



FACULTAD DE INGENIERÍA

## CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

### Diseño de sistema embebido para máquina de reciclaje de PET

**Autor:**  
**Ing. Nicolás Vargas Alice**

Director:  
Ing. Nicolás Latorre (Medtronic France)

Jurados:  
Ing. José Álamos (HAW Hamburg)  
Esp. Ing. Matías Paramidani (FIUBA)  
Mg. Ing. Christian Marcelo Yanez Flores (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
entre marzo de 2022 y diciembre de 2022.*



## *Resumen*

La presente memoria detalla el proceso de diseño y desarrollo de un dispositivo encargado de transformar plástico PET (polyethylene terephthalate) descartable en filamento apto para uso en impresoras 3D. El trabajo logró proveer a instituciones educativas de una herramienta que estimule el uso y la aplicación del diseño 3D en estudiantes. El proyecto fue financiado por el Centro de Formación Profesional N°8 - SMATA.

En este trabajo se aplicaron conocimientos adquiridos en el desarrollo de software, uso de diversos protocolos de comunicación, diseño de hardware y aplicación de metodologías de gestión de proyectos.



## *Agradecimientos*

A Juan, por creer en la idea.

A mi familia, por creer en mí.

A Camila, por la contención y el apoyo incondicional.

A mis amigos, Martín, Osvaldo, José y Damián, por su ayuda cuando más lo necesitaba.

A mi director, Nicolás Latorre, por su buena predisposición y calidad profesional.

A todos ellos, muchas gracias.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>1. Introducción general</b>	<b>1</b>
1.1. Impresión 3D . . . . .	1
1.2. Reciclaje de plástico . . . . .	2
1.3. Motivación . . . . .	3
1.4. Objetivos y alcance . . . . .	3
1.5. Estado del arte . . . . .	4
1.6. Requerimientos . . . . .	4
<b>2. Introducción específica</b>	<b>7</b>
2.1. Placa de desarrollo . . . . .	7
2.2. Sensor de temperatura . . . . .	8
2.3. Pantalla LCD . . . . .	9
2.4. Motor paso a paso . . . . .	11
2.5. Encoder rotativo . . . . .	11
<b>3. Diseño e implementación</b>	<b>13</b>
3.1. Diseño de hardware . . . . .	13
3.1.1. Interfaz de usuario . . . . .	13
3.1.2. Etapa generadora de filamento . . . . .	14
3.1.3. Etapa colectora de filamento . . . . .	15
3.1.4. Alarmas . . . . .	16
3.2. Diseño de firmware . . . . .	16
3.2.1. Control principal del flujo del programa . . . . .	18
3.2.2. Control de datos de interfaz de usuario . . . . .	18
3.2.3. Control de alarmas . . . . .	20
3.2.4. Control de temperatura de trabajo . . . . .	20
3.2.5. Control de velocidad de motor . . . . .	22
3.2.6. Diseño del montaje mecánico . . . . .	23
<b>4. Ensayos y resultados</b>	<b>25</b>
4.1. Pruebas unitarias sobre la pantalla LCD . . . . .	25
4.2. Pruebas unitarias sobre el motor paso a paso . . . . .	27
4.3. Pruebas unitarias sobre el encoder rotativo . . . . .	28
4.4. Pruebas unitarias sobre el control de temperatura . . . . .	29
4.5. Pruebas unitarias de integración . . . . .	30
4.6. Comparación con productos similares . . . . .	31
<b>5. Conclusiones</b>	<b>33</b>
5.1. Resultados obtenidos . . . . .	33
5.2. Trabajo futuro . . . . .	33
<b>Bibliografía</b>	<b>35</b>



