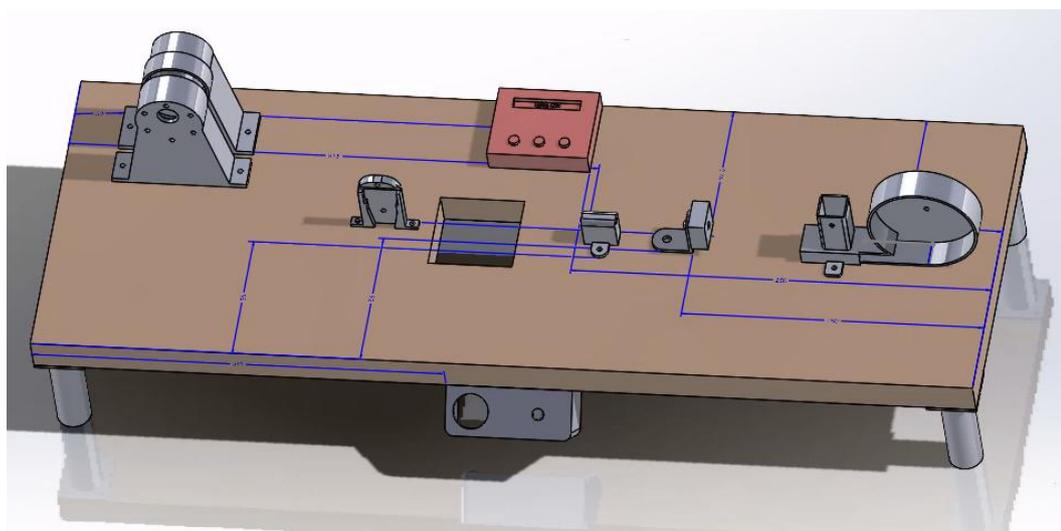


Ilustración 34. Diseño de la estación final con los componentes y guías al descubierto.

En esta primera imagen se puede apreciar el conjunto de guías diseñadas, estando la guía del sensor y la guía de pigmentación sin cubrir con el objetivo de apreciar en mejor medida el diseño interior de las piezas.

También será necesario recortar de la base un espacio de 50 x 50 mm de manera consiguiente a la guía estabilizadora dimensional con el fin de albergar el ventilador de flujo axial.

El elemento rojo mostrado en la imagen es el controlador térmico seleccionado para el proyecto. Aunque este es una mera representación, se han tomado las medidas reales del controlador (junto con carcasa protectora) para construir el modelo.

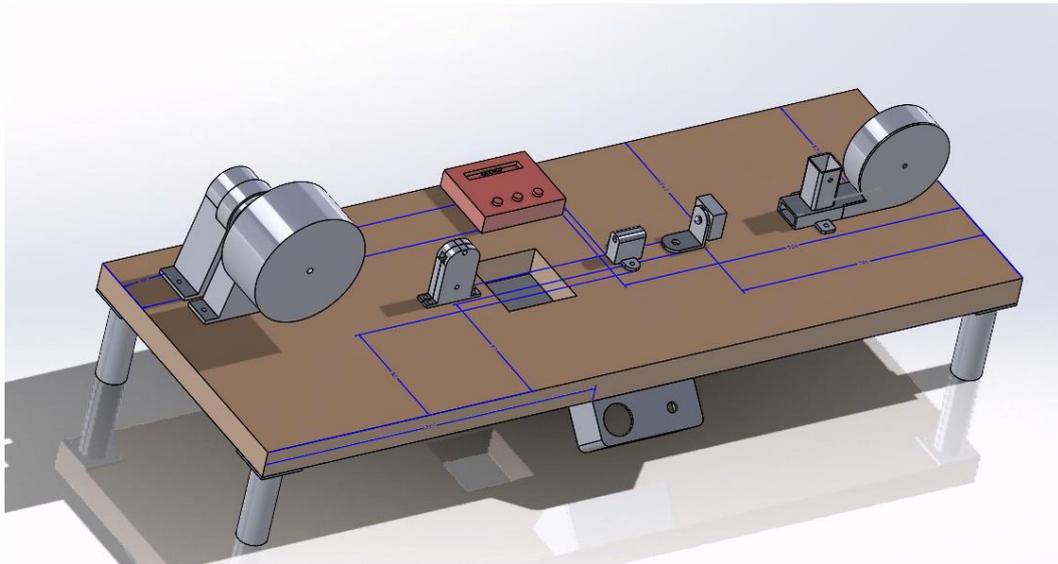


Ilustración 35. Diseño de la estación final con los componentes y guías cerradas.

Por último, se muestra el mismo modelo realizado, pero cubriendo todas las partes de los componentes y añadiendo una figura cilíndrica a modo de carrete tractor ya que todavía no se han llevado a cabo los cálculos del sistema de engranajes.

CAPÍTULO VII

Estudio y limitaciones del sistema pultrusor y cálculos de dimensionamiento

**Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el
reciclaje de botellas PET en filamento 3D.**

Estudio de tensión necesaria para la extrusión.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para realizar el diseño de la estación de reciclaje habrá que tener en consideración el estudio de un sistema de engranajes que proporcione una tensión necesaria para una pultrusión óptima, así como la velocidad de este proceso.

Para llevar a cabo este estudio, primero se debe conocer la tensión óptima de pultrusión. Este dato se puede obtener de manera empírica a partir del diámetro de la boquilla seleccionada y del grosor de la tira PET creada.

En este proyecto, dichas variables vienen marcadas por una boquilla con diámetro de 2 mm y unas tiras PET precortadas de 7.5 mm de grosor como se muestra a continuación:



Ilustración 36. Proceso de conversión de botellas PET en tiras plásticas mediante una guía manual de corte.



Ilustración 37. Medición de tiras PET para asegurar un correcto proceso de pultrusión, así como una correcta estabilidad dimensional en el filamento.

Teniendo las anteriores variables en cuenta, se procede a la realización de un experimento en el cual se irá aplicando una masa progresiva en el extremo del filamento extruido, para después poder

comparar los resultados obtenidos y seleccionar la fuerza óptima para la pultrusión del filamento de forma más homogénea. La diferencia de masa aplicada será medida con una pesa electrónica manual, comúnmente utilizadas para el pesaje de maletas.

El eje de extrusión (así como la base) en esta prueba analítica están colocados de forma vertical (perpendicular al plano de tierra), de tal manera que el peso aplicado en el extremo de la báscula no se ve afectado para el cálculo, al estar situados en el mismo eje de acción de la gravedad. Así resultan más sencillos los cálculos al convertir el peso aplicado en fuerza aplicada en el filamento (fuerza que debemos ejercer). Con esto en mente se procede a analizar los resultados.

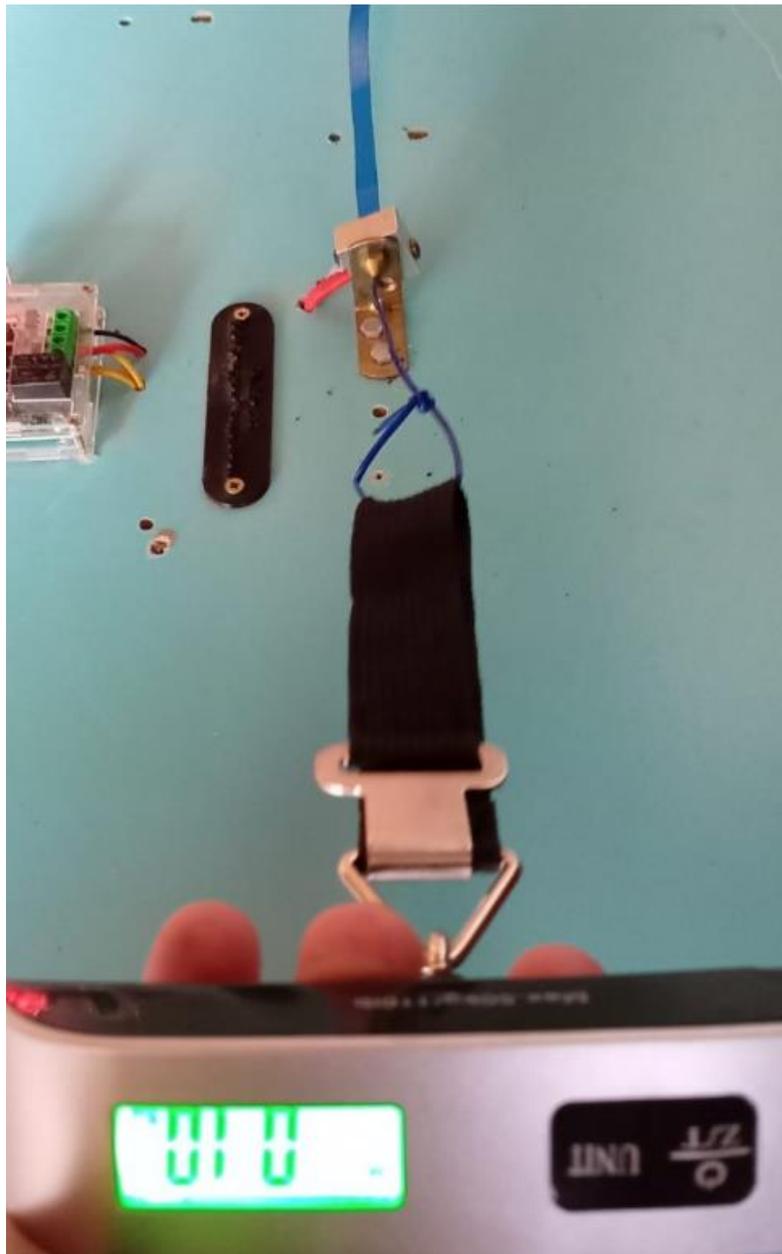


Ilustración 38. Proceso de medición de tensión de extrusión óptima mediante báscula digital.

Como se puede apreciar, el peso de 1 kg no provoca una correcta pultrusión del filamento al no ejercer la tensión suficiente. Para este resultado se observan a simple vista varios inconvenientes: sección irregular, partes del filamento sufren de cristalización (proceso que afecta a la estructura interna del PET al verse sobreexpuesto a altas temperaturas y deteriora sus capacidades mecánicas), así como la notable malformación del filamento al no contar con una tensión suficiente para que la tira PET se enrolle sobre sí misma.



Ilustración 39. Filamento PET extruido con 1 kg de fuerza.

Atendiendo a los resultados anteriores se decide aumentar el peso hasta los 7 kg. Lo primero que se puede observar es un correcto enrollado de la tira PET, pero también se distinguen los desperfectos causados en la superficie del filamento provocados por una tensión sobredimensionada para este proceso. Esto produce cambios drásticos de velocidad y saltos de extrusión en la boquilla durante el proceso. Esta sobretensión provoca tales defectos en el producto final que lo vuelve inservible.



Ilustración 40. Filamento PET extruido con 7 kg de fuerza.

Por último, se decide moderar la carga aplicada de manera que se obtenga un punto medio de tensión. En este caso se decidió aplicar una carga de 3 kg, lo que resulta en un filamento uniforme, completamente enrollado sobre sí mismo y con tolerancias dimensionales adecuadas, así como una calidad superficial aceptables. En cuanto a la velocidad de extrusión cabe decir que es lenta pero uniforme gracias a tener una temperatura y tensiones adecuadas.

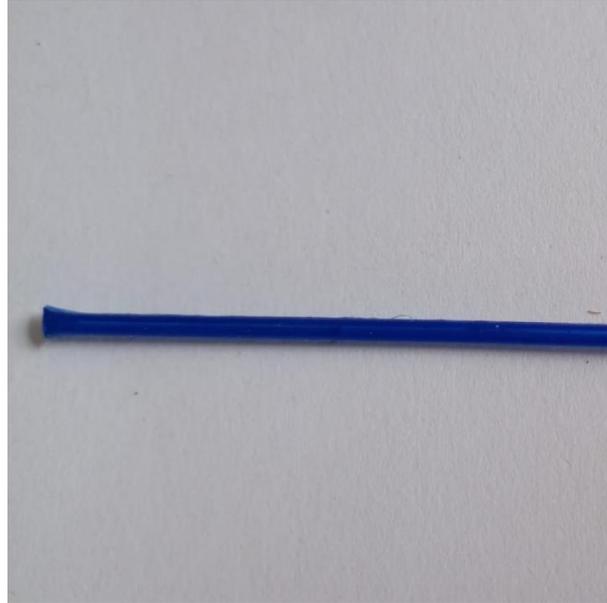


Ilustración 41. Filamento PET extruido con 3 kg de fuerza.

Con la comparativa previa y sus resultados se opta por aplicar una carga de 3 kg al extruir nuestro filamento. Sin embargo, en la prueba experimental las unidades dimensionales que se han utilizado son kilos (masa), mientras que para el cálculo del conjunto de engranajes es necesario conocer la fuerza aplicada a las tiras PET para que se extruyan correctamente. A continuación, se procede al cálculo y conversión de unidades:

$$F_t = m \cdot g$$

Siendo F_t =Fuerza total, m =masa y g =valor gravedad.

$$F_t = 3 \cdot 9.81 = 29.43 \text{ N}$$

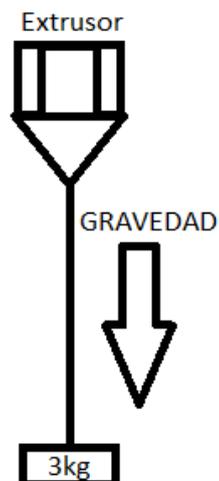


Ilustración 42. Boceto simple del experimento donde se representan las fuerzas que actúan en el experimento de extrusión, siendo estas la masa y la gravedad.

Limitaciones del sistema pultrusor y cálculo de velocidades angulares.

Una vez se conoce la fuerza de tensión necesaria que se debe aplicar para la correcta extrusión del filamento, será necesario acudir a la ficha técnica del motor eléctrico seleccionado para poder apreciar sus capacidades y a partir de ahí deducir el sistema de engranajes.

Reduction ratio	Rated Volt	No Load		AT Load			STALL		Gearbox Length
		SPEED	CURRENT	Torque	SPEED	Current	TOGQCE	CURRENT	
	V	RPM	mA	KG.cm	RPM	mA	KG..CM	mA	mm
6.3	12	960	120	0.3	670	400	1	400	19
10	12	600	120	0.5	420	400	1.65	400	19
18.8	12	320	120	0.67	224	400	3.1	400	22
30	12	200	120	1.5	140	400	5	400	22
56	12	107	120	2.8	75	400	9	400	24
90	12	66	120	4.5	46	400	15	400	24
131	12	45	120	6.5	32	400	21	400	26.5
168	12	35	120	8.4	25	400	25	400	26.5
270	12	22	120	13.5	16	400	25	400	26.5
506	12	12	120	18	8.5	400	25	400	29
810	12	7	120	22	5	400	25	400	29
6.3	24	960	50	0.3	670	200	1	200	19
10	24	600	50	0.5	420	200	1.65	200	19
18.8	24	320	50	0.67	224	200	3.1	200	22
30	24	200	50	1.5	140	200	5	200	22
56	24	107	50	2.8	75	200	9	200	24
90	24	66	50	4.5	46	200	15	200	24
131	24	45	50	6.5	32	200	21	200	26.5
168	24	35	50	8.4	25	200	25	200	26.5
270	24	22	50	13.5	16	200	25	200	26.5
506	24	12	50	18	8.5	200	25	200	29
810	24	7	50	22	5	200	25	200	29

Tabla 2. Especificaciones del motor JGB37-520 DC, tomando como necesarias aquellas especificaciones de acuerdo al conjunto reductor que queramos, en este caso 12 V y 7 rpm.

Como se puede apreciar, la configuración de motor seleccionada es capaz de girar con una velocidad máxima de 7 rpm y es capaz de producir un torque máximo de 22 kg·cm.

Por otra parte, el torque (T) es el producto de la fuerza (F) y el radio (r) del vástago o carrete tractor:

$$T = F \cdot r$$

Sabiendo tanto la fuerza de tensión que queremos aplicar, así como el torque máximo que produce el motor, se despeja el radio máximo que tendrá el engranaje unido al vástago del motor y que será el encargado de transmitir la potencia a nuestro segundo engranaje que a su vez será el carrete recolector.

$$1 \text{ kg} \cdot \text{cm} = 0.09806 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Por lo tanto, el torque máximo T del motor en N·m es:

$$T = 22 \text{ kg} \cdot \text{cm} \times (0.09806 \text{ N} \cdot \text{m} / 1 \text{ kg} \cdot \text{cm}) = 2.15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Despejamos r :

$$r = 2.15/29.43 \approx 0.0733 \text{ m}$$

Por lo tanto, el radio máximo de nuestro engranaje conductor (para que trabaje a carga nominal) es aproximadamente **0.0733 m o 7.33 cm**.

Otro dato que se debe tener en cuenta en los cálculos si se desea una extrusión óptima es la velocidad lineal a la que se extruirá el filamento, coincidiendo esta con la velocidad lineal que llevará el carrete recolector. Después de acudir a diversas fuentes de información especializados en este tema, no se ha podido encontrar una velocidad exacta a la que extruir el filamento PET ya que la velocidad en la mayoría de las ocasiones varía en función de otros parámetros como el grosor de la tira PET o la temperatura de extrusión. Sin embargo, todos concuerdan con que la velocidad debe ser lo más baja posible, por lo que para nuestro proyecto establecemos una velocidad de extrusión objetivo de **0.5 m/min (0.00833 m/s)**.

La versión de motor seleccionada trabaja a un **régimen nominal cuando está cargado de 5 rpm**, o lo que es lo mismo, **0.5236 rad/s**.

Sabiendo tanto la velocidad lineal como la fuerza mínima necesaria que se necesita en el segundo engranaje, así como la estipulación de una **relación de transmisión de 1:2**, se procede al dimensionado del primer engranaje y se comprueba que la fuerza resultante en el segundo engranaje es suficiente para la extrusión.

Engranaje 1

$$V_1 = 0.00833 \frac{m}{s}$$

$$RT = 1:2 ; RT = \frac{w_1}{w_2} = 2$$

$$T_1 = 2.15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$W_1 = 0.524 \frac{rad}{s}$$

Engranaje 2

$$V_2 = 0.0083 \frac{m}{s}$$

$$F_2 = 29.43 \text{ N (al menos)}$$

Dimensionado de engranajes.

Cálculo diámetro D1.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 = W_1 \cdot R_1 \\ 0.00833 &= 0.524 \cdot R_1 \\ R_1 &= 0.0159 \text{ m} = 15.9 \text{ mm} \\ D1 &= 2 \cdot R1 = 31.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cálculo diámetro D2.

$$V_2 = \frac{W_1}{RT} \cdot R_2$$
$$0.00833 = \frac{0.524}{2} \cdot R_2$$
$$R_2 = 0.0318 \text{ m} = 31.8 \text{ mm}$$
$$D_2 = 2 \cdot R_2 = 63.6 \text{ mm}$$

Verificación de fuerza transmitida.

$$Ft = \frac{T_2}{R_2} \text{ (donde } T_2 = T_1 \cdot RT)$$

$$T_2 = 2.15 \cdot RT$$

$$T_2 = 2.15 \cdot 2 = 4.31 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Queremos que $F \geq 29.43 \text{ N}$, por lo que:

$$F_2 = \frac{T_2}{R_2} = \frac{4.31}{0.0318} = 135.7 \text{ N}$$

Como se puede apreciar en los resultados, la fuerza aplicada con esta configuración es más que suficiente para llevar a cabo la extrusión. Sin embargo, a diferencia del experimento, al controlar la velocidad con la que se aplica la tensión extrusora garantiza que se pueda llevar a cabo el proceso sin el inconveniente de que se produzcan saltos en la boquilla que puedan afectar al filamento.

