

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

**Diseño y Desarrollo de un Sistema de Control para un Prototipo de Recicladora
de Botellas de PET para Producir Filamento de Impresoras 3D**

TRABAJO RECEPCIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
INGENIERÍA DE SOFTWARE

PRESENTA

Jesus Antonio Perales Serrano

DIRECTOR

Dr. Gerardo Hernández Hernández

CODIRECTOR

Dr. Alejandro Rodríguez Molina

Ciudad de México, 2026.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Contenido

Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
Introducción	10
Capítulo 1 Problemática	11
1.1 Identificación del problema	12
1.2 Contexto	12
1.3 Justificación	12
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo general	13
1.4.2 Objetivos específicos	13
1.5 Alcances y limitaciones	13
1.5.1 Alcances	14
1.5.2 Limitaciones	14
Capítulo 2 Estado del arte	16
2.1 Descripción	17
2.1.1 Interés por el filamento reciclado	17
2.1.2 Filamento hecho con PET	18
2.1.2.1 Reflow	18
2.1.2.2 B-PET Filament	18
2.1.3 Prototipos existentes	19
2.1.3.1 ProtoCycler	19
2.1.3.2 Polyformer	21
2.1.3.3 Precious Plastic	23
2.1.3.4 “Perpetual Plastic Project” (PPP)	27
2.1.3.5 Filabot	29
2.1.3.6 Felfil EVO	31
2.1.4 Comparación	34
2.1.5 Análisis del estado del arte	35
Capítulo 3 Marco histórico	37
3.1 Historia del PET	38
3.2 Evolución de la impresión 3D	38
3.3 Utilización de materiales reciclados como filamento	40

Capítulo 4 Marco conceptual.....	42
4.1 ¿Qué es el reciclaje?	43
4.2 PET (Tereftalato de Polietileno).....	44
4.3 Impresión 3D.....	45
Capítulo 5 Marco teórico	46
5.1 Tipos de plásticos	47
5.2 Simbología de los plásticos	48
5.3 Procesos de reciclaje del PET.....	49
5.4 Conversión de PET a filamento.....	49
5.4.1 Recolección de botellas	50
5.4.2 Preparación de las botellas.....	50
5.4.3 Cortar las botellas	54
5.4.4 Conversión a filamento	55
5.4.5 Almacenamiento.....	56
5.5 Tipos de filamento	56
5.6 Propiedades del filamento.....	57
5.7 Propiedades del filamento creado con PET.....	60
Capítulo 6 Desarrollo del prototipo	61
6.1 Descripción del prototipo.....	62
6.2 Requerimientos del sistema.....	62
6.2.1 Requerimientos funcionales	63
6.2.2 Requerimientos no funcionales	64
6.3 Arquitectura del sistema	64
6.3.1 Arquitectura del hardware.....	65
6.3.2 Plataformas y tecnologías utilizadas	66
6.3.3 Especificaciones técnicas del hardware	67
6.3.4 Esquema de conexiones electrónicas	70
6.3.5 Integración con el software.....	71
6.4 Diseño del software	71
6.4.1 Casos de uso.....	73
6.4.1.1 Casos de uso del diagrama Inicio y Navegación	73
6.4.1.2 Casos de uso del diagrama Control del Motor.....	77
6.4.1.3 Casos de uso del diagrama Telemetría	82
6.4.1.4 Casos de uso del diagrama Ventana de Ayuda	86

6.4.2 Diagramas de secuencia	89
6.4.2.1 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Iniciar	89
6.4.2.2 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Navegar entre ventanas	90
6.4.2.3 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Mostrar ventana de ayuda	91
6.4.2.4 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Salir	91
6.4.2.5 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Encender motor	92
6.4.2.6 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Configurar dirección de giro	92
6.4.2.7 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Ajustar velocidad del motor	93
6.4.2.8 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Apagar motor	93
6.4.2.9 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar velocidad del motor	94
6.4.2.10 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor	94
6.4.2.11 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar gráficos en pantalla	95
6.4.2.12 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Generar archivo CSV	95
6.4.2.13 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Abrir ventana de ayuda...	96
6.4.2.14 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Leer instrucciones	96
6.4.2.15 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Cerrar ventana de ayuda.	97
6.5 Implementación del software	97
6.5.1 Plataforma de ejecución.....	97
6.5.2 Código fuente	97
6.5.3 Partes del código	98
Capítulo 7 Pruebas y validación	100
7.1 Pruebas	101
7.1.1 Pruebas de usabilidad.....	101
7.2 Evaluación	102
7.2.1 Evaluación de la calidad del filamento	102
7.3 Resultados	102
7.3.1 Prototipo.....	102
7.3.1.1 Software	103
7.3.1.2 Prototipo completo	105
7.3.2 Filamento	106
Capítulo 8 Conclusiones y trabajo a futuro	107

8.1 Conclusiones	108
8.2 Trabajo a futuro	108
Capítulo 9 Referencias	110
Capítulo 10 Anexos	115
A. Licencias	116

Índice de figuras

Figura 2.1 Características de B-PET.....	19
Figura 2.2 ProtoCycler V3.....	20
Figura 2.3 Trituradora.....	20
Figura 2.4 Software Command Center.	21
Figura 2.5 Polyformer.....	22
Figura 2.6 Cortador dentro del Polyformer.	22
Figura 2.7 Cortador fuera del Polyformer.....	23
Figura 2.8 Desfibradora (Shredder).	23
Figura 2.9 Extrusión (Extrusion).	24
Figura 2.10 Inyección (Injection).	24
Figura 2.11 Compresión (Compression).	24
Figura 2.12 Trituradora Pro (Shredder Pro).	25
Figura 2.13 Extrusión Pro (Extrusion Pro).....	25
Figura 2.14 Prensa de hojas sueltas (Sheetpress).....	26
Figura 2.15 Complemento para Precious Plastic.	26
Figura 2.16 Perpetual Plastic Project.	27
Figura 2.17 Paso 1: Limpieza y secado.....	27
Figura 2.18 Paso 2: Trituración.	28
Figura 2.19 Paso 3: Extrusión.	28
Figura 2.20 Paso 4: Impresión 3D.	28
Figura 2.21 Extrusor de filamento EX2.....	29
Figura 2.22 Extrusora de filamentos EX6 - Serie estándar.	30
Figura 2.23 Configuración del extrusor EX2.	30
Figura 2.24 Configuración del extrusor EX6.	30
Figura 2.25 Software que utiliza.	31
Figura 2.26 Felfil EVO.	31
Figura 2.27 Características importantes de Felfil EVO.....	32
Figura 2.28 Partes del hardware de Felfil EVO.....	32
Figura 2.29 Materiales que se pueden utilizar.....	33
Figura 2.30 Kit de reciclaje.....	33
Figura 3.1 Hideo Kodama.	39
Figura 3.2 Chuck Hull (Charles W. Hull).....	40
Figura 4.1 Símbolo de Reciclaje.	43
Figura 4.2 Características del PET.	44
Figura 4.3 Manejo correcto de los residuos.	45
Figura 5.1 Simbología de los plásticos.	49
Figura 5.2 Botellas de PET.	50
Figura 5.3 Botella con textura.	51
Figura 5.4 Botella con restos de la etiqueta.....	52
Figura 5.5 Botella con pegamento.	53
Figura 5.6 Botella sin alisar.	54
Figura 5.7 Botella lisa.	54
Figura 5.8 Botellas cortadas en tiras.	55

Figura 5.9	Tiras de PET convertidas en filamento.....	55
Figura 6.1	Diagrama de bloques.	66
Figura 6.2	Esquema de conexiones.	70
Figura 6.3	Diagrama de flujo del sistema.....	72
Figura 6.4	Diagrama de casos de uso: Inicio y Navegación.	76
Figura 6.5	Diagrama de caso de uso: Control del motor.	81
Figura 6.6	Diagrama de casos de uso: Telemetría.	85
Figura 6.7	Diagrama de casos de uso: Ventana de ayuda.	88
Figura 6.8	Diagrama de secuencia: Iniciar.	89
Figura 6.9	Diagrama de secuencia: Navegar entre ventanas.	90
Figura 6.10	Diagrama de secuencia: Mostrar ventana de ayuda.	91
Figura 6.11	Diagrama de secuencia: Salir.	91
Figura 6.12	Diagrama de secuencia: Encender motor.	92
Figura 6.13	Diagrama de secuencia: Configurar dirección de giro.	92
Figura 6.14	Diagrama de secuencia: Ajustar velocidad del motor.	93
Figura 6.15	Diagrama de secuencia: Apagar motor.	93
Figura 6.16	Diagrama de secuencia: Visualizar velocidad del motor.	94
Figura 6.17	Diagrama de secuencia: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor.	94
Figura 6.18	Diagrama de secuencia: Visualizar gráficos en pantalla.	95
Figura 6.19	Diagrama de secuencia: Generar archivo CSV.	95
Figura 6.20	Diagrama de secuencia: Abrir ventana de ayuda.	96
Figura 6.21	Diagrama de secuencia: Leer instrucciones.	96
Figura 6.22	Diagrama de secuencia: Cerrar ventana de ayuda.	97
Figura 7.1	Ventana de inicio.	103
Figura 7.2	Ventana control del motor.	103
Figura 7.3	Ventana de ayuda	104
Figura 7.4	Ventana: menú principal.....	104
Figura 7.5	Ventana telemetría.	105
Figura 7.6	Prototipo completo.....	105
Figura 7.7	Filamento obtenido.	106
Figura 7.8	Extrusión del filamento.....	106

Índice de tablas

Tabla 2.1 Comparación de tecnologías existentes sobre la conversión de desechos plásticos en filamento.	34
Tabla 5.1 Características de los plásticos.	48
Tabla 5.2 Tipos de filamento.	56
Tabla 5.3 Características de los filamentos.	58
Tabla 5.4 Continuación de la tabla 5.3.	59
Tabla 5.5 Continuación de la tabla 5.3.	60
Tabla 6.1 Descripción del caso de uso: Iniciar.	73
Tabla 6.2 Descripción del caso de uso: Navegar entre ventanas.	74
Tabla 6.3 Descripción del caso de uso: Mostrar ventana de ayuda.	75
Tabla 6.4 Descripción del caso de uso: Salir.	75
Tabla 6.5 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.	76
Tabla 6.6 Descripción del caso de uso: Configurar dirección de giro.	77
Tabla 6.7 Descripción del caso de uso: Encender motor.	78
Tabla 6.8: Descripción del caso de uso: Ajustar velocidad del motor.	79
Tabla 6.9 Descripción del caso de uso: Apagar motor.	80
Tabla 6.10 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Control delo motor.	81
Tabla 6.11 Descripción del caso de uso: Visualizar velocidad del motor.	82
Tabla 6.12 Descripción del caso de uso: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor.	83
Tabla 6.13 Descripción del caso de uso: Visualizar gráficos en pantalla.	84
Tabla 6.14 Descripción del caso de uso: Generar archivo CSV.	85
Tabla 6.15 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.	86
Tabla 6.16 Descripción del caso de uso: Abrir ventana de ayuda.	86
Tabla 6.17 Descripción del caso de uso: Leer instrucciones.	87
Tabla 6.18 Descripción del caso de uso: Cerrar ventana de ayuda.	87
Tabla 6.19 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.	88
Tabla 7.1 Pruebas de usabilidad.	101

Introducción

El plástico es un material presente en la vida cotidiana de las personas gracias a su variedad, durabilidad y resistencia. Su capacidad de adoptar distintas formas, junto a su resistencia, lo ha convertido en un material esencial en distintas industrias, como lo son la automotriz, la medicina, en la construcción, en la fabricación de envases, entre otras.

Sin embargo, el uso excesivo del plástico ha provocado graves problemas ambientales, principalmente por su alta durabilidad y el incorrecto manejo de sus residuos. Esta problemática se ha convertido en una preocupación creciente a nivel mundial.

Entre los tipos de plásticos que más se utilizan y se descartan se encuentran las botellas de PET (Tereftalato de Polietileno), ampliamente utilizadas por la industria de las bebidas. Esto implica que cada año millones de toneladas de este material terminen en los océanos, en vertederos o en las calles. Aunque existen distintos métodos para el reciclaje de este material, algunos requieren recursos poco accesibles. A pesar de esto, hay alternativas que son viables, como la conversión en filamento para impresión 3D.

El uso de las botellas de PET como filamento para la impresión 3D no solo tiene beneficios para esta tecnología, sino que también promueve la reducción de los residuos plásticos. El PET es duradero, flexible y resistente a los impactos, lo que lo hace ideal para diferentes aplicaciones en la impresión 3D.

El reciclaje y reutilización de este material impulsa la economía circular, permitiendo que los materiales permanezcan en uso por el mayor tiempo posible. Esto permite aprovechar sus beneficios y minimizar los desechos plásticos en el ambiente, evitando que terminen en lugares como los mares y las calles de las ciudades.

Capítulo 1 Problemática

1.1 Identificación del problema

De acuerdo con ECOCE (s.f.), en México se tiene un consumo promedio de 860,000 toneladas de botellas de PET al año y que en el año 2024 se lograron recuperar un aproximado del 64% del total. Las botellas restantes pueden terminar en diferentes lugares como las calles, los océanos o los vertederos y representa un problema ambiental significativo, ya que contribuye a la contaminación y la acumulación de plásticos de un solo uso.

1.2 Contexto

El PET es un tipo de plástico ampliamente utilizado en la fabricación de botellas, especialmente para refrescos y agua, debido a su bajo costo de producción y por sus propiedades como su resistencia, flexibilidad y durabilidad. Sin embargo, su durabilidad también puede representar un problema ambiental, ya que, de acuerdo con Ecofiltro México (2020), las botellas de PET pueden tardar entre 100 y 1000 años en degradarse, lo que genera su acumulación en diferentes partes del planeta.

Para atender el problema del exceso de botellas desechadas, existen diversos métodos para reciclar este material que permiten darles un nuevo uso. Estos procesos pueden realizarse tanto de forma industrial, como de forma manual, dependiendo de los recursos disponibles.

Una manera innovadora, que ya ha sido explorada en proyectos de investigación, es utilizar el PET en la impresión 3D. Este tipo de plástico puede transformarse en filamento, que después es empleado en impresoras 3D para generar diferentes proyectos. Este enfoque aprovecha las propiedades del PET y contribuye a reducir el impacto ambiental que genera este material y darle un nuevo uso.

1.3 Justificación

Las botellas de PET son un tipo de residuo plástico que, si no se gestionan de manera adecuada una vez cumplido su propósito original, pueden convertirse en una amenaza para el medio ambiente debido a su alta producción y lenta degradación. Este proyecto busca dar una solución sostenible al transformar este material en filamento para impresoras 3D, otorgándole un nuevo uso y promoviendo su reutilización.

1.4 Objetivos

Los objetivos representan una parte importante en cualquier proyecto, ya que marcan el camino a seguir de la investigación y delimitan el alcance del estudio. Esto permite establecer lo que se pretende lograr, ayudando a estructurar el trabajo de manera coherente y enfocada.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo funcional de extrusión de filamento con una interfaz táctil, capaz de transformar botellas de PET en filamento para impresoras 3D, promoviendo su reutilización y brindando al usuario el control del motor y visualización de estadísticas.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Investigar tecnologías actuales que sean capaces de transformar botellas de PET en filamento para impresoras 3D.
2. Construir un prototipo de extrusión capaz de transformar botellas de PET en filamento que se pueda utilizar en impresoras 3D.
3. Desarrollar un software con una interfaz táctil que permita al usuario interactuar con el motor y visualizar estadísticas.
4. Evaluar el desempeño del prototipo realizando pruebas de funcionamiento tanto del software como del hardware.
5. Analizar el filamento obtenido, revisando si el resultado final es homogéneo.

1.5 Alcances y limitaciones

Estos elementos permiten definir claramente hasta dónde se planea llegar, además de los factores que pueden restringir el proceso o los resultados. Por esta razón, es necesario definir tanto los alcances como las limitaciones que puede tener un proyecto que se está desarrollando.

Los alcances permiten conocer cuál es la extensión del estudio. Especifican lo que se abordará, el contexto en el que se aplicarán y los resultados que se esperan. En otras palabras, especifican lo que el trabajo contempla y lo que se pretende lograr.

Por otro lado, las limitaciones ayudan a identificar los factores que podrían interferir en el desarrollo del proyecto o que pueden influir en el resultado final. Estas pueden estar relacionadas con el tiempo disponible, el acceso a la información, o los recursos materiales o humanos.

1.5.1 Alcances

El proyecto contempla la construcción de un prototipo funcional que permita transformar botellas de PET en filamento para impresoras 3D. Este prototipo está orientado principalmente para usos educativos y domésticos, no industriales. Los alcances incluyen:

1. Selección del material: Se utilizarán solo botellas de PET, descartando cualquier otro tipo de plástico.
2. Preparación de las botellas: Las botellas se deben lavar, secar y cortar en tiras uniformes, además de retirar etiquetas y pegamento.
3. Proceso de extrusión: Se desarrollará un sistema de extrusión, pero no completamente automatizado, ya que requiere intervención manual en ciertas etapas.
4. Desarrollo de software: Se implementará una interfaz básica con pantalla táctil para controlar el encendido y apagado del motor, la velocidad y la dirección.
5. Revisión de los resultados: Se evaluará el filamento obtenido en términos de homogeneidad.

1.5.2 Limitaciones

La ejecución del proyecto se centra en la viabilidad técnica del prototipo, y se establecen las siguientes limitaciones:

- Material: Solo se trabajará con botellas hechas de PET, ningún otro tipo de plástico será considerado.

- Condiciones de las botellas: Las botellas deben ser lisas, limpias y sin ningún tipo de pegamento o etiquetas, requieren ser lavadas y finalmente cortadas en tiras uniformes.
- Proceso de extrusión: El proceso no está automatizado completamente, es necesaria intervención manual en la colocación, el control del motor y la supervisión del proceso.
- Alcance del proyecto: El desarrollo del prototipo solo se enfoca en un uso educativo y experimental, no en una forma industrial.
- Evaluación del filamento: Se realizarán pruebas básicas de calidad, pero no se incluirán estudios avanzados sobre impacto ambiental, ni análisis económico en comparación con otro tipo de filamento de uso comercial.
- Consumo de energía: Es claro que el proceso consume energía eléctrica, pero no se realizará un análisis detallado de la eficiencia energética.

Capítulo 2 Estado del arte

2.1 Descripción

El PET es un material involucrado en la fabricación de botellas. Actualmente, varias de estas botellas incluyen en sus etiquetas la leyenda de que fueron fabricadas con material reciclado. Esto refleja que las empresas cada vez están involucrándose más en el cuidado del medio ambiente y por lo que han decidido empezar a hacer uso de las botellas desechadas para reutilizarlas y crear nuevos productos con ellas.

El reciclaje del PET (tereftalato de polietileno) no se limita solo a las empresas que fabrican botellas, ya que su uso se ha extendido a otras áreas, como lo es la impresión 3D, donde ha tomado importancia en los últimos años. Una vez que ha pasado por un proceso adecuado, el PET se puede convertir en filamento, aprovechando sus propiedades que lo convierten en un material adecuado para este tipo de tecnología.

Gracias a estas propiedades, se han creado diferentes prototipos capaces de transformar el PET en filamento. También existen empresas o instituciones que decidieron enfocarse en el desarrollo y comercialización de este tipo de filamento para impresión 3D a partir de botellas de plástico reciclado.

2.1.1 Interés por el filamento reciclado

La impresión 3D es una tecnología en constante crecimiento, su uso se ha extendido a diversos sectores como la medicina, la industria automotriz, entre otros. Pero a pesar de sus ventajas, enfrenta el problema de encontrar materiales accesibles y sostenibles que permitan su expansión sin llegar a comprometer al medio ambiente.

Ante esta situación, ha surgido el interés por el reciclaje de botellas de PET como fuente para producir el filamento necesario para esta tecnología. Esta iniciativa surgió de la necesidad de tener que abordar el aumento de residuos plásticos, así como la demanda creciente de los materiales de impresión 3D. Al utilizar el PET como material para crear filamento se contribuye a reducir la cantidad de desechos plásticos, además de que es un material que ayuda a la fabricación de prototipos.

Por esta razón, tanto empresas como personas se han dedicado a desarrollar soluciones capaces de fabricar filamento utilizando botellas de PET, así como la creación de prototipos funcionales que permitan la realización de este proceso.

2.1.2 Filamento hecho con PET

El PET es un tipo de plástico que gracias a sus propiedades lo hace adecuado como filamento para impresoras 3D. Empresas como Reflow y B-PET Filament llevan a cabo el esfuerzo de conseguir este material y realizar el procedimiento correspondiente para producir un filamento adecuado y de alta calidad, comparable con cualquier otro disponible en el mercado, con el distintivo de que proviene de fuentes sostenibles.

2.1.2.1 Reflow

Reflow es una empresa con sede en Ámsterdam que, según *Plastics Technology MÉXICO* (2016), convierte plástico reciclado en filamento para impresoras 3D utilizando tecnología de código abierto. Además, el filamento reciclado de Reflow se produce con botellas de PET recicladas y los ingresos obtenidos son devueltos a los recicladores que realizan el proceso de recolección de este material. Por otro lado, en la página de FILAMENTZ (s.f.) se señala que el filamento creado por Reflow es uno de los más puros en cuanto a contenido reciclado, con una base aproximada de un 95% de material reciclado, y se fabrica en los Países Bajos utilizando productores locales.

2.1.2.2 B-PET Filament

B-PET es una empresa argentina que se dedica a reciclar los desechos plásticos generados por el PET, con el objetivo de utilizarlos en la impresión 3D. Según Lucia C. (2016), en una entrevista realizada por 3Dnatives, miembros de la empresa destacan que las propiedades mecánicas como la flexibilidad, la carencia de olor, la transparencia, además de su impacto ambiental hicieron que se especializaran en el uso del PET como filamento.

De acuerdo con información publicada en la página oficial, B-PET (2015) señala que su producto es compatible con cualquier tipo de impresora 3D que cuente con un extremo caliente de metal. Además, indica que su filamento tiene mayor flexibilidad y es más fuerte comparado con otros materiales como el ABS o el PLA, siendo ideal para el medio ambiente. En la Figura 2.1 se pueden observar las características con las que cuenta el filamento fabricado por B-PET, las cuales son:

- 100% posconsumo.

- Resistente a la flexión.
- Bobinado y extrusión de alta calidad.
- Diámetro uniforme y sin burbujas.
- 100% reciclable.
- Más resistente al fuego que el PLA y el ABS.
- Fácil adhesión.