# Índice de figuras

1.1. Proceso del diseño en 3D <sup>1</sup> . . . . .	1
1.2. Proceso de construcción 3D por deposición fundida <sup>2</sup> . . . . .	2
2.1. Diagrama general de la solución. . . . .	7
2.2. Placa de desarrollo STM32F103 <sup>3</sup> . . . . .	8
2.3. Termistor tipo NTC <sup>4</sup> . . . . .	9
2.4. Pantalla LCD 20x4 <sup>5</sup> . . . . .	10
2.5. expansor de puertos de entrada salida I2C <sup>6</sup> . . . . .	10
2.6. Motor paso a paso tipo NEMA <sup>7</sup> . . . . .	11
2.7. Encoder rotativo <sup>8</sup> . . . . .	12
2.8. Pinout del módulo KY-040 <sup>9</sup> . . . . .	12
3.1. Diagrama general del sistema. . . . .	13
3.2. Detalle de la interfaz de usuario. . . . .	14
3.3. Etapas de generación de filamento y su interrelación. . . . .	15
3.4. Diagrama de interconexión del módulo colector de filamento. .	15
3.5. Diagrama de interconexión del módulo de alarmas. . . . .	16
3.6. Diagrama general del firmware. . . . .	17
3.7. Diagrama del flujo principal. . . . .	18
3.8. Diagrama del manejo de los eventos del encoder rotativo. . . . .	19
3.9. Diagrama del control de alarmas. . . . .	20
3.10. Proceso de lectura de ADC para cálculo de temperatura. . . . .	21
3.11. Proceso de control ON/OFF para temperatura de trabajo. . . . .	21
3.12. Proceso de control de velocidad del colector de filamento. .	22
3.13. Detalle de la interfaz de usuario del equipo. . . . .	23
3.14. Montaje mecánico del equipo. . . . .	23
4.1. Elementos del banco de pruebas para pantalla LCD. . . . .	26
4.2. Conexionado de banco de pruebas para pantalla LCD. . . . .	26
4.3. Banco de pruebas para motor paso a paso. . . . .	27
4.4. Conexionado del banco de pruebas para motor paso a paso. .	27
4.5. Elementos del banco de pruebas para el encoder rotativo. . . . .	28
4.6. Conexionado del banco de pruebas para encoder rotativo. . .	29
4.7. Banco de pruebas para el control de temperatura del extrusor.	29



# Índice de tablas

1.1. Tabla comparativa de proveedores de filamento plástico . . . . .	4
1.2. Tabla comparativa de proyectos similares . . . . .	4



# Capítulo 1

## Introducción general

En este capítulo se explica el funcionamiento de una impresora 3D y se brinda información sobre el reciclaje de plásticos. Se hace referencias a sus campos de aplicación y se comenta acerca de la motivación, el alcance y los objetivos del trabajo.

### 1.1. Impresión 3D

La impresión 3D es una tecnología de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Esta tecnología encuentra uso en campos tales como joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, industria aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil entre otros [1].

En la figura 1.1 se observan las etapas de un diseño en tres dimensiones. La primera consiste en dibujar en un papel el objeto que se quiere imprimir en sus tres dimensiones. Luego, mediante un programa CAD (del inglés Computer-Aided Design), se diseña ese objeto y por último se lo separa en capas para imprimirlo en la impresora 3D.

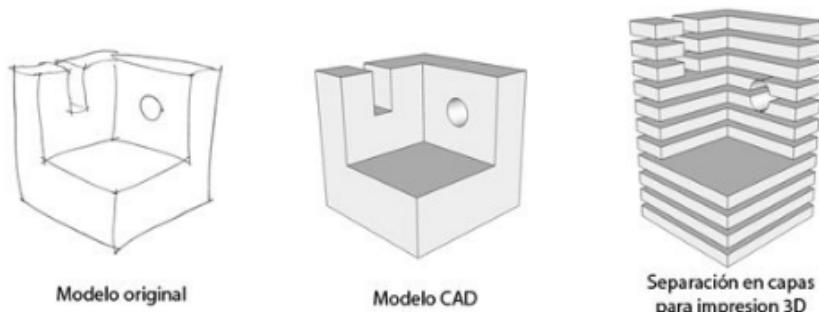


FIGURA 1.1. Proceso del diseño en 3D<sup>1</sup>.