Diseño de engranajes.

Al establecer parámetros estrictos como la velocidad lineal a la que tienen que girar los engranajes, la relación de transmisión, o la velocidad angular del piñón conductor encontramos con diámetros no exactos que resultan imposibles de adquirir en el mercado comercial. Aun así, si se quisiera utilizar engranajes metálicos tendrían que ser fabricados en exclusiva para este proyecto, ya que necesitarían realizarse ciertos agujeros o chaveteados para la unión tanto con el motor como con la estructura del carrete. Esto encarecería en gran medida el resultado final, por lo que se opta por el diseño y fabricación de engranajes que podrán ser impresos en 3D al igual que el resto de los componentes no electrónicos de la estación.

Una vez dimensionados los diámetros primitivos de los engranajes y habiendo asegurado la aplicación de una fuerza de tensión más que suficiente para realizar la pultrusión, se procederá al cálculo del resto de parámetros necesarios para poder diseñar los engranajes en el software "SolidWorks".

Engranaje 1 (piñón conductor).

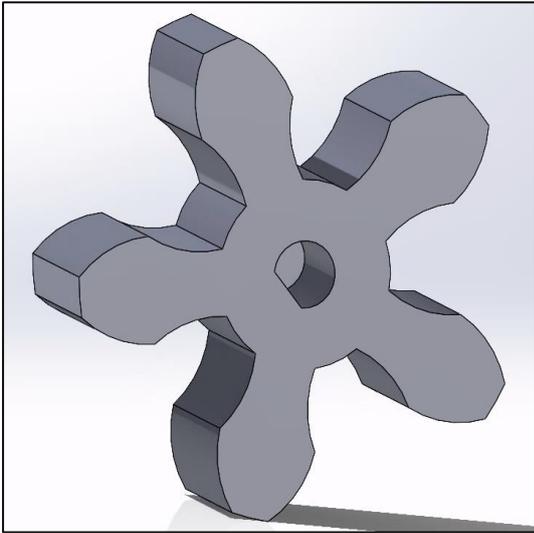


Ilustración 43. Renderizado 3D del engranaje 1 que irá unido a presión gracias a que el vástago del motor es achatado en la punta, evitando deslizamientos.

$$D_p = 31.8 \text{ mm}$$

$$z_1 = 5 \text{ dientes}$$

$$Paso = \frac{\pi \cdot d}{z} = \frac{\pi \cdot 31.8}{5} = 19.98 \text{ mm}$$

$$Módulo = \frac{D_p}{z} = \frac{31.8}{5} = 6.36$$

$$D_e = D_p + 2M = 31.8 + 2 \cdot 6.36 = 44.52 \text{ mm}$$

$$D_i = D_p - (2 \cdot j) = 31.8 - (2 \cdot 7.42) = 16.96 \text{ mm}$$

$$j \text{ (pie del diente)} = 1.167 \cdot M = 7.42$$

Engranaje 2 (piñón conducido).

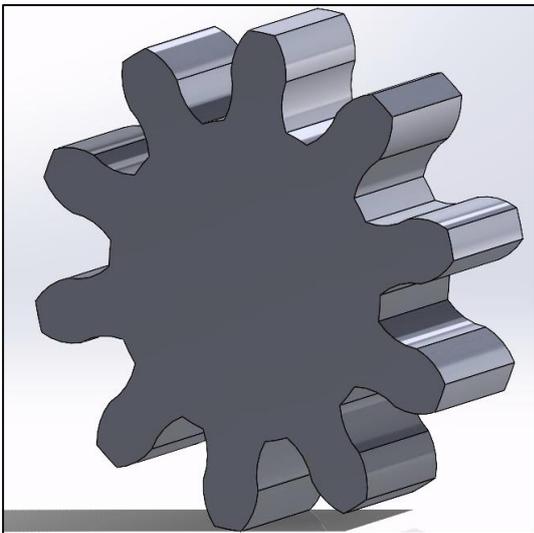


Ilustración 44. Renderizado 3D del engranaje 2 que será el encargado de realizar la fuerza necesaria para la extrusión del filamento.

$$D_p = 63.6 \text{ mm}$$

$$z_2 = 10 \text{ dientes}$$

$$Paso = \frac{\pi \cdot d}{z} = \frac{\pi \cdot 63.6}{10} = 19.98 \text{ mm}$$

$$Módulo = \frac{D_p}{z} = \frac{63.6}{10} = 6.36$$

$$D_e = D_p + 2M = 63.6 + 2 \cdot 6.36 = 76.32 \text{ mm}$$

$$D_i = D_p - (2 \cdot j) = 63.6 - (2 \cdot 7.42) = 48.76 \text{ mm}$$

$$j \text{ (pie del diente)} = 1.167 \cdot M = 7.42$$

CAPÍTULO VIII

Soporte para carrete y rodamientos

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

Diseño de soporte.

Una vez se han diseñado los engranajes que cumplen con los requerimientos propuestos, se procede con el diseño de la estructura en la cual irá sujeto el carrete tractor unido a nuestro segundo engranaje. Para ello primero se debe conocer la distancia entre centros necesaria.

Distancia entre centros

$$L = M \cdot (z_1 + z_2) = 6.36 \cdot (5 + 10) = 47.7 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta que los cálculos de fuerza de tensión y velocidad se han realizado de acuerdo con el diámetro primitivo del segundo engranaje, se opta por la extensión de este último para formar así una única pieza que sirva de engranaje y carrete. Al trabajar con impresión 3D se tiene una gran libertad de diseño y optimización de partes ya que no supone un coste adicional de procesado.

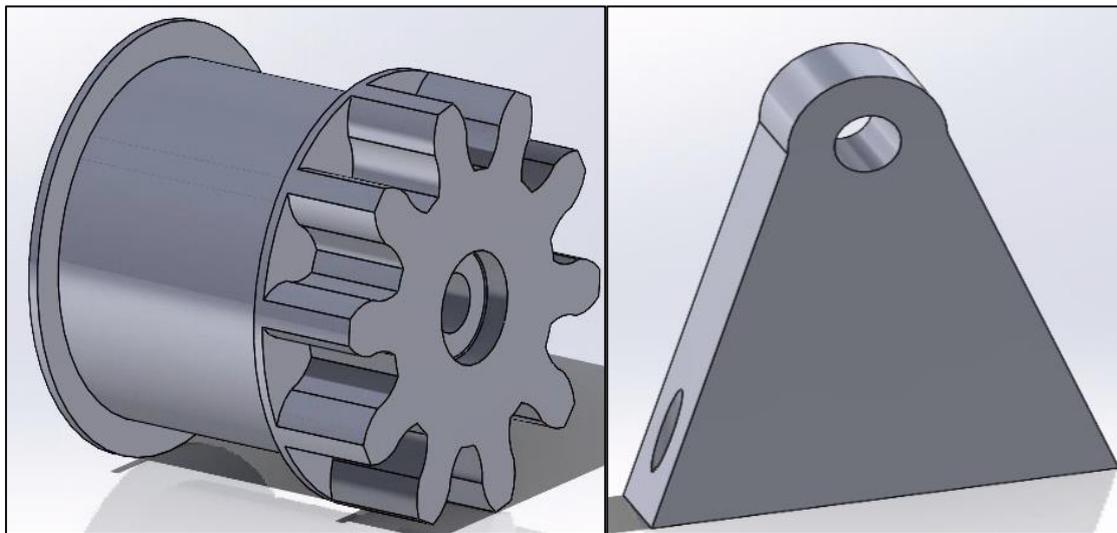


Ilustración 45. Carrete tractor unido con engranaje conducido y sus soportes.

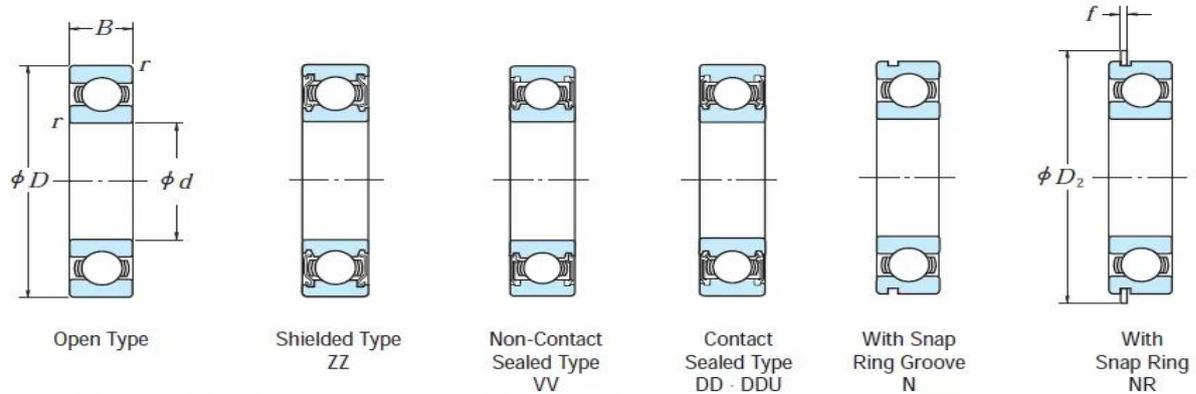
Como ya se había comentado anteriormente, se unifica el carrete tractor con el engranaje de tal forma que ambos se mueven en concordancia. Esta pieza irá sujeta por dos soportes como los que se muestran en la ilustración de la derecha, que a su vez se atornillarán a la base. Los soportes y el carrete se unen con una varilla roscada de 10 mm de diámetro que se sujetará en sus extremos por dos tuercas de las dimensiones correspondientes.

Selección de rodamientos.

Para el diseño de carrete tractor es importante considerar que se trabajará con una parte giratoria que podría crear fricción por el roce en el vástago de este, lo que deformaría la pieza. Para solucionar este problema se opta por la utilización de rodamientos rígidos de bolas con sello de metal. Estos engranajes proporcionan seguridad y aumentan el tiempo de vida útil de la estación ya que al estar sometida a tan bajas tensiones apenas afecta al rodamiento con el paso del tiempo (NSK Bearings, 2024).

SINGLE-ROW DEEP GROOVE BALL BEARINGS

Bore Diameter 10 – 22 mm



Boundary Dimensions (mm)				Basic Load Ratings (N) {kgf}				Factor f_0	Limiting Speeds (min ⁻¹)			Bearing Numbers		
d	D	B	r min.	C_r	C_{0r}	C_r	C_{0r}		Grease Open Z: ZZ V: VV	DU DDU	Oil Open Z	Open	Shielded	Sealed
10	19	5	0.3	1 720	840	175	86	14.8	34 000	24 000	40 000	6800	ZZ	VV DD
	22	6	0.3	2 700	1 270	275	129	14.0	32 000	22 000	38 000	6900	ZZ	VV DD
	26	8	0.3	4 550	1 970	465	201	12.4	30 000	22 000	36 000	6000	ZZ	VV DDU
	30	9	0.6	5 100	2 390	520	244	13.2	24 000	18 000	30 000	6200	ZZ	VV DDU
12	35	11	0.6	8 100	3 450	825	350	11.2	22 000	17 000	26 000	6300	ZZ	VV DDU
	21	5	0.3	1 920	1 040	195	106	15.3	32 000	20 000	38 000	6801	ZZ	VV DD
	24	6	0.3	2 890	1 460	295	149	14.5	30 000	20 000	36 000	6901	ZZ	VV DD
	28	7	0.3	5 100	2 370	520	241	13.0	28 000	—	32 000	16001	—	—
	28	8	0.3	5 100	2 370	520	241	13.0	28 000	18 000	32 000	6001	ZZ	VV DDU
	32	10	0.6	6 800	3 050	695	310	12.3	22 000	17 000	28 000	6201	ZZ	VV DDU
15	37	12	1	9 700	4 200	990	425	11.1	20 000	16 000	24 000	6301	ZZ	VV DDU
	24	5	0.3	2 070	1 260	212	128	15.8	28 000	17 000	34 000	6802	ZZ	VV DD
	28	7	0.3	4 350	2 260	440	230	14.3	26 000	17 000	30 000	6902	ZZ	VV DD
	32	8	0.3	5 600	2 830	570	289	13.9	24 000	—	28 000	16002	—	—
	32	9	0.3	5 600	2 830	570	289	13.9	24 000	15 000	28 000	6002	ZZ	VV DDU
	35	11	0.6	7 650	3 750	780	380	13.2	20 000	14 000	24 000	6202	ZZ	VV DDU
17	42	13	1	11 400	5 450	1 170	555	12.3	17 000	13 000	20 000	6302	ZZ	VV DDU
	26	5	0.3	2 630	1 570	268	160	15.7	26 000	15 000	30 000	6803	ZZ	VV DD
	30	7	0.3	4 600	2 550	470	260	14.7	24 000	15 000	28 000	6903	ZZ	VV DDU
	35	8	0.3	6 000	3 250	610	330	14.4	22 000	—	26 000	16003	—	—
	35	10	0.3	6 000	3 250	610	330	14.4	22 000	13 000	26 000	6003	ZZ	VV DDU
	40	12	0.6	9 550	4 800	975	490	13.2	17 000	12 000	20 000	6203	ZZ	VV DDU
20	47	14	1	13 600	6 650	1 390	675	12.4	15 000	11 000	18 000	6303	ZZ	VV DDU
	32	7	0.3	4 000	2 470	410	252	15.5	22 000	13 000	26 000	6804	ZZ	VV DD
	37	9	0.3	6 400	3 700	650	375	14.7	19 000	12 000	22 000	6904	ZZ	VV DDU
	42	8	0.3	7 900	4 450	810	455	14.5	18 000	—	20 000	16004	—	—
	42	12	0.6	9 400	5 000	955	510	13.8	18 000	11 000	20 000	6004	ZZ	VV DDU
	47	14	1	12 800	6 600	1 300	670	13.1	15 000	11 000	18 000	6204	ZZ	VV DDU
22	52	15	1.1	15 900	7 900	1 620	805	12.4	14 000	10 000	17 000	6304	ZZ	VV DDU
	44	12	0.6	9 400	5 050	960	515	14.0	17 000	11 000	20 000	60/22	ZZ	VV DDU
	50	14	1	12 900	6 800	1 320	695	13.5	14 000	9 500	16 000	62/22	ZZ	VV DDU
	56	16	1.1	18 400	9 250	1 870	940	12.4	13 000	9 500	16 000	63/22	ZZ	VV DDU

Notes (1) For tolerances for the snap ring grooves and snap ring dimensions, refer to Pages A50 to A53.

(2) When heavy axial loads are applied, increase d_a and decrease D_a from the above values.

Tabla 3. Catálogo NSK de rodamientos de bolas de una hilera.

Atendiendo a las dimensiones del carrete tractor, así como de las necesidades de nuestro diseño se ha optado por la utilización de un rodamiento **6800ZZ**, ya que las dimensiones de este rodamiento son bastante reducidas y como se puede ver en los datos proporcionados, soporta hasta una fuerza de **1720 N**, siendo estos más que suficientes ante los **135.49 N** que ejerce el segundo engranaje. También cabe destacar que la necesidad de una velocidad baja para asegurar un correcto reciclaje del PET es beneficioso, ya que nunca se superan las velocidades límite de ningún rodamiento.

Atendiendo a esto, las medidas del rodamiento a incorporar son las siguientes:

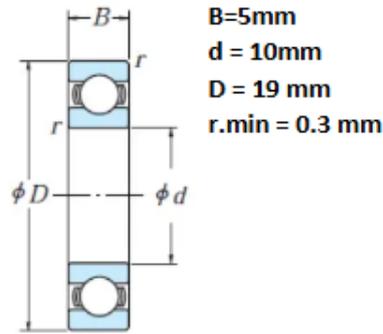


Ilustración 46. Dimensiones del rodamiento seleccionado dentro del catálogo NSK, siendo este el 6800ZZ.

Diseñados estos componentes, así como una vez se han seleccionado los rodamientos pertinentes, se procede a incluirlos en el ensamblaje para realizar las modificaciones necesarias en cuanto a distribución. Una vez acomodados el resultado final luciría tal que:

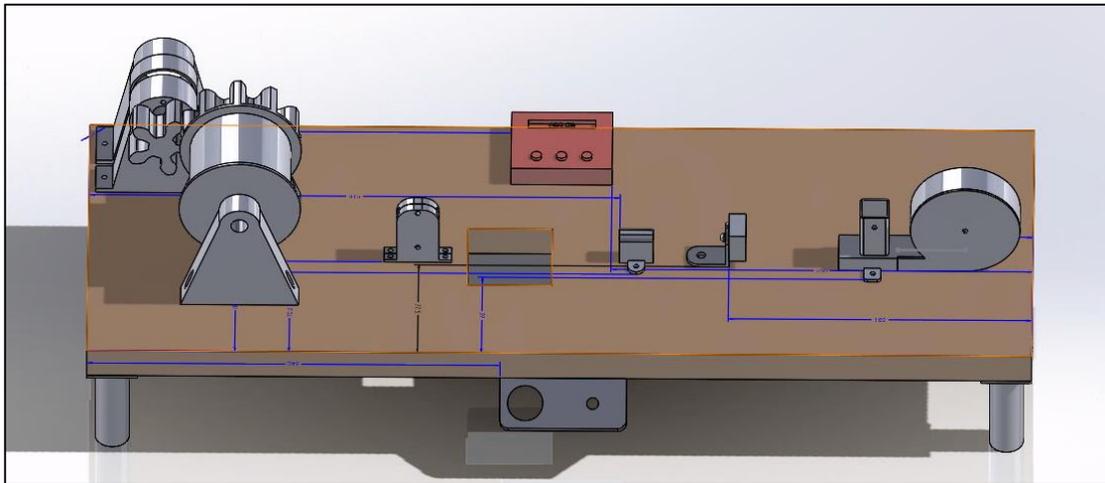


Ilustración 47. Renderizado final de la estación de reciclaje PET.

Análisis por simulación.

Por último, se decide realizar un análisis estático con el software “SolidWorks” con el fin de determinar si los engranajes diseñados son capaces de soportar los momentos ejercidos sobre estos.

Es importante tener en cuenta que, para el estudio y ya que el objetivo de la estación es auto-reproducirse por el mismo usuario, se ha optado por la asignación del PET como material de conformado de los engranajes. Aun así, los resultados obtenidos mediante este análisis no serán más que meros resultados orientativos, debido a que el programa toma la pieza como un objeto sólido mientras que en la realidad y al tratarse de piezas fabricadas en 3D, las características mecánicas de la pieza varían dependiendo de la densidad de impresión, orientación de las capas, etc.

Como ya se ha mencionado previamente, se procede a llevar a cabo un análisis estático del conjunto “Engranaje 1” y el “Engranaje 2/Carrete tractor”.