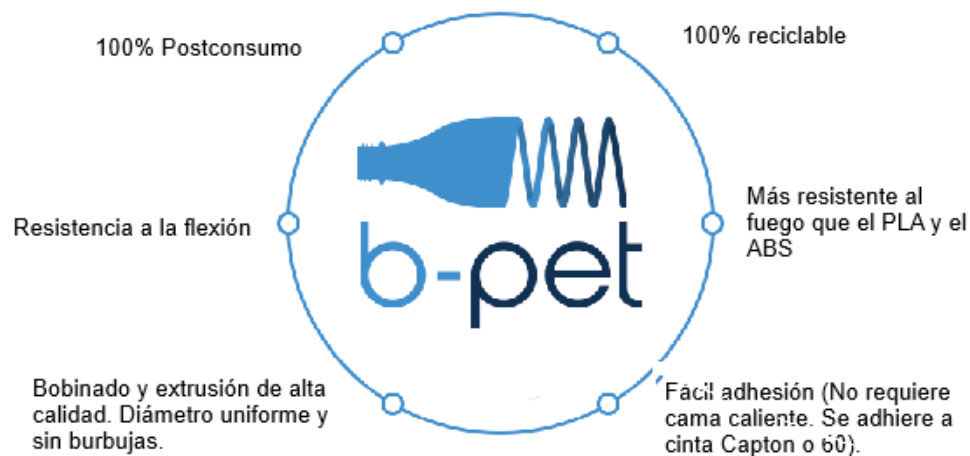


Figura 2.1 Características de B-PET.

2.1.3 Prototipos existentes

Otra alternativa son los prototipos de extrusoras de filamento disponibles actualmente, los cuales ofrecen diferentes formas de transformar el PET en material para impresoras 3D. Estos prototipos se pueden clasificar en dos tipos: los que se comercializan, son equipos listos para utilizarse y los proyectos de código abierto que permiten ser contruidos de forma independiente. Cada uno cuenta con sus propias características de funcionamiento y eficiencia.

2.1.3.1 ProtoCycler

ProtoCycler es una extrusora de escritorio creada por ReDeTec, diseñada para crear filamento para impresoras 3D. Según filament2print (s.f.), ReDeTec fue fundada en el año 2010 con el objetivo de minimizar los residuos plásticos generados en la industria de la impresión 3D.

De acuerdo con la página de ReDeTec (2025), ProtoCycler V3 es considerada como la extrusora de escritorio más avanzada del mundo, gracias a que cuenta con un hardware patentado denominado “MixFlow” y a su sistema de control de diámetro regulado de forma digital. Además, incorpora un software que permite optimizar el nivel de extrusión al experimentar con polímeros y aditivos, en la Figura 2.2 se puede observar la extrusora ProtoCycler V3. Un punto importante que se debe destacar es su trituradora opcional incorporada, que permite reciclar desechos de impresiones 3D, en la Figura 2.3 se puede observar la trituradora con la que cuenta la extrusora. Asimismo, cabe destacar que cuenta con certificado a nivel mundial.

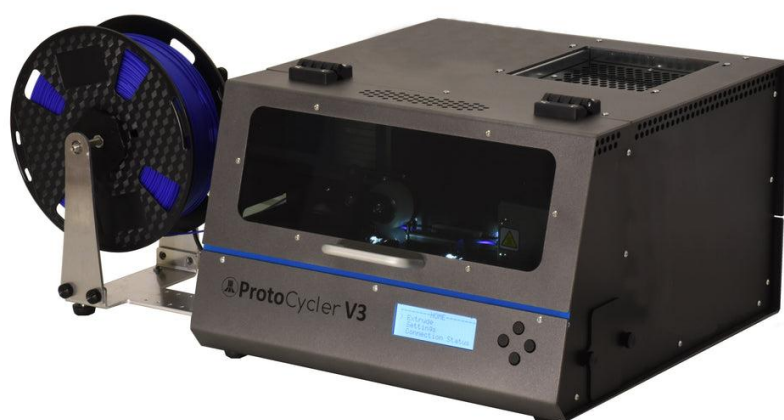


Figura 2.2 ProtoCycler V3.

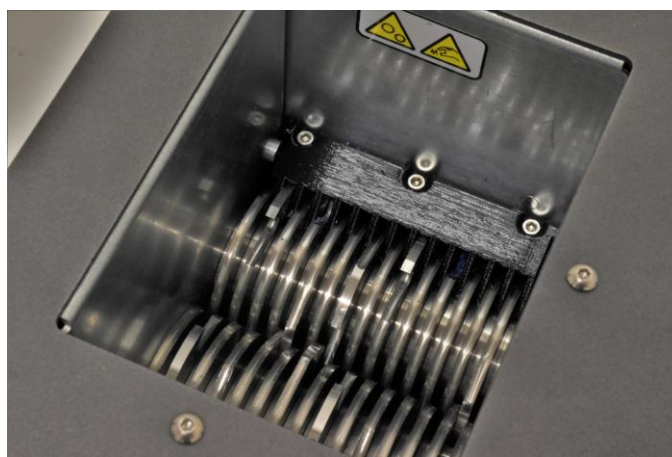


Figura 2.3 Trituradora.

De acuerdo con ReDeTec (2025), su software llamado *Command Center* es capaz de monitorear más de 20 parámetros relacionados con la extrusión de filamento. También incorpora inteligencia artificial que le permite aprender y optimizar el procesamiento de nuevos plásticos, lo que permite que trabaje de forma segura en piloto automático. En la Figura 2.4 se puede observar al software Command Center en operación mostrando detalles de los parámetros que monitorea sobre la extrusión.



Figura 2.4 Software Command Center.

2.1.3.2 Polyformer

Polyformer es una máquina de código abierto con forma de “L”, impresa en 3D, que permite convertir botellas de PET en filamento para impresión 3D, con el objetivo de reducir los desechos plásticos. La Figura 2.5 muestra claramente el diseño en L con el que cuenta la máquina. Según la página Reiten (s.f.), Polyformer se diseñó para ser construida principalmente con piezas impresas en 3D y componentes fáciles de conseguir, como las impresoras 3D.



Figura 2.5 Polyformer.

Según la página de Reiten (s.f.), su estructura con forma de “L” cumple dos objetivos: permitir que los usuarios interactúen fácilmente con el mecanismo y minimizar el tamaño de la extrusora. Su diseño también incluye una herramienta que permite cortar las botellas en forma de cintas largas, las cuales pasan por la extrusora para convertirlo en filamento de 1.75 mm de diámetro. Las figuras 2.6 y 2.7 muestran la herramienta con la que cuenta Polyformer para cortar las botellas tanto adentro como afuera del mecanismo.



Figura 2.6 Cortador dentro del Polyformer.



Figura 2.7 Cortador fuera del Polyformer.

2.1.3.3 Precious Plastic

Precious Plastic es un proyecto de código abierto enfocado en el reciclado del plástico con el objetivo de darle un nuevo uso, como la creación de filamento para impresión 3D. Según Precious Plastic (s.f.), el proyecto cuenta con distintos tipos de máquinas divididas en tres categorías: básico, pro y comunidad.

Cada una de las máquinas cuenta con sus propias características. Las máquinas básicas de acuerdo con Precious Plastic (s.f.) son fáciles de construir, asequibles, educativas y de código abierto, lo que permite introducirse al reciclaje del plástico. Las Figuras 2.8, 2.9, 2.10 y 2.11 muestran las máquinas que pertenecen a la categoría básico, las cuales son: Desfibradora, Extrusión, Inyección y Compresión.



Figura 2.8 Desfibradora (Shredder).



Figura 2.9 Extrusión (Extrusion).



Figura 2.10 Inyección (Injection).



Figura 2.11 Compresión (Compression).

Las máquinas PRO según la página oficial de Precious Plastic (s.f.) están enfocadas principalmente para establecer negocios relacionados con el reciclaje. Son equipos semi-industriales, de gran volumen y al igual que las máquinas básicas son de código abierto y están enfocadas en dar una buena experiencia de usuario. Las Figuras 2.12, 2.13 y 2.14 muestran las máquinas que pertenecen a la categoría pro, las cuales son: Trituradora Pro, Extrusión Pro y Prensa de hojas sueltas.



Figura 2.12 Trituradora Pro (Shredder Pro).



Figura 2.13 Extrusión Pro (Extrusion Pro).



Figura 2.14 Prensa de hojas sueltas (Sheetpress).

Las máquinas de la categoría comunidad de acuerdo con Precious Plastic (s.f.), son equipos que han sido diseñadas por miembros de la comunidad para abordar el problema de los residuos plásticos. Son diseños nuevos o complementos que pueden conectarse con las máquinas existentes de Precious Plastic. En la Figura 2.15 se puede observar un complemento creado por QI Tech que se conecta con las máquinas Precious Plastic.



Figura 2.15 Complemento para Precious Plastic.

2.1.3.4 “Perpetual Plastic Project” (PPP)

Perpetual Plastic Project es un proyecto creado para utilizar plástico reciclado para la fabricación de nuevos productos mediante impresión 3D. Según Better Future Factory (s.f.), es una instalación de reciclaje interactiva para cualquier persona, parecida a una minifábrica que permite a las personas experimentar el proceso de transformación de residuos plásticos a productos útiles. En la Figura 2.16 se puede observar a unas personas interactuando con el proyecto.

Esta minifábrica cuenta con 4 estaciones, cada una de estas estaciones representa una de las etapas de este proceso: el lavado del plástico, la trituración, la extrusión y la impresión 3D. El objetivo es que las personas comprendan el ciclo de reciclado del plástico. Las Figuras 2.17, 2.18, 2.19 y 2.20 muestran las 4 estaciones con las que cuenta Perpetual Plastic Project, las cuales son: limpieza y secado, trituración, extrusión y la impresión 3D.



Figura 2.16 Perpetual Plastic Project.



Figura 2.17 Paso 1: Limpieza y secado.



Figura 2.18 Paso 2: Trituración.



Figura 2.19 Paso 3: Extrusión.



Figura 2.20 Paso 4: Impresión 3D.

2.1.3.5 Filabot

Filabot, según su página oficial (s.f.), es un proyecto diseñado por expertos en la transformación de desechos plásticos en filamentos para aplicaciones 3D. Sus extrusoras son aptas tanto para la producción como la investigación del filamento, gracias a que permiten el desarrollo de filamentos personalizados que abordan los problemas que enfrenta la ciencia de los materiales.

La empresa ofrece una gama de extrusoras que incluyen modelos básicos e industriales, cada uno diseñado para satisfacer las necesidades de los procedimientos de los productos. Los productos disponibles son el Extrusor de filamento EX2, la Extrusora de filamento EX6 en sus versiones estándar e industrial, la configuración del extrusor EX2 y la configuración del extrusor EX6 tanto estándar como industrial. En las Figuras 2.21, 2.22, 2.23 y 2.24 se pueden observar los distintos tipos de extrusoras con los que cuenta Filabot. Algunos de los productos incluyen software para el registro y la visualización gráfica del filamento extruido. La Figura 2.25 muestra el funcionamiento del software que utilizan algunos de los productos de Filabot, el cual muestra diferentes datos sobre el filamento.

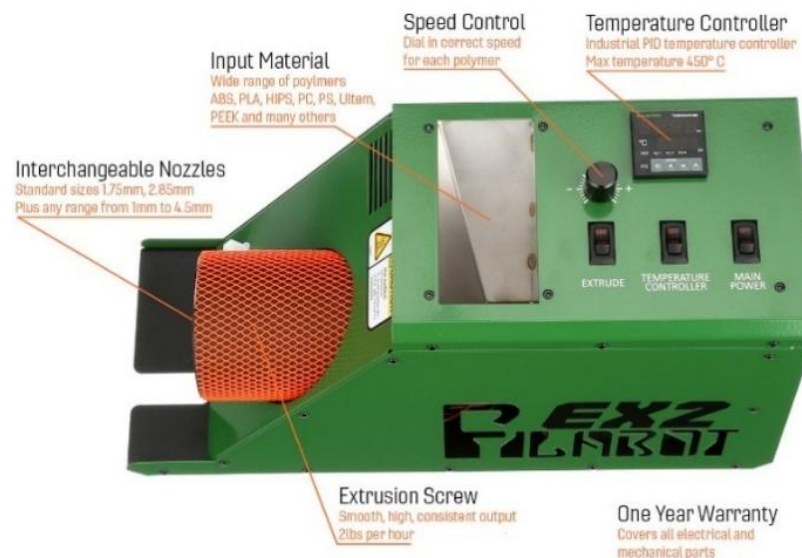


Figura 2.21 Extrusor de filamento EX2.

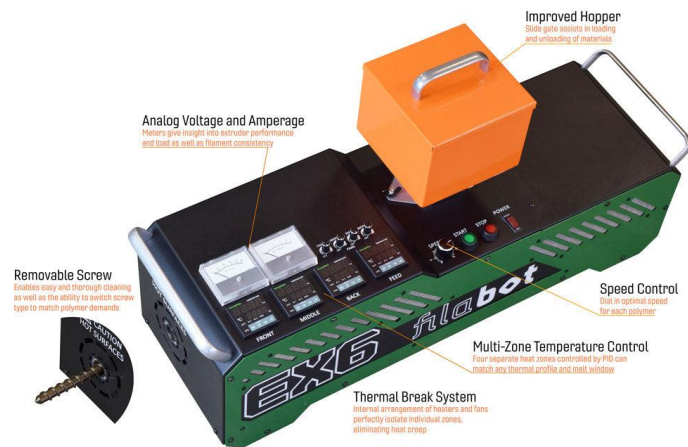


Figura 2.22 Extrusora de filamentos EX6 - Serie estándar.



Figura 2.23 Configuración del extrusor EX2.



Figura 2.24 Configuración del extrusor EX6.



Figura 2.25 Software que utiliza.

2.1.3.6 Felfil EVO

Felfil EVO es una extrusora de código abierto basada en Arduino, diseñada para utilizar materiales reciclados como restos plásticos y transformarlos en filamento para utilizarlo en impresoras 3D. Según su página oficial (s.f.), Felfil EVO es un equipo doméstico capaz de ser utilizado por cualquier tipo de usuario, desde principiantes hasta expertos en el ámbito de la impresión 3D. La Figura 2.28 permite observar cómo es la extrusora Felfil EVO.



Figura 2.26 Felfil EVO.

Entre las características a destacar de la extrusora Felfil EVO, según su página oficial (s.f.), tiene la posibilidad de crear filamento en diámetros de 1.75 mm y 2.85 mm cambiando la boquilla. Además, cuenta con una interfaz intuitiva para facilitar su uso.

El equipo permite ajustar manualmente parámetros importantes como la temperatura y velocidad, permitiendo un mayor control del proceso de extrusión del material que se está utilizando. La Figura 2.29 muestra las especificaciones técnicas de la extrusora Felfil EVO, como la velocidad de extrusión, la temperatura, el tipo de tornillo de extrusión, la licencia, la tolerancia y el material, mientras que la Figura 2.30 muestra las partes que componen a la extrusora y la Figura 2.31 indica los materiales que se pueden reciclar.



Figura 2.27 Características importantes de Felfil EVO.

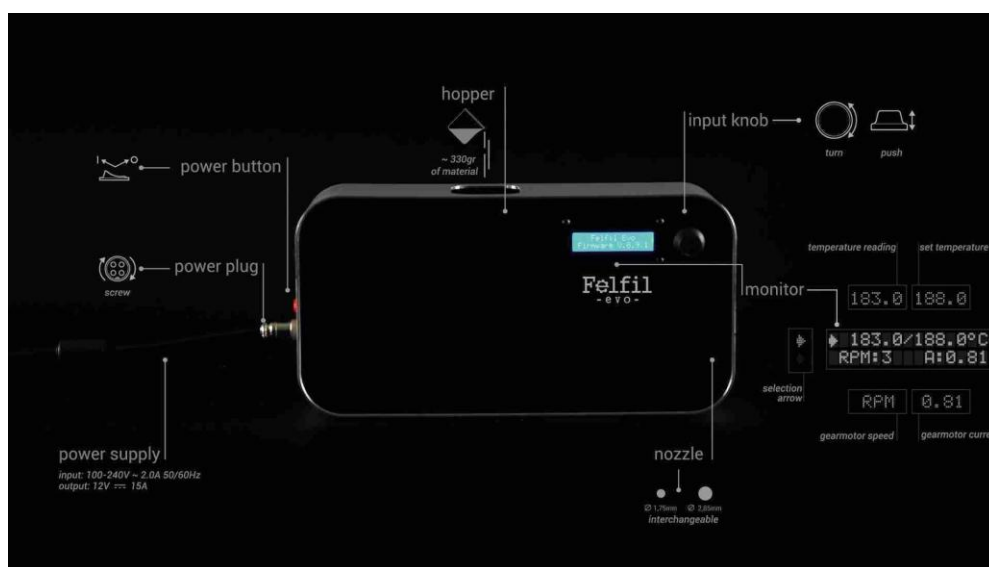


Figura 2.28 Partes del hardware de Felfil EVO.



Figura 2.29 Materiales que se pueden utilizar.

Según filament2print (s.f.) la extrusora Felfil EVO se puede utilizar junto con otros componentes como una trituradora de plástico y una embobinadora, formando un kit completo de reciclaje. La Figura 2.32 muestra el kit completo de reciclaje de Felfil EVO. Esto permite triturar el plástico, extruirlo y colocarlo en una bobina, dejando el material listo para ser utilizado en una impresora 3D.

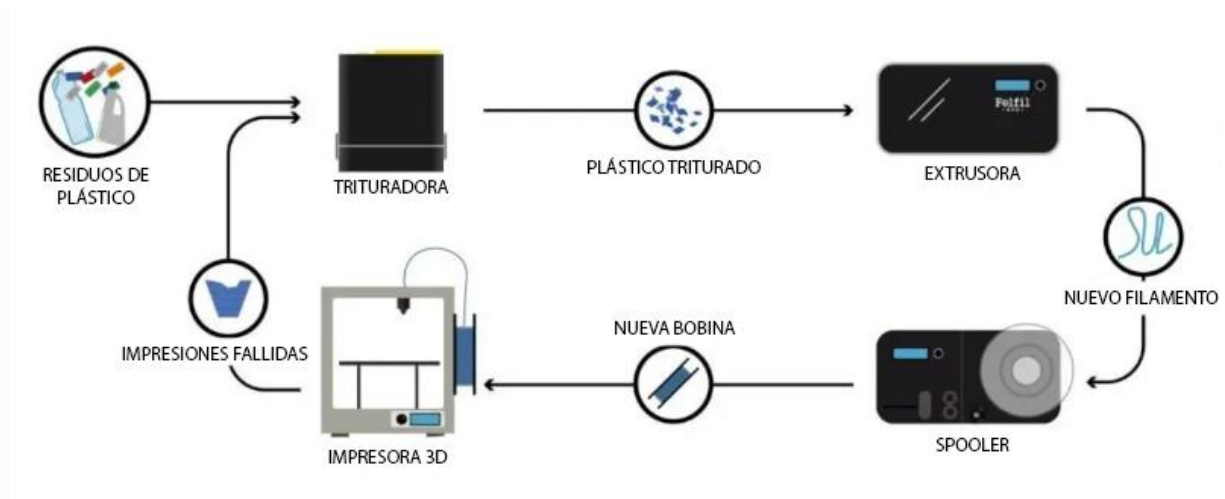


Figura 2.30 Kit de reciclaje.

2.1.4 Comparación

La Tabla 2.1 muestra una comparación de las tecnologías existentes que aprovechan los desechos plásticos para crear filamento para impresoras 3D, donde se muestran diferentes características de cada una.

Tabla 2.1 Comparación de tecnologías existentes sobre la conversión de desechos plásticos en filamento.

Característica	Reflow	B-Pet Filament	ProtoCycler	Polyformer	Precious Plastic	Perpetual Plastic Project	Filabot	Felfil Evo
Tecnología	Reciclaje y extrusión de plásticos	Filamento reciclado de botellas de PET	Extrusión y reciclaje de plásticos	Extrusión y reciclaje de botellas de PET	Reciclado y extrusión de plásticos	Reciclar plásticos	Desechos plásticos	Restos plásticos
Plásticos compatibles	PET, PLA, ABS, entre otros	Botellas de PET	Desechos de plásticos de las impresoras 3D	Botellas de PET	Plásticos	Residuos plásticos	Residuos plásticos	HDPE, PP, entre otros
Método de reciclaje	No se menciona	Extrusión	Extrusión	Extrusión	Reciclaje de plásticos	Extrusión	Extrusión	Extrusión
Facilidad de uso	Filamento para usar	Filamento para usar	Extrusora de escritorio	Sí	Requiere de conocimientos dependiendo el modelo	Es interactiva	Dependiendo la extrusora	Sí tanto para principiantes como expertos
Accesorios disponibles	Tipo industrial	Tipo industrial	Incluye accesorios (bobina, trituradora opcional)	Herramienta para cortar las botellas en tiras	Incluye las partes para hacer el reciclaje	Mini fabrica con 4 estaciones	Básicos como industriales	Kit de reciclaje (trituradora y embobinadora)
Tamaño y portabilidad	No se menciona	No se menciona	Pequeño	Tamaño pequeño y compacto	Tamaño grande	Grande	Dependiendo la extrusora	Pequeño y compacto
Sostenibilidad	Reciclaje de plásticos	Reciclaje de botellas de PET	Reciclaje de plásticos	Reciclaje de botellas de PET	Enfoque educativo	Enfoque colaborativo	Filamentos personalizados	Reciclaje de plásticos
Innovación	Reciclaje y extrusión de plásticos	Filamento con botellas de PET recicladas	Hardware patentado MixFlow y software para controlar la extrusión	Fácil interacción con el hardware	Fomenta el reciclaje y los proyectos de la comunidad	Fomenta el reciclaje del plástico	Producción e investigación del filamento	Interfaz intuitiva y se puede crear filamento de diámetros diferentes
Open Source	Utiliza tecnología	No se menciona	No se menciona	Sí	Sí	No se menciona	No se menciona	Sí
Software	No se menciona	No se menciona	Sí (Software Command Center)	No se menciona	No se menciona	No se menciona	Sí	Sí, basado en Arduino

2.1.5 Análisis del estado del arte

Tras analizar y revisar información sobre varias empresas y prototipos, que existen actualmente enfocados en el uso de desechos plásticos para la fabricación de filamento destinado a impresoras 3D se identificaron varios puntos importantes de cada uno de estos proyectos.