El proceso que utilizan estas impresoras para crear objetos por capas se llama "proceso aditivo". En la actualidad existen tres formas masivamente utilizadas para imprimir en 3D: modelado por deposición fundida (FDM), estereolitografía (SLA) y procesamiento digital de luz (DLP) [2]. Aunque todos los tipos utilizan el

<sup>1</sup>Imagen tomada de <https://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>

proceso aditivo, existen diferencias en la forma de construir el objeto. En la figura 1.2 se observa el método de construcción utilizado por las impresoras 3D a base de modelado por deposición fundida.

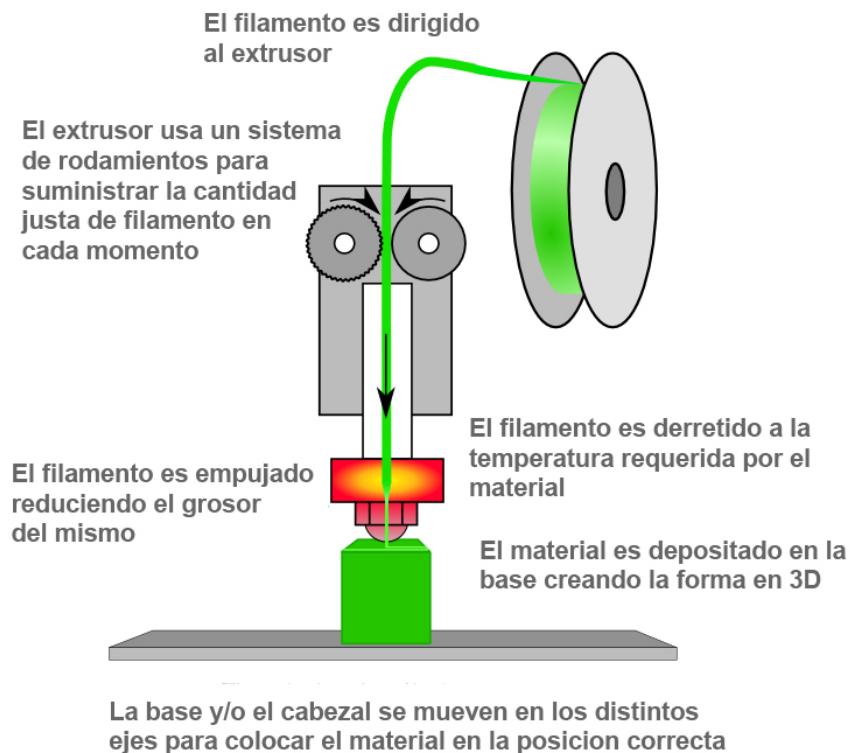


FIGURA 1.2. Proceso de construcción 3D por deposición fundida<sup>2</sup>.

A lo largo de los tres primeros trimestres de 2021 el mercado de impresoras 3D ha crecido con solidez. El interés de muchas industrias por estas tecnologías está aumentando, ya que permiten reducir costes y fabricar productos altamente personalizados, eliminando a su vez la total dependencia de la cadena de suministro de materiales [3].

## 1.2. Reciclaje de plástico

El tereftalato de polietileno, generalmente conocido como PET, es un polímero plástico que se elabora a partir de un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Éste material se fabrica en diferentes formatos y puede transformarse mediante distintos procesos de extrusión, inyección e incluso por termoformado. Su principal uso es la fabricación de botellas y envases y una característica importante de mencionar es que no es un material biodegradable [4].

De acuerdo con el último reporte de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) [5], el mundo produce el doble de residuos plásticos que hace dos décadas. La mayor parte se destina a relleno sanitario, se incinera o se filtra en el medio ambiente y apenas el 9 % se recicla con éxito [6].