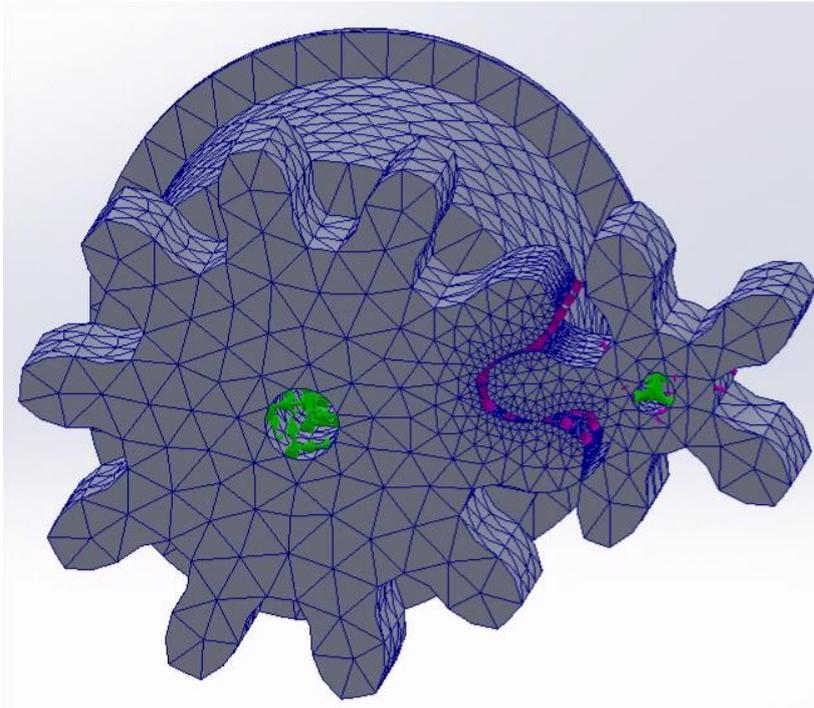


Ilustración 48. Proceso de mallado del conjunto de engranajes.

Primero se lleva a cabo el mallado del modelo prestando especial atención en las partes donde va a producirse el contacto, aplicando en estos lugares un control del mallado con el fin de disminuir el tamaño de los elementos finitos de esas zonas y así conseguir resultados más precisos.

Una vez realizado el mallado, el “Engranaje 2” se apoya mediante una geometría fija con el fin de mantenerlo inmóvil y en el “Engranaje 1” se selecciona la opción de bisagra fija, además de aplicarle a este un momento de **2.15 N·m**.

Con estos datos y procedimientos aplicados, se procede a ejecutar el análisis estático:

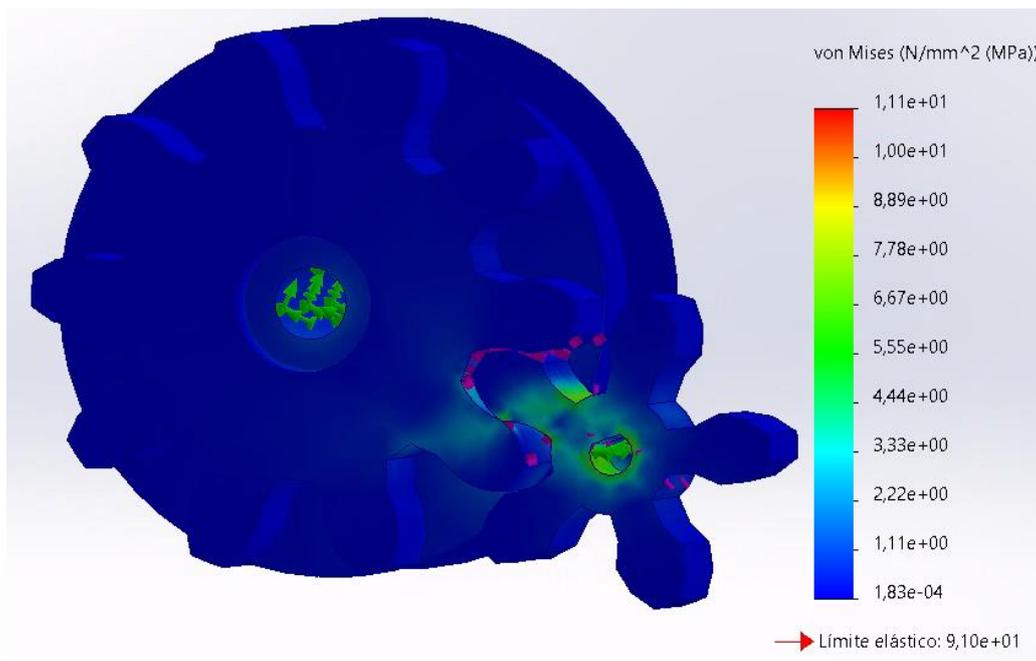


Ilustración 49. Resultados de tensión de von Mises.

Los resultados de las tensiones ejercidas en el modelo nos muestran claramente que las piezas son capaces de soportar los esfuerzo. Para saber en qué rango de tensiones se halla el modelo es importante acudir tanto a los datos del material que aporta "SolidWorks" con el fin de encontrar el límite elástico y el límite de rotura del material PET.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	2960	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.37	N/D
Módulo cortante		N/mm ²
Densidad de masa	1420	kg/m ³
Límite de tracción	57.3	N/mm ²
Límite de compresión	92.9	N/mm ²
Límite elástico	91	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.261	W/(m·K)

Tabla 4. Propiedades mecánicas del PET

Como se puede ver, el límite elástico del material es de 91 MPa (Plásticos Brello S.A, 2024), mientras que el esfuerzo máximo que se produce en nuestra pieza es de 11.17 MPa, por lo que se podría decir que se trabaja con un factor de seguridad de:

$$F_{\text{seguridad}} = \frac{\text{Lim. Elástico}}{\text{Tensión en modelo}} = \frac{91}{11.17} = 8.15$$

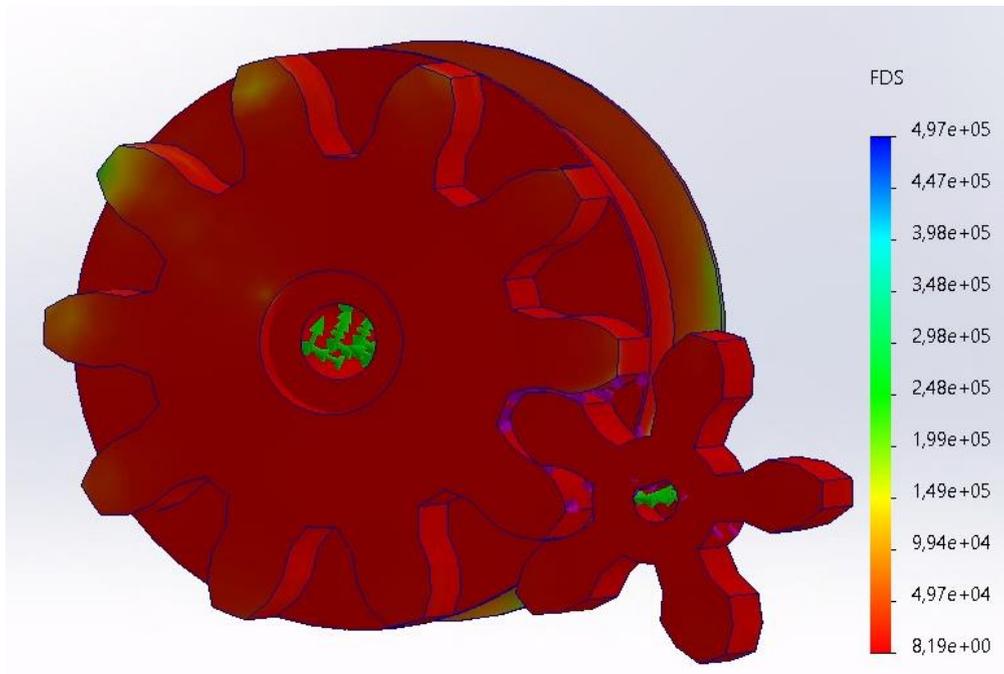


Ilustración 50. Resultados del factor de seguridad del engranaje tractor.

Por último, al tratarse de un polímero es normal que el límite elástico sea tan superior ya que su estructura formada por cadenas poliméricas tiene mayor facilidad para desplazarse y luego volver a su estado natural en comparación con cualquier otro material metálico. Esto es una ventaja para algunos objetivos, pero implica que, aunque nuestra pieza no rompa podría deformarse de tal forma que los dientes de los engranajes dejaran de encajar. Con el fin de analizar si esto fuese capaz de ocurrir en el caso aquí propuesto procedemos a analizar las deformaciones:

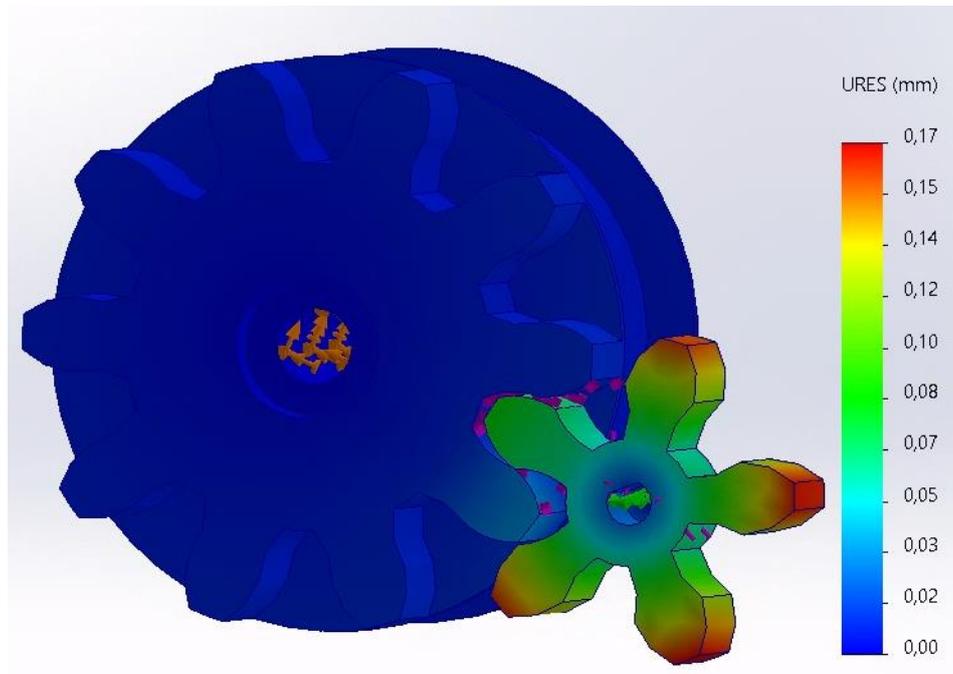


Ilustración 51. Resultados de deformación en mm.

De la misma manera que con las tensiones, los resultados obtenidos nos indican que el conjunto de engranajes está dimensionado de tal forma que no se ve afectado ni por las tensiones ejercidas ni por las propias deformaciones que estas pueden provocar. La mayor deformación provocada en el conjunto de dientes que están en contacto es de **0.08 mm**, algo completamente imperceptible para el propósito al que se destina. También se puede apreciar una “deformación” mayor en el resto de los dientes haciendo referencia al desplazamiento que el programa asume que se realizará, pero al no haber estipulado restricciones a esos dientes sus resultados no se tendrán en cuenta.

CAPÍTULO IX

Análisis de procesos de fabricación

Diseño de estación modular y análisis del sistema tractor para el reciclaje de botellas PET en filamento 3D.

Para fabricar componentes plásticos de la estación de reciclaje PET, existen varios procesos de producción que se pueden considerar dependiendo de factores como el diseño del producto, las propiedades del material, el volumen de producción y los costos. A continuación, se analizan algunos de los procesos de producción más comunes para la fabricación de componentes plásticos.

Moldeo por inyección.

Es uno de los procesos más comunes para la producción de piezas plásticas. Implica inyectar material plástico fundido en un molde cerrado. Las ventajas de este proceso son la alta precisión, buena calidad de superficie, capacidad para producir piezas complejas, alta eficiencia para grandes volúmenes. Por otra parte, las ventajas de este proceso son un costo inicial elevado por el diseño y la fabricación del molde, menos rentable para producciones de bajo volumen.

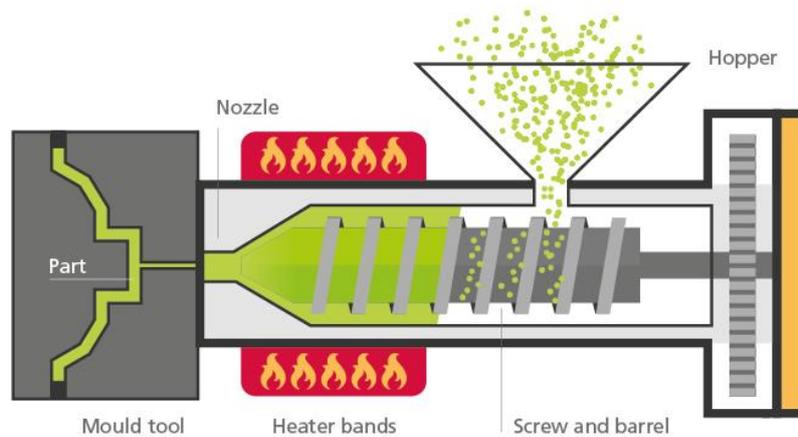


Ilustración 52. Proceso de inyección donde se funde granza en un sinfín calefactado para posteriormente inyectarse en un molde con la geometría deseada.

Termocompresión y moldeo por transferencia.

En este proceso el material plástico es colocado en un molde caliente y luego se cierra el molde y se aplica presión para formar la pieza. Se puede considerar que este proceso es bueno para materiales termoestables y piezas grandes, puede manejar rellenos de fibra. Sin embargo, el ciclo de producción es más lento, además de no ser adecuado para piezas muy complejas.

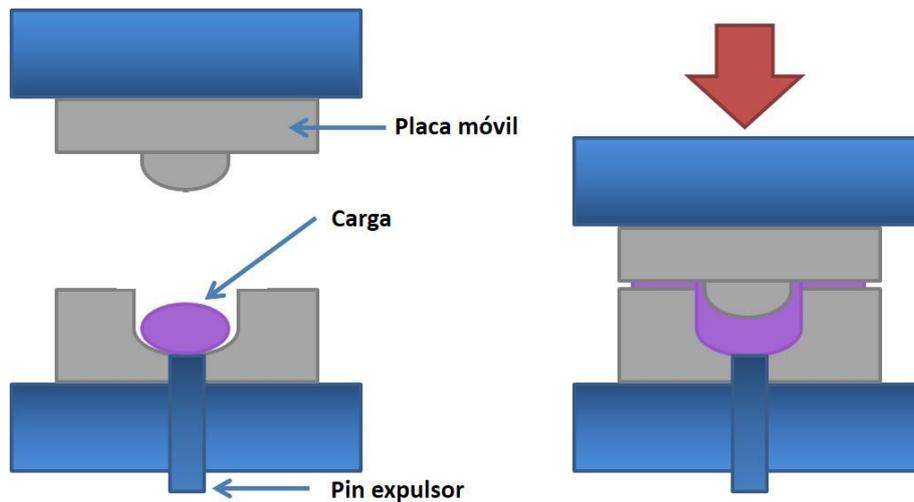


Ilustración 53. Proceso de termocompresión y moldeo por transferencia, donde el material plástico se comprime dentro del molde calefactado hasta que adquiere la geometría deseada.

Impresión 3D (fabricación aditiva).

La impresión 3D es un proceso aditivo donde el material plástico se deposita capa por capa para crear una pieza, esta producción suele estar automatizada por un programa informático que descompone la pieza en láminas para una mejor comprensión de las características futuras de la impresión. Este proceso es ideal para prototipos y producciones de bajo volumen, alta flexibilidad en diseño, y sin necesidad de moldes. Por otra parte, la impresión 3D es un proceso más lento que otros métodos de producción en masa, además, cuenta con limitaciones en el tipo de materiales y tamaño de las piezas.

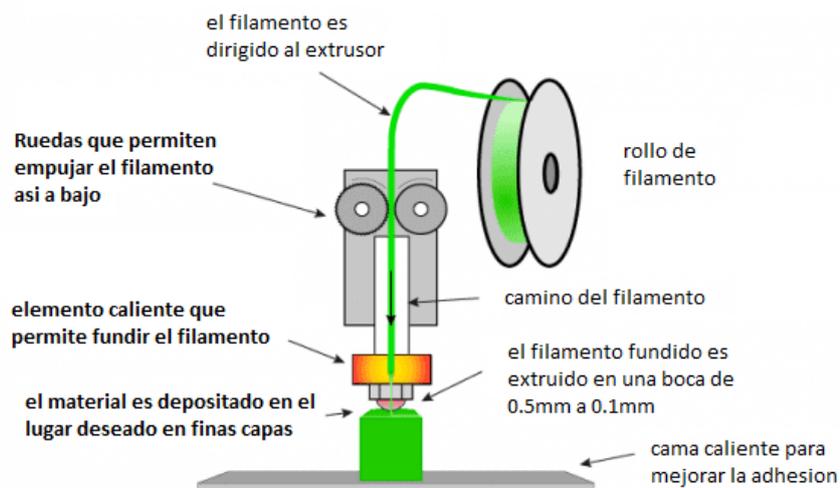


Ilustración 54. Representación esquemática del proceso de impresión 3D mediante sistema de deposición en fundido.

Moldeo por soplado.

Este proceso se utiliza principalmente para la fabricación de botellas y recipientes huecos. El proceso incluye el moldeo por extrusión y el soplado de una preforma hueca en un molde. Es un proceso eficiente para la producción de grandes volúmenes de piezas huecas, buena uniformidad de paredes. Por otra parte, este proceso se ve limitado a la producción de piezas huecas, además de requerir un control preciso de la temperatura y presión.

Extrusion Blow Molding (cutaway view)

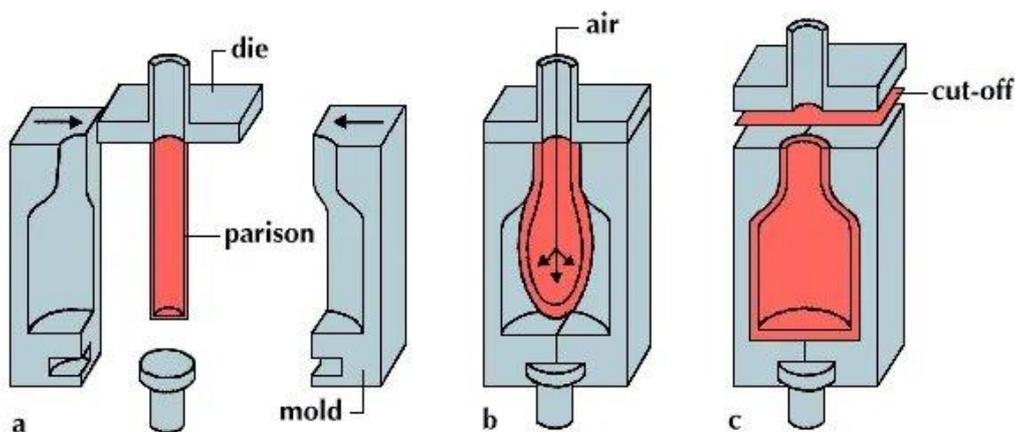


Ilustración 55. Proceso de moldeo por soplado donde a una preforma precalentada se le inyecta aire a presión con el fin de deformar la probeta hasta adquirir la geometría deseada.

Selección del proceso de fabricación.

En la fabricación de componentes plásticos, la elección del proceso de producción adecuado es crucial para optimizar costos, tiempos y calidad del producto final. En este contexto, la impresión 3D se destaca como el proceso de fabricación óptimo, especialmente cuando se trata de prototipos con geometrías complejas como las que se encuentran a lo largo de la estación de reciclaje. Esta tecnología permite una flexibilidad inigualable en el diseño, permitiendo la creación de formas intrincadas sin la necesidad de moldes costosos y rígidos como podía ocurrir en el caso de la inyección.