Cabe destacar que todas las iniciativas comparten un objetivo en común: dar un nuevo uso a los desechos plásticos, transformándolos en filamento para impresoras 3D. Por “desechos plásticos” se refiere tanto a las botellas de PET como materiales utilizados en la impresión 3D, tales como los proyectos fallidos o las estructuras de soporte generadas en el proceso de fabricación.

Sin embargo, existen diferencias en los enfoques específicos de cada empresa. Por ejemplo, Reflow y B-PET Filament están centrados en la producción de filamento de calidad a partir de botellas de PET, con el propósito de ofrecerlo a los usuarios de impresoras 3D. Por el contrario, otros proyectos decidieron enfocarse en el desarrollo de prototipos o extrusoras que fueran fáciles de manejar por cualquier persona, aunque esto no implica que tengan que ser de uso doméstico, ya que algunas de ellas tienen enfoques industriales o requieren de un espacio amplio para ser utilizadas.

Otra diferencia importante es la implementación de un software especializado. Solo algunas de las propuestas mencionan que cuentan con algún tipo de sistema que les permite controlar parámetros como el diámetro u otras funciones que permiten optimizar el proceso.

El análisis comparativo permitió identificar áreas en las que no se han enfocado los prototipos existentes, así como elementos que integran el prototipo desarrollado. A continuación, se mencionan las aportaciones del prototipo:

- Enfoque: El sistema no solo se enfoca en la extrusión del filamento, sino que incorpora desarrollo de software y una interfaz gráfica.
- Interfaz táctil interactiva: Permite al usuario controlar parámetros como la velocidad, la dirección y el encendido del motor.
- Diseño modular y escalable: La arquitectura permite agregar nuevos sensores y adaptar el sistema a nuevas necesidades.

- Accesibilidad: Se emplean componentes de bajo costo.
- Documentación: Se incluye información técnica del proceso y del procedimiento de reciclaje.
- Validación experimental: Se muestran resultados obtenidos que demuestran la viabilidad del proyecto.
- Compromiso ambiental: El utilizar botellas de PET ayuda en la reducción de residuos plásticos y promueve la reutilización de este tipo de materiales.

Capítulo 3 Marco histórico

3.1 Historia del PET

Durante décadas, las personas han consumido bebidas embotelladas, pasando por distintos materiales como lo son el vidrio o el aluminio, hasta que se empezaron a utilizar las primeras botellas hechas de plástico. Según Laura Parker (2019), las primeras botellas fueron una alternativa debido a su ligereza, pero en un principio presentaron problemas como la filtración de sustancias químicas, y que no eran útiles para contener bebidas carbonatadas.

Los científicos británicos John Rex Whinfield y James Tennant Dickson descubrieron el PET en 1941, quienes de acuerdo con lo mencionado en Wikipedia (s.f.) lo patentaron como un polímero para la fabricación de fibras y en el año 1946 se empezó a utilizar de forma industrial principalmente en el sector textil.

Esto demuestra que el objetivo original del PET no estaba relacionado con la industria de las bebidas embotelladas sino con la industria textil. Sin embargo, en el año 1973, el científico Nathaniel Wyeth patentó la primera botella hecha de PET, que era liviana, barata y se podía reciclar.

Laura Parker (2019) también señala como Perrier y Evian impulsaron el tema del agua embotellada, lo que impulsó a empresas como PepsiCo y Coca Cola a unirse a este negocio, por lo que PepsiCo en 1994 introdujo Aquafina y Coca Cola con Dasani en el año 1999, en donde ambas marcas utilizaban agua del grifo filtrada nuevamente.

3.2 Evolución de la impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología que actualmente tiene muchas aplicaciones en diferentes industrias y ha evolucionado con el paso del tiempo. A partir de los años 80 se empezaron a desarrollar las primeras tecnologías de impresión 3D. Dentro de estos desarrollos destacan Hideo Kodama y Chuck Hull (Charles W. Hull).

Según Impresoras3D.com (2023), Hideo Kodama en 1981 presentó en Japón la primera solicitud de patente para un sistema de impresión en tres dimensiones. Por otro lado, FP Superior Francisco de Vitoria (s.f.) señala que desarrolló un producto capaz de utilizar luz ultravioleta para endurecer polímeros, lo que permitió la creación de objetos sólidos. La Figura 3.1 muestra a Hideo Kodama.



Figura 3.1 Hideo Kodama.

De acuerdo con Impresoras3D.com (2023), Chuck Hull (Charles W. Hull) inventó la estereolitografía, un proceso capaz de llevar a cabo la creación de objetos en 3D gracias al uso de datos digitales. La Figura 3.2 muestra a Chuck Hull. En el sitio oficial de 3D Systems (2025) se mencionan varios acontecimientos sobre Chuck Hull y la compañía:

- En 1983, llevó a cabo el desarrollo de la estereolitografía.
- En 1984, hizo el registro de la patente sobre un equipo de estereolitografía.
- En 1986, fundó 3D Systems con la ayuda de otros socios.
- En 1987, 3D Systems llevó a cabo la comercialización de la primera impresora 3D.
- En 1989, se realizó el registro de la patente de la Sinterización selectiva por láser.
- En 1996, 3D Systems lanzó al mercado las impresoras 3D MultiJet Printing.

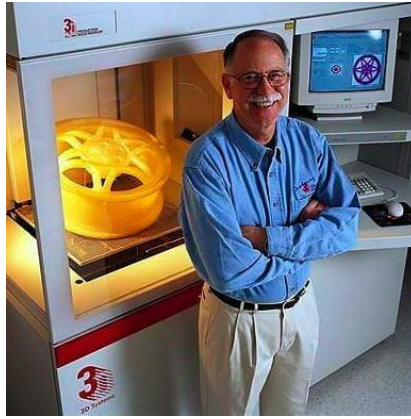


Figura 3.2 Chuck Hull (Charles W. Hull).

De igual manera, en la página de Impresoras3D.com (2023), se indican algunos acontecimientos en la historia de la impresión 3D:

- En el año 2002 se llevó a cabo la impresión de un riñón en 3D funcional.
- En el año 2005 se creó una iniciativa para construir una impresora 3D completamente de código abierto (Open Source).
- En el año 2008 RepRap lanzó una impresora 3D capaz de imprimir sus propias piezas.
- En el año 2011 se fabricó el primer avión impreso en 3D.
- En el año 2014 se demostró que las impresoras 3D funcionan correctamente en el espacio.
- En el año 2018 una familia francesa se mudó a una casa impresa en 3D.

3.3 Utilización de materiales reciclados como filamento

Las evoluciones en la impresión 3D no solo se han visto reflejadas en el desarrollo de nuevas impresoras o la utilización de ellas en varios ámbitos, sino también en los filamentos utilizados especialmente por las empresas y usuarios.

Uno de los avances que más se ha reflejado es la utilización de materiales sostenibles. Esto se debe a que tanto personas como empresas han comenzado a ver la posibilidad de utilizar insumos más amables con el medio ambiente, por lo que se han enfocado en la utilización de filamentos reciclados.

Según Sicnova3D (2022), los filamentos reciclados son materiales que se pueden reutilizar al ser tratados térmicamente para formar un material base y esto aplica a los polímeros capaces de moldearse de forma térmica. Por otra parte, Improto 3D (2023), menciona que el filamento de plástico reciclado es el material elaborado utilizando botellas u otro desecho plástico, los cuales tienen que pasar por un proceso de trituración, extrusión y embobinado. Algunos de los materiales que más se utilizan en este proceso son el PLA y el PETG.

Capítulo 4 Marco conceptual

4.1 ¿Qué es el reciclaje?

El reciclaje es un proceso que consiste en crear nuevos objetos o productos mediante el uso de desechos, contribuyendo al cuidado del medio ambiente. Según BBVA (2025), el reciclaje es un proceso que incluye la recolección y transformación de los materiales para obtener nuevos. Por su parte, ECOCE (2023), indica que el reciclaje es la acción de transformar residuos en materias primas que incluyan propiedades físico-químicas que sean lo más similares a las originales, pasando por distintos procesos tanto mecánicos como físicos y químicos. La Figura 4.1 permite observar el símbolo de reciclaje.



Figura 4.1 Símbolo de Reciclaje.

BBVA (2025), también menciona que existen tres tipos de reciclaje, que pueden crear diferentes objetos dependiendo del método que se utilice:

- El reciclaje primario o de circuito cerrado está enfocado en convertir los materiales reciclados en productos iguales a lo que eran antes de reciclarse.
- El reciclaje secundario se enfoca en transformar los productos desechados en objetos diferentes.
- El reciclaje terciario o químico descompone los materiales de forma química para producir nuevos materiales totalmente diferentes.

Por otra parte, ECOCE (2023), menciona que el reciclaje tiene diferentes beneficios como los ambientales, económicos y sociales. Además, indica que este proceso ayuda a reducir el volumen de residuos que se generan en los hogares, se ahorran recursos

no renovables como el petróleo o materias primas que se utilizan para crear los envases y empaques, y fomenta la generación de empleos.

En resumen, el reciclaje es un proceso importante para dar un nuevo uso a materiales que, de otra manera, terminarían en la basura. Algunos de estos materiales que se reciclan son: el papel, el cartón, el vidrio, el aluminio, el PET, entre otros.

4.2 PET (Tereftalato de Polietileno)

El PET es un tipo de plástico con el que se convive diariamente, debido a que posee propiedades que lo hacen adecuado para ciertos productos, como las botellas. De acuerdo con ECOCE (2023), el PET es una resina termoplástica utilizada en la fabricación de distintos materiales, como botellas y textiles.

Al ser uno de los plásticos más utilizados, tiene características que lo hacen mejor que otros materiales para la fabricación de estos productos. Algunas de estas propiedades son su ligereza, su resistencia al impacto y su facilidad para ser transportado. La Figura 4.2 muestra estas características.



Figura 4.2 Características del PET.

ECOCE (2023), también indica la forma correcta de manejar las botellas de PET para facilitar su reciclaje, recomendando aplastarlas de forma adecuada y depositarlas en el contenedor adecuado. También mencionan que este material se encuentra en botellas de agua, refrescos e incluso en empaques de huevo. La Figura 4.3 muestra la forma correcta de manejar los residuos plásticos.



Figura 4.3 Manejo correcto de los residuos.

4.3 Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología muy utilizada actualmente, ya que permite fabricar objetos en 3D utilizando distintos materiales. De igual manera con el paso del tiempo las impresoras han experimentado una evolución, lo que permite que sean más eficientes al momento de utilizarlas.

Según AUTODESK (s.f.), a la impresión 3D también se le conoce como manufactura por adición, y consiste en un conjunto de procesos que permiten fabricar objetos gracias a la adición de material en capas. Mientras que, por otro lado, en 3DEXPERIENCE Make (s.f.), indica que la impresión 3D o fabricación aditiva es una técnica que permite crear objetos tridimensionales gracias a un archivo de diseño asistido por computadora (CAD).

Capítulo 5 Marco teórico

5.1 Tipos de plásticos

El PET no es el único tipo de plástico que existe en el mundo. Existen otros tipos de plásticos que, al igual que el PET, tienen propiedades que los hacen útiles en ciertos tipos de proyectos o trabajos. Estos materiales se clasifican por sus características y el método por el que se deben reciclar.

Según vida circular (2024), se creó un sistema de numeración que incluye los números del 1 al 7, donde cada uno representa un tipo de plástico. Por su parte, Irene Juste (2020), en el sitio Ecología Verde menciona que este sistema utilizado para clasificar los plásticos se refiere al Código de Identificación de Resinas o conocido de otra forma como Código de identificación del Plástico de la SPI (Sociedad de Industrias de Plásticos).

Los tipos de plásticos que se clasifican en este sistema son:

1. PET o PETE (tereftalato de polietileno).
2. HDPE (polietileno de alta densidad).
3. PVC (policloruro de vinilo).
4. LDPE (polietileno de baja densidad).
5. PP (polipropileno).
6. PS (poliestireno).
7. Otros plásticos.

Alyssa Mertes (2017), en el sitio QUALITY LOGO PRODUCTS BLOG, señala que cada tipo de plástico tiene un uso diferente y que, dependiendo de sus propiedades, algunos son más fáciles de reciclar que otros. La Tabla 5.1 muestra las diferentes características con las que cuenta cada tipo de plástico.

Tabla 5.1 Características de los plásticos.

Plástico	Número	Nombre	Usos	Características	Reciclable
PET o PETE	1	Tereftalato de polietileno	Botellas de agua Utensilios de cocina	Resistente	Sí
HDPE	2	Polietileno de alta densidad	Neveras portátiles	No contiene BPA Flexible	Sí
PVC	3	Cloruro de polivinilo	Bolsas promocionales	Ligero Duradero	En algunas ocasiones
LDPE	4	Polietileno de baja densidad	Tazones Platos	No libera sustancias químicas nocivas	En algunas ocasiones
PP	5	Polipropileno	Bolsas de tela Vasos Artículos promocionales	Libre de BPA Resistente	No
PS	6	Poliestireno	Vasos desechables Portapapeles	Ligero	No
Otros plásticos 7					
ABS	7	Acrilonitrilo butadieno estireno	Auriculares Llaveros de seguridad		Sí
PMMA	7	Acrílico o polimetilmetacrilato	Gafas de sol		Sí
PA	7	Nailon o poliamida	Prendas de vestir Sombreros		No
PUR	7	Poliuretano	Pelotas antiestrés		No
PMQ	7	Caucho de silicona o metilfenil silicona	Artículos promocionales		No

5.2 Simbología de los plásticos

Para identificar los distintos plásticos que existen, se utiliza una simbología que permite identificar el tipo de material con el que se interactúa. Este símbolo es un triángulo formado por tres flechas continuas, que contiene un número adentro, que va del 1 al 7, con el que se representa el tipo de plástico.

Según Comunidad de Madrid (2025), este símbolo se conoce como triángulo de Möbius, y es el emblema internacional del reciclaje. Este es utilizado para clasificar los tipos de plásticos y facilitar su identificación. La Figura 5.1 muestra la simbología que se utiliza para identificar los diferentes tipos de plásticos.

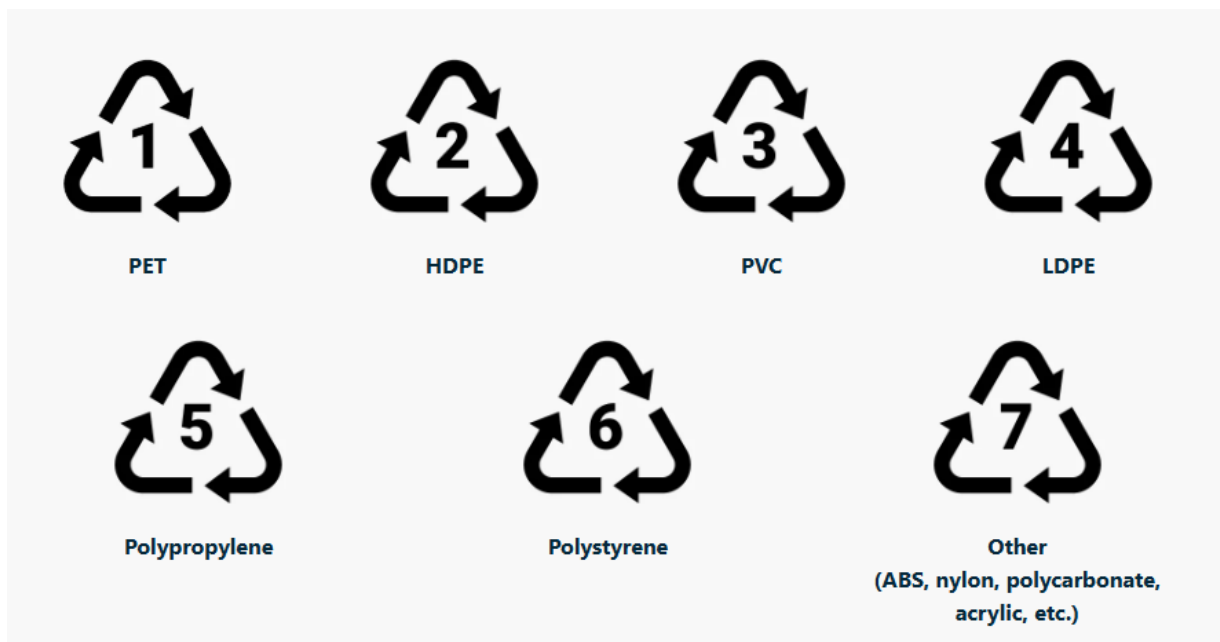


Figura 5.1 Simbología de los plásticos.

5.3 Procesos de reciclaje del PET

Actualmente, el PET se ha convertido en un material difícil de manejar, debido al tiempo que tarda en degradarse. Por este motivo, este proceso se debe realizar de la manera correcta. Según SINTAC Recycling (2025), el proceso que se debe seguir es:

- Recolectar el material usado.
- Clasificarlo por tipo de plástico.
- Limpiarlo.
- Triturarlo.
- Fundir el material.
- Moldearlo hasta crear nuevos productos.

5.4 Conversión de PET a filamento

Para transformar correctamente las botellas de PET en filamento adecuado para su uso en impresoras 3D, es necesario seguir algunos pasos importantes para garantizar la calidad del producto. El proceso comprende las siguientes etapas:

- Recolección de las botellas.
- Preparación del material.
- Corte o trituración.
- Conversión del material a filamento.
- Embobinado.

5.4.1 Recolección de botellas

En esta etapa, se debe buscar y recolectar la materia prima que se va a utilizar, las botellas de PET. Para reconocerlas correctamente, se debe identificar el símbolo de reciclaje con el número 1, lo que permite identificar el plástico de otros materiales similares. La Figura 5.3 muestra la recolección de las botellas que se van a utilizar en el proyecto.



Figura 5.2 Botellas de PET.

5.4.2 Preparación de las botellas

Una vez reunidas las botellas de PET, se realiza la preparación del material para posteriormente ser cortadas y transformadas en el filamento. Este proceso varía dependiendo de las condiciones físicas de las botellas, ya que algunas presentan superficies lisas y otras pueden tener texturas.

1. Revisión y clasificación: Se deben revisar las botellas y separarlas en dos grupos: uno con superficie lisa y otro con texturas. Además, se deben retirar las etiquetas de las botellas, con el fin de que el material utilizado quede lo más uniforme posible, para así asegurar la calidad del producto final. Las Figuras 5.4 y 5.5 muestran botellas con residuos de la etiqueta y con relieves o texturas, lo que significa que deben limpiarse y alisarse para ser utilizadas.



Figura 5.3 Botella con textura.



Figura 5.4 Botella con restos de la etiqueta.

2. Eliminación de pegamento: Después de clasificar las botellas y de quitar las etiquetas, se debe eliminar cualquier residuo de pegamento presente en la botella. Para esto, se puede utilizar acetona aplicando con algún pedazo de tela o papel, frotando de manera suave hasta eliminar el adhesivo completamente. En la Figura 5.6 se puede observar que la botella todavía tiene restos de pegamento y de la etiqueta, lo que implica que se debe limpiar correctamente para ser utilizada.



Figura 5.5 Botella con pegamento.

3. Lavado de las botellas: Una vez retirado el pegamento de todas las botellas que se van a utilizar, las botellas deben lavarse, tanto por dentro como por fuera, utilizando agua. Este paso permite eliminar algún residuo sobrante, ya sea del contenido original o de los productos empleados para remover el pegamento de las botellas.
4. Eliminación de relieves de las botellas: este paso se puede realizar de dos formas, dependiendo de los materiales disponibles:
 - Presión y calor: Se utiliza alguna herramienta para inflar las botellas, incrementando la presión dentro de ellas. Posteriormente se utiliza una pistola térmica para calentar la botella mientras se gira, con el fin de asegurar una distribución uniforme del calor, hasta obtener una superficie lisa.
 - Congelación y calor: Se tapa la botella y se coloca en el congelador por algunos minutos, hasta que se acumule presión en su interior. Después, se retira del congelador y se aplica calor de manera uniforme hasta que desaparezcan los relieves y la botella quede con una forma más lisa.

NOTA: Si las botellas presentan una superficie lisa, este paso se puede omitir.

Las Figuras 5.7 y 5.8 muestran las botellas con y sin relieves o texturas.



Figura 5.6 Botella sin alisar.



Figura 5.7 Botella lisa.

5.4.3 Cortar las botellas

Una vez que las botellas estén completamente secas, se procede a cortarlas en tiras. Para comenzar, se debe cortar la parte inferior de la botella. Después, con unas tijeras se corta una tira pequeña que facilite la inserción en el cortador de PET. Posteriormente, se introduce la tira dentro del cortador, y al girar la botella se obtienen tiras con un grosor uniforme. En la Figura 5.9 muestra las botellas cortadas en tiras.



Figura 5.8 Botellas cortadas en tiras.

5.4.4 Conversión a filamento

Una vez cortadas las botellas en tiras, deben pasar por un extrusor, que permite transformar las tiras obtenidas en filamento. Al introducir la tira de PET en el extrusor, el mecanismo cierra la tira, uniendo los dos extremos formando un cilindro continuo.

La calidad dependerá de qué tan uniforme sea el corte y del ancho de la tira. Si el corte es irregular o el tamaño no es el adecuado, es posible que la tira no cierre por completo, lo que puede afectar el resultado final. La Figura 5.10 muestra las tiras de PET previamente cortadas en tiras convertidas en filamento.



Figura 5.9 Tiras de PET convertidas en filamento.

5.4.5 Almacenamiento

Al finalizar el proceso de extrusión, se debe revisar que el filamento sea uniforme y que esté cerrado correctamente. En caso de detectar alguna sección que no cerro por completo se debe cortar. El filamento restante, se debe almacenar ya sea en una bobina o colocarse en una caja para almacenarlo de manera correcta y facilitar su posterior uso.

5.5 Tipos de filamento

Actualmente hay diferentes tipos de filamento que pueden utilizarse para fabricar objetos mediante impresoras 3D. Cada uno de ellos cuenta con sus propias características y propiedades que determinan su funcionalidad y aplicación en diferentes proyectos.

Según 3DEXPERIENCE Make (s.f.), el filamento es un material termoplástico utilizado para imprimir objetos en 3D. Por su parte, SICNOVA 3D (2024), clasifica los filamentos en cuatro categorías: básicos, de ingeniería, de soporte y de alto rendimiento, cada uno diseñado para ser utilizado en diferentes proyectos. La Tabla 5.2 presenta los tipos de filamentos que existen.