<sup>2</sup>Imagen tomada de <https://www.frax3d.com/impresora-3d>

La mayoría del plástico que se utiliza hoy es virgen, fabricado a partir de petróleo crudo o gas. La producción mundial de plástico a partir de plástico reciclado se ha cuadruplicado, pasando de 6.8 millones de toneladas (Mtn) en 2000 a 29.1 Mtn en 2019, pero aún representa sólo el 6 % del volumen de la producción total de plástico. Es necesario tomar más medidas para crear un mercado independiente y funcional para el plástico reciclado, que todavía no se considera sustituto del plástico virgen [7].

En Argentina, se reciclan 251.000 tn de plástico al año, 241.000 tn por reciclado mecánico y 10.000 tn por recuperación energética en hornos de cemento. Estos valores representan el 26 % del total de reciclado de envases, embalajes y empaquetados. Sin embargo, la industria recicladora plástica tiene un 40 % de su capacidad ociosa [8].

### 1.3. Motivación

En reuniones con directores y docentes de distintas instituciones educativas de nivel primario y secundario de todo el país, se expresaron las ventajas que trae el desarrollo 3D en la educación. Sin embargo, varios integrantes manifiestan la falta de material de fabricación para utilizar las impresoras 3D ya instaladas.

Al mismo tiempo que se plantea esta problemática, en las escuelas existen campañas de concientización sobre la ecología y el cuidado del medio ambiente. En la búsqueda de un desarrollo innovador que trabaje sobre la falta de materia prima para estos equipos y el auge actual de los proyectos relacionados con la ecología y el reciclaje, se encontró como punto común el desarrollo que describe esta memoria.

Se presentó la propuesta en el C.F.P. N°8 - SMATA, referente en formación profesional sobre las áreas de informática, programación, automatización industrial y automotores. La Dirección de la institución consideró el proyecto un excelente ejemplo de innovación tecnológica y aceptaron apoyarlo.

### 1.4. Objetivos y alcance

El objetivo principal propuesto fue el desarrollo del sistema de control de una máquina recicladora de plástico PET, que debe ser capaz de transformar el plástico reciclado en filamento para uso en impresoras 3D del tipo FDM.

El desarrollo se limitó a los siguientes puntos:

- Diseño e implementación del sistema de control embebido.
- Diseño e implementación de la máquina recicladora de plástico PET.
- Escritura de manual de usuario y manual técnico.
- Desarrollo de documentación técnica de uso libre para replicar el proyecto.

Los puntos del desarrollo que no están incluidos son los siguientes:

- El procesamiento de plásticos que no sean PET.

- El procesamiento de plástico PET en presentaciones que no sean botellas o envases.

## 1.5. Estado del arte

En la actualidad se pueden encontrar en el mercado empresas que se dedican a la venta de filamento para impresoras 3D fabricado a partir de botellas de PET reciclado. Las características físicas y mecánicas que presentan estos filamentos a la venta son similares a los fabricados con otros plásticos no reciclados. En la tabla 1.1 se muestra información sobre proveedores de filamento plástico. Estas empresas no presentan entre sus productos equipos que fabrican filamento, únicamente comercializan los filamentos ya fabricados.

TABLA 1.1. Tabla comparativa de proveedores de filamento plástico.

Empresa	Tipo	Diámetro	Origen	Precio/rollo
B-PET [9]	PET	1,75 mm	Reciclado	\$ 6600
Re-pet3D [10]	PETG	1,75 mm	Reciclado	\$ 8100
GST3D [11]	PLA	1,75 mm	No Reciclado	\$ 8100

Si bien no hay antecedentes de equipos comerciales que reciclen PET en filamento plástico, se muestra en la tabla 1.2 una comparativa de algunos, los cuales son desarrollados en laboratorios de prototipado rápido (FABLabs) ubicados en universidades o centros de investigación por diseñadores entusiastas y estudiantes que trabajan con temáticas vinculadas con la impresión 3D.

TABLA 1.2. Tabla comparativa de proyectos similares.