Además, la impresión 3D facilita la producción de piezas de manera rápida y eficiente, lo que es ideal para iteraciones rápidas y ajustes de diseño durante la fase de desarrollo del producto, así como permitir al consumidor producir sus propios componentes o realizar sus propios diseños, de ahí que se pueda considerar una estación modular, ya que se encuentran subsistemas en la estación que son enteramente diseñados en 3D sin ningún componente electrónico propiciando el cambio de diseño o mejora a decisión del usuario.

La capacidad de la impresión 3D para ser autorreplicable a nivel usuario ofrece una ventaja significativa, permitiendo a los usuarios fabricar sus propios componentes sin necesidad de equipos industriales grandes y costosos.

Por estas razones, y teniendo en cuenta que se requiere producir prototipos con diversidad en geometrías complejas, sin la necesidad de invertir en moldes y con la posibilidad de ser replicados fácilmente por los usuarios, la impresión 3D se posiciona como la opción de fabricación más adecuada y efectiva.

Por otra parte, la base donde se instalarán el resto de los componentes no requiere ser de ningún material o dimensiones en concreto, ya que lo único en lo que se debería prestar atención son a las cotas de posicionamiento de un componente respecto a otro. Esto hace la estación aún más accesible al consumidor ya que si cuenta con cualquier superficie o material capaz de ser trabajada en frío (con los fines de realizar los taladros para los tornillos, así como el recuadro para albergar el ventilador), sería suficiente para la fabricación de esta estación de reciclaje.

Pliego de Condiciones

Manual de Montaje para la Estación de Reciclaje de Botellas PET en
Filamento para Impresión 3D

AUTOR/A: Collado Martínez, Sergio

Tutor/a: Balart Gimeno, Rafael

Co-tutor: Ivorra Martínez, Juan

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Introducción.

Este manual de montaje está diseñado para guiar el proceso de ensamblaje y la instalación de una estación de reciclaje que convierte botellas de polietilén tereftalato (PET) en filamento para impresión 3D. La estación está compuesta por varias secciones que incluyen el subsistema térmico, el subsistema de pultrusión y el subsistema de guías, entre otros. Es importante seguir las instrucciones mostradas a continuación de manera cuidadosa para garantizar un montaje seguro y eficiente.

Componentes y herramientas necesarias.

Componentes principales.

- Motor de engranaje de alto torque, JGB37-520 DC, 12 V, 7 RPM.
- Controlador de temperatura, DC 12 V, W1209 marca FEIYANG.
- Boquilla extrusora de latón MK8 para impresora 3D (pre-taladrada a 2 mm).
- Bloque calentador.
- Termistor NTC 0.4, 12 V, 40 W, 3950 mm.
- Diodo rectificador 1N5408.
- Ventilador de flujo axial 50 x 50 x 10 mm.
- Micro interruptor, NO NC, de 3 pines, 5 A, 125 V, y 21 mm de palanca.
- Interruptor de botón autobloqueante DS228, 12 mm, 3 A /125 V.
- Módulo controlador de velocidad del motor, regulador de velocidad ajustable, interruptor de 5 A, 90 W, PWM, DC, 4.5 V-28V.
- Ángulo metálico 25 x 25 mm.
- Tubo de teflón para impresión 3D de 20 mm de largo.

Componentes impresos.

- Soporte trasero para motor DC.
- Soporte delantero para motor DC.
- Guía de coloración.
- Tapa de la guía de coloración.
- Guía para sensor (x2).
- Guía para tubo de teflón.
- Embellecedor para controlador de velocidad.
- Engranaje 1.
- Engranaje 2 con carrete tractor.
- Soporte para carrete tractor (x2).

Herramientas y tornillería necesarias.

- Tornillo M3*25 (x20).
- Tornillo M5*25.
- Tornillo M3*2 (x6).
- Varilla roscada M10*90.
- Tuercas M3 (x16).

- Tuercas M10 (x2).
- Rodamiento 6800ZZ (x2).
- Destornillador o llave Allen (dependiendo de la cabeza escogida de los tornillos).
- Cinta métrica.
- Taladro.
- Broca de 3 mm.
- Broca de 5 mm.
- Sierra eléctrica.

Acondicionamiento de la base.

La estructura principal de la estación, así como aquella que alojará el resto de los componentes es la base. El usuario puede elegir cualquier tabla, plancha metálica o plástica, así como cualquier material capaz de ser trabajado en frío para su realización. Las medidas de la base son libres a elección del usuario, siempre y cuando se respeten las cotas ya establecidas entre los componentes para asegurar un correcto funcionamiento.

Las dimensiones recomendadas para la base son las siguientes.

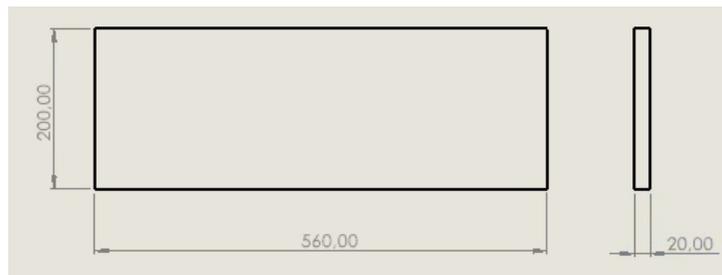


Ilustración 56. Dimensiones en mm recomendadas óptimas para la construcción de la estación.

En la base se deberán realizar 18 agujeros con la broca de 3 mm y 5 agujeros con broca de 5 mm, siempre respetándose las cotas mostradas en las imágenes siguientes.

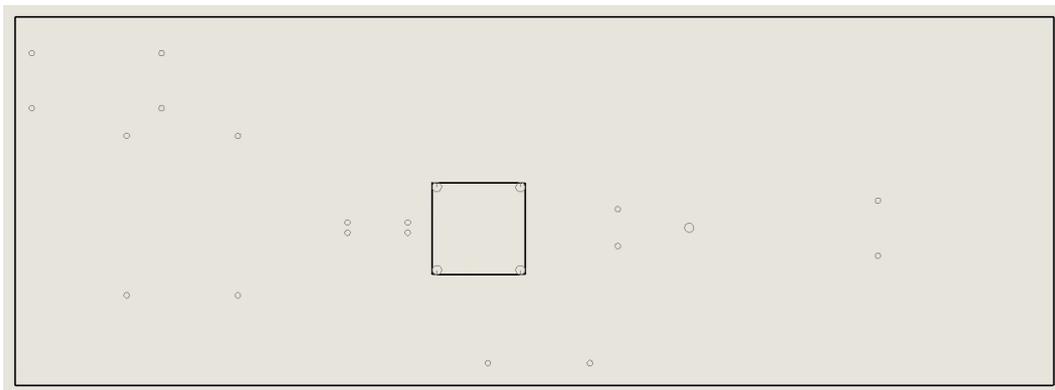


Ilustración 57. Representación gráfica orientativa de los taladros necesarios en sus respectivas posiciones.

Para que resulte más orientativo se procede a agrupar los agujeros mostrados anteriormente asignándolos a la función que cumple el componente que se ancla a ellos.

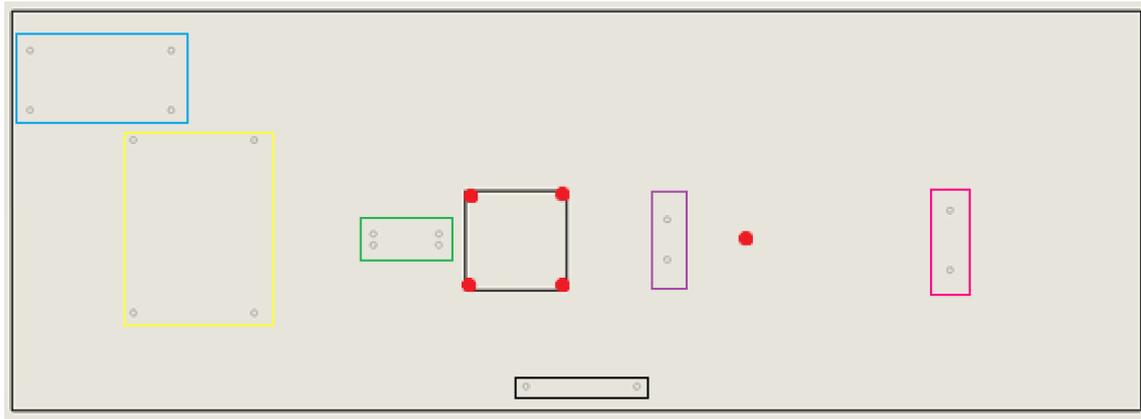


Ilustración 58. Representación mediante agrupación de agujeros de los componentes y estructuras que se atornillan a la base.

- **Azul:** Soportes para motor.
- **Amarillo:** Soportes para el engranaje tractor.
- **Verde:** Sensor de autoapagado.
- **Negro:** Soporte para controlador de motor e interruptor.
- **Morado:** Guía estabilizadora dimensional del filamento.
- **Rosa:** Guía de coloración.
- **Puntos rojos:** Agujeros de 5 mm.

A continuación, ya una vez identificados los grupos de agujeros, se procede a realizar las acotaciones pertinentes para poder plasmar la localización exacta de todos los agujeros. Con esto se otorga la posibilidad al usuario de utilizar cualquier base que desee sin importar el tamaño de esta, ya que los componentes siempre estarán situados en la misma disposición.

Todas las acotaciones mostradas a continuación tienen los **milímetros por unidad (mm)** y cuentan con una **tolerancia dimensional de ± 0.5 mm**.

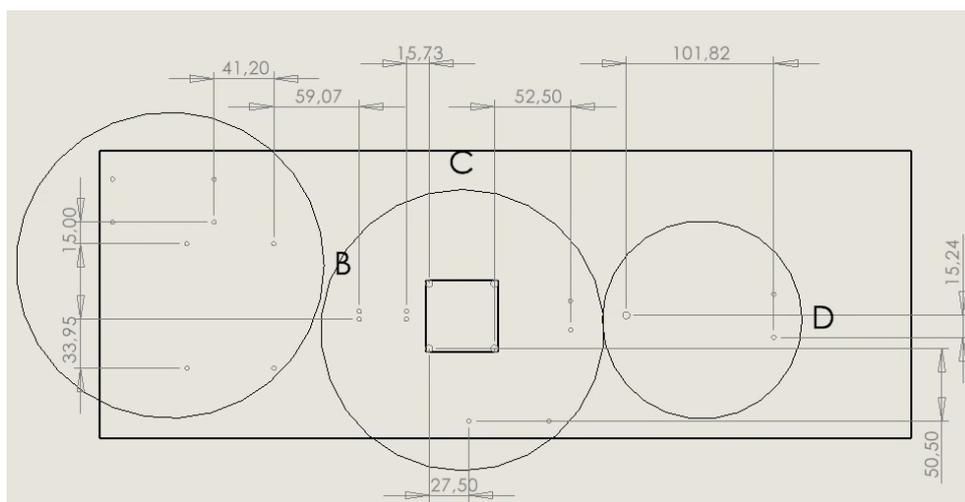


Ilustración 59. Representación de cotas generales entre componentes, escala 1:52.

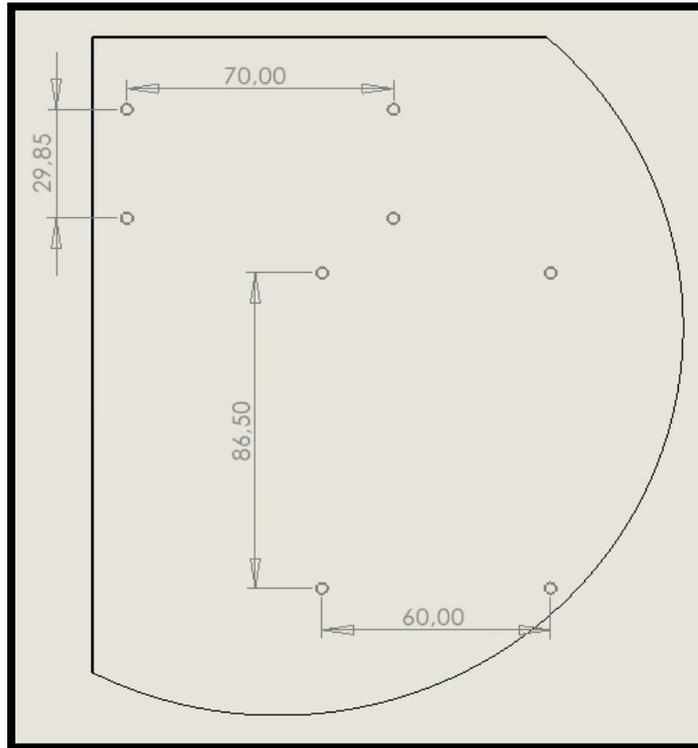


Ilustración 60. Representación ampliada de la sección B, donde se muestran las cotas entre agujeros de los soportes para el motor y los soportes del engranaje tractor, escala 1:2.

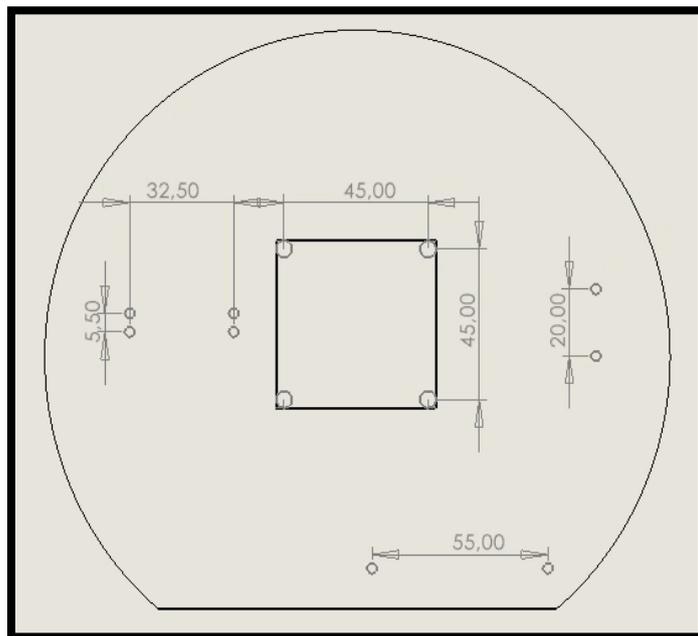


Ilustración 61. Representación ampliada de la sección C, donde se muestran las cotas entre los agujeros de la guía sensor, los agujeros para el soporte del potenciómetro, la guía estabilizadora dimensional y el recorte situado en el centro para el ventilador de flujo axial, escala 1:2.

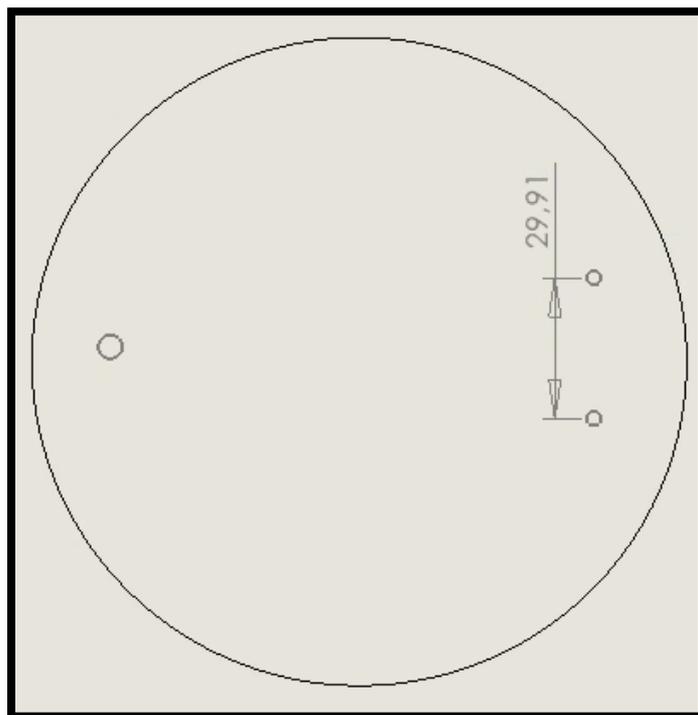


Ilustración 62. Representación ampliada de la sección D, donde se muestran las cotas entre agujeros de la guía de coloración y el agujero de 5 mm donde se atornillará el ángulo que sujeta el bloque calefactor, escala 1:2.

Procedimiento de montaje.

Preparación del área de trabajo.

- Asegúrese de que el área de trabajo esté limpia y libre de obstrucciones.
- Coloque todos los componentes y herramientas en un área accesible.
- Use el equipo de protección personal (EPP) adecuado.

Montaje de la estación.

Instalación de componentes impresos.

Una vez realizados los taladros pertinentes, se procede con la sierra eléctrica a través de uno de los agujeros centrales de 5 mm a recortar el cuadrado previamente mostrado que albergará más adelante el ventilador de flujo axial. Con esto la base estará lista para agregarle los componentes.

A continuación, se colocan los componentes en los agujeros correspondientes y se procede a atornillarlos con los tornillos M3*25 mm. También se utilizarán un total de 3 tornillos de la misma métrica y longitud para unir los dos componentes impresos del sensor de apagado automático y la tapa de la guía de coloración.

El engranaje tractor irá entre medias de los soportes asignados para este, siendo estas piezas atravesadas por una varilla roscada M10 con una longitud de 90 mm y fijada por sus tuercas pertinentes.

El engranaje conductor se unirá al motor mediante una unión a presión, ya que el vástago del motor cuenta con una geometría truncada lo que permite el diseño del negativo de este vástago en el centro del engranaje para su posterior encaje.

El resultado final del montaje de los componentes impresos debería ser el siguiente.

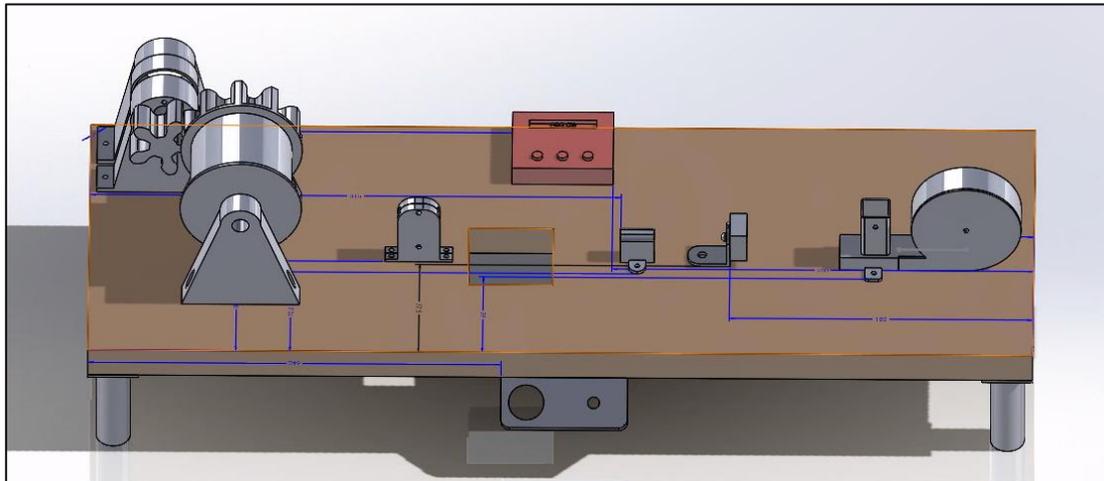


Ilustración 63. Representación gráfica de la colocación de los componentes respetando las cotas previamente mostradas.

El motor se unirá al soporte delantero de este mediante 6 tornillos M3*2 mm, que lo mantendrán inmóvil en todo momento.

Conexiones eléctricas.