Tabla 5.2 Tipos de filamento.

Filamento	Tipo de filamento
PLA	Básico
ABS	Básico
PET	Básico
PETG	Básico
ASA	Básico
PA	Ingeniería
PC	Ingeniería
PP	Ingeniería
TPU	Ingeniería
BVOH	Soporte
HIPS	Soporte
PLA	Soporte
PEI	Alto rendimiento
PEEK	Alto rendimiento
PEKK	Alto rendimiento

Además de los filamentos convencionales, existen materiales que amplían las posibilidades de la impresión 3D. De acuerdo con 3DEXPERIENCE Make (s.f.), entre ellos se incluyen la fibra de carbono, el nailon, filamento flexible y el PVA. Por otro lado, Brildor Blog (s.f.), menciona otros filamentos como el filamento flexible perfumado, el antimosquitos o el antibacterial.

5.6 Propiedades del filamento

Cada tipo de filamento para impresoras 3D tiene sus propias características que lo distinguen de los demás, aunque pertenezcan a categorías similares. Estas categorías permiten clasificarlos según sus propiedades, lo que facilita escoger el más adecuado para cada proyecto. Las Tablas 5.3, 5.4, 5.5 muestran las características de los filamentos que existen para su uso en impresoras 3D.

A continuación, se presentan algunas de las propiedades que deben considerarse al momento de escoger algún filamento:

Tabla 5.3 Características de los filamentos.

Tipo de filamento	Descripción	Características	Usos comunes	Dificultad de impresión	Temperatura de impresión	Toxicidad y emisión de olores
PLA (Ácido Poliláctico)	Termoplástico biodegradable	Variedad de colores y acabados Biodegradable Sostenibilidad	Prototipos	Fácil	190° - 210°	Baja emisión de olores
ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	Material termoplástico	Resistencia Durabilidad Capacidad para soportar altas temperaturas	Prototipos Piezas funcionales	Fácil	230° - 260°	Puede generar vapores y olores
Fibra de carbono	Combinación de fibras de carbono y plástico	Ligero Alta resistencia a la temperatura Baja expansión térmica Baja conductividad eléctrica Resistencia química Caro	Piezas aeroespaciales	Difícil		Humos tóxicos
Nailon	Se obtiene de la poliamida	Flexible Resistente al calor Propenso a la deformación	Engranajes Soportes Piezas mecánicas			
Flex o flexible	Está fabricado de diferentes materiales como TPU y TPE	Duradero Flexible Resistente al calor	Prototipos Juguetes Sellos de goma	Fácil		
HIPS (Poliestireno de alto impacto)	Material termoplástico	Resistente Duradero Requiere impresión de doble extrusor	Soporte de materiales Prototipos Embalajes Piezas industriales Equipos médicos	Fácil		Emite estireno
PVA (Alcohol polivinílico)	Filamento soluble en agua	Requiere impresora de doble extrusor	Como soporte		185° - 200°	
PETG (Tereftalato de Polietileno con Glicol)	Versión modificada del tereftalato de polietileno (PET).	Flexibilidad Resistente al impacto Bueno para productos transparentes Resistencia al agua		Fácil	230° - 240°	PETG (Tereftalato de Polietileno con Glicol)
TPE	Material similar al caucho	Flexible Resistencia Duradero		Fácil		TPE

Tabla 5.4 Continuación de la tabla 5.3.

Tipo de filamento	Descripción	Características	Usos comunes	Dificultad de impresión	Temperatura de impresión	Toxicidad y emisión de olores
PC (Policarbonato)	Termoplástico	Fuerte Flexible Estabilidad al calor	Equipos de protección Componentes industriales Utensilios de cocina Herramientas médicas		Temperaturas de hasta 110°	PC (Policarbonato)
ASA	Material termoplástico	Durabilidad Resistencia a la intemperie	Carcasas de cámaras de videovigilancia Sujeciones de tuberías		245° - 260°	ASA
PA (Poliamida)	Plástico de ingeniería	Durabilidad Resistencia mecánica	Engranajes Cubiertas electrónicas Tuercas			PA (Poliamida)
PP (Polipropileno)	Es un polímero	Resistencia química Baja densidad Flexibilidad Resistencia al impacto	Armarios Piezas médicas Juguetes			PP (Polipropileno)
BVOH (Copolímero de Alcohol Vinílico Bitendiol)	Material de soporte soluble en agua	Compatibilidad con otros materiales Compatibilidad con temperaturas de impresión				BVOH (Copolímero de Alcohol Vinílico Bitendiol)
HIPS (Poliestireno de Alto Impacto)	Material termoplástico	Material soluble	Material de soporte			
PVA (Alcohol Polivinílico)	Material soluble que se disuelve completamente en agua	Aspecto transparente y color crema Resistente al aceite y a las grasas	Piezas con geometrías complejas Moldes		200°	
PEI (Poliéterimida)	Termoplástico de alto rendimiento	Resistencia térmica y mecánica Rigidez	Aplicaciones industriales			

Tabla 5.5 Continuación de la tabla 5.3.

Tipo de filamento	Descripción	Características	Usos comunes	Dificultad de impresión	Temperatura de impresión	Toxicidad y emisión de olores
Filamento Flexible Perfumado	Filamento aromatizado	Filamento flexible Son tipo TPU Fragancia intensa	Figuras Fundas para Smartphone Llaveros personalizados Pulseras relajantes			
Filamento Antimosquitos	Filamento flexible	Filamento TPU	Pulseras Correas de reloj Collares para perros			
Filamento Antibacterial	Filamento flexible	Es de base TPU Es 100% reciclable No tóxico Tiene certificación de grado alimentario	Portamascarillas Llaveros anticontacto			

5.7 Propiedades del filamento creado con PET

El filamento reciclado obtenido de botellas de plástico, específicamente del PET conserva varias de las propiedades originales de este material. Estas son algunas de ellas:

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Transparencia.
- Ligereza.

Además, presenta otras características como:

- Sostenibilidad.
- Carácter ecológico.
- Temperatura de impresión aproximada 200° - 225°.

Capítulo 6 Desarrollo del prototipo

6.1 Descripción del prototipo

El desarrollo del prototipo destinado a la conversión de botellas de PET reciclado en filamento para impresoras 3D se compone de dos partes importantes que, de manera conjunta, permiten que todo funcione de manera correcta. Estas dos partes son el hardware y el software.

El hardware incluye todas las partes mecánicas y electrónicas necesarias para hacer funcionar el sistema, como el motor, el sistema de engranajes, el sistema de calentamiento, la fuente de alimentación, la Raspberry Pi, la pantalla táctil y el módulo L298N (controlador para motores).

Mientras que el software permite controlar parámetros como la velocidad de extrusión, la dirección, el encendido y apagado del motor. Además, tendrá una interfaz gráfica fácil de utilizar para el usuario e incluirá una ventana de ayuda con una breve explicación del funcionamiento de la interfaz.

Para garantizar un correcto funcionamiento, ambas partes deben estar correctamente integradas, lo que permitirá una comunicación entre los componentes físicos y el sistema de control.

6.2 Requerimientos del sistema

Para que el proyecto funcione de manera adecuada y cumpla con los objetivos establecidos, es necesario definir y cumplir ciertos aspectos técnicos. Estas características se dividen en requerimientos funcionales y no funcionales, los cuales permiten identificar características importantes que el sistema debe incorporar.

- Los requerimientos funcionales son funciones específicas del sistema.
- Los requerimientos no funcionales son atributos de calidad.

6.2.1 Requerimientos funcionales

Los requerimientos funcionales describen aquellas acciones específicas que el sistema debe realizar. Estos corresponden a procesos o comportamientos que se deben ejecutar para cumplir con el objetivo planteado. Para este proyecto que convierte botellas de PET en filamento para impresoras 3D, estos son los requerimientos funcionales:

RF01: El sistema deberá permitir la navegación entre las diferentes pantallas de la interfaz.

RF02: El sistema deberá permitir la interacción con la interfaz mediante botones y gestos táctiles.

RF03: El sistema deberá mostrar una ventana de ayuda accesible desde cualquier pantalla de la interfaz.

RF04: El sistema deberá mostrar una pantalla de inicio al arrancar el programa.

RF05: El sistema deberá permitir ajustar la velocidad del motor.

RF06: El sistema deberá permitir ajustar la dirección de giro del motor en sentido horario y antihorario.

RF07: El sistema deberá mostrar en la pantalla la telemetría del motor (velocidad, dirección de giro).

RF08: El sistema deberá mostrar una pantalla de selección para elegir entre funciones específicas (control del motor, telemetría, ventana de ayuda).

RF09: El sistema deberá contar con una interfaz que sea apta para pantallas táctiles.

RF10: El sistema deberá ser capaz de reconocer correctamente las interacciones táctiles del usuario.

RF11: El sistema deberá mostrar la información en la pantalla de forma clara y legible.

RF12: El sistema deberá permitir interactuar con el motor desde la interfaz táctil.

RF13: El sistema deberá permitir realizar gestos táctiles como deslizar o presionar los botones para la navegación o selección de alguna opción.

6.2.2 Requerimientos no funcionales

Los requerimientos no funcionales establecen las condiciones bajo las cuales las funciones deben operar. Estos requerimientos, aplicados al prototipo que convierte botellas de PET en filamento, son los siguientes:

RNF01: El sistema deberá tener una interfaz responsiva, que se adapte a las acciones del usuario.

RNF02: El sistema deberá reaccionar de manera rápida a las acciones realizadas por el usuario, en un tiempo de respuesta menor a 5 segundos.

RNF03: El sistema deberá ofrecer una navegación simple e intuitiva, permitiendo que los usuarios accedan a las funciones en un máximo de 3 pasos.

RNF04: El sistema deberá adaptar el diseño de la interfaz al tamaño de la pantalla táctil de 7 pulgadas, permitiendo la correcta visualización y comprensión de los elementos.

RNF05: El sistema deberá poder actualizarse fácilmente mediante la instalación de paquetes sin tener que modificar todo el software.

RNF06: El sistema deberá permitir dar mantenimiento al software, mediante modificaciones en el código fuente.

RNF07: El sistema deberá permitir dar mantenimiento fácilmente al hardware, reemplazando componentes, sin la necesidad de rediseñar el prototipo.

RNF08: El sistema deberá proteger los pines GPIO (puertos digitales de entrada/salida) de la Raspberry Pi, evitando daños por mal uso.

6.3 Arquitectura del sistema

Es importante conocer todos los componentes que conforman un proyecto o sistema, para facilitar la identificación y resolución de algún problema que se pueda presentar en algún momento. En el caso del prototipo que permite convertir botellas de PET en filamento, se debe tener conocimiento tanto del hardware como del software.

6.3.1 Arquitectura del hardware

El hardware juega un papel importante dentro del prototipo, por lo que se debe manejar de una manera adecuada y respetando las características y especificaciones técnicas de cada uno de los componentes utilizados. Con esto se pueden evitar malos funcionamientos de los componentes o incluso dañarlos.

Para que el prototipo funcione correctamente, debe contar con una adecuada configuración e integración entre el hardware y software utilizado. Los componentes utilizados fueron seleccionados por su costo, disponibilidad y compatibilidad. También es necesario conocer sus especificaciones técnicas y de qué forma se conectan.

Los componentes son:

- El motor (a pasos): Se eligió porque cuenta con la fuerza suficiente para el proceso de extrusión.
- El sistema de engranajes: Se eligió debido a que se integra correctamente con el motor y permite transferir el movimiento del motor de manera eficiente.
- El módulo L298N: Se escogió, debido a que es un controlador de bajo costo y permite controlar motores a pasos o DC y es compatible con la Raspberry Pi.
- La Raspberry Pi: Se escogió gracias a que permite manejar hardware y software, ayudando en la integración de la interfaz gráfica con el control del motor.
- La fuente de alimentación: Se escogió para garantizar el correcto suministro de energía para el motor y los demás componentes.
- La pantalla táctil: Se escogió por su tamaño (7 pulgadas), ya que permite mostrar la información de forma clara y legible y permite la comunicación del usuario con la interfaz.
- Otros componentes: Sensores, cableado, boquillas, bloque calefactor, etc. Se incluyen ya que permiten realizar funciones dentro del prototipo.

Estos están conectados de la siguiente manera:

- El motor debe estar colocado en el sistema de engranajes, para que al momento de recibir los comandos desde la interfaz este pueda funcionar y hacer girar los engranajes.

- Para que funcione el motor, debe estar conectado tanto al módulo L298N (actúa como puente H para controlar la velocidad y la dirección) y a la fuente de alimentación.
- La Raspberry Pi se va a conectar mediante dos tipos de conexiones:
 - En el puerto HDMI, se conecta la pantalla a la Raspberry Pi, lo que permitirá visualizar la interfaz gráfica.
 - En los puertos GPIO, se realiza la conexión con el módulo L298N, lo que permite controlar el motor desde el software.

En la figura 6.1 se puede observar el diagrama de bloques de las conexiones que permiten controlar el motor.

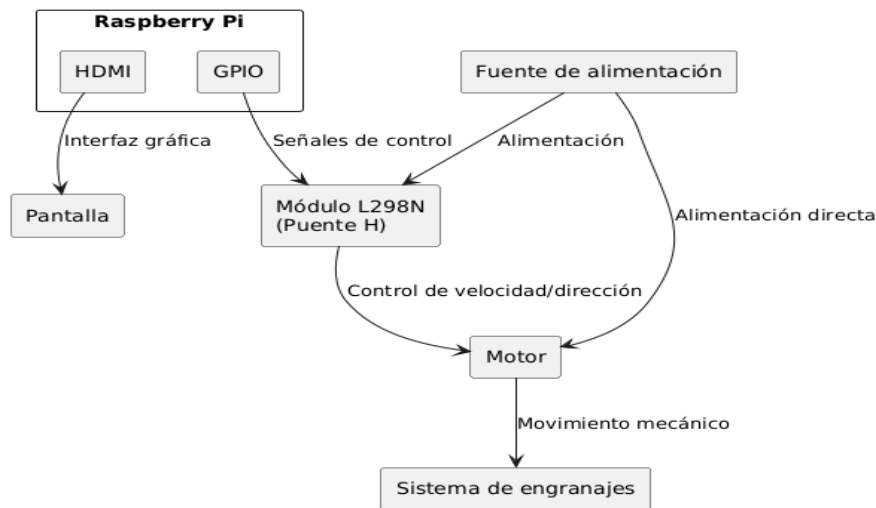


Figura 6.1 Diagrama de bloques.

6.3.2 Plataformas y tecnologías utilizadas

Para que el proyecto que permite convertir botellas de PET en filamento funcione correctamente, se utilizaron diferentes herramientas tanto de hardware como de software, cada una con un rol específico dentro del sistema.

Hardware:

- La Raspberry Pi: Funciona como la unidad central de procesamiento.
- Pantalla táctil de 7 pulgadas: Permite al usuario tener contacto con la interfaz gráfica.

- Sistema de Engranajes: Transmite el movimiento del motor para procesar el PET.
- Fuente de alimentación: Proporciona energía a componentes del sistema.
- Otros componentes: Como la boquilla de extrusión y el bloque calefactor permiten calentar la tira de PET y permitir que salga el filamento.

Software:

- Bibliotecas utilizadas:
 - CustomTkinter: Para el diseño de la interfaz gráfica.
 - Matplotlib: Para visualizar datos.
 - CSV: Para la gestión de archivos y el almacenamiento de datos.
 - Threading: Para el manejo de hilos y ejecución de procesos en simultáneo.
 - RPi.GPIO: Para el control de los pines GPIO de la Raspberry Pi.
- Sistema operativo: Raspberry Pi OS, optimizado para el hardware que se está utilizando.
- Lenguaje de programación: Python, por la compatibilidad con la Raspberry Pi.

6.3.3 Especificaciones técnicas del hardware

Las especificaciones técnicas del hardware que se está utilizando, permite conocer características importantes como lo pueden ser el voltaje, el consumo de energía, la corriente, entre otras cosas.

Para este caso se verán algunas de los componentes utilizados en el prototipo:

Módulo L298N: Es un controlador que permite controlar tanto motores DC como motores a pasos (bipolar/unipolar). Este módulo es capaz controlar la velocidad y dirección de giro del motor. Según NAYLAMP MECHATRONICS (2023), sus características y especificaciones técnicas son las siguientes:

- Puede funcionar con Arduino o Raspberry PI.
- Tiene integrado un regulador de voltaje LM7805 de 5V.

Especificaciones Técnicas:

- Puede soportar 2 motores DC o un motor a pasos.

- Voltaje lógico: 5V.
- Voltaje de potencia: 5V – 35V DC.
- Consumo de corriente (lógico): 0 a 36mA.
- Capacidad de corriente: 2A.
- Potencia máxima 25W.

Raspberry Pi 3B+: Según la página oficial de Raspberry Pi (s.f.), es un ordenador de placa única de tercera generación, sus características y especificaciones técnicas son:

Características:

- Cuenta con un procesador de cuatro núcleos de 64 bits y 1.4 GHz.
- Tiene conexión LAN inalámbrica de doble banda.
- Tiene conexión Bluetooth 4.2/BLE.

Especificaciones Técnicas:

- Tiene integrado un SoC Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) de 64 bits a 1,4 GHz.
- Cuenta con 1 GB de memoria SDRAM LPDDR2.
- Tiene un puerto Gigabit Ethernet a través de USB 2.0.
- Cuenta con puertos GPIO extendido de 40 pines.
- Tiene un puerto HDMI® de tamaño completo.
- Cuenta con 4 puertos USB 2.0.
- Tiene un puerto de cámara CSI.
- Cuenta con un puerto de pantalla DSI.
- Tiene salida estéreo de 4 polos y puerto de vídeo compuesto.
- Cuenta con entrada para Micro SD.
- Cuenta con entrada de alimentación de DC de 5 V/2,5 A.
- Tiene compatibilidad con alimentación a través de Ethernet (PoE) (requiere un HAT PoE independiente).

Pantalla: Es una pantalla táctil de 7 pulgadas y de acuerdo con su manual de usuario (2020), sus especificaciones técnicas son las siguientes:

Especificaciones Técnicas:

- SKU: MPI7006.
- Tipo de pantalla: IPS.
- Tamaño de la pantalla: 7 pulgadas.
- Resolución: 1024 x 600.
- Ajuste de la retroiluminación: Botón independiente.
- Pantalla táctil: Capacitiva.
- IC táctil: GT911.
- Alimentación: MicroUSB (5 V/2 A).
- Entrada de vídeo: HDMI.
- Salida de audio: 3,5 mm.

Sistema de engranajes: Permite realizar el proceso de embobinado del filamento que se está obteniendo de las botellas de PET, cuando el prototipo está en funcionamiento. Está conectado al motor, el cual otorga la fuerza y velocidad para hacer girar los engranes y sean capaces de tirar del filamento. Para realizar el armado, se necesitan imprimir las partes en 3D y posteriormente ensamblarlas.

Algunas de sus especificaciones son:

- Las piezas para armarlo se deben de imprimir en 3D.
- Al momento de ensamblar las piezas el motor se debe colocar junto con las demás piezas.

NOTA: Para la construcción del sistema de engranajes se utilizó el diseño “PET Filament Maker Machine” que fue creado por Leandro Martingano. Para más detalles sobre la licencia y el reconocimiento completo vea el Anexo A.

6.3.4 Esquema de conexiones electrónicas

La figura 6.2 muestra el diagrama de conexiones electrónicas, en donde se integran componentes importantes del sistema: el motor, el módulo L298N, la Raspberry Pi y la pantalla táctil.

- El motor a pasos de conecta al módulo L298N, que actúa como puente H para controlar la velocidad y dirección de giro.
- El módulo L298N recibe alimentación por parte de la fuente de energía y se comunica con la Raspberry Pi a través de los puertos GPIO.
- La Raspberry Pi transmite la información hacia el motor mediante el módulo L298N.
- La pantalla táctil se conecta a la Raspberry Pi mediante el puerto HDMI, permitiendo la visualización de la interfaz gráfica y la interacción del usuario con el sistema.

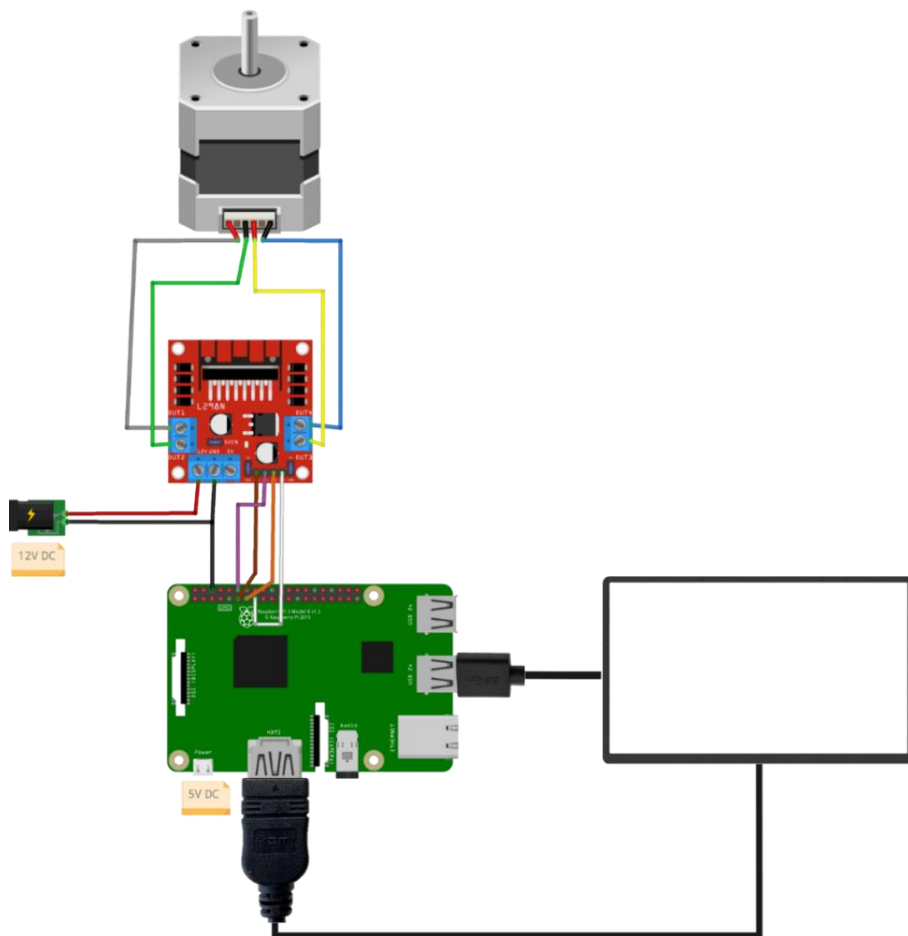


Figura 6.2 Esquema de conexiones.