Desarrollador	Objeto procesado	Control de velocidad	Control de temperatura
ReitenDesign [12]	Botella plástica	No	Sí
JRT 3D [13]	Botella plástica	No	Sí
ARTME 3D [14]	Trozos de plástico ABS, PLA, PETG y PP	No	Sí

## 1.6. Requerimientos

El diseño del sistema se realizó a partir de una serie de requerimientos entregados por el cliente y detallados a continuación:

- El hardware deberá contar con una pantalla LCD.
- El hardware deberá contar con un encoder rotativo para navegar por un menú de usuario.
- El hardware deberá contar con un driver para cada motor paso a paso.

- El hardware deberá contar con un control de temperatura de fundición.
- El sistema debe poder controlar el procesamiento de tiras de plástico PET de entre 3 mm y 10 mm de ancho y de hasta 1 mm de espesor.
- Se deberá controlar la velocidad de recolección del filamento procesado.
- Se deberá poder ver todos los parámetros de funcionamiento actuales de la maquina en la pantalla LCD.
- El sistema emitirá una alerta visual y/o sonora cuando hay faltante de tira PET para procesar.
- Cada etapa de la máquina podrá activarse o desactivarse según requiera el usuario.
- El sistema deberá registrar en memoria la cantidad de filamento procesado y reiniciarlo cuando el usuario lo requiera.
- El sistema deberá ser capaz de procesar 320 m de filamento procesado de forma continua.
- Se utilizará el módulo STM32F103C8 como computadora principal.



## Capítulo 2

# Introducción específica

En este capítulo se explica el fundamento teórico, así como los componentes y herramientas utilizadas para el desarrollo del trabajo.

### 2.1. Placa de desarrollo

Uno de los requerimientos para el trabajo fue utilizar como dispositivo de control principal una placa de desarrollo de la firma STMicroelectronics, modelo STM32F103 [15]. El cliente eligió esta placa debido a su excelente relación precio/calidad y sus dimensiones. Esta elección se complementa con la intención del desarrollador del proyecto en interiorizarse en su uso.

La placa es la encargada de comunicar los distintos módulos del proyecto como se ve en el esquema de alto nivel de la figura 2.1.

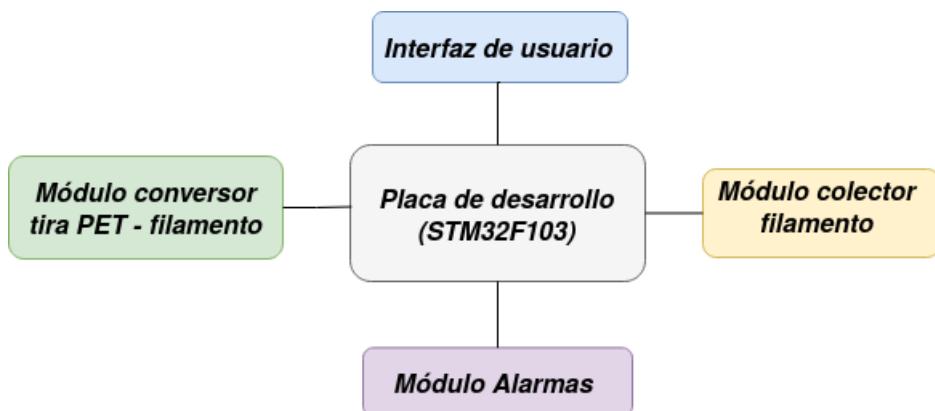


FIGURA 2.1. Diagrama general de la solución.

La placa STM32F103, que se puede visualizar en la figura 2.2, cuenta con un procesador ARM y es de las de más bajo costo entre productos de similares características.

Las características técnicas de la placa son las siguientes:

- ARM 32-bit Cortex-M3 CPU Core.
- 64 Kbytes de memoria Flash.
- 20 Kbytes de SRAM.
- Interrupciones en todos los puertos.

- 2 conversores A/D de 12-bit.
- 7 temporizadores.
- 2 buses I2C.
- 3 puertos USART.
- 2 buses SPI.
- 1 bus CAN.
- Micro USB para alimentación de la placa y comunicaciones.