Siguiendo con el montaje e instalación de los componentes electrónicos, y como ya se ha mencionado previamente, será necesario cortar uno de los cables del termistor y soldarle el diodo rectificador 1N5408.

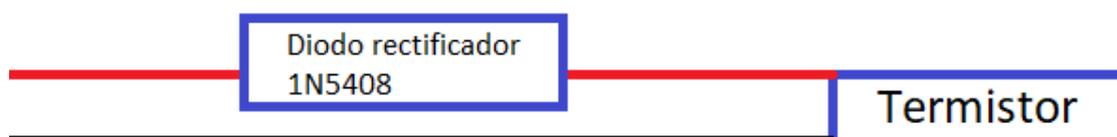


Ilustración 64. Ilustración esquemática de la modificación necesaria al termistor para que pueda ser capaz de leer temperaturas por encima de 200 °C.

Para la alimentación eléctrica de la estación se pueden usar diversas metodologías, sin embargo, cualquier fuente de alimentación de ordenador será más que suficiente.

La ventaja de usar una fuente de alimentación de ordenador es que proporciona ambos voltajes que los componentes necesitan, tanto 5 V como 12 V, ocupando poco espacio lo que permite al usuario incluirla en la propia estación o situarla de forma independiente a esta.

Si esta es la opción deseada cabe recordar que será necesario unir el único cable verde con cualquiera de los cables negros de la fuente de alimentación para que esta pueda trabajar a pesar de no estar conectada a un ordenador.

Montaje del bloque calefactor.

El subsistema térmico cuenta con varios componentes que deberán ser ensamblados previamente a su utilización. Dentro de estos componentes se encuentra un bloque de aluminio, un termistor, una boquilla de cobre M6 y un cartucho calefactable (todo ello siendo monitorizado por el controlador de temperatura).



Ilustración 67. Imagen ilustrativa del conjunto de boquilla, termistor, bloque de aluminio y cartucho calefactor ya ensamblados.

Como se aprecia en la imagen, tanto el termistor como el cartucho calefactable se insertan en el interior del bloque de aluminio, en el cual a su vez se enrosca la boquilla de cobre M6. Tanto el termistor como el cartucho calefactable irán conectados al controlador de temperatura, mientras que el bloque de aluminio se une a la base mediante un ángulo metálico como se muestra en la siguiente imagen, a la vez que lo mantiene alejado del resto de componentes y de la propia base con el fin de evitar incendios.

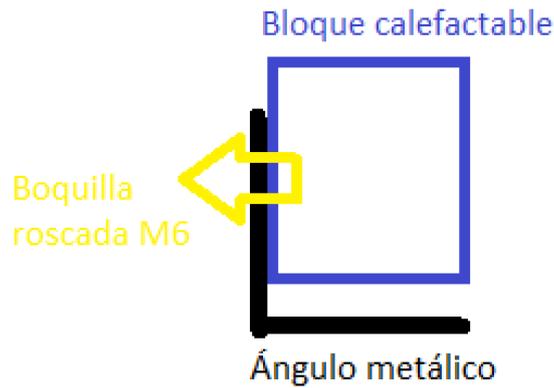


Ilustración 68. Representación esquemática del ensamblaje necesario entre el bloque calefactable, la boquilla roscada y el ángulo metálico situado entre medias.

Configuración del controlador manual de temperatura.

Tanto el termistor como el cartucho calefactable se conectan al controlador de temperatura con el fin de medir y ajustar esta a la requerida para el proceso de pultrusión. Las conexiones entre estos componentes se realizarán de la siguiente manera.

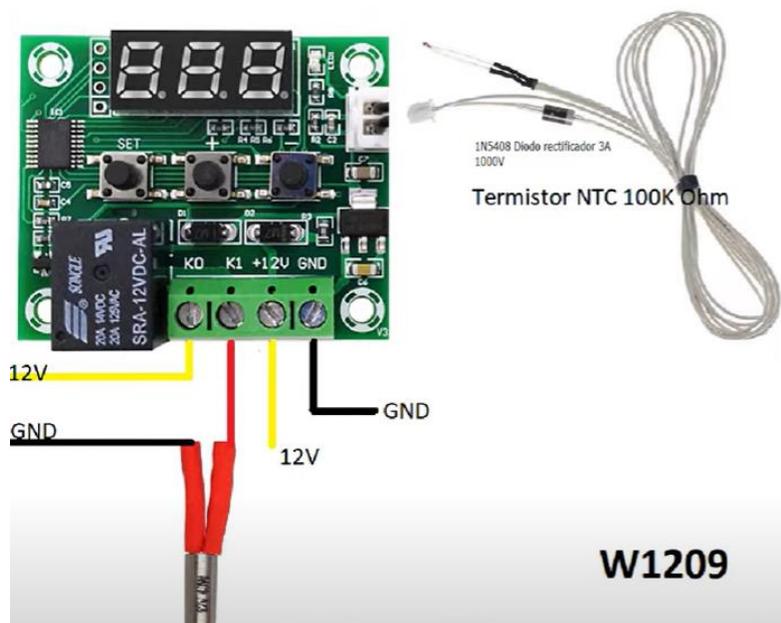


Ilustración 69. Representación esquemática de las conexiones necesarias a realizar entre el controlador de temperatura manual, el termistor y el cartucho calefactable.

Una vez realizadas las conexiones es turno de configurar el controlador, ya que al añadirle un diodo rectificador la lectura inicial del termistor cambia, por lo que se debe ajustar.

“Set” = Acceder/Aceptar/Salir.

“+” = Siguiente/Aumentar valor.

“-” = Retroceder/Disminuir valor.

Para configurar el controlador térmico se deben seguir los siguientes pasos.

- Mantener pulsado el botón “Set” para entrar en el menú de configuración, mostrándose en la pantalla “P0”.
- Hacer click en “Set” otra vez y con cualquiera de los otros cambiar la selección hasta que aparezca “H” (terminología usada para simbolizar calefacción en el bloque).
- Pulsar “Set” otra vez para aceptar la selección y volver al menú de configuración.
- Pulsar “+” en el menú de configuración hasta que aparezca “P1”, y a continuación pulsar la opción “Set”.
- El menú “P1” regula la histéresis del controlador, por lo que se ajustará este valor con los botones +/- hasta conseguir un valor de 0.1. Se volverá a pulsar “Set” para guardar la configuración y volver al menú de configuración.
- Pulsar “+” en el menú de configuración hasta que aparezca “P2”, y a continuación pulsar la opción “Set”.
- El menú “P2” regula la temperatura máxima de nuestro controlador, por lo que se ajustará este valor con los botones +/- hasta conseguir un valor de 89 °C (al haber modificado la lectura, los 89 °C en pantalla equivalen aproximadamente a 295 °C). Se vuelve a pulsar “Set” para guardar la configuración y volver al menú de configuración.
- “P3”, “P4”, “P5”, “P6” no haría falta modificarlos, por lo que la configuración del controlador térmico estaría listo.

Mantenimiento y seguridad.

Mantenimiento preventivo.

- Limpie regularmente los componentes de la extrusora.
- Inspeccione y reemplace las piezas desgastadas o dañadas según sea necesario.
- Verifique periódicamente las conexiones eléctricas y los sensores.

Medidas de seguridad.

- Use siempre equipo de protección personal al operar la estación.
- No manipule los componentes eléctricos con las manos mojadas.
- Asegúrese de que la estación esté apagada antes de realizar cualquier mantenimiento.

Anexo de cálculos

Cálculos de la Estación de Reciclaje de Botellas PET en Filamento
para Impresión 3D

AUTOR/A: Collado Martínez, Sergio
Tutor/a: Balart Gimeno, Rafael
Co-tutor: Ivorra Martínez, Juan
CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Datos Iniciales.

Engranaje 1

$$V_1 = 0.00833 \text{ m/s}$$

$$W_1 = 0.5236 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$T_1 = 2,1575 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$RT = 1 : 2$$

Engranaje 2

$$V_2 = 0.00833 \text{ m/s}$$

$$R_2 = 0.03 \text{ m}; 3 \text{ cm}$$

$$F_2 = 29,43 \text{ N (al menos)}$$

Cálculo 1- Dimensionado de engranaje 1.

$$V_2 = V_1 = W_1 \cdot R_1$$

$$0,00833 = 0,5236 \cdot R_1$$

$$R_1 = 0,0159 \text{ m} = 15,9 \text{ mm}$$

$$D_1 = 2 \cdot R_1 = 31.8 \text{ mm}$$

$$D_p = 31.8 \text{ mm}$$

$$z_1 = 5 \text{ dientes}$$

$$\text{Paso} = \frac{\pi \cdot d}{z} = \frac{\pi \cdot 31.8}{5} = 19.98 \text{ mm}$$

$$\text{Módulo} = \frac{D_p}{z} = \frac{31.8}{5} = 6.36$$

$$D_e = D_p + 2M = 31.8 + 2 \cdot 6.36 = 44.52 \text{ mm}$$

$$D_i = D_p - (2 \cdot j) = 31.8 - (2 \cdot 7.42) = 16.96 \text{ mm}$$

$$j \text{ (pie del diente)} = 1.167 \cdot M = 7.42$$

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{2.1575}{4.3148} = 0.50$$

Cálculo 2- Dimensionado de engranaje 2.

$$RT = \frac{W_1}{W_2} = 2$$

$$W_2 = \frac{W_1}{RT} = \frac{0.5236}{2} = 0.2618 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V_2 = \frac{W_1}{RT} \cdot R_2$$

$$0.00833 = \frac{0.5236}{2} \cdot R_2$$

$$R_2 = 0.0318 \text{ m} = 31.8 \text{ mm}$$

$$D_2 = 2 \cdot R_2 = 63.6 \text{ mm}$$

$$D_p = 63.6 \text{ mm}$$

$$z_2 = 10 \text{ dientes}$$

$$\text{Paso} = \frac{\pi \cdot d}{z} = \frac{\pi \cdot 63.6}{10} = 19.98 \text{ mm}$$

$$\text{Módulo} = \frac{D_p}{z} = \frac{63.6}{10} = 6.36$$

$$D_e = D_p + 2M = 63.6 + 2 \cdot 6.36 = 76.32 \text{ mm}$$

$$D_i = D_p - (2 \cdot j) = 63.6 - (2 \cdot 7.42) = 48.76 \text{ mm}$$

$$j \text{ (pie del diente)} = 1.167 \cdot M = 7.42$$

Cálculo 3- Verificación de fuerza mínima transmitida.

$$F_t = \frac{T_2}{R_2} \text{ (donde } T_2 = T_1 \cdot RT)$$

$$T_2 = 2.1574 \cdot RT$$

$$T_2 = 2.1574 \cdot 2 = 4.3148 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Queremos que $F \geq 29,43 \text{ N}$, por lo que:

$$F_2 = \frac{T_2}{R_2} = \frac{4.3148}{0.0318} = 135.7 \text{ N}$$

Estudio Económico

Presupuesto para la Estación de Reciclaje de Botellas PET en
Filamento para Impresión 3D

AUTOR/A: Collado Martínez, Sergio
Tutor/a: Balart Gimeno, Rafael
Co-tutor: Ivorra Martínez, Juan
CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Introducción.

En un mundo donde la sostenibilidad y la conservación del medio ambiente se han convertido en prioridades globales, el reciclaje de botellas de PET (polietilén tereftalato) se presenta como una solución práctica y necesaria para reducir la contaminación por plásticos.

Este estudio económico se enfoca en el diseño, desarrollo y construcción de una estación de reciclaje de botellas PET que sea accesible y económica para usuarios particulares. El objetivo principal es minimizar los costos de los componentes necesarios para que más personas puedan adoptar esta práctica y contribuir activamente al reciclaje. Al reducir los costos, no solo se hace más viable la construcción de estas estaciones de reciclaje caseras, sino que también se incentiva a un mayor número de personas a participar en el proceso de reciclaje y producción de su propio filamento.

En las siguientes secciones, se detallarán los componentes necesarios para esta estación de reciclaje, junto con sus costes, con el fin de proporcionar una visión clara y práctica del costo total del proyecto. El objetivo es demostrar que, con una inversión modesta, cualquier usuario interesado en el reciclaje y la impresión 3D puede contribuir de manera significativa a la sostenibilidad ambiental.

Coste de componentes electrónicos.

Componentes	Precio unitario
Motor de corriente continua JGB37-520	7.40 €
Controlador de temperatura manual marca FEIYANG	1.17 €
Pack AOKIN de boquilla extrusora, bloque calefactor y termistor	1.54 €
Diodo rectificador 1N5408	0.02 €
Ventilador de flujo axial	1.43 €
Interruptores de 3 pines NO NC	0.07 €
Interruptores de botón autobloqueantes	0.32 €
Potenciómetro interruptor de 5 A, 90 W, PWM, DC, 4.5 V-28V	0.87 €
Precio total	12.82 €

Tabla 5. Precio de componentes electrónicos adquiridos en portales web asiáticas.

El coste total de los componentes necesarios para la creación de la estación de reciclaje asciende a un total de 12.82 €. Todos los componentes han sido seleccionados dentro de la página para el comercio on-line “Aliexpress”, la cual recientemente en sus políticas internas de empresa han instaurado un valor mínimo de pedido (10 €) con el fin de contar con un servicio de envío gratuito. Los componentes electrónicos ya superan ese valor mínimo requerido, por lo que el envío de los productos será gratuito y no será necesario incluirlo en este presupuesto.

Coste estructural de la estación.

Para esta sección del estudio económico cabe recalcar que en ningún momento se considerará la base como objeto de estudio económico. Esto se debe a que esta estación ha sido diseñada de manera modular de tal forma que la estación cumplirá su función independientemente de la base seleccionada por el usuario, siempre y cuando se respeten las medidas establecidas entre componentes.

Al ser componentes diseñados en “Solidworks” y siempre atendiendo a la minimización del coste, el método seleccionado para la producción es la impresión 3D. Este método posibilita a su vez la creación de la parte estructural de la estación con distintos materiales, dependiendo de si es la primera vez que se decide crear (para lo cual se utilizará generalmente PLA, debido a sus capacidades mecánicas en proporción a su calidad-precio) o incluso de polímero PET reciclado si lo que se quiere es replicar una estación ya existente, para lo cual solo serán necesarios los componentes electrónicos.

Con el fin de conocer el coste de impresión, primero se requiere conocer la masa de cada uno de los componentes, así como el precio medio de distintos materiales poliméricos para seleccionar uno u otro.

Después de consultar varios proveedores, los precios medios asignados a los que se podrían considerar los polímeros más usados para impresión 3D son los siguientes.

- PLA – 18 €/kg (SUNLU, 2024).
- ABS – 20 €/kg (eSUN, 2024).
- PETG – 18 €/kg (ANYCUBIC, 2024).

También se podría considerar el TPU como uno de los polímeros de gran interés por los usuarios, sin embargo, debido a su naturaleza gomosa y maleable no será tomado en cuenta.

Componente	Masa (kg)	PLA (18 €/kg)	ABS (20 €/kg)	PETG (18 €/kg)
Soporte delantero del motor	0.07191	1.29 €	1.44 €	1.29 €
Soporte trasero del motor	0.10408	1.87 €	2.08 €	1.87 €
Engranaje 1	0.02044	0.37 €	0.41 €	0.37 €
Engranaje 2 con carrete tractor	0.31974	5.76 €	6.39 €	5.76 €
Soporte carrete tractor (X2)	0.04394	0.79 €	0.88 €	0.79 €
Guía sensor de filamento (X2)	0.00475	0.09 €	0.10 €	0.09 €
Guía estabilizadora dimensional	0.00568	0.10 €	0.11 €	0.10 €
Guía de coloración	0.02554	0.46 €	0.51 €	0.46 €
Tapa guía de coloración	0.00756	0.14 €	0.15 €	0.14 €
Embellecedor del potenciómetro	0.02117	0.38 €	0.42 €	0.38 €
Patas (opcionales)	0.02924	0.53 €	0.58 €	0.53 €
Coste total de impresión		12.66 €	14.05 €	12.66 €

Tabla 6. Precio por componente del coste de filamento invertido para la impresión.

Como puede apreciarse, el coste ligado a la fabricación con PLA y PETG es idéntico, de manera que, según consideraciones económicas, cualquiera de los dos es válido. Sin embargo, se recomienda la selección del PLA por encima del PETG gracias a una mayor facilidad de impresión, velocidad y menor probabilidad de defectos.

Consumo energético.

Por otra parte, si se pretende replicar de manera propia la estación mostrada en este TFG, también se deberá tener en cuenta el consumo eléctrico de la impresora que se vaya a utilizar, así como su repercusión en el coste total.

El consumo energético de las impresoras depende mucho del modelo utilizado, pero de media se puede afirmar que: El consumo de una impresora 3D profesional oscila entre los 1000 y los 2000 W. El consumo de una impresora 3D doméstica es de entre unos 200 a 500 W (Total Energie, 2022; Total Energie, 2022). Por lo tanto, como se dedica el proyecto aquí presente al desarrollo de nivel usuario estipularemos un consumo medio de **350 W**.

Para contemplar la repercusión en el coste total se ha tomado el precio medio del kW/h a día 05/06/2024, con un valor de **0.164 €/kWh** (Tarifaluzhora, 2024).

Para conocer el número de horas que la impresora 3D necesitará trabajar se tendrá que utilizar un programa "slicer". Dentro del mercado hay diversas compañías que ofrecen "slicers" de pago como el "Bambu Lab", mientras que también se encuentran gratuitos como son el caso de "Prusa Slicer" o "Ultimaker Cura". Para este proyecto se ha utilizado este último por su fácil manejo, así como su amplia biblioteca de preconfiguración para impresoras, lo que lo vuelve más accesible para usuarios que se estén iniciando en el mundo de la impresión 3D.

Con esta información se procede a mostrar el número de horas de trabajo necesarias por pieza, así como su repercusión en el coste final.

Componente	Horas	Coste energético
Soporte delantero del motor	1h 30 min	0.0861 €
Soporte trasero del motor	1 h 48 min	0.1033 €
Engranaje 1	37 min	0.0354 €
Engranaje 2 con carrete tractor	4 h 22 min	0.2506 €
Soporte carrete tractor (X2)	58 min	0.1109 €
Guía sensor de filamento (X2)	18 min	0.0172 €
Guía estabilizadora dimensional	19 min	0.0182 €
Guía de coloración	1 h 32 min	0.0880 €
Tapa guía de coloración	24 min	0.0229 €
Embellecedor del potenciómetro	1 h 11 min	0.0679 €
Patatas (opcionales)	52 min	0.0497 €
Consumo energético total	0.8502 €	

Tabla 7. Consumo energético en formato tiempo y euros por componente de la estación.

Coste de tornillería y rodamientos de la estación.

Otro aspecto económico a tener en cuenta en la estación de reciclaje es la parte de tornillería y rodamientos, necesarios para mantener los componentes unidos tanto entre sí como con la base.

Componentes	Coste por unidad	Coste total
Tornillo M3*25 (x10) (Keple, 2024)	0.7 €	7 €
Tornillo M5*25 (tooloflife, 2024)	0.49 €	2.45 €
Tornillo M3*5 (X6) (Hilitand, 2024)	0.08 €	0.48 €
Varilla roscada M10*110 (Uxcell, 2024)	16 €	16 €
Tuercas M3 (x20) (Amazon, 2024)	0.12 €	2.49 €
Tuercas autoblocantes M10 (x2) (AERZETIX, 2024)	0.86 €	1.72 €
Tuerca M5 (NOLDAR, 2024)	0.14 €	0.14 €
Rodamiento 6800ZZ (X2) (XiKe, 2024)	2 €	4 €
Precio total de tornillería	34.28 €	

Tabla 8. Coste de tornillería y rodamientos de la estación.