6.3.5 Integración con el software

En el prototipo, tanto el hardware como el software deben trabajar de manera conjunta. Para que sea posible, el hardware recibe señales por parte del software para que realice las acciones especificadas. Estas órdenes son enviadas al hardware mediante los puertos GPIO de la Raspberry Pi.

El usuario interactúa con la interfaz del sistema al elegir lo que el hardware va a realizar, en este caso, controlar el motor. Selecciona una opción y el software, mediante el uso de una biblioteca, envía la orden a los puertos GPIO de la Raspberry Pi, en donde está conectado el módulo L298N que permite controlar el motor.

6.4 Diseño del software

Esta sección está enfocada en modelar los requerimientos del sistema y facilitar la comprensión de su lógica interna. Para lograrlo se desarrollarán:

- Casos de uso: Son las descripciones textuales de las diferentes interacciones que el usuario tiene con el sistema.
- Diagramas de casos de uso: Es la representación gráfica de las interacciones con el usuario.
- Diagramas de secuencia: Muestran el orden de los mensajes entre los componentes.

El desarrollo de estos diagramas, además de los casos de uso, ayudarán a explicar los procesos y la forma en que interactúan las partes del sistema. La Figura 6.3 muestra el diagrama de flujo del sistema.

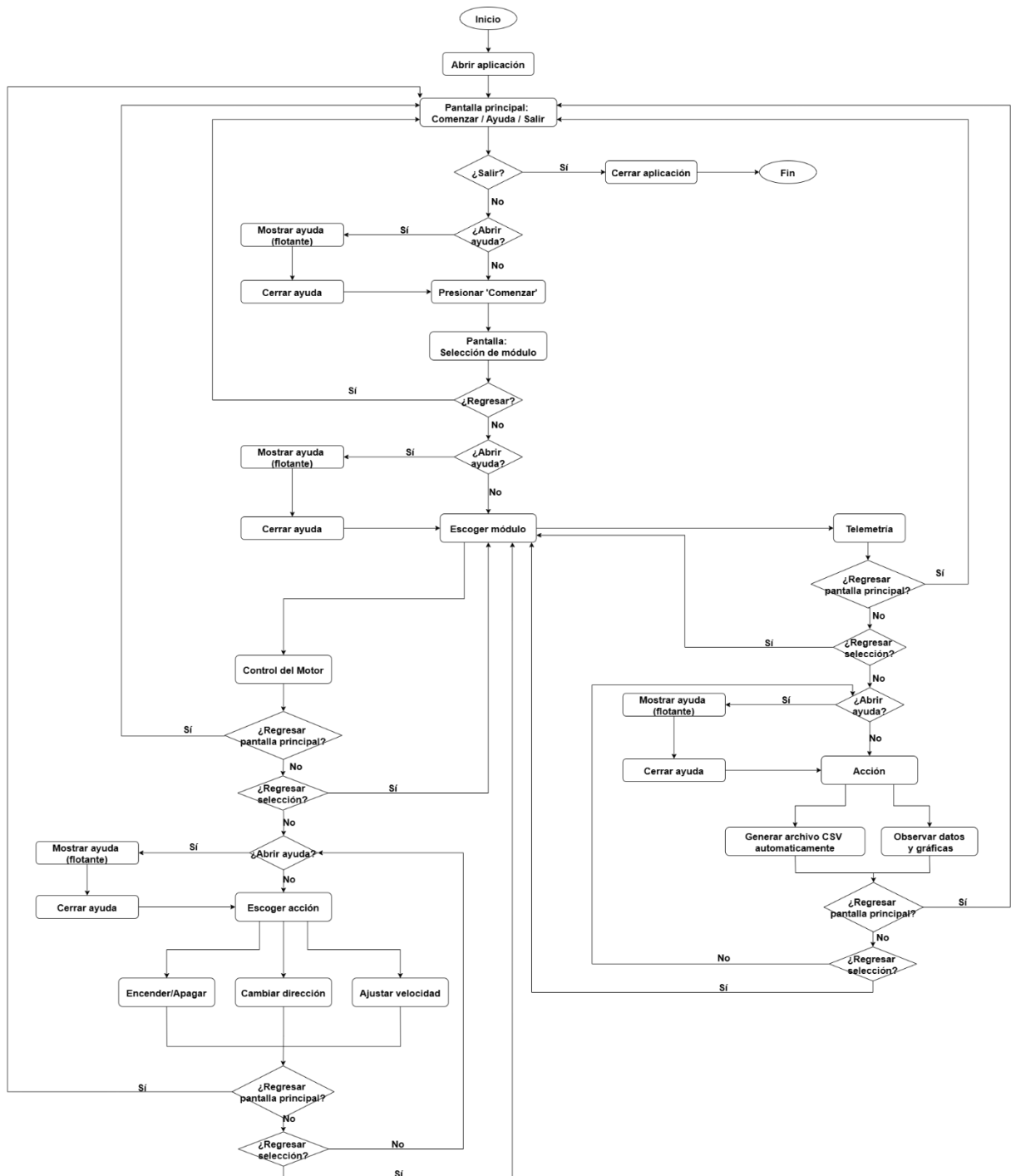


Figura 6.3 Diagrama de flujo del sistema.

6.4.1 Casos de uso

Los casos de uso son una herramienta que se utiliza para el análisis y diseño de sistemas, los cuales permiten describir las interacciones de los usuarios (actores) con el sistema. Ayudan a comprender el comportamiento del sistema, facilitando la comunicación entre los usuarios y los desarrolladores.

Los diagramas de casos de uso permiten conocer y visualizar los flujos principales del software, facilitando la comprensión del sistema. La realización de estos diagramas permite:

- Identificar a los actores involucrados en el proyecto.
- Comprender la estructura del software.
- Facilitar la comunicación con los usuarios.

6.4.1.1 Casos de uso del diagrama Inicio y Navegación

La tabla 6.1 muestra la descripción del caso de uso iniciar.

Tabla 6.1 Descripción del caso de uso: Iniciar.

Caso de Uso: Iniciar.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario abre la aplicación y presiona el botón comenzar que se muestra en la pantalla principal.
Precondiciones	• La Raspberry Pi debe estar encendida. • Todo debe estar conectado correctamente.
Flujo principal	1. El usuario se asegura de que todo esté conectado correctamente. 2. El usuario enciende la Raspberry Pi. 3. El usuario inicia la aplicación. 4. Se muestra la ventana principal con el título, el botón "Comenzar" y el botón de ayuda.
Flujo alternativo	
Postcondiciones	Se muestra la pantalla principal.

La tabla 6.2 muestra la descripción del caso de uso navegar entre ventanas.

Tabla 6.2 Descripción del caso de uso: Navegar entre ventanas.

Caso de Uso: Navegar entre ventanas.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario se puede mover entre las diferentes ventanas.
Precondiciones	La aplicación debe estar en ejecución.
Flujo principal	1. Desde la ventana principal el usuario presiona el botón "Comenzar". 2. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 3. El usuario elige entre "Control del motor" y "Telemetría". 4. El usuario puede volver a la ventana anterior. 5. El usuario puede volver a la ventana principal.
Flujo alternativo	Opción A 1. Desde la ventana principal el usuario presiona el botón "Comenzar". 2. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 3. El usuario elige "Control del motor". 4. El usuario presiona el botón "Control del motor" 5. Se muestra la ventana de "Control del motor". 6. El usuario puede volver a la ventana anterior. 7. El usuario puede volver a la ventana principal. Opción B 1. Desde la ventana principal el usuario presiona el botón "Comenzar". 2. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 3. El usuario elige "Telemetría". 4. El usuario presiona el botón "Telemetría" 5. Se muestra la ventana de "Telemetría". 6. El usuario puede volver a la ventana anterior. 7. El usuario puede volver a la ventana principal. Opción C 1. Desde la ventana principal el usuario presiona el botón "Ayuda". 2. Se muestra la ventana de "Ayuda". 3. El usuario cierra la ventana "Ayuda". 4. El usuario presiona el botón "Comenzar". 5. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 6. El usuario elige entre "Control del motor" y "Telemetría". 7. El usuario puede volver a la ventana anterior. 8. El usuario puede volver a la ventana principal.
Postcondiciones	Se muestra la ventana seleccionada.

La tabla 6.3 muestra la descripción del caso de uso mostrar ventana de ayuda.

Tabla 6.3 Descripción del caso de uso: Mostrar ventana de ayuda.

Caso de Uso: Mostrar ventana de ayuda.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	Permite al usuario acceder a una ventana flotante de ayuda desde cualquier ventana.
Precondiciones	
Flujo principal	Ver diagrama 4.
Flujo alternativo	
Postcondiciones	

La tabla 6.4 muestra la descripción del caso de uso salir.

Tabla 6.4 Descripción del caso de uso: Salir.

Caso de Uso: Salir.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario cierra la aplicación de forma manual.
Precondiciones	La aplicación debe estar en ejecución.
Flujo principal	1. El usuario presiona el botón de cierre en la aplicación. 2. La aplicación se cierra.
Flujo alternativo	
Postcondiciones	La aplicación se cierra.

La figura 6.4 muestra el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación, donde muestra la interacción del usuario con la interfaz.

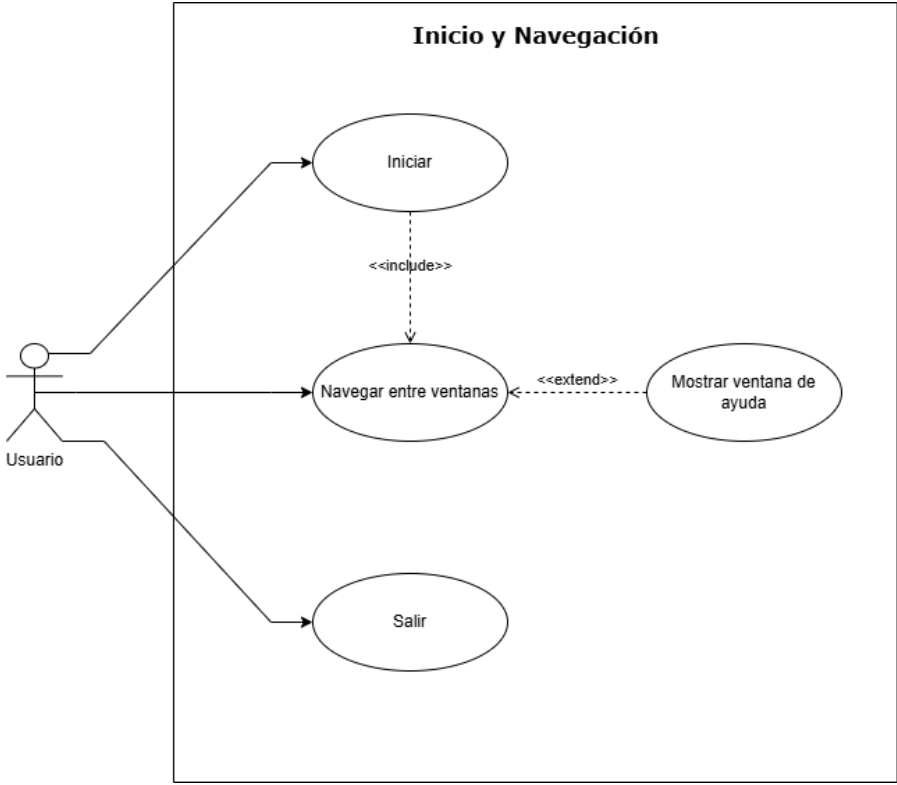


Figura 6.4 Diagrama de casos de uso: Inicio y Navegación.

La tabla 6.5 muestra los requerimientos funcionales de los cuales se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.

Tabla 6.5 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.

Diagrama	Caso de uso	Requerimientos funcionales
Inicio y Navegación	Iniciar	RF04 (El sistema deberá mostrar una pantalla de inicio al arrancar).
	Navegar entre ventanas	RF01 (El sistema deberá permitir la navegación entre pantallas). RF02 (El sistema deberá permitir la interacción con la interfaz).
	Mostrar ventana de ayuda	RF03 (El sistema deberá mostrar una ventana de ayuda).
	Salir	RF01 (Navegación entre pantallas). RF02 (Interacción con la interfaz).

6.4.1.2 Casos de uso del diagrama Control del Motor

La tabla 6.5 muestra la descripción del caso de uso configurar dirección de giro.

Tabla 6.6 Descripción del caso de uso: Configurar dirección de giro.

Caso de Uso: Configurar dirección de giro.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario es capaz de configurar la dirección en la que gira el motor utilizando la interfaz.
Precondiciones	El motor debe estar encendido.
Flujo principal	1. El usuario accede a la ventana de "Control del motor". 2. El usuario presiona el botón para cambiar la dirección del giro del motor. 3. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 4. El motor gira en el sentido contrario al que estaba girando originalmente.
Flujo alternativo	Opción A 1. El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón "Control del motor". 3. Se muestra la ventana de "Control del motor". 4. El usuario presiona el botón para cambiar la dirección del giro del motor. 5. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 6. El motor gira en el sentido contrario al que estaba girando originalmente. Opción B 1. El usuario está en la ventana de "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. 3. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 4. El usuario presiona el botón "Control del motor". 5. Se muestra la ventana de "Control del motor". 6. El usuario presiona el botón para cambiar la dirección del giro del motor. 7. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 8. El motor gira en el sentido contrario al que estaba girando originalmente.
Postcondiciones	La dirección de giro se modificó.

La tabla 6.7 muestra la descripción del caso de uso encender motor.

Tabla 6.7 Descripción del caso de uso: Encender motor.

Caso de Uso: Encender motor.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario es capaz de encender el motor utilizando la interfaz.
Precondiciones	- El motor debe estar conectado correctamente. - El usuario debe estar en la ventana de "Control del Motor"
Flujo principal	- El usuario accede a la ventana de "Control del Motor". - El usuario presiona el botón "Encender motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor empieza a funcionar.
Flujo alternativo	Opción A - El usuario está en la ventana principal y presiona el botón "Comenzar". - Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Control del motor". - Se muestra la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón "Encender motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor empieza a funcionar. Opción B - El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Control del motor". - Se muestra la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón "Encender motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor empieza a funcionar. Opción C - El usuario está en la ventana de "Telemetría". - El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. - Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Control del motor". - Se muestra la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón "Encender motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor empieza a funcionar.
Postcondiciones	El motor comienza a funcionar.

La tabla 6.8 muestra la descripción del caso de uso ajustar velocidad del motor.

Tabla 6.8: Descripción del caso de uso: Ajustar velocidad del motor.

Caso de Uso: Ajustar velocidad del motor.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario es capaz de ajustar la velocidad con la que gira el motor utilizando la interfaz.
Precondiciones	El motor debe estar encendido.
Flujo principal	1. El usuario accede a la ventana de "Control del motor". 2. El usuario maneja el control deslizante (slider) para cambiar la velocidad del motor. 3. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 4. El motor gira con una nueva velocidad.
Flujo alternativo	Opción A 1. El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón "Control del motor". 3. Se muestra la ventana de "Control del motor". 4. El usuario maneja el control deslizante (slider) para cambiar la velocidad del motor. 5. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 6. El motor gira con una nueva velocidad. Opción B 1. El usuario está en la ventana de "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. 3. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 4. El usuario presiona el botón "Control del motor". 5. Se muestra la ventana de "Control del motor". 6. El usuario maneja el control deslizante (slider) para cambiar la velocidad del motor. 7. El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. 8. El motor gira con una nueva velocidad.
Postcondiciones	El motor gira con otra velocidad.

La tabla 6.9 muestra la descripción del caso de uso apagar motor.

Tabla 6.9 Descripción del caso de uso: Apagar motor.

Caso de Uso: Apagar motor.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario es capaz de apagar el motor utilizando la interfaz.
Precondiciones	- El motor debe estar conectado correctamente. - El usuario debe estar en la ventana de "Control del Motor"
Flujo principal	- El usuario accede a la ventana de "Control del Motor". - El usuario presiona el botón "Apagar motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor se apaga.
Flujo alternativo	Opción A - El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Control del motor". - Se muestra la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón "Apagar motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor se apaga. Opción B - El usuario está en la ventana de "Telemetría". - El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. - Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Control del motor". - Se muestra la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón "Apagar motor". - El sistema manda una señal desde la Raspberry Pi hasta el módulo L298N. - El motor se apaga.
Postcondiciones	El motor se detiene.

La figura 6.5 muestra el diagrama de casos de uso: control del motor, donde muestra la interacción del usuario con la ventana control del motor.

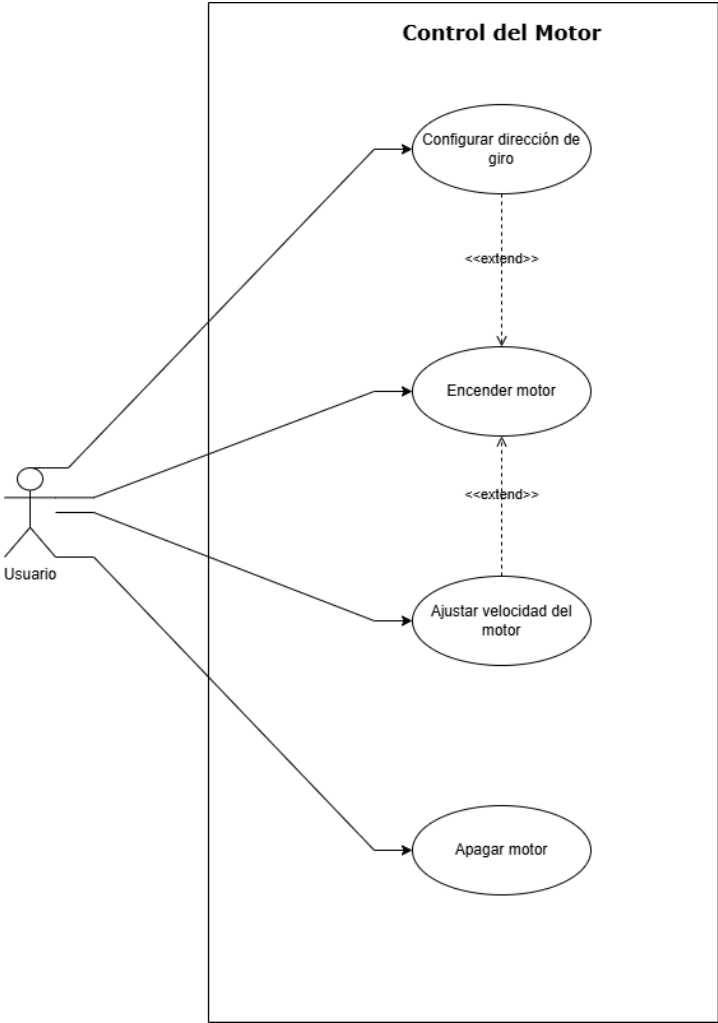


Figura 6.5 Diagrama de caso de uso: Control del motor.

La tabla 6.10 muestra los requerimientos funcionales de los cuales se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.

Tabla 6.10 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Control delo motor.

Diagrama	Casos de uso	Requerimientos funcionales
Control del motor	Configurar dirección de giro	RF06 (El sistema deberá permitir configurar la dirección de giro del motor).
	Encender motor	RF13 (El sistema deberá permitir la interacción con el motor desde la interfaz táctil).
	Ajustar velocidad del motor	RF05 (El sistema deberá permitir controlar y ajustar la velocidad del motor). RF13 (Interacción con el motor desde la interfaz táctil).
	Apagar motor	RF13 (El sistema deberá permitir la interacción con el motor desde la interfaz táctil).

6.4.1.3 Casos de uso del diagrama Telemetría

La tabla 6.11 muestra la descripción del caso de uso visualizar velocidad del motor.

Tabla 6.11 Descripción del caso de uso: Visualizar velocidad del motor.

Caso de Uso: Visualizar velocidad del motor.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario puede observar la velocidad con la que está girando el motor en la ventana de "Telemetría".
Precondiciones	- El motor debe estar encendido. - El usuario debe estar en la ventana "Telemetría".
Flujo principal	- El usuario accede a la ventana "Telemetría". - Se muestra la ventana "Telemetría". - El usuario interactúa con la ventana. - El sistema muestra la velocidad del motor. - El usuario observa la velocidad del motor.
Flujo alternativo	Opción A - El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Telemetría". - Se muestra la ventana de "Telemetría". - El usuario interactúa con la ventana. - El sistema muestra la velocidad del motor. - El usuario observa la velocidad del motor. Opción B - El usuario está en la ventana de "Control del motor". - El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. - Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". - El usuario presiona el botón "Telemetría". - Se muestra la ventana de "Telemetría". - El usuario interactúa con la ventana. - El sistema muestra la velocidad del motor. - El usuario observa la velocidad del motor.
Postcondiciones	Se observa la velocidad del motor en la pantalla.

La tabla 6.12 muestra la descripción del caso de uso visualizar tiempo de funcionamiento del motor.

Tabla 6.12 Descripción del caso de uso: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor.

Caso de Uso: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario puede observar el tiempo que lleva funcionando el motor en la ventana de "Telemetría".
Precondiciones	El motor debe estar encendido.
Flujo principal	1. El usuario accede a la ventana "Telemetría". 2. Se muestra la ventana "Telemetría". 3. El usuario interactúa con la ventana. 4. El sistema muestra el tiempo de funcionamiento del motor. 5. El usuario observa el tiempo de funcionamiento del motor.
Flujo alternativo	Opción A 1. El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón "Telemetría". 3. Se muestra la ventana de "Telemetría". 4. El usuario interactúa con la ventana. 5. El sistema muestra el tiempo de funcionamiento del motor. 6. El usuario observa el tiempo de funcionamiento del motor. Opción B 1. El usuario está en la ventana de "Control del motor". 2. El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. 3. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 4. El usuario presiona el botón "Telemetría". 5. Se muestra la ventana de "Telemetría". 6. El usuario interactúa con la ventana. 7. El sistema muestra el tiempo de funcionamiento del motor. 8. El usuario observa el tiempo de funcionamiento del motor.
Postcondiciones	Se observa el tiempo de funcionamiento del motor en la pantalla.