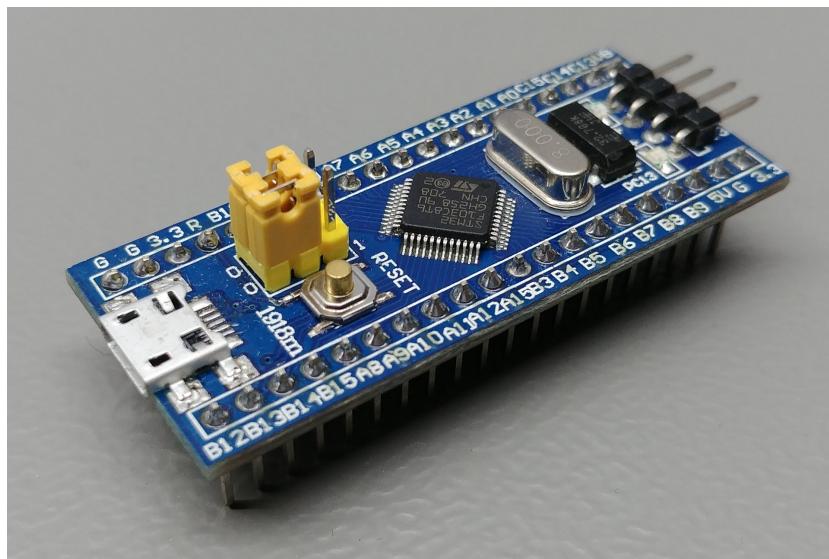


FIGURA 2.2. Placa de desarrollo STM32F103<sup>1</sup>.

El procesador del STM32F103 opera a 3,3 V, sin embargo, la placa STM32F103 incorpora un regulador de voltaje, por lo que puede ser alimentada a 5 V. Además, la mayoría de las I/O digitales son tolerantes a 5 V.

## 2.2. Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura o termistor es un elemento de detección de temperatura compuesto por material semiconductor sinterizado que presenta un cambio en su resistencia en proporción a un cambio en la temperatura. Un ejemplo de este tipo de sensores se observa en la figura 2.3. En general, los termistores tienen coeficientes de temperatura negativos, lo que significa que la resistencia del termistor disminuye a medida que aumenta la temperatura.

Dado que una de las etapas del proyecto implica hacer un control de temperatura de un extrusor metálico, se utilizó un termistor NTC 100 kohm b3950 [16]. Las características principales del sensor seleccionado son:

- Valor de Resistencia a 25 °C : 100 kohm.
- Exactitud: 1 %.

<sup>1</sup>Imagen tomada de <https://stm32-base.org/boards/STM32F103C8T6-Blue-Pill.html>

- Rango de temperatura: -50 °C a 300 °C.
- Longitud: 100 cm.



FIGURA 2.3. Termistor tipo NTC<sup>2</sup>.

Las aplicaciones a temperatura relativamente baja (de -55 °C a 70 °C) generalmente usan termistores de resistencia más baja (de 2.250 a 10.000 ohm). Las aplicaciones de temperatura más alta usan, en general, los termistores de resistencia más alta (por encima de 10.000 ohm) para optimizar el cambio de resistencia por grado a la temperatura requerida. Los termistores están disponibles con una variedad de resistencias y curvas R(T). Las resistencias se especifican normalmente a 25 °C [17].

### 2.3. Pantalla LCD

En muchos proyectos de robótica se necesitan visualizar parámetros. Si bien los displays de siete segmentos pueden ser una solución, se volvería económicamente costosa en el caso de visualizar valores de muchos dígitos. Las pantallas LCD alfanuméricas son una solución muy práctica a este problema. Esto se debe a los distintos tamaños disponibles en el mercado. Además, es importante remarcar su bajo consumo, la capacidad de representar caracteres especiales y las variantes de su color de fondo.

En la figura 2.4 se muestra una imagen que describe los modelos LCD alfanuméricos más utilizados en el mercado, el LCD1602 [18] y el LCD2004 [19]. Dada la cantidad de datos a visualizar se eligió trabajar con la pantalla LCD2004.