Conclusión y coste total de la estación.

El coste total del desarrollo de la estación es la suma de todos los aspectos económicos estudiados previamente. Por lo tanto, ese resultado será:

Componentes	Coste
Coste de componentes electrónicos	12.82 €
Coste estructural de la estación	12.66 €
Consumo energético	0.85 €
Coste de tornillería y rodamientos de la estación	34.28 €
Precio total de la estación	60.61 €

Tabla 9. Costes totales desglosados en ámbitos.

Como conclusión, se puede afirmar que, con una inversión inicial asequible, los usuarios pueden construir una estación de reciclaje que les permitirá transformar botellas de PET usadas en filamento para impresión 3D. Este enfoque no solo reduce la cantidad de residuos plásticos, sino que también ofrece una alternativa económica a la compra de filamento comercial, promoviendo la autosuficiencia y la creatividad. A lo largo del desarrollo de este proyecto, se han alcanzado varios objetivos clave: se ha reducido la cantidad de desechos plásticos en los hogares en al menos un 5% al abrirse la posibilidad de reciclar cualquier botella PET utilizada, se ha garantizado un diámetro de filamento de 1.75 mm con una tolerancia de ± 0.02 mm al establecer una guía que estabiliza dimensionalmente el material, y se ha logrado transformar láminas plásticas en filamento sin la necesidad de maquinaria industrial especializada.

Anexo de Planos

Planos de la Estación de Reciclaje de Botellas PET en Filamento para
Impresión 3D

AUTOR/A: Collado Martínez, Sergio
Tutor/a: Balart Gimeno, Rafael
Co-tutor: Ivorra Martínez, Juan
CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Tolerancias dimensionales.

La impresión 3D es un proceso aditivo, por lo que las piezas se construyen capa a capa. Como consecuencia, cada capa introduce una oportunidad de crear una imprecisión. Además, el proceso mediante el que se forman las capas afecta a la fiabilidad (es decir, a la repetibilidad) de la precisión de cada capa (Formlabs, 2024).

- **Modelado por deposición fundida (FDM)**

La impresión 3D FDM utiliza una boquilla extrusora para crear las capas de filamentos termoplásticos, pero carece del control y la capacidad necesarios para reproducir detalles complejos, a diferencia de otros procesos de impresión 3D. Las piezas de FDM también son propensas a deformarse o contraerse, ya que la pieza impresa se enfría a ritmos distintos y el esfuerzo interno al que se ve sometida puede hacer que la impresión se deforme. Los sistemas profesionales de alta gama mitigan estos problemas, pero también tienen un coste más elevado.

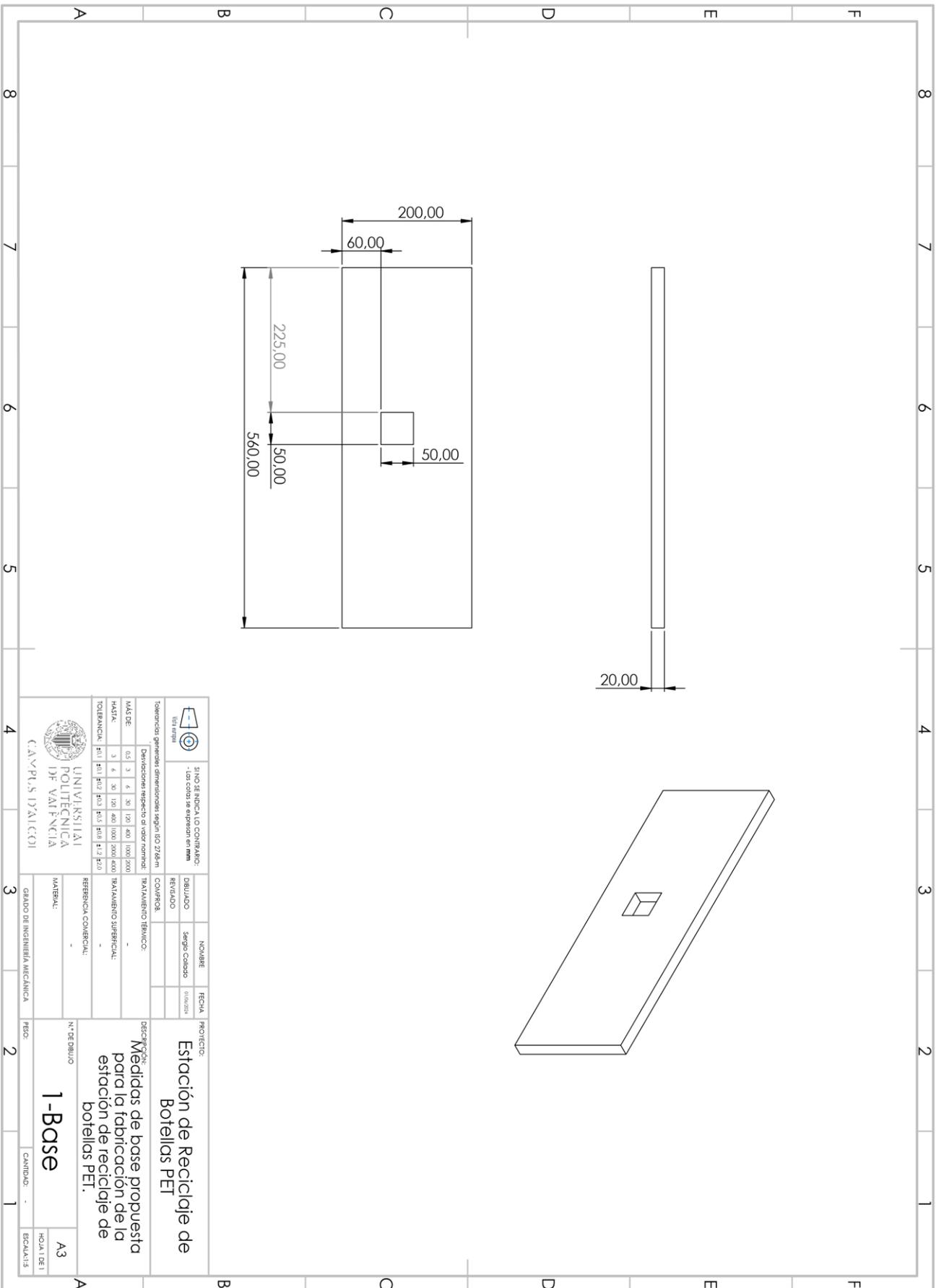
A su vez, la precisión puede variar dependiendo del material empleado en la impresión, así como de las propiedades mecánicas de este.

En las impresoras 3D FDM, los materiales que se extruyen a altas temperaturas suelen ser más propensos a la deformación. Un ejemplo claro es el ABS, que se deforma más fácilmente que el PLA debido a que las piezas impresas con ABS tienden a contraerse más durante el proceso de enfriamiento. Para la creación de una primera estación se opta por el material PLA gracias a su versatilidad y reducido coste.

Conociendo esto, y atendiendo a que los fabricantes de PLA anuncian una tolerancia de ± 0.2 mm en su filamento, se ha considerado establecer una tolerancia de ± 0.5 mm de desviación absoluta en las medidas.

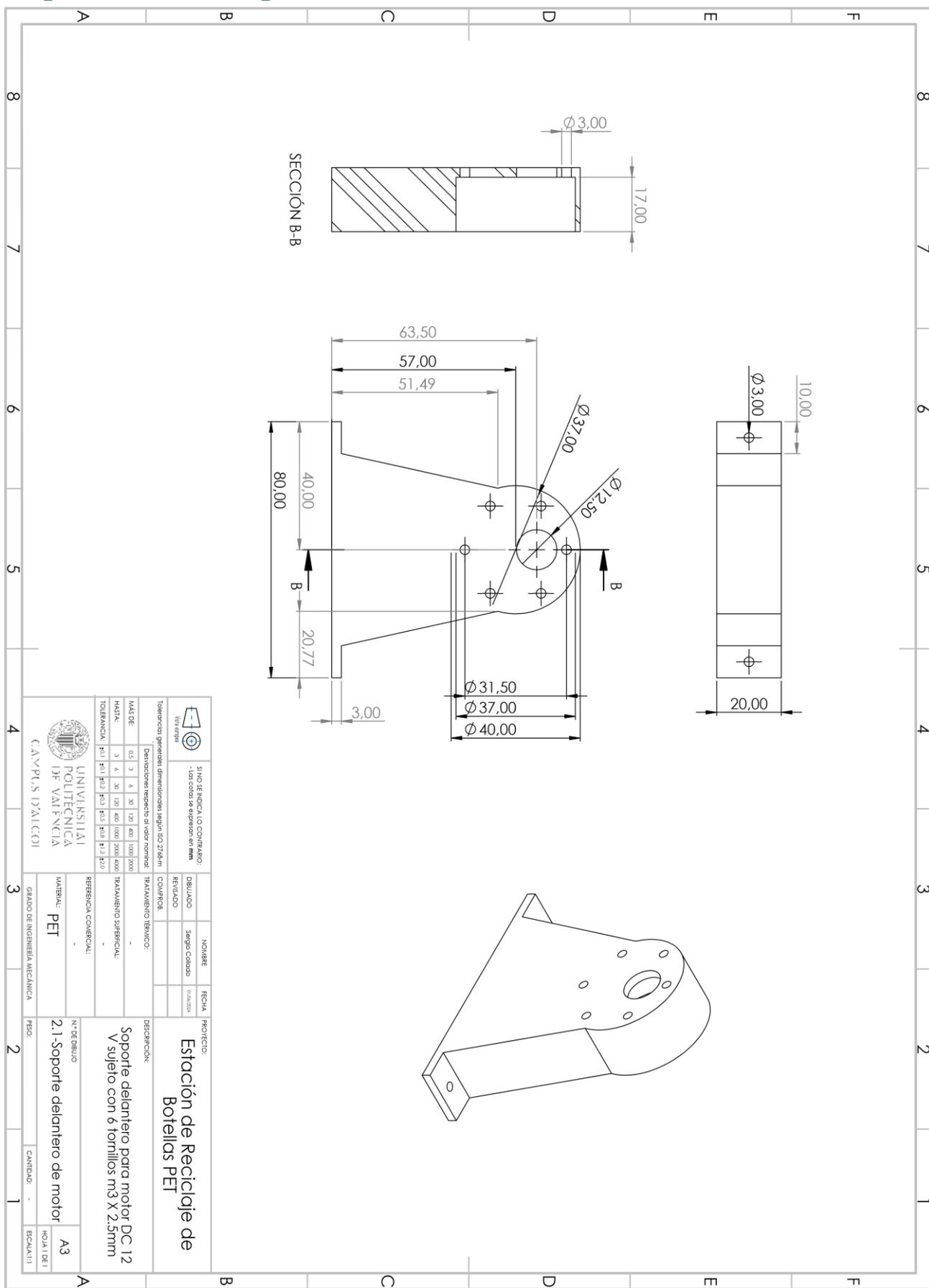
Por lo tanto, todas las medidas mostradas a continuación tienen una **tolerancia dimensional de ± 0.5 mm**, exceptuando las medidas de la base, que podrán ser tomadas libremente y solo sirven de demostración.

Base.



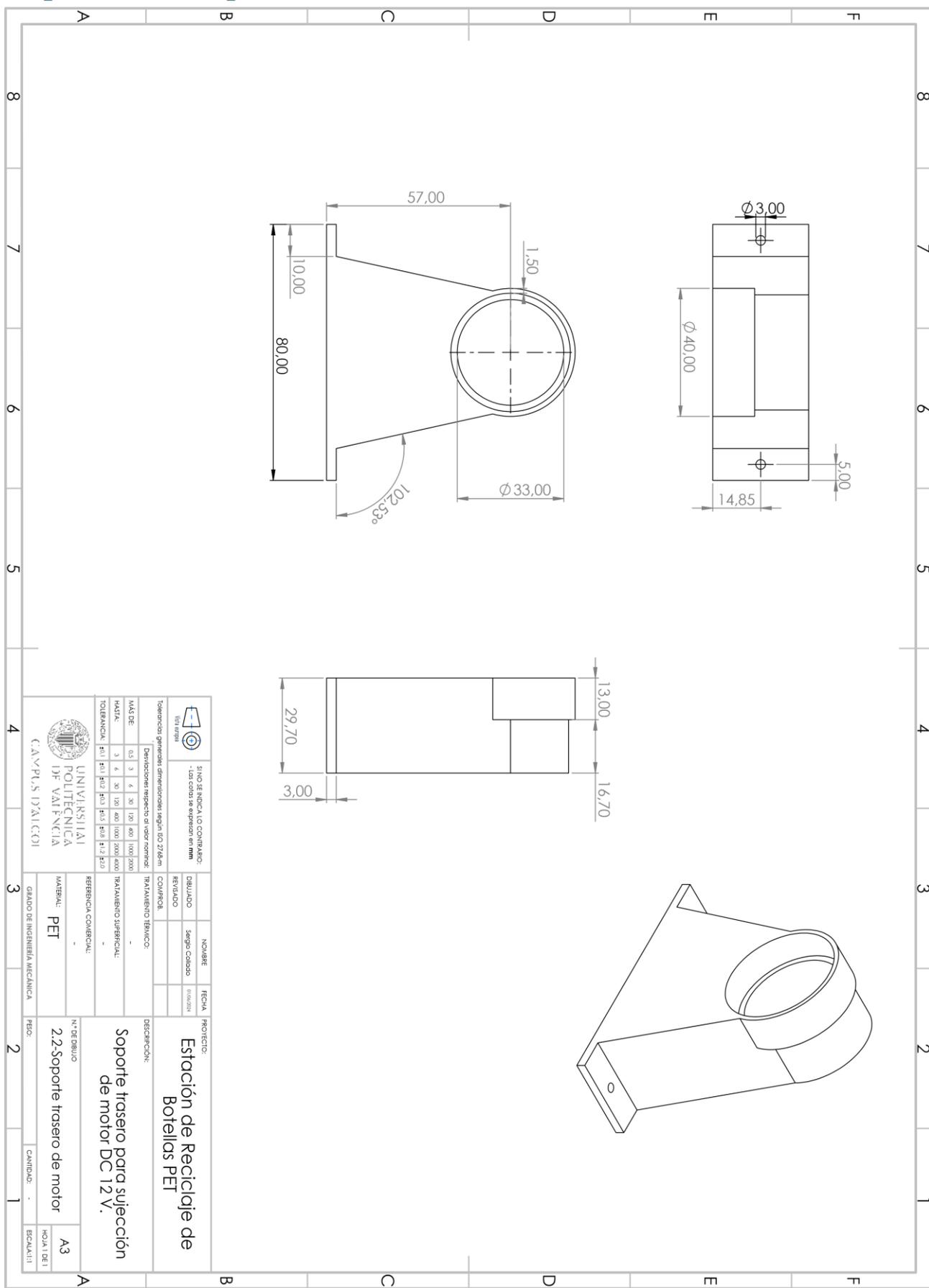
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA C.A.V.P.L.S. 177AIC01		SINOPSIS TÉCNICA LO COMPARADO: Sinopsis de especificaciones		NOMBRE: Sergio Cabado		FECHA: 01/06/2024	
Tolerancias generales: dimensiones según ISO 2768-mS Desviaciones respecto al valor nominal: MAS DE: 0.5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: H11 h11 H12 h12 H13 h13 H14 h14 H15 h15 H16 h16 H17 h17 H18 h18 H19 h19 H20 h20		TRATAMIENTO TÉCNICO: -		DESCRIPCIÓN: Medidas de base propuesta para la fabricación de la estación de reciclaje de botellas PET.		N.º DE DIBUJO: 1-Base	
REFERENCIA COMERCIAL: -		MATERIAL: -		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		CANTIDAD: 1	
ESCALA: 1:3		HOJA 1 DE 1		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET		ESCALA: 1:3	

Soporte delantero para motor DC 12 V.



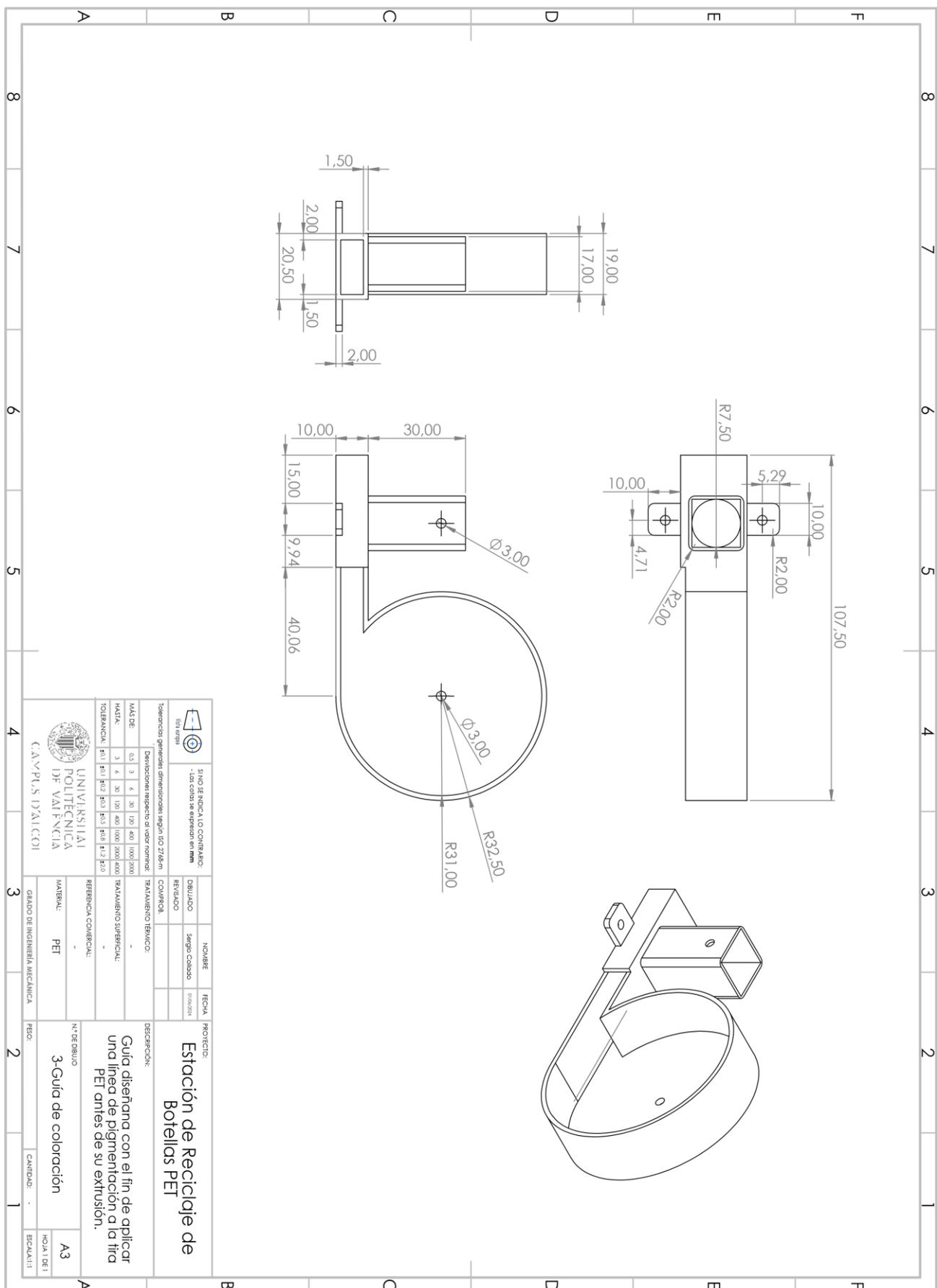
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA C.A.V.P.L.U.S. 1721A1C01		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: Las cotas se expresan en mm		NOMBRE: Sergio Cabado		FECHA: 05/05/2018	
Tolerancias generales: dimensiones según ISO 2768-m Desviaciones respecto al valor nominal:		DIBUJO: REVISADO: COMPROBADO:		MATERIAL: PET		N.º DE DIBUJO: 2.1-Soporte delantero de motor	
MAS DE: 0.5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIAS: H01 H02 H03 H05 H08 H12 H20		TRATAMIENTO TÉRMICO: TRATAMIENTO SUPERFICIAL: REFERENCIA COMERCIAL:		GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		CANTIDAD: 1	
DESCRIPCIÓN: Soporte delantero para motor DC 12 V sujeto con 6 tornillos m3 X 2.5mm		OBSERVACIONES:		HOJA 1 DE 1		ESCALA: 1:1	

Soporte trasero para motor DC 12 V.