La tabla 6.13 muestra la descripción del caso de uso visualizar gráficos en pantalla.

Tabla 6.13 Descripción del caso de uso: Visualizar gráficos en pantalla.

Caso de Uso: Visualizar gráficos en pantalla.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario puede observar gráficas sobre datos del motor en pantalla.
Precondiciones	El motor debe estar encendido y el sistema debe estar recibiendo los datos.
Flujo principal	1. El usuario accede a la ventana "Telemetría". 2. Se muestra la ventana "Telemetría". 3. El usuario interactúa con la ventana. 4. El sistema genera las gráficas con los datos del motor. 5. El usuario observa las gráficas de los datos.
Flujo alternativo	Opción A 1. El usuario está en la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 2. El usuario presiona el botón "Telemetría". 3. Se muestra la ventana de "Telemetría". 4. El usuario interactúa con la ventana. 5. El sistema genera las gráficas con los datos del motor. 6. El usuario observa las gráficas de los datos. Opción B 1. El usuario está en la ventana de "Control del motor". 2. El usuario presiona el botón para regresar a la ventana de selección. 3. Se muestra la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría". 4. El usuario presiona el botón "Telemetría". 5. Se muestra la ventana de "Telemetría". 6. El usuario interactúa con la ventana. 7. El sistema genera las gráficas con los datos del motor. 8. El usuario observa las gráficas de los datos.
Postcondiciones	Visualización de las gráficas en la pantalla.

La tabla 6.14 muestra la descripción del caso de uso generar archivo CSV.

Tabla 6.14 Descripción del caso de uso: Generar archivo CSV.

Caso de Uso: Generar archivo CSV.	
Actor(es)	Sistema.
Descripción	Se crea un archivo CSV con datos sobre el funcionamiento del motor que el usuario puede revisar.
Precondiciones	El motor debe estar en funcionamiento y el sistema debe estar recibiendo los datos.
Flujo principal	1. El sistema recibe los datos. 2. El sistema genera el archivo CSV. 3. El sistema actualiza los datos.
Flujo alternativo	
Postcondiciones	Archivo generado para consultar la información.

La figura 6.6 muestra el diagrama de casos de uso: Telemetría, donde muestra la interacción del usuario con la interfaz.

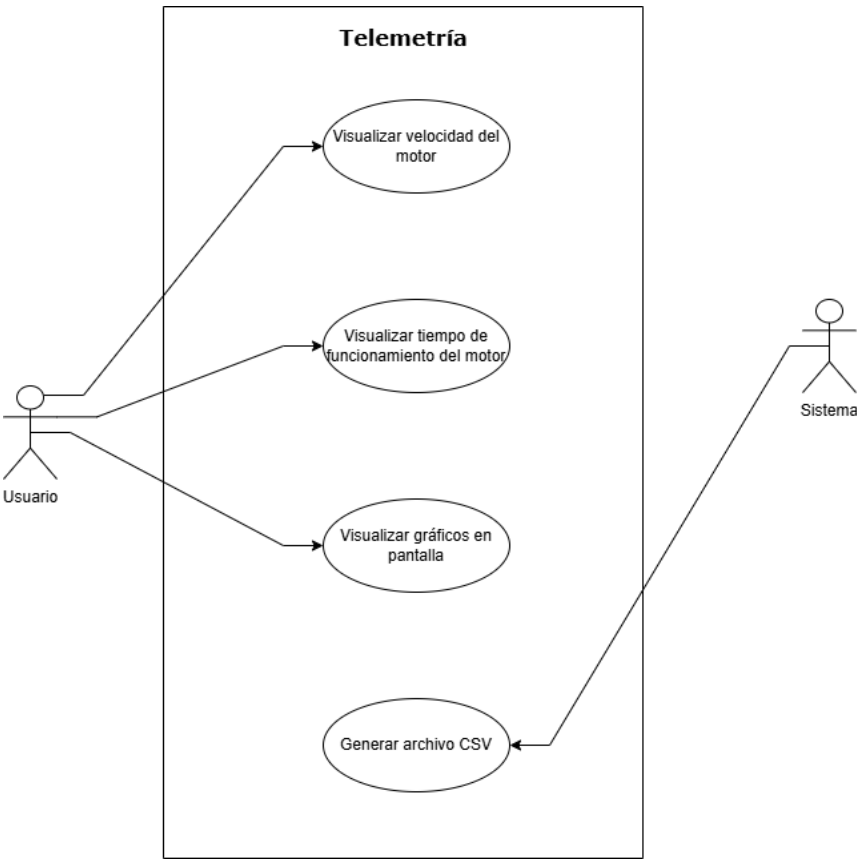


Figura 6.6 Diagrama de casos de uso: Telemetría.

La tabla 6.15 muestra los requerimientos funcionales de los cuales se deriva el diagrama de casos de uso: Telemetría.

Tabla 6.15 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.

Diagrama	Casos de uso	Requerimientos funcionales
Telemetría	Visualizar velocidad del motor	RF08 (El sistema deberá mostrar en pantalla la telemetría del motor). RF12 (El sistema deberá mostrar la información en pantalla de manera clara y legible).
	Visualizar tiempo de funcionamiento del motor	RF08 (El sistema deberá mostrar en pantalla la telemetría del motor).
	Visualizar gráficos en pantalla	RF08 (El sistema deberá mostrar en pantalla la telemetría del motor). RF12 (Información clara y legible).
	Generar archivo CSV	RF08 (El sistema deberá mostrar en pantalla la telemetría del motor).

6.4.1.4 Casos de uso del diagrama Ventana de Ayuda

La tabla 6.16 muestra la descripción del caso de uso abrir ventana de ayuda.

Tabla 6.16 Descripción del caso de uso: Abrir ventana de ayuda.

Caso de Uso: Abrir ventana de ayuda.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	Muestra una ventana flotante con información sobre la aplicación.
Precondiciones	El usuario debe estar en alguna de las ventanas del sistema.
Flujo principal	- Desde la ventana principal el usuario presiona el botón "Ayuda". - Se muestra la ventana de "Ayuda".
Flujo alternativo	Opción A - Desde la ventana de selección entre "Control del motor" y "Telemetría" el usuario presiona el botón de "Ayuda". - Se muestra la ventana de "Ayuda". Opción B - Desde la ventana "Control del motor" el usuario presiona el botón de "Ayuda". - Se muestra la ventana de "Ayuda". Opción C - Desde la ventana "Telemetría" el usuario presiona el botón "Ayuda". - Se muestra la ventana de "Ayuda".
Postcondiciones	Ventana de ayuda abierta.

La tabla 6.17 muestra la descripción del caso de uso Leer instrucciones.

Tabla 6.17 Descripción del caso de uso: Leer instrucciones.

Caso de Uso: Leer instrucciones.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario accede a información que describe el funcionamiento del sistema.
Precondiciones	Es necesario que la ventana de "Ayuda" esté abierta.
Flujo principal	1. El usuario presiona el botón "Ayuda". 2. Se muestra la ventana flotante de "Ayuda". 3. El usuario lee la información mostrada en la ventana. 4. El usuario cierra la ventana.
Flujo alternativo	1. El usuario presiona el botón "Ayuda". 2. Se muestra la ventana flotante de "Ayuda". 3. El usuario no lee la información mostrada en la ventana. 4. El usuario cierra la ventana.
Postcondiciones	La información se muestra al usuario.

La tabla 6.18 muestra la descripción del caso de uso cerrar ventana de ayuda.

Tabla 6.18 Descripción del caso de uso: Cerrar ventana de ayuda.

Caso de Uso: Cerrar ventana de ayuda.	
Actor(es)	Usuario.
Descripción	El usuario cierra la ventana de "Ayuda".
Precondiciones	Es necesario que la ventana de "Ayuda" esté abierta.
Flujo principal	1. El usuario presiona el botón de cierre en la ventana de "Ayuda". 2. La ventana de "Ayuda" se cierra.
Flujo alternativo	
Postcondiciones	La ventana de "Ayuda" se cierra.

La figura 6.7 muestra el diagrama de casos de uso: Ventana de ayuda, donde muestra la interacción del usuario con la ventana de ayuda.

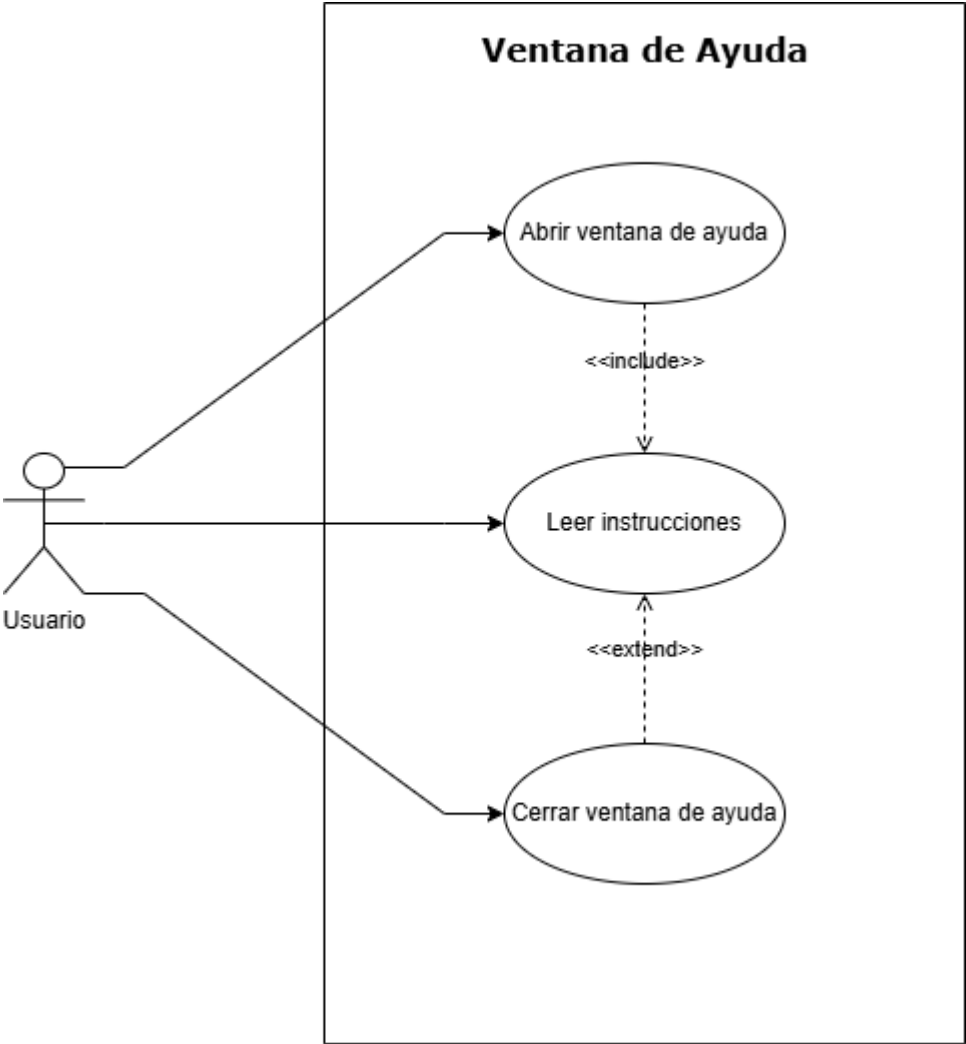


Figura 6.7 Diagrama de casos de uso: Ventana de ayuda.

La tabla 6.19 muestra los requerimientos funcionales de los cuales se deriva el diagrama de casos de uso: Ventana de ayuda.

Tabla 6.19 Requerimientos funcionales de los que se deriva el diagrama de casos de uso: Inicio y navegación.

Diagrama	Casos de uso	Requerimientos funcionales
Ventana de ayuda	Abrir ventana de ayuda.	RF03 (El sistema deberá mostrar una ventana de ayuda). RF09 (El sistema deberá mostrar una pantalla de selección).
	Leer instrucciones.	RF03 (El sistema deberá mostrar una ventana de ayuda).
	Cerrar ventana de ayuda.	RF03 (El sistema deberá mostrar una ventana de ayuda).

6.4.2 Diagramas de secuencia

Los diagramas de secuencia permiten detallar el flujo de los mensajes entre los diferentes componentes que conforman el sistema a lo largo del tiempo, facilitando la comprensión de cómo se lleva a cabo cada proceso.

6.4.2.1 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Iniciar

La figura 6.8 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso iniciar.

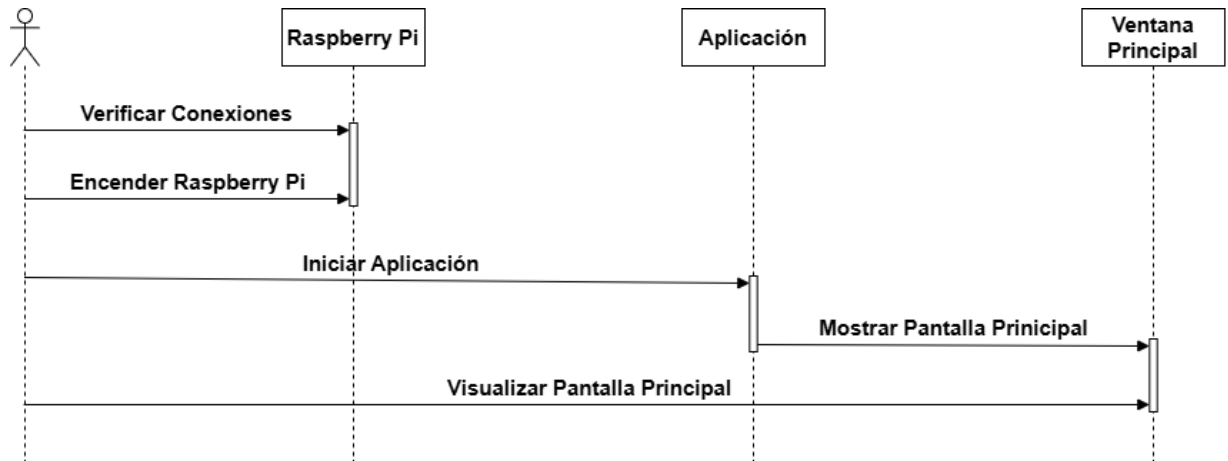


Figura 6.8 Diagrama de secuencia: Iniciar.

6.4.2.2 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Navegar entre ventanas

La figura 6.9 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso navegar entre ventanas.

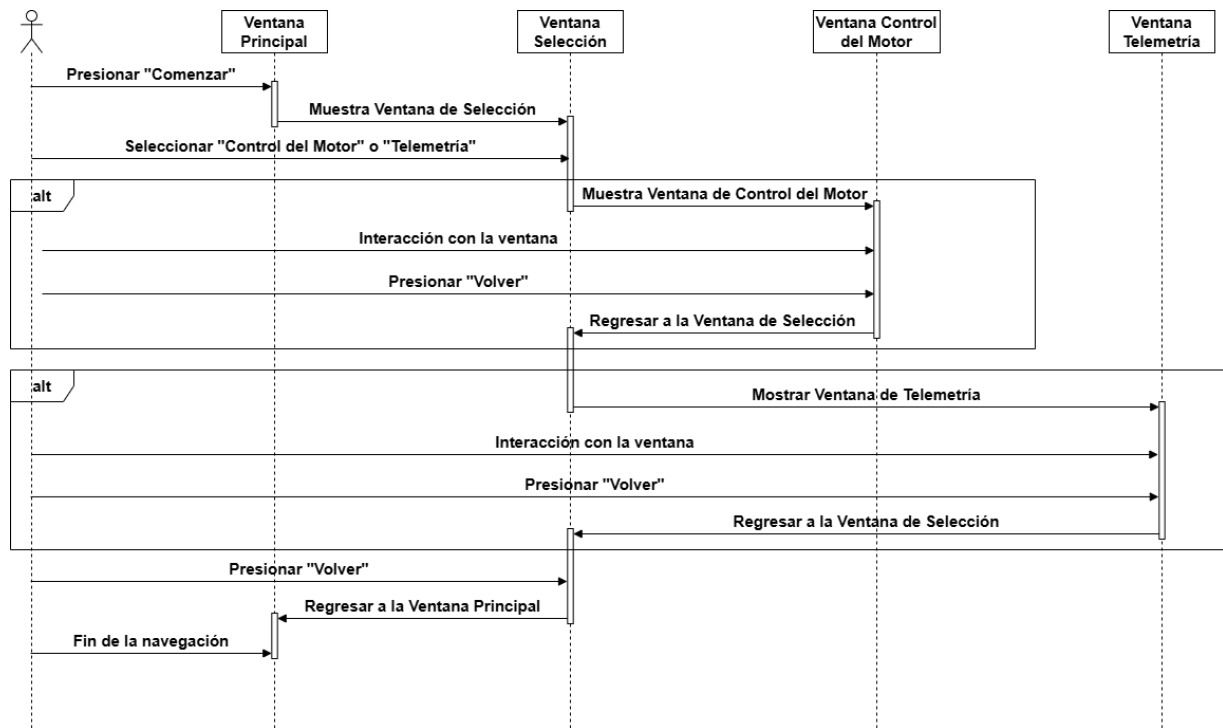


Figura 6.9 Diagrama de secuencia: Navegar entre ventanas.

6.4.2.3 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Mostrar ventana de ayuda

La figura 6.10 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso mostrar ventana de ayuda.

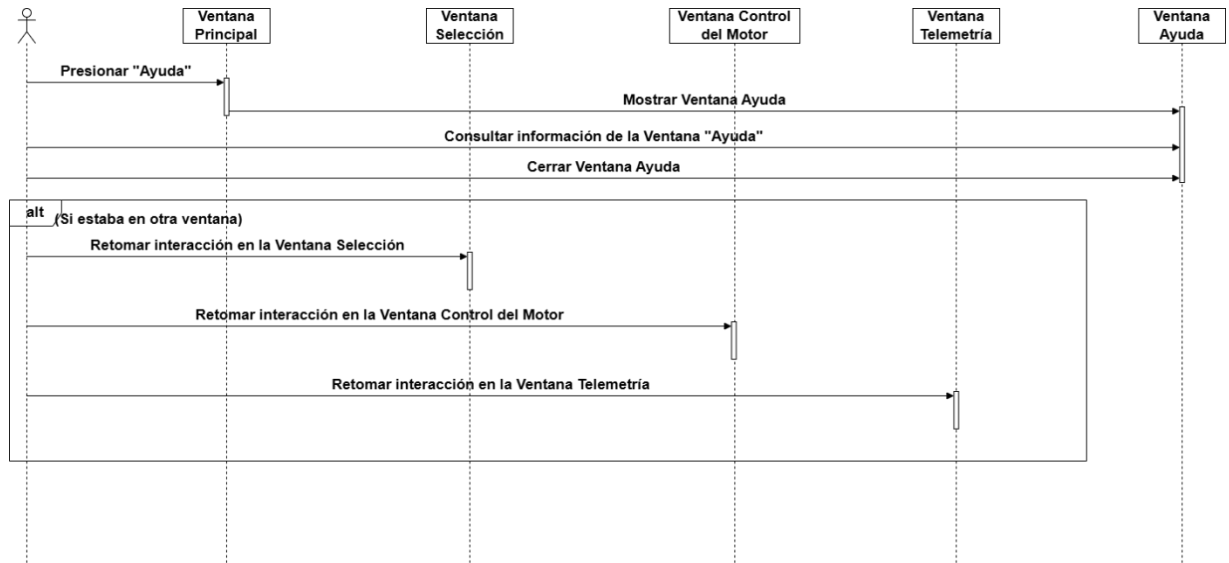


Figura 6.10 Diagrama de secuencia: Mostrar ventana de ayuda.

6.4.2.4 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Salir

La figura 6.11 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso salir.

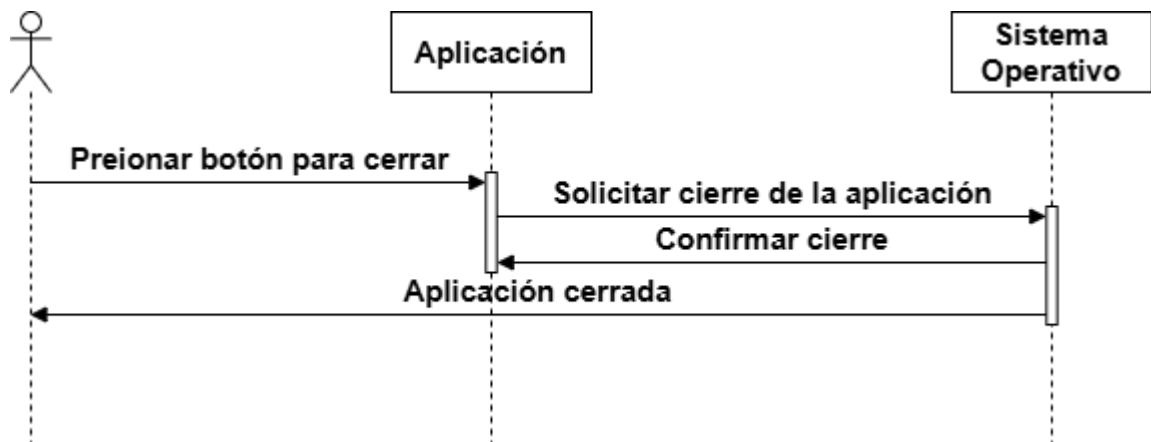


Figura 6.11 Diagrama de secuencia: Salir.

6.4.2.5 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Encender motor

La figura 6.12 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso encender motor.

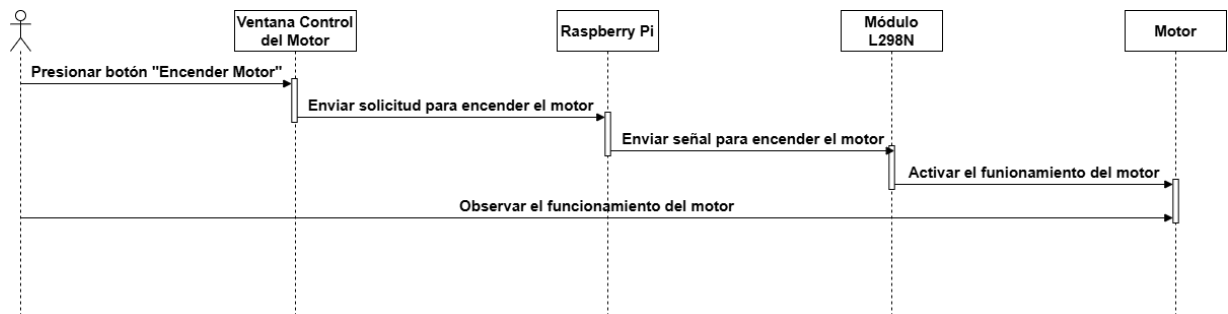


Figura 6.12 Diagrama de secuencia: Encender motor.