Conectar una pantalla LCD1602/2004 con la placa de desarrollo es mucho más sencillo con la ayuda de un módulo adaptador de LCD a interfaz I2C, el cual favorece el manejo de la pantalla LCD únicamente con 2 pines. El módulo está basado en el controlador I2C PCF8574 [20], el cual es un expansor de entradas y salidas digitales controlado por I2C, como se muestra en la figura 2.5.

<sup>2</sup>Imagen tomada de <https://electrocrea.com/products/termistor-100k-3950-ntc-para-impresora-3d>

<sup>3</sup>Imagen tomada de <https://www.luisllamas.es/arduino-lcd-hitachi-hd44780/>

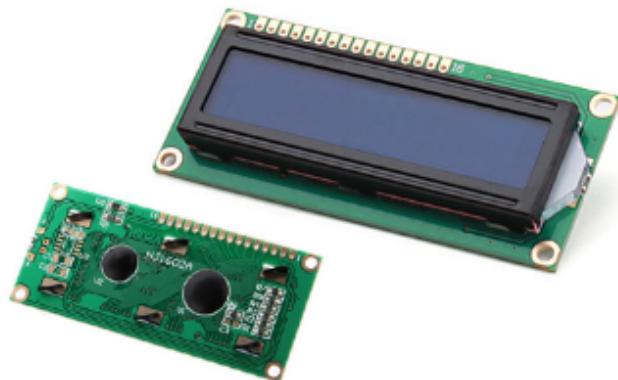


FIGURA 2.4. Pantalla LCD 20x4<sup>3</sup>.



FIGURA 2.5. expensor de puertos de entrada salida I2C<sup>4</sup>.

## 2.4. Motor paso a paso

Uno de los requerimientos establecidos para el trabajo final fue dotar al equipo de un colector del filamento. Para esto se utilizó un motor paso a paso. Este es un tipo de motor de corriente continua sin escobillas en el que la rotación se divide en un cierto número de pasos resultantes de la estructura del motor. Normalmente, una revolución completa del eje de  $360^\circ$  se divide en 200 pasos, lo que significa que se realiza una sola carrera del eje cada  $1,8^\circ$ . En la figura 2.6 se ve una imagen de un motor paso a paso de 200 pasos y 5,3 kg.cm de par motor (la fuerza que es entregada en forma de rotación.).



FIGURA 2.6. Motor paso a paso tipo NEMA<sup>5</sup>.

Este tipo de motor presenta varias ventajas, tales como su precisión, su buen control de la posición y su velocidad de rotación. Además, posee un par motor muy alto a baja velocidad y presenta una alta durabilidad mecánica. Una de las desventajas más importantes del motor paso a paso es su consumo energético. El motor requiere energía tanto cuando está en movimiento como cuando está parado. El par motor es mayor a rpm relativamente bajas y disminuye a altas rpm. En el caso del proyecto, se decidió trabajar con el motor SC42STH47-1504-01AF [21].

La forma más simple de manejar este tipo de motores es mediante controladores, los cuales permiten manejar los requerimientos energéticos y proporcionan protección a la electrónica. Junto al motor seleccionado se trabajó con un controlador A4988 [22], el cual tiene un tamaño reducido y se consigue en el mercado local gracias a su aplicación en impresoras 3D.

## 2.5. Encoder rotativo

Un encoder rotativo es un dispositivo incremental que proporciona un pulso digital cada vez que el encoder gira un determinado ángulo. Al girar el eje, una

<sup>4</sup>Imagen tomada de <https://apmelectronica.com/producto/modulo-pantallas/>

<sup>5</sup>Imagen tomada de <https://www.hwlibre.com/nema-17/>

pequeña bola metálica cierra el contacto, actuando como un pulsador. En la figura 2.7 se puede observar el eje rotacional y sus pines de conexión.