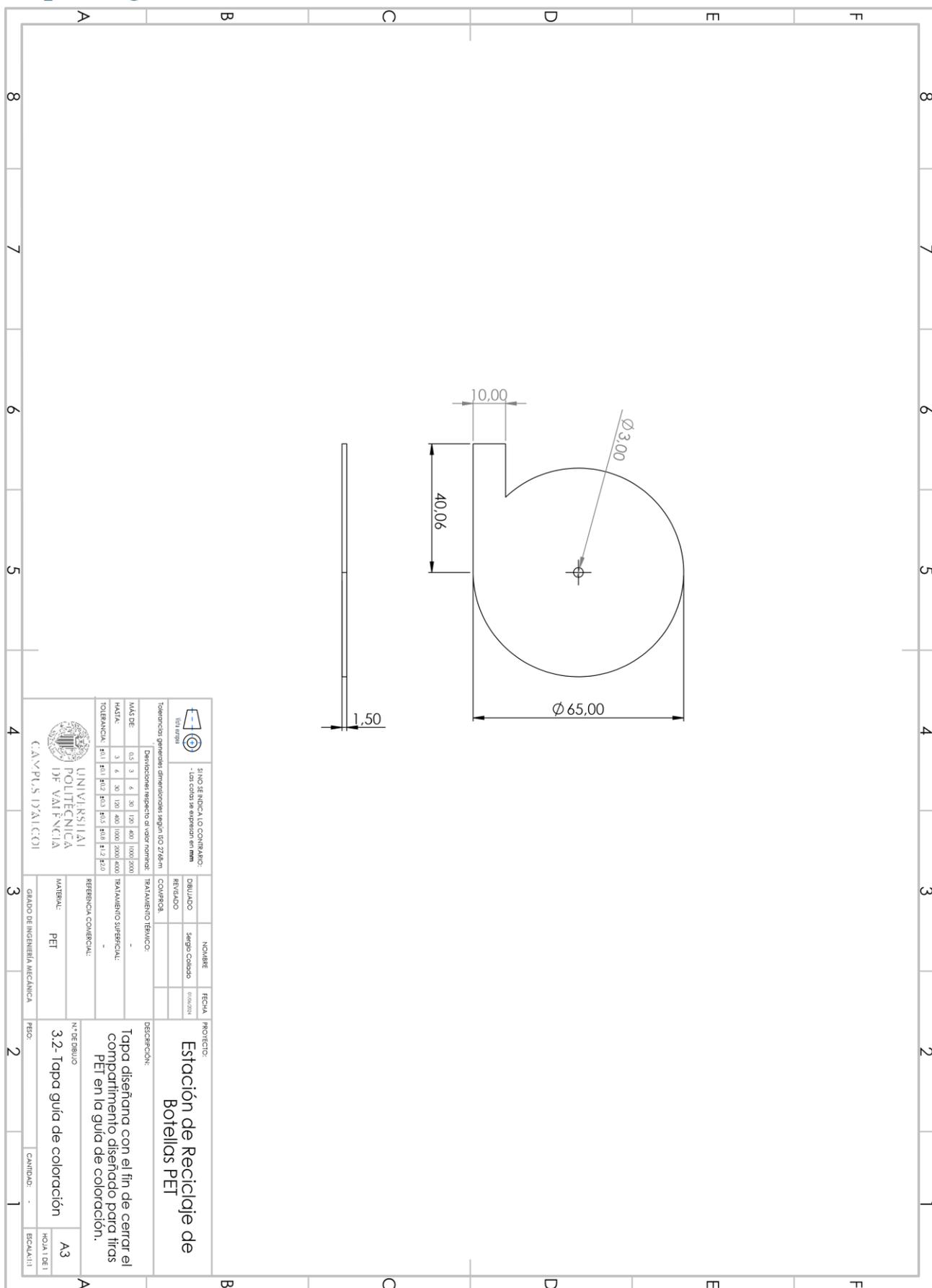
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA C.A.V.P.L.S. 17241 COI		SINOPSIS TÉCNICA LO COMPARAR: Los datos se expresan en mm		NOMBRE: Sergio Cabado FECHA: 01/03/2018	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768-mS Desviaciones respecto al valor nominal: MAS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIAS: H11 h11 H12 h12 H13 h13 H14 h14 H15 h15 H16 h16 H17 h17 H18 h18 H19 h19 H20 h20 H21 h21 H22 h22 H23 h23 H24 h24 H25 h25 H26 h26 H27 h27 H28 h28 H29 h29 H30 h30 H31 h31 H32 h32 H33 h33 H34 h34 H35 h35 H36 h36 H37 h37 H38 h38 H39 h39 H40 h40 H41 h41 H42 h42 H43 h43 H44 h44 H45 h45 H46 h46 H47 h47 H48 h48 H49 h49 H50 h50		DIBUJO REVISADO: [] COMPROBADO: [] TRATAMIENTO TÉCNICO: []		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET DESCRIPCIÓN: Soporte trasero para sujeción de motor DC 12 V.	
MATERIAL: PET REFERENCIA COMERCIAL: -		N.º DE DIBUJO: 2.2 Soporte trasero de motor		HOJA 1 DE 1 ESCALA: 1:1	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		CANTIDAD: -		FASE: 1	

Guía de coloración.



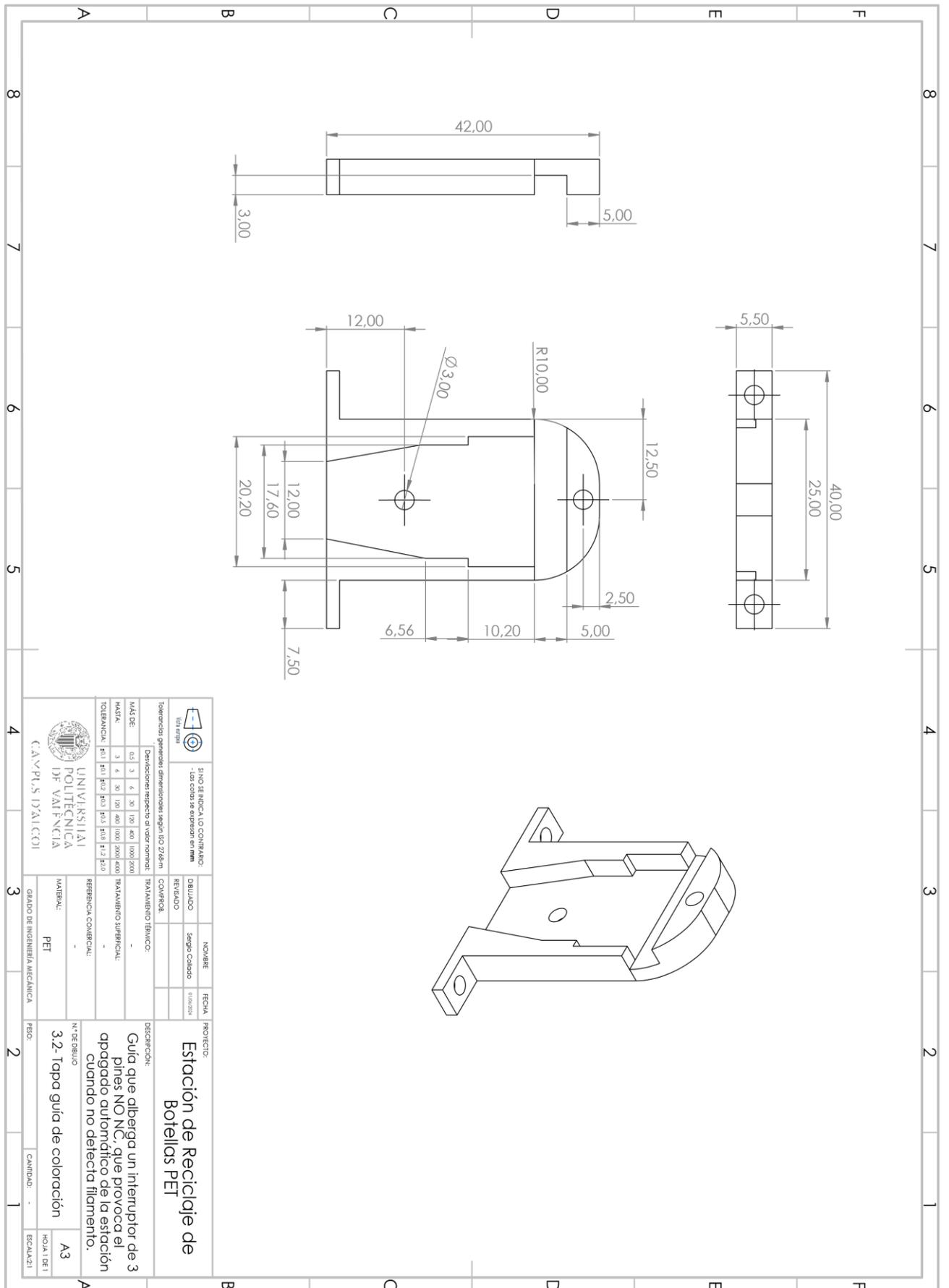
 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA CAMPUS BURJASSOT		SINOPSIS TECNICA COMPARATIVA: Este curso se imparte en 1er y 2º sem.	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768m		Descripciones:	
Devoluciones respecto al valor nominal: MAS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: H11 H12 H13 H14 H15 H16 H17 H18 H19 H20		TRATAMIENTO TECNICO: DIBUJO: Sencillo REVISADO: Sencillo COMPROBADO: Sencillo	
REFERENCIA COMERCIAL: MATERIAL: PET		OBSERVACION: Guía diseñada con el fin de aplicar una línea de pigmentación a la tira PET antes de su extrusión.	
N° DE DIBUJO: 3-Guía de coloración		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET	
GRADO DE INGENIERIA MECANICA		FECHA: 01/03/2023	
PAGO:		CANTIDAD:	
HOJA 1 DE 1		ESCALA: 1:1	

Tapa de guía de coloración.



 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA CAMPUS BURJASSOT		SINOPSIS TÉCNICA DEL COMPONENTE: Este es un dibujo de un componente en un sistema		NOMBRE: Sergio Cabado		FECHA: 01/06/2024	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768-m Desviaciones respecto al valor nominal: MAS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: H11 h11 H12 h12 H13 h13 H14 h14 H15 h15 H16 h16 H17 h17 H18 h18 H19 h19 H20 h20		DIBUJO: REVISADO: CONVENCIONES: TRATAMIENTO TÉCNICO:		DESCRIPCIÓN: Tapa diseñada con el fin de cerrar el compartimento diseñado para tirsas PET en la guía de coloración.		N.º DE DIBUJO: 3.2- Tapa guía de coloración	
MATERIAL: PET		AMBIENTE DE TRABAJO: GRUPO DE INGENIERÍA MECÁNICA		CANTIDAD: 1		HOJA 1 DE 1 ESCALA: 1:1	

Guía sensor de filamento.

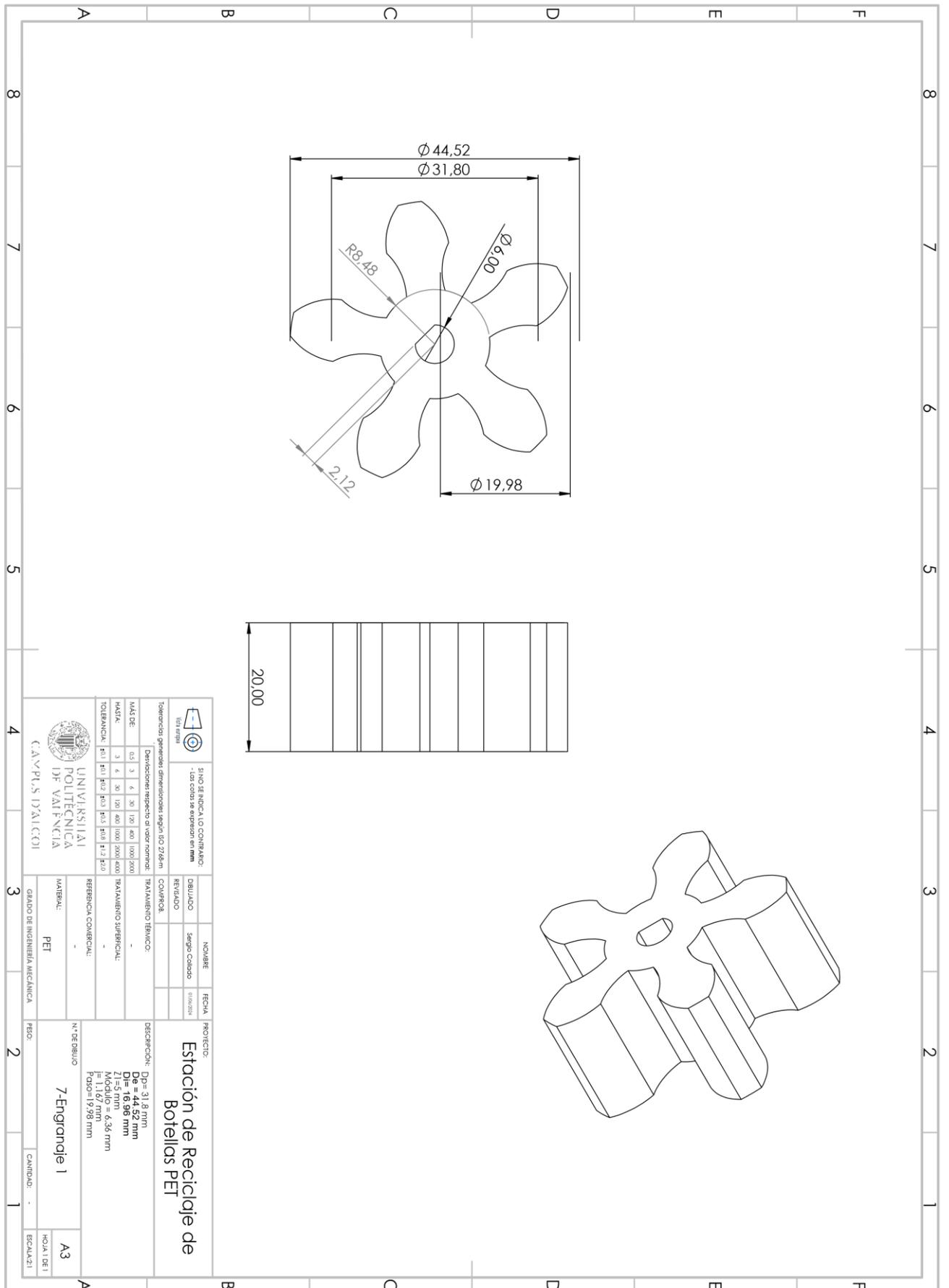


 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA CAMPUS BURJASSOT		SINOPSIS TÉCNICA DEL COMPONENTE: Este es el dibujo de especificación de un...		NOMBRE: Sergio Cabado		FECHA: 01/03/2024	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768m		Desviaciones respecto al valor nominal: MAS DE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIAS: H0,1 H0,2 H0,3 H0,5 H0,8 H1,2 F0,20		DIBUJADO: REVISADO: CONVENCIONES: TRATAMIENTO TÉCNICO:		DESCRIPCIÓN: Guía que alberga un interruptor de 3 pines NO NC, que provoca el apagado automático de la estación cuando no detecta filamento.	
MATERIAL: PET		REFERENCIA COMERCIAL: -		N° DE DIBUJO: 3.2- Tapa guía de coloración		HOJA 1 DE 1 ESCALA: 2:1	
GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA		FASE:		CANTIDAD:		ESCALA: 2:1	

Guía estabilizadora dimensional.

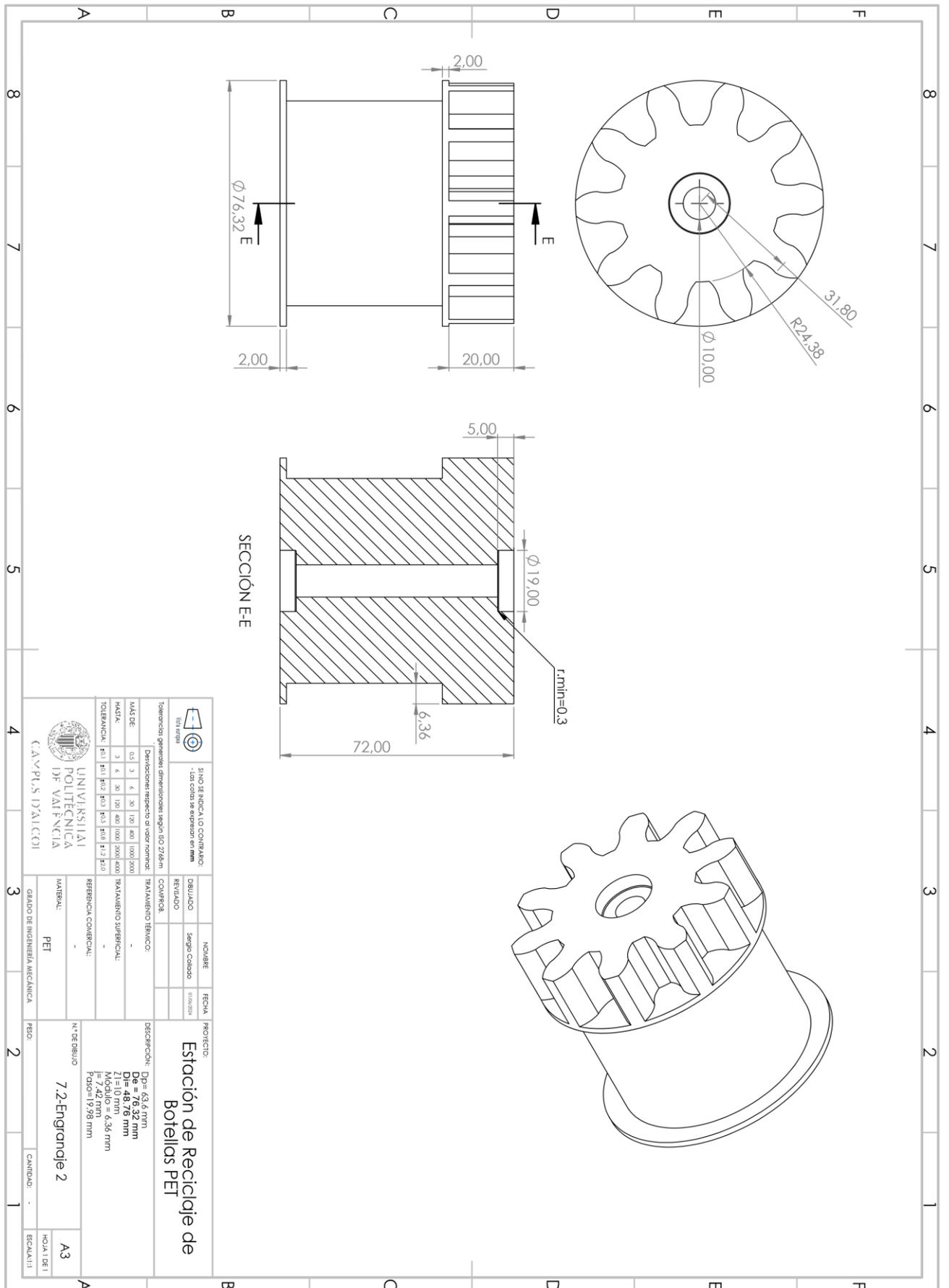
		SINOPSIS TÉCNICA LO CONTIENE: Listado de partes y especificaciones		NOMBRE: Sergio Cabado		FECHA: 01/06/2024	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768-m		Desviaciones respecto al valor nominal: MÁS DE: 0.5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000		DIBUJO: REVISADO		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET	
TOLERANCIAS: H11 H9 H7 H6 H5 H4 H3 H2 H1		TRATAMIENTO TÉCNICO: -		COMPROB.: -		OBSERVACION: Guía dedicada a contener un tubo de teflón con un agujero interior de 1,75mm, lo que estabiliza las dimensiones del filamento una vez este pasa por la guía.	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS BURJASSOT		MATERIAL: PET		REFERENCIA COMERCIAL: -		Nº DE DIBUJO: 5-Guia rectificadora dimensional	
GRUPO DE INGENIERIA MECANICA		MATERIAL: PET		REFERENCIA COMERCIAL: -		HOJA 1 DE 1 ESCALA: 2:1	
8		7		6		5	
4		3		2		1	

Engranaje 1.