6.4.2.6 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Configurar dirección de giro

La figura 6.13 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso dirección de giro.

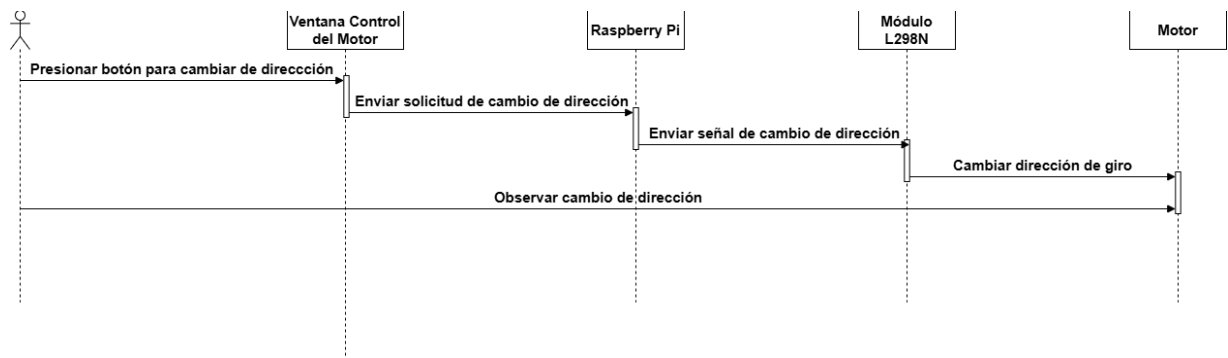


Figura 6.13 Diagrama de secuencia: Configurar dirección de giro.

6.4.2.7 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Ajustar velocidad del motor

La figura 6.14 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso ajustar velocidad del motor.

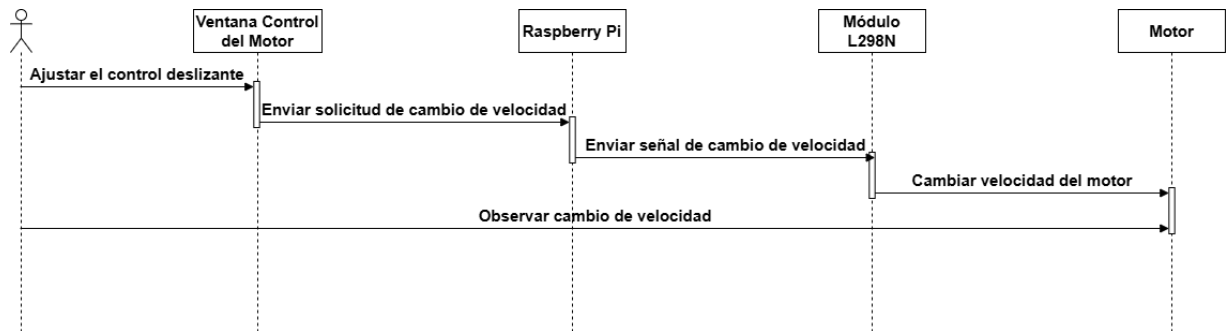


Figura 6.14 Diagrama de secuencia: Ajustar velocidad del motor.

6.4.2.8 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Apagar motor

La figura 6.15 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso apagar motor.

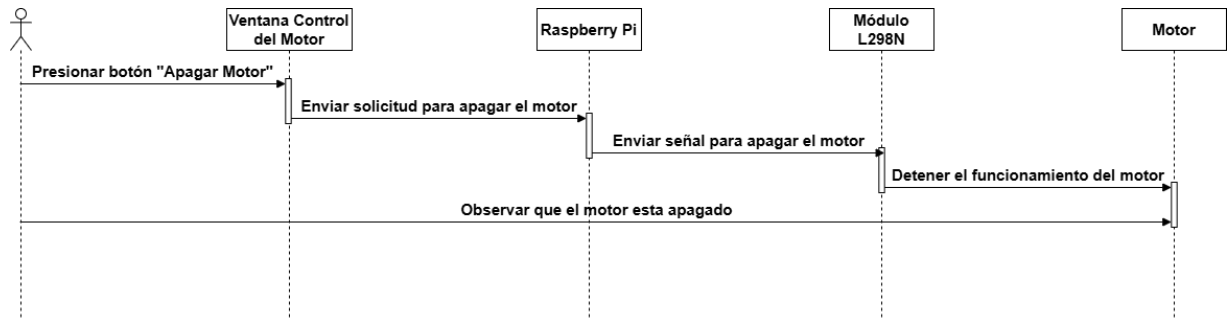


Figura 6.15 Diagrama de secuencia: Apagar motor.

6.4.2.9 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar velocidad del motor

La figura 6.16 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso visualizar velocidad del motor.

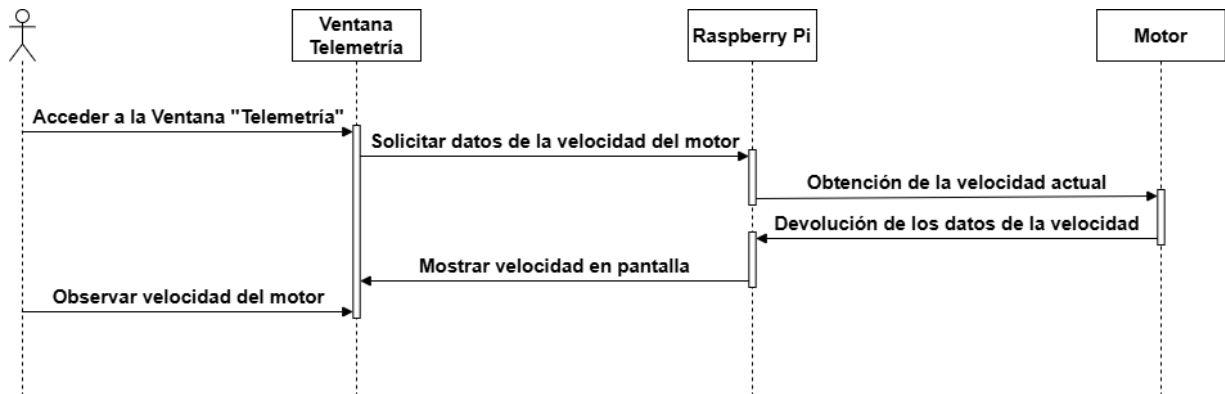


Figura 6.16 Diagrama de secuencia: Visualizar velocidad del motor.

6.4.2.10 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor

La figura 6.17 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso visualizar tiempo de funcionamiento del motor.

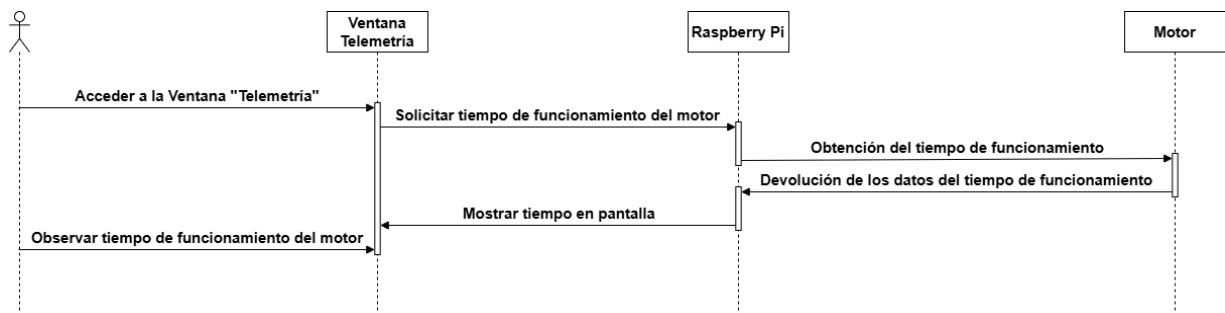


Figura 6.17 Diagrama de secuencia: Visualizar tiempo de funcionamiento del motor.

6.4.2.11 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Visualizar gráficos en pantalla

La figura 6.18 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso visualizar gráficos en pantalla.

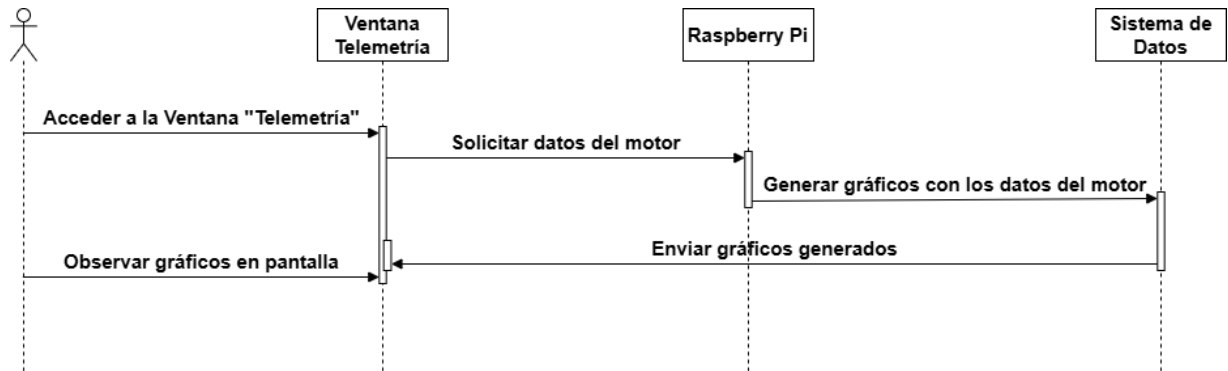


Figura 6.18 Diagrama de secuencia: Visualizar gráficos en pantalla.

6.4.2.12 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Generar archivo CSV

La figura 6.19 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso generar archivo CSV.

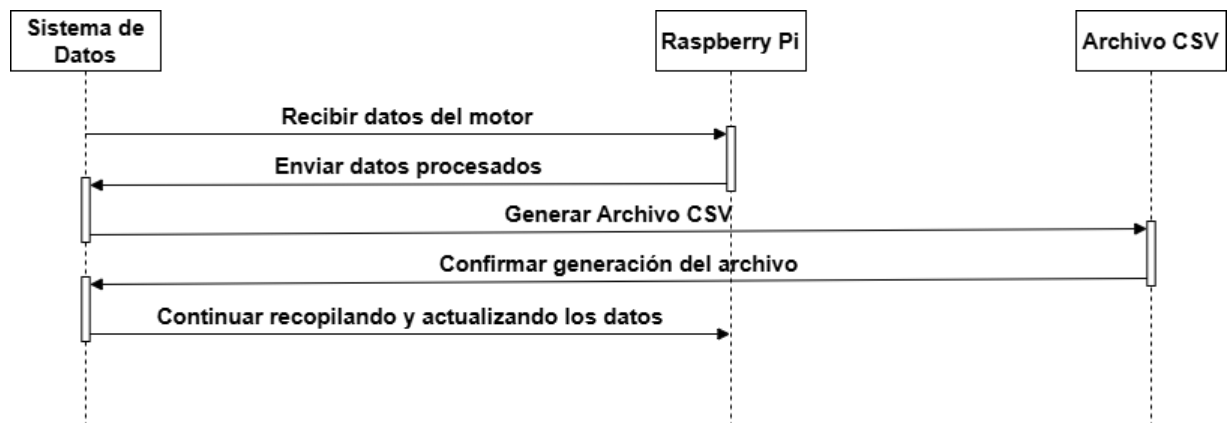


Figura 6.19 Diagrama de secuencia: Generar archivo CSV.

6.4.2.13 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Abrir ventana de ayuda

La figura 6.20 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso abrir ventana de ayuda.

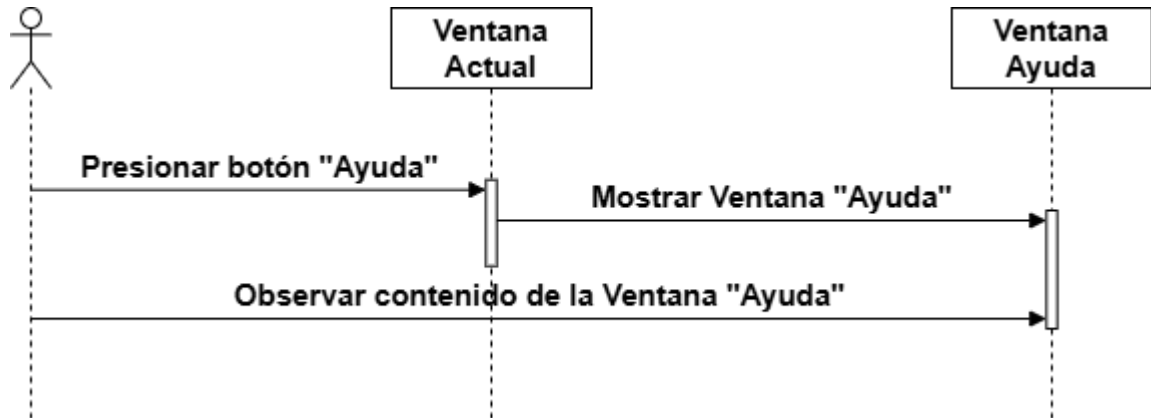


Figura 6.20 Diagrama de secuencia: Abrir ventana de ayuda.

6.4.2.14 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Leer instrucciones

La figura 6.21 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso leer instrucciones.

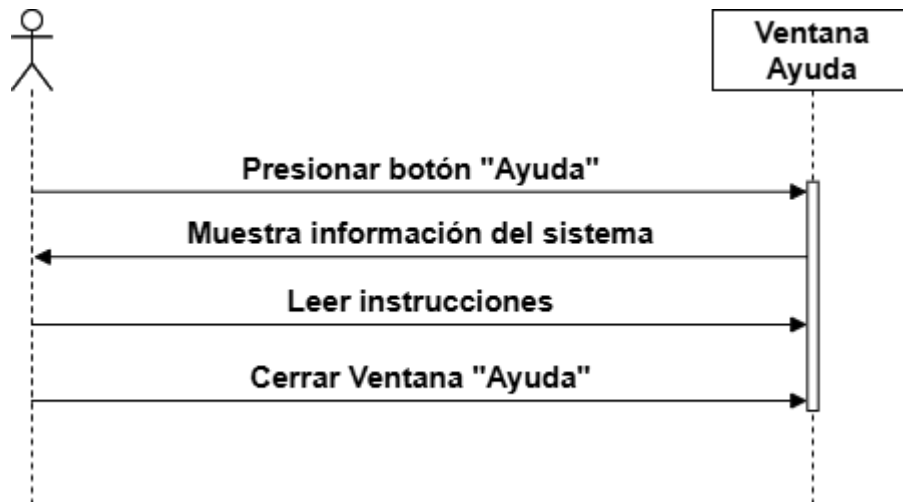


Figura 6.21 Diagrama de secuencia: Leer instrucciones.

6.4.2.15 Diagrama de secuencia para el caso de uso: Cerrar ventana de ayuda

La figura 6.22 muestra el diagrama de secuencia del caso de uso cerrar ventana de ayuda.

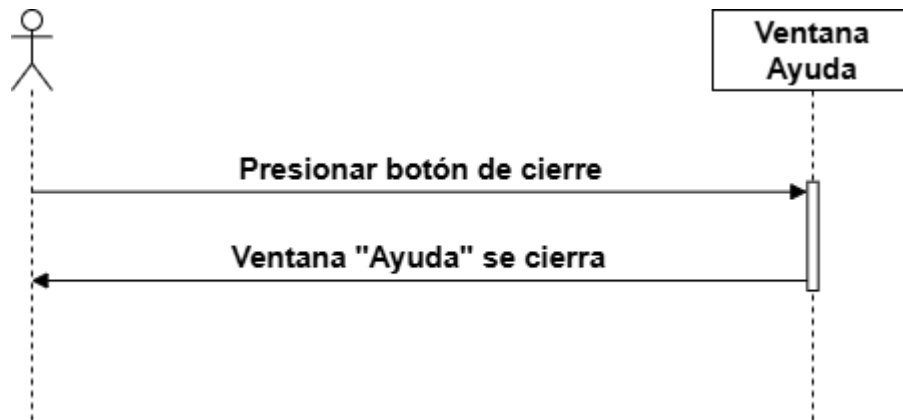


Figura 6.22 Diagrama de secuencia: Cerrar ventana de ayuda.

6.5 Implementación del software

La implementación es una etapa importante en el desarrollo, ya que todo lo desarrollado previamente se convierte en una solución final. Esta fase implica realizar varios procesos como la codificación, la integración y las pruebas.

6.5.1 Plataforma de ejecución

El software utilizado para controlar el motor está diseñado para ser ejecutado en una Raspberry Pi 3B+, que utiliza el sistema operativo Raspberry Pi OS (basado en Debian). La interfaz gráfica se despliega en una pantalla táctil de 7 pulgadas, que permite al usuario interactuar con el sistema sin necesidad de periféricos adicionales.

6.5.2 Código fuente

El software se compone de cinco archivos, cada uno con una función específica para el sistema:

- main.py: Archivo principal que ejecuta el programa.
- motor_control.py: Contiene las funciones para manejar el motor.
- gui.py: Está incluido todo lo relacionado con la interfaz gráfica del usuario
- help.py: Implementa una ventana flotante con información.

- **telemetria.py:** Gestiona los datos y la visualización de la telemetría.

El código está desarrollado en Python, utilizando bibliotecas como CustomTkinter para la interfaz gráfica o RPi.GPIO para el control de los pines GPIO.

6.5.3 Partes del código

El sistema se creó utilizando Python y se compone de cinco archivos, cada uno con funciones específicas que contribuyen al funcionamiento general del software. Esta organización permite una mejor comprensión, mantenimiento y escalabilidad del código. A continuación, se describen los archivos.

main.py: Es el archivo principal que permite ejecutar el programa.

Función principal: Permite iniciar el programa, además de limpiar los pines GPIO al cerrar el programa.

```
if __name__ == "__main__":
    try:
        app = ControlMotorApp()
        app.mainloop()
    except KeyboardInterrupt:
        print("\nCerrando el programa...")
    finally:
        GPIO.cleanup() # Limpieza de los pines GPIO al cerrar
        print("GPIO limpiado correctamente.")
```

motor_control.py: Contiene las funciones para controlar el motor, como encender y apagar el motor, cambiar la dirección y la velocidad. Se utiliza la biblioteca RPi.GPIO para interactuar con los pines.

Configuración de los pines GPIO de la Raspberry Pi: Se definen los pines que permiten controlar el motor.

```
# Configuración de Pines GPIO
OUT1, OUT2, OUT3, OUT4 = 17, 18, 27, 22
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup([OUT1, OUT2, OUT3, OUT4], GPIO.OUT)
GPIO.output([OUT1, OUT2, OUT3, OUT4], GPIO.LOW)
```

gui.py: Contiene los elementos relacionados con la interfaz gráfica. Se utiliza la biblioteca CustomTkinter y Tkinter para crear ventanas, botones y otros componentes visuales del sistema.

help.py: Implementa una ventana flotante que muestra información de ayuda para el usuario sobre el funcionamiento de las diferentes ventanas del software.

telemetria.py: Gestiona los datos de telemetría. Muestra los datos y genera un archivo que los guarda.

Función para iniciar el archivo CSV: Inicializa el archivo que almacena los datos de la telemetría.

```
def init_log(self):  
    """Inicializa el archivo CSV para almacenar la telemetría del  
    motor."""  
    try:  
        with open(self.log_file, "w", newline="") as file:  
            writer = csv.writer(file)  
            writer.writerow(["Tiempo", "Velocidad (RPM)", "Dirección"])  
    except Exception as e:  
        print(f"Error al inicializar el archivo de registro: {e}")
```

Capítulo 7 Pruebas y validación

7.1 Pruebas

Las pruebas tienen el propósito de asegurar que el prototipo funcione correctamente y que tanto el hardware como el software cumplan con los objetivos establecidos. Para esto, se desarrollaron pruebas específicas para cada parte. En el caso del hardware, se verificó el funcionamiento de los componentes, y que su conexión e integración con el sistema sean correctas. Con respecto al software, se revisó la interfaz gráfica con un enfoque en la funcionalidad de los botones, la precisión de los datos y la interacción adecuada de los elementos físicos del prototipo.

7.1.1 Pruebas de usabilidad

El propósito de las pruebas de usabilidad es evaluar qué tan fácil y eficiente resulta la interacción de los usuarios con el producto propuesto. Este tipo de pruebas ayudan a identificar áreas de mejora, problemas de diseño o aspectos que puedan afectar el desempeño del sistema. La tabla 7.1 muestra detalles de las pruebas de funcionalidad.

Tabla 7.1 Pruebas de usabilidad.

Tarea	Indicador de Éxito	Tiempo Estimado	Tiempo Real	Observaciones
Encender el prototipo	Motor y pantalla funcionando	≤ 5 min	> 3 min	La interfaz se observa en la pantalla táctil y el motor enciende.
Ajustar temperatura	Temperatura correcta	≤ 5 min	> 5 min	La temperatura permite transformar el PET.
Colocar PET	PET colocado correctamente	≤ 3 min	3 min	El PET se coloca adecuadamente en el prototipo y el sistema de engranajes hace su función.
Activar motor	Motor activado correctamente	≤ 2 min	1 min	El motor enciende correctamente después de interactuar con la interfaz táctil.
Ajustar velocidad	Velocidad actualizada	≤ 2 min	1 min	La velocidad se ajusta correctamente desde la interfaz táctil y se puede observar en el motor.
Leer telemetría	Interpretación correcta	≤ 2 min	2 min	La telemetría se muestra en un archivo que se genera.
Apagar motor	Motor apagado correctamente	≤ 2 min	1 min	El motor se apaga correctamente después de presionar el botón en la interfaz táctil.
Terminar proceso	Proceso terminado correctamente	≤ 2 min	1 min	La interfaz táctil se cierra.

7.2 Evaluación

La evaluación tiene el objetivo de validar los resultados obtenidos después de realizar los pasos necesarios para convertir el PET en filamento. Esto implica revisar adecuadamente el material obtenido para así descartar las partes irregulares y conservar los mejores resultados.