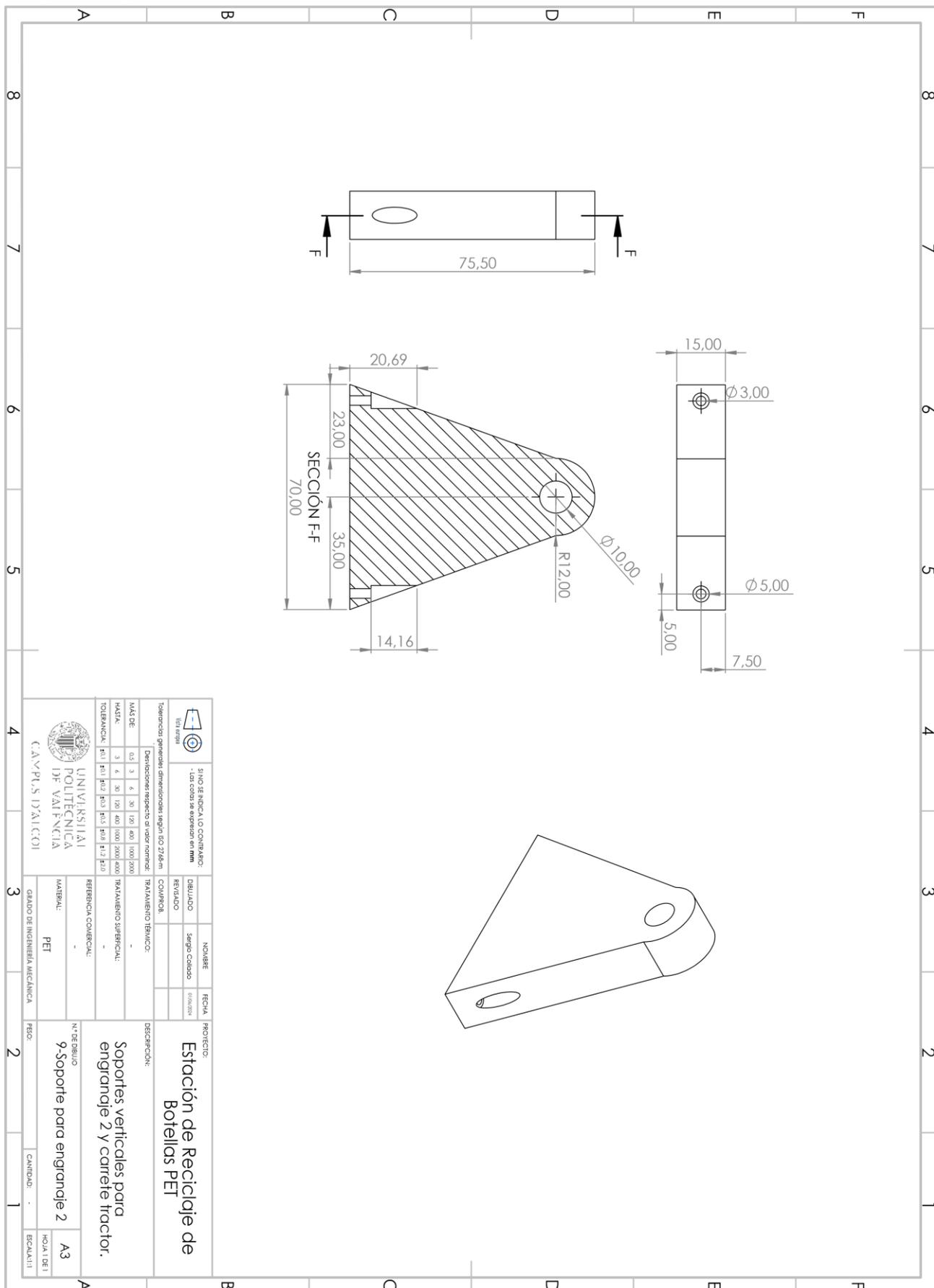
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS BURJASSOT		SINOPSIS TECNICA DEL COMPONENTE: Tipo de componente:  Tipo de conexión: 	
Referencia general de dimensiones según ISO 2768m: Desviaciones respecto al valor nominal: MAS QUE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIA: f10 f11 f12 f13 f14 f15 f16 f17 f18 f19 f20		TRATAMIENTO TECNICO: REVLADO: COMPROB: NOMBRE: Sello: CADENA: FECHA: ORGANIZACION:	
REFERENCIA COMERCIAL: MATERIAL: PET		DESCRIPCION: Dp = 31,8 mm De = 44,52 mm Z = 7 Módulo = 6,56 mm Paso = 19,98 mm	
GRADO DE INGENIERIA MECANICA		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET	
N° DE DIBUJO: 7-Engranaje 1		CANTIDAD: 1	
HOJA 1 DE 1 A3 ESCALA: 2:1			

Engranaje 2.



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS BURJASSOT		SINOPSIS TÉCNICA LO COMPARADO: Solo con los datos de especificación en mm		NOMBRE: SARGO CALADO FECHA: 01/03/2024	
Referencias generales: dimensiones según ISO 2768-mS ISO 2768-mS		DIBUJADO: SARGO CALADO REVISADO: SARGO CALADO COMPROBADO:		PROYECTO: Estación de Reciclaje de Botellas PET	
Destacaciones respecto al valor nominal: MÁS QUE: 0,5 3 6 30 120 400 1000 2000 HASTA: 3 6 30 120 400 1000 2000 4000 TOLERANCIAS: H11 H12 H13 H14 H15 H16 H17 H18 H19 H20		TRATAMIENTO TÉCNICO: REFINANCIA CONVENCIONAL:		DESCRIPCIÓN: Dp = 49,4 mm Dd = 76,32 mm Z1 = 10 mm MÓDULO = 6,36 mm PASE = 19,98 mm	
MATERIAL: PET		Nº DE DIBUJO: 7.2-Engranaje 2		A3	
GRUPO DE INGENIERÍA MECÁNICA		FASE: 2		CANTIDAD: 1	
ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 1		ESCALA: 1:1	

Soporte para carrito tractor.



Referencias

(Junio de 2012). Obtenido de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/industria-innovacion-infraestructura>

AERZETIX. (24 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/dp/B08NCB15WL/ref=sspa_dk_detail_6?pd_rd_i=B08NCB15WL&pd_rd_w=VTrW&content-id=amzn1.sym.d9fd07ad-95b5-4079-8602-de55e6918bc7&pf_rd_p=d9fd07ad-95b5-4079-8602-de55e6918bc7&pf_rd_r=FVZBGK0EHTXDM1VEB648&pd_rd_wg=M39gM&pd_rd_r=33683b74-6

Amazon. (2 de Mayo de 2024). Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/meinschraubenversand-hexagonales-inoxidable-tornillo-unidades/dp/B0BDS5PSL3/ref=sr_1_13?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2P4Y0Z253NMXJ&dib=eyJ2IjoiMSJ9.9fPETGfQnbDNg8KkyNO34nSAv78v_LRXdUTzzVrIPgVBHgYXfiF_S8QoK_jGucrHr2

ANYCUBIC. (13 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/ANYCUBIC-Filamento-Impresora-Precisi%C3%B3n-Dimensional/dp/B0CDM9GSCS/ref=sr_1_3_sspa?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=2TVS9KC034JQB&dib=eyJ2IjoiMSJ9.38hll2Ua4zAKt6pL_WFX7k77f4nVZOsf3OeDg9_SsSHhbSh5cNLO2Sw3Ujpcn7GBJook

AOKIN Official Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005003505534192.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.228.181f194dVPDXfM&gatewayAdapt=glo2esp

BoBo 06 Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005005895249782.html?spm=a2g0o.detail.0.0.9cc7AmZbAmZbaS&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40050.354490.0&scm_id=1007.40050.354490.0&scm-url=1007.40050.354490.0&pvid=1ba41ca8-ad83-4c31-b501-22c7418f1141&_t=gps-id:p

Cheng, Y. R. (14 de Julio de 2022). *ReitenCreate*. Obtenido de ReitenCreate:

<https://www.reiten.design/>

CORSÁN Ingeniería de Gestión, S.L.U. (11 de Septiembre de 2018). *elmercadoce*. Obtenido de elmercadoce: <https://www.elmercadoce.es/2018/09/11/normativa-para-el-marcado-ce-de-impresoras-3d/>

Dream Tools Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

<https://es.aliexpress.com/item/1005006060817537.html?spm=a2g0o.productlist.ma>

in.5.618c7dbbiTHA7X&algo_pvid=1626b82d-fcda-45a9-9841-4697bc261217&algo_exp_id=1626b82d-fcda-45a9-9841-4697bc261217-2&pdp_npi=4%40dis%21EUR%2110.71%215.90%21%21%2182.09%2145.23%2

eSUN. (12 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/eSUN-Filamento-Velocidad-Impresora-Dimensional/dp/B0CLTV392R/ref=sr_1_3_sspa?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=D1HYMR8WHR8P&dib=eyJ2ljojMSJ9.fnyOU8Denkxh_ydNRG3qW4pcWyZ7osO6WDNQXVZOoTXbyivpQDc-f7IlyjbOAYAZyIHqBQRjtXOYD-

Formlabs. (12 de Enero de 2024). *Formlabs*. Obtenido de Formlabs: formlabs

Glintdeer Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/33012725299.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.345.5911194dNdLctq&gatewayAdapt=glo2esp

Good Quality Home Store Store . (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005006629175888.html?src=google&src=google&al_bch=shopping&acnt=439-079-4345&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&albcP=18928172568&albag=&trgt=&crea=es1005006629175

Hermann, S. (22 de Enero de 2022). *CNC Kitchen*. Obtenido de CNC Kitchen:

<https://www.cnckitchen.com/blog/how-strong-is-pet-bottle-filament>

Hilitand. (9 de Enero de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/tornillos-m%C3%A1quina-cabeza-inoxidable-avellanados/dp/B07DPBMHB2/ref=sr_1_13_sspa?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=15T4P10I45FWA&dib=eyJ2ljojMSJ9.045BbntB2yImKVYk1-eFdj89jhWwj_eC05bULc6N9JnSUS2wMk9WsgaWF7AxQlqqw344DS

IC Components Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/4000434289043.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.137.181f194dVPDXfM&gatewayAdapt=glo2esp

Keple. (3 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/Pernos-Roscados-Cabeza-Cilindrica-Paquete/dp/B08JCRL6KM/ref=sr_1_3?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=3SQI4PPXSHBXG&dib=eyJ2ljojMSJ9.728wx2IriOZo9EFSGTHwxOybmgwckK8njltF5FAJiOrgAJXtzva87YCu6Zds0viF9P8h7U18C4eJOHFzi4NOMnS

KINGROOM Official Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/32836645391.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.157.181f194dVPDXfM&gatewayAdapt=glo2esp

Maecoom Official Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005003284761769.html?spm=a2g0o.productlist.main.15.1c704b2191Eahv&algo_pvid=ece2aa25-7104-4e35-88fd-125a1a8305fa&algo_exp_id=ece2aa25-7104-4e35-88fd-125a1a8305fa-7&pdp_npi=4%40dis%21EUR%212.24%212.24%21%21%212.37%212.37%21%21

Motor Sky Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005005978324319.html?spm=a2g0o.productlist.main.15.7a6e1a6aHCMKKn&algo_pvid=aa14d419-2c09-430f-a9cb-2383bf4adf5f&algo_exp_id=aa14d419-2c09-430f-a9cb-2383bf4adf5f-7&pdp_npi=4%40dis%21EUR%217.97%217.97%21%21%2161.09%2161.09%2

NOLDAR. (11 de Abril de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/NOLDAR-hexagonales-M5-unidades-inoxidable/dp/B0B7XDCHDF/ref=sr_1_4?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1JH0XK7QL8H8A&dib=eyJ2ljoMSJ9.wylJAd-jHA2u1y9vP9-myP8NGOuf7O0rdZtwLjYf7-7nKof4biOjT4yZYJdDudKQP0wn9azsBgE6bljSAOpAGD

NSK Bearings. (2024). Obtenido de NSK Bearings: <https://www.nsk-literature.com/es/rolling-bearings/#>

Plásticos Brello S.A. (2024). Obtenido de Plásticos Brello S.A: [https://plasticos-brello.com/material/pet-tereftalato-de-poli-etileno/#:~:text=Entre%20sus%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20est%C3%A1n,MPa%20\(ensayo%20a%20tracci%C3%B3n\).](https://plasticos-brello.com/material/pet-tereftalato-de-poli-etileno/#:~:text=Entre%20sus%20propiedades%20mec%C3%A1nicas%20est%C3%A1n,MPa%20(ensayo%20a%20tracci%C3%B3n).)

RecaudaPET. (30 de Noviembre de 2013). Obtenido de RecaudaPET:

<https://recaudapet.wordpress.com/2013/11/30/historia-del-pet/>

SAMIORE Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/32225252366.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.264.181f194dVPDXfM&gatewayAdapt=glo2esp

SelfPaper. (2024). Obtenido de SelfPaper: <https://www.selfpaper.com/html/edding-no1-numero-1-rotulador-permanente-g.html>

Si Tai&SH Official Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/1005006280726542.html?spm=a2g0o.productlist.main.11.650f65b2u9vssq&algo_pvid=ca913ab8-d325-4fd4-8ffc-fea51d5068d7&algo_exp_id=ca913ab8-d325-4fd4-8ffc-fea51d5068d7-5&pdp_npi=4%40dis%21EUR%2111.56%213.79%21%21%2188.58%2129.05%

SUNLU. (8 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:

https://www.amazon.es/SUNLU-Tenacidad-Movilidad-Impresi%C3%B3n-Impresora/dp/B0B1ZV6CJM/ref=sr_1_4_sspsa?dib=eyJ2ljoMSJ9.Kp8dEUhDvPS36GD

50hpwvO3u_aGcNqzwaWtL5M6T4QoZZyhQrD1xcZzprQ2xCEg7MSJO5ZUkVPlgxyC-31Gb2AKXeOUkXYbYcNlG-d-9T8ifOciLOAT4nsHR5FXB9BvGwBvVre

Tarifaluzhora. (5 de Junio de 2024). *Tarifaluzhora*. Obtenido de Tarifaluzhora:
<https://tarifaluzhora.es/>

TarifaLuzHora. (05 de Junio de 2024). *TarifaLuzHora*. Obtenido de TarifaLuzHora:
<https://tarifaluzhora.es/>

Tecnología del Plástico. (23 de Noviembre de 2023). Obtenido de Tecnología del Plástico:
<https://www.plastico.com/es/noticias/guia-sobre-el-pet-propiedades-produccion-y-aplicaciones>

tooloflife. (27 de Julio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:
https://www.amazon.es/Tornillos-cabeza-bot%C3%B3n-tornillos-inoxidable/dp/B08LYQBC3W/ref=sr_1_8?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=6OJUFZ53JS00&dib=eyJ2IjojMSJ9.wyFQLp5RZVnAeNTUraRTWvjC0VKa1fl3Gq1_2GIRTWFTgaJ7gV_QU0SIbYJiiGhw_kGveiyPrs8dKwVir

Total Energie. (25 de Octubre de 2022). *Total Energie*. Obtenido de Total Energie:
<https://www.totalenergies.es/es/pymes/blog/consumo-electrico-impresora-3D#:~:text=De%20igual%20forma%2C%20como%20ya,unos%20200%20a%20500%20W.>

United Nations agency on international development. (Junio de 2012). Obtenido de United Nations agency on international development:
<https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Uxcell. (19 de Mayo de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon:
https://www.amazon.es/sourcing-map-completamente-tornillos-inoxidable/dp/B01M66BBGQ/ref=sr_1_2?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1BH6LDY8IZJCV&dib=eyJ2IjojMSJ9.rQhJlWil-7GuAkKNm40gHI7pcnTz8oq1h1ra3d_Pber88J8h2GJwuF2R6f1URpAnMgC_jgboum6llh0hX

Wisdom Interest Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:
https://es.aliexpress.com/item/1005006744530172.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.2437742f0msSjg&algo_pvid=e4230847-1be7-4638-b4f8-a014f26ba0f3&algo_exp_id=e4230847-1be7-4638-b4f8-a014f26ba0f3-0&pdp_npi=4%40dis%21EUR%213.96%211.43%21%21%2130.33%2110.93%21

XiKe. (27 de Junio de 2024). *Amazon*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.es/XiKe-Rodamientos-10x19x5mm-cromado-r%C3%ADgidos/dp/B09SCWS526/ref=sr_1_3?__mk_es_ES=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=1BH6LDY8IZJCV&dib=eyJ2IjojMSJ9.rQhJlWil-7GuAkKNm40gHI7pcnTz8oq1h1ra3d_Pber88J8h2GJwuF2R6f1URpAnMgC_jgboum6llh0hX

BD%C3%95%C3%91&crd=176ANINMNC3ST&dib=eyJ2IjoiMSJ9.d78SuP1LmkIKKspEo
OTMrGwD7-3SsiUwHzAPduOQeBehb0WNkhVMXevXjR3b6Bjppjyt8VRk7SMEMvrU_

YX Electronic Components. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/32262876291.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.254.181f194dVPDXfM&gatewayAdapt=glo2esp

ZHENGYICHENG Smart Home Electrical Official Store. (2024). *Aliexpress*. Obtenido de Aliexpress:

https://es.aliexpress.com/item/4000164264475.html?spm=a2g0o.productlist.main.1.6970rx0Yrx0YuW&algo_pvid=c256d419-d222-40c6-bf22-19f2a0c9311e&algo_exp_id=c256d419-d222-40c6-bf22-19f2a0c9311e-0&pdp_npi=4%40dis%21EUR%211.85%211.85%21%21%211.96%211.96%21%4021