7.2.1 Evaluación de la calidad del filamento

Para realizar la evaluación del filamento se deben verificar ciertas características que permitirán obtener el mejor resultado posible. Estas características son:

- El filamento debe ser uniforme.
- Debe estar completamente cerrado y continuo.
- No debe tener pegamento.
- No debe tener suciedad.
- No debe tener ningún tipo de relieve.
- Debe ser liso.

7.3 Resultados

Los resultados obtenidos en la realización del proyecto son los siguientes:

1. Prototipo funcional capaz de convertir botellas de PET en filamento para impresoras 3D.
2. Filamento para impresoras 3D obtenido de botellas recicladas.
3. La interfaz de usuario.

7.3.1 Prototipo

El prototipo final lo integran componentes que permiten el manejo de la interfaz, el control del motor y la parte que permite calentar el PET y convertirlo en filamento. Cada una de estas partes incluye diferentes componentes que permiten cumplir funciones específicas dentro del prototipo.

7.3.1.1 Software

En las figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 y 7.5 se pueden observar las diferentes ventanas de la interfaz de usuario, además de las opciones disponibles en cada una y que puede seleccionar el usuario.

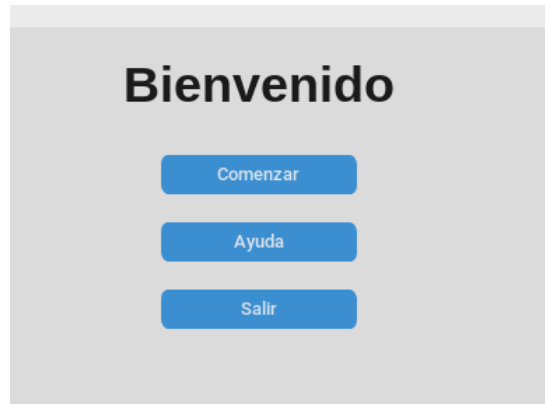


Figura 7.1 Ventana de inicio.

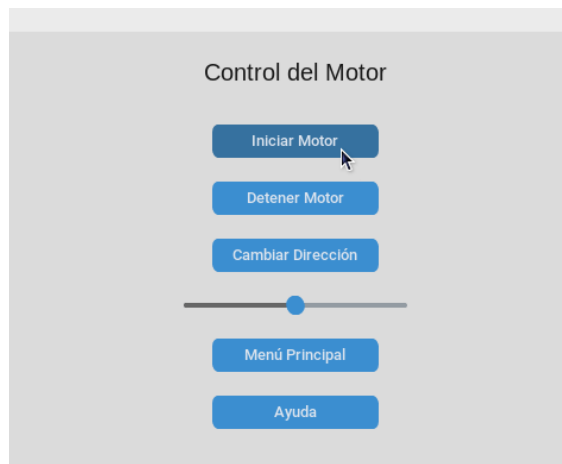


Figura 7.2 Ventana control del motor.

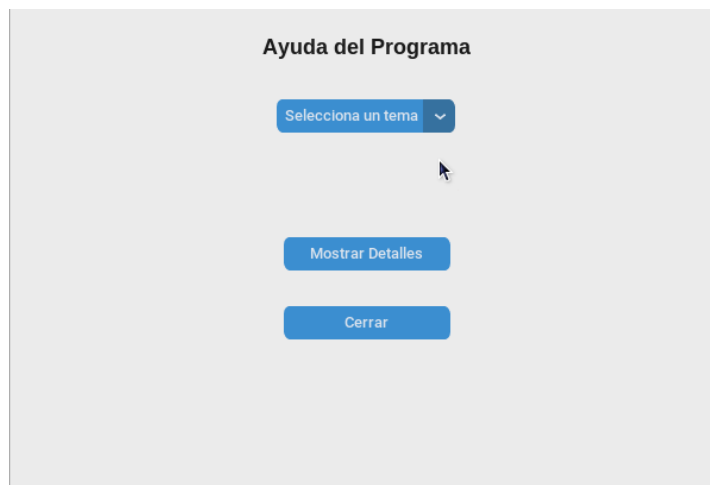


Figura 7.3 Ventana de ayuda

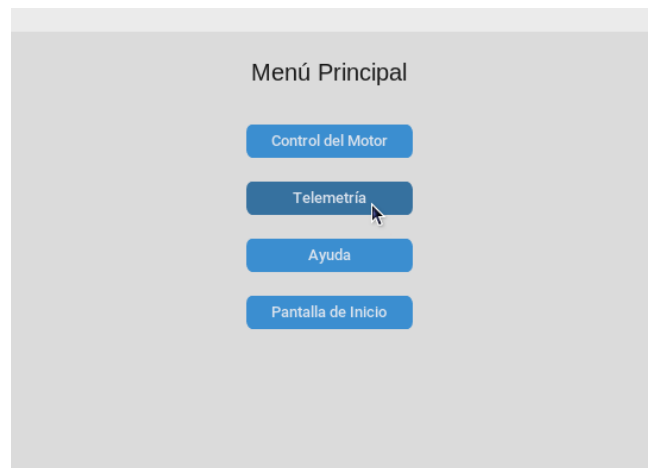


Figura 7.4 Ventana: menú principal.

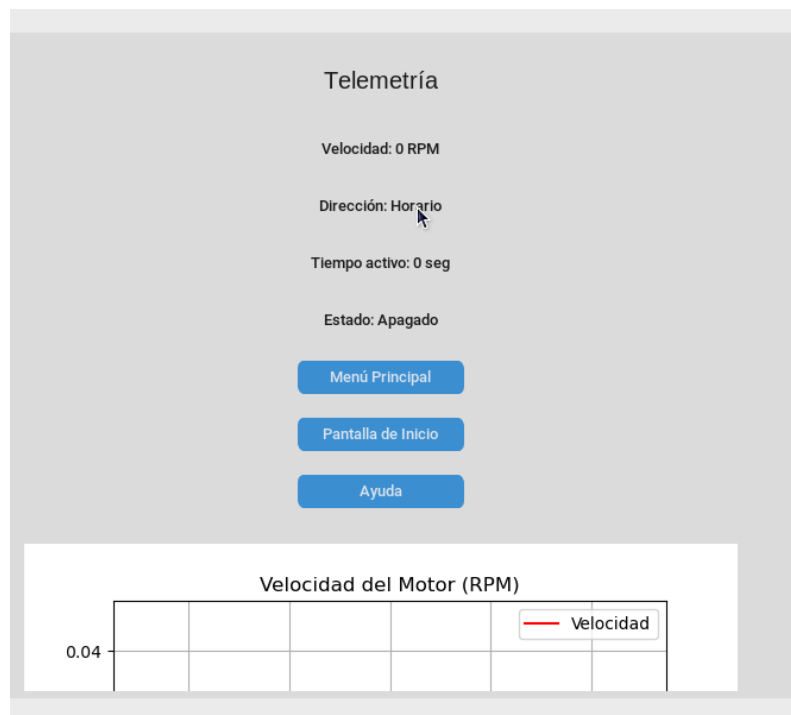


Figura 7.5 Ventana telemetría.

7.3.1.2 Prototipo completo

La figura 7.1 muestra el prototipo completo, en donde se pueden observar las piezas que lo componen, tales como el motor, la pantalla, el sistema de engranajes, entre otros componentes.

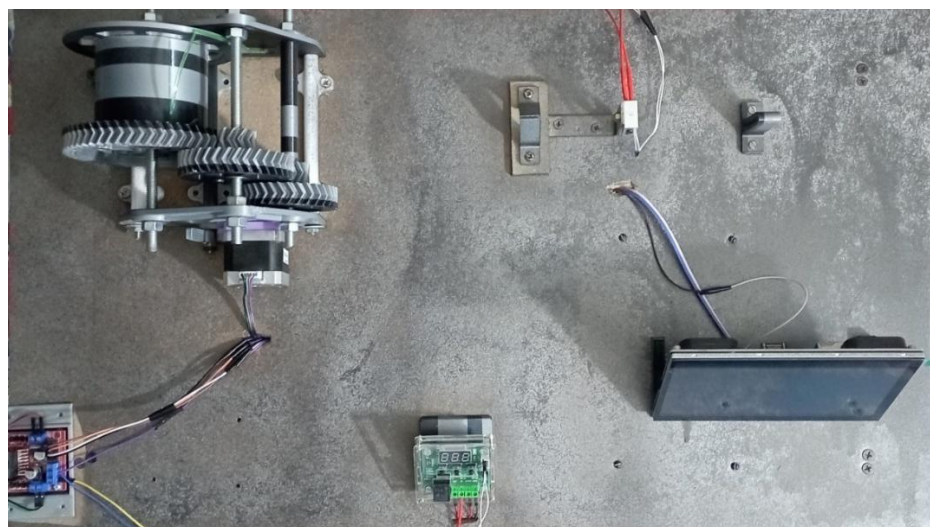


Figura 7.6 Prototipo completo.

7.3.2 Filamento

El filamento es el material obtenido con el uso del prototipo y de botellas de PET. Este material se obtuvo después de pasar por un procedimiento de recolección, limpieza y preparación de las botellas, tras ser procesadas por el prototipo. También se hicieron pruebas en el producto final, verificando que el filamento sea continuo y que su forma sea la correcta.

En las Figuras 7.2 y 7.3 se puede observar cómo se obtiene el filamento y el resultado final.



Figura 7.7 Filamento obtenido.



Figura 7.8 Extrusión del filamento.

Capítulo 8 Conclusiones y trabajo a futuro

8.1 Conclusiones

El prototipo desarrollado representa una opción sostenible para el reciclaje de botellas de PET, al convertirlas en filamento para impresoras 3D. Esto permite cumplir con el objetivo general del proyecto, al demostrar que es posible realizar la extrusión con tecnología accesible.

Para el desarrollo, se utilizaron componentes como una pantalla táctil, una Raspberry Pi 3B+, un motor a pasos, un módulo L298N, un bloque calefactor y un termistor, los cuales, junto con una interfaz, permitieron controlar el sistema y poder obtener la extrusión del filamento.

Además de cumplir con el objetivo principal, el prototipo cuenta con características como:

- Una interfaz táctil para controlar funciones del motor.
- Una arquitectura modular, con la posibilidad de colocar nuevos sensores para expandir su alcance.

Este proyecto permite observar que es posible utilizar diferentes tecnologías para crear sistemas capaces de dar soluciones a problemas ecológicos, como el manejo de los residuos plásticos, promoviendo su reutilización y así lograr reducir el impacto ambiental.

Finalmente se identificaron áreas de mejora, como el optimizar el diámetro del filamento o la forma de colocar el PET. Estas observaciones permiten que futuras investigaciones estén orientadas a mejorar aspectos del sistema, mejorando la eficiencia y ampliando el alcance actual.

8.2 Trabajo a futuro

Las actualizaciones en un proyecto son importantes, ya que permiten mejorar o corregir algún error que pueda presentar. Basándonos en el desarrollo actual del prototipo, se identificaron varias áreas de mejora que permitirán optimizar su funcionamiento, su diseño y mejorar su adaptabilidad. Estas son las siguientes:

1. Mejoras Técnicas

- Actualización del hardware: Actualizar la versión de la Raspberry Pi puede permitir una mejora en el procesamiento de los datos.
- Optimización del sistema de extrusión: Mejorar el mecanismo para que tenga un diámetro constante.
- Control de temperatura: Mejorar el control de temperatura.
- Sensores: Actualizar o agregar nuevos sensores que permitan que el prototipo sea más eficiente.

2. Desarrollo del software

- Interfaz gráfica: Mejorar partes importantes de la interfaz, para obtener una mejor presentación y diseño.

3. Mejoras de diseño

- Llevar a cabo el desarrollo de un diseño que sea capaz de colocar todos los elementos que conforman el prototipo en un encapsulado, para que ningún componente quede expuesto.
- Desarrollar un diseño del sistema de engranajes propio y adecuarlo a los componentes utilizados.

4. Escalabilidad

- Compatibilidad con otros plásticos: Investigar la posibilidad de procesar otro tipo de plástico.

Capítulo 9 Referencias

Referencias

- 3DExperience Make. (s.f.). La impresión 3D en la educación. Recuperado de <https://www.3ds.com/es/make/solutions/industries/3d-printing-education>
- 3DExperience Make. (s.f.). Tipos de filamentos para impresoras 3D. Recuperado de <https://www.3ds.com/es/make/solutions/blog/types-3d-printer-filaments>
- 3D Systems. (s.f.). Nuestra historia. Recuperado de <https://es.3dsystems.com/our-story>
- Autodesk. (s.f.). Impresión 3D. Recuperado de <https://www.autodesk.com/mx/solutions/3d-printing>
- BBVA. (2025, 9 de enero). ¿Qué es el reciclaje y por qué es importante reciclar? Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-reciclaje-y-por-que-es-importante-reciclar/>
- BBVA. (2025, 17 de marzo). Reciclaje del plástico: proceso, tipos y su impacto en el medioambiente. Recuperado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/como-se-recicla-el-plastico-y-cual-es-su-objetivo>
- Better Future Factory. (s.f.). Perpetual Plastic Project: Interactive recycling installation for events. Recuperado de <https://betterfuturefactory.com/project/perpetual-plastic-project/>
- Brildor Blog. (s.f.). Filamentos para impresora 3D: Diferencias entre tipos de filamentos y para qué se usan. Recuperado de <https://www.brildor.com/blog/es/filamentos-para-impresora-3d-diferencias-entre-tipos-y-para-que-se-usan/>
- B-PET. (2015). Where others see waste, we see a wasted opportunity. Recuperado de <https://bpetfilament.com/>
- Comunidad de Madrid. (2025, 27 de enero). Símbolos en los envases de plásticos. Su significado y utilidad. Recuperado de <https://www.comunidad.madrid/servicios/consumo/simbolos-envases-plasticos-su-significado-utilidad>
- Cortés, M. L., & Ortiz, J. D. (s.f.). Impresión 3D con PET. Recuperado de <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/tecnologia/262-numero-30/472-impresion-3d-con-pet.html>
- ECOCE. (2023). ¿Por qué reciclar nuestros envases y empaques? Recuperado de <https://www.ecoce.mx/materiales>
- ECOCE. (2023). PET (Polietileno tereftalato). Recuperado de <https://www.ecoce.mx/materiales/pet>
- ECOCE. (s.f.). Cifras y Estadísticas. Los datos que debes conocer. Recuperado de https://www.ecoce.mx/cifras_y_estadisticas
- Ecofiltro México. (2020, junio 24). *¿Tienes idea de cuánto tarda en degradarse una botella de plástico?* Recuperado de https://ecofiltro.mx/blogs/news/cuanto-tarda-degradarse-botella-plastico?srltid=AfmBOoqcO_z7aqeUKnwwrphYOOjHtf0sYYB0gw4MGJ2tQaMtNwmh2l6R

Felfil. (s.f.). Felfil Evo: Extrusor de filamentos. Recuperado de <https://felfil.com/es/felfil-evo/>

Felfil. (s.f.). Nuestra misión: Diseñamos productos para rendir la extrusión más sostenible. ¡Dejemos de desperdiciar plástico! Recuperado de <https://felfil.com/es/sustentabilidad>

Filabot. (s.f.). Filabot. Recuperado de <https://www.filabot.com/>

Filabot. (s.f.). Filament extruders. Recuperado de <https://www.filabot.com/collections/extruders>

Filabot. (s.f.). Filabot EX2 Filament Extruder. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/filabot-original-ex2>

Filabot. (s.f.). Filabot EX6 Filament Extruder – Standard Series. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/filabot-ex6-filament-extruder>

Filabot. (s.f.). Filabot EX6 Filament Extruder – Industrial Series. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/filabot-ex6-filament-extruder-industrial-series>

Filabot. (s.f.). Filabot EX2 Extruder Setup. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/ex2-bundle>

Filabot. (s.f.). Filabot EX6 Extruder Setup. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/ex6-bundle>

Filabot. (s.f.). Filabot EX6 Industrial Extruder Setup. Recuperado de <https://www.filabot.com/products/ex6-industrial-extruder-bundle>

Filament2Print. (s.f.). Extrusora ProtoCycler V3 con trituradora. Recuperado de <https://filament2print.com/es/perifericos-fdm/1892-extrusora-protocycler-con-trituradora.html>

Filament2Print. (s.f.). Felfil Extrusora Felfil EVO. Recuperado de <https://filament2print.com/es/perifericos-fdm/1845-extrusora-felfil-evo.html>

FILAMENTZ. (s.f.). Reflow 3D filament. Recuperado de <https://filamentz.nl/en/collections/reflow-3d-filament>

FP Superior Francisco de Vitoria. (s.f.). ¿Quién inventó la impresora 3D? Recuperado de <https://fpsuperiorufv.es/blog/quien-invento-la-impresora-3d/>

Impresoras3D.com. (2023, 9 de febrero). Breve historia de la impresión 3D. Recuperado de <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/>

Improto3D. (2023). Filamento de plástico reciclado opción sostenible para imprimir en 3D. Recuperado de <https://www.improto3d.com/blog/filamento-plastico-reciclado/>

Juste, I. (2020, 14 de mayo). Tipos de plásticos. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-plasticos-1732.html>

LCDWiki. (2020, 4 de agosto). 7inch HDMI Display-H: User manual. Recuperado de http://www.lcdwiki.com/res/MPI7006/7inch-HDMI-Display-H_User_Manual_V1.0.pdf

- Lucía, C. (2016, 3 de marzo). Startup del mes: B-PET, el filamento ecológico argentino. Recuperado de <https://www.3dnatives.com/es/b-pet-el-filamento-ecologico-argentino-03032016/>
- Mertes, A. (2017, 8 de febrero). Types of plastic. Recuperado de <https://www.qualitylogoproducts.com/blog/types-of-plastic/>
- Naylamp Mechatronics. (2023). Driver puente H L298N 2A. Recuperado de <https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>
- Parker, L. (2019, 12 de septiembre). La botella de plástico: de recipiente práctico a residuo odiado. National Geographic. Recuperado de <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/botellas-plastico>
- Plastics Technology México. (2016, 19 de julio). Plástico reciclado convertido en filamento para impresión 3D. Recuperado de <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/plstico-reciclado-convertido-en-filamento-para-impresin-3d->
- Portillo, G. (s.f.). Qué es el tereftalato de polietileno (PET), características y usos. Recuperado de <https://www.renovablesverdes.com/que-es-el-pet/>
- Precious Plastic. (s.f.). Basic Machines. Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/basic>
- Precious Plastic. (s.f.). People making and sharing their own tools and machines to tackle the plastic waste problem. Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/community>
- Precious Plastic. (s.f.). Precious Plastic Machines. Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/overview>
- Precious Plastic. (s.f.). Pro Machines. Recuperado de <https://www.preciousplastic.com/solutions/machines/pro>
- Raspberry Pi. (s.f.). Raspberry Pi 3 Model B+. Recuperado de <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- ReDeTec. (2025). ProtoCycler V3. Recuperado de <https://redetec.com/products/protocycler?variant=39805378658352>
- ReDeTec. (s.f.). ProtoCycler V3: The Most Advanced Filament Extrusion System for Education and R&D. Recuperado de <https://redetec.com/>
- Reiten. (s.f.). Reshape, Recreate, Reproduce. Recuperado de <https://www.reiten.design/polyformer>
- Sicnova. (2022, 27 de enero). Qué son los Filamentos 3D Sostenibles. Recuperado de <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/que-son-los-filamentos-3d-sostenibles/>
- Sicnova. (2024, 14 de febrero). Guía para elegir filamentos para impresoras 3D. Recuperado de <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/guia-filamentos-impresoras-3d/>

Sintac Recycling. (2025, 7 de agosto). Reciclaje del PET: ¿Cómo se recicla y reúsa el tereftalato de polietileno? Recuperado de <https://sintac.es/reciclaje-del-pet-como-se-recicla-y-reusa-el-tereftalato-de-polietileno/>

Vida Circular. (2024, 17 de diciembre). Tipos de plásticos, clasificación y su correcta separación para el reciclaje. Recuperado de <https://vidacircular.lat/tipos-de-plasticos-clasificacion-y-su-correcta-separacion-para-el-reciclaje/>

Wikipedia. (s.f.). Tereftalato de polietileno. Recuperado el 15 de mayo de 2025, de https://es.wikipedia.org/wiki/Tereftalato_de_polietileno

Capítulo 10 Anexos

A. Licencias

Licencia del recurso

Durante el desarrollo del Trabajo Recepcional se utilizó el siguiente diseño: ***PET Filament Maker Machine*** creado por **Leandro Martingano** y publicado en la plataforma **Thingiverse** en el año 2022: <https://www.thingiverse.com/thing:5427208>.

Este diseño se encuentra licenciado bajo una licencia Creative Commons - Attribution - Non-Commercial - No Derivatives. Esta licencia permite compartir el material en cualquier medio o formato, siempre y cuando se cumpla con los siguientes términos:

- Otorgar el crédito correspondiente al autor.
- No utilizarse con fines comerciales.
- No se debe modificar ni generar obras derivadas.

Todos los detalles sobre el uso de la licencia se pueden encontrar en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Descripción del recurso utilizado

El contenido descargado desde la plataforma incluye algunas carpetas con distintos archivos, estos son:

- Los archivos STL para imprimir las piezas correspondientes de los componentes del mecanismo.
- Imágenes que ilustran cada una de las piezas de los archivos.
- Un archivo README.txt que incluye una breve explicación del proyecto.
- Un archivo LICENCE.txt que especifica el tipo de licencia con la que cuenta.

Los materiales mencionados fueron utilizados **sin alteraciones ni modificaciones** en el presente trabajo. Se respetó íntegramente el diseño realizado por el autor.

Complemento desarrollado

Como complemento del diseño original, para el desarrollo del Trabajo Recepcional se incorporó un sistema para controlar el motor, este incluye una Raspberry Pi, pantalla táctil, un módulo L298N y un software personalizado. Esta adición fue desarrollada de forma independiente, y no modifica, sustituye ni altera el proyecto original.

Videos de consulta

Además de los archivos que se descargaron, se consultaron los siguientes videos que pertenecen al mismo autor en su canal XY.3D, con el fin de utilizarlos como guía para el armado del material y la comprensión del funcionamiento de los componentes:

- Armado de las piezas: https://www.youtube.com/watch?v=u7IBrJk_kgg
- Configuración de la controladora de temperatura:
<https://www.youtube.com/watch?v=WcAYLp4CqSM>

Los videos se usaron únicamente con fines informativos. **No se incorporó ningún tipo de contenido, ya sea visual, capturas o fragmentos de los videos** en la realización de este trabajo.