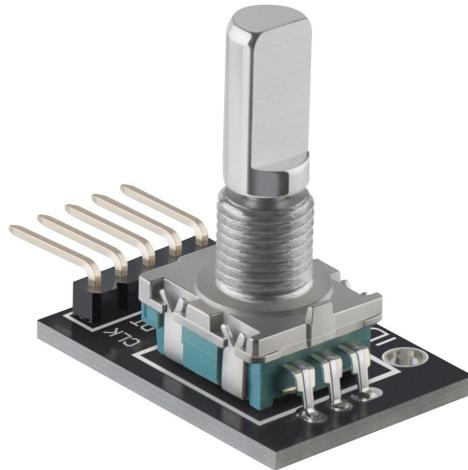


FIGURA 2.7. Encoder rotativo<sup>6</sup>.

El número de pulsos por vuelta depende del encoder empleado, siendo habitual el valor de 256 pulsos/vuelta. La comparación de las señales de pulsos resultantes permite detectar en qué sentido se produjo el giro [23]. A partir de la descripción de pines de la figura 2.8, la comparación de las señales CLK y DT permiten detectar el sentido de giro, mientras que la señal del pin SW indica si se pulsó o no el eje. El encoder KY - 040 [24] fue seleccionado para trabajar en este proyecto debido a su bajo precio y la posibilidad de adquirirlo en el mercado local.



FIGURA 2.8. Pinout del módulo KY-040<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup>Imagen tomada de <https://www.steren.com.mx/encoder-rotativo.html>

<sup>7</sup>Imagen tomada de <https://www.luisllamas.es/arduino-encoder-rotativo/>

## Capítulo 3

# Diseño e implementación

En este capítulo se explican con detalle todos los elementos que componen al sistema y los criterios utilizados para su desarrollo. Se parte de una breve descripción de la estructura, luego se hace un análisis detallado del desarrollo de los módulos de hardware y se concluye con la implementación del software.

### 3.1. Diseño de hardware

El diagrama que muestra la figura 3.1 describe la arquitectura general del hardware del proyecto. En él se mencionan los elementos que la componen y sus interrelaciones. Este diagrama será el punto de partida para profundizar en el funcionamiento de cada módulo.

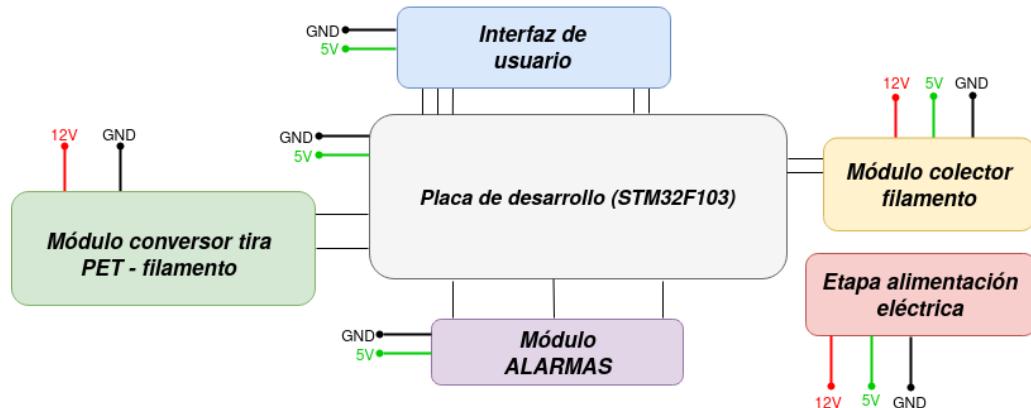


FIGURA 3.1. Diagrama general del sistema.

#### 3.1.1. Interfaz de usuario

A través de este módulo el usuario interactúa con el equipo en busca de las siguientes acciones:

- Visualizar datos de funcionamiento.
- Activar y desactivar módulos.
- Configurar parámetros de cada módulo.
- Navegar por el menú de configuración.

Para implementar esta parte del proyecto se utilizó una pantalla LCD2004, un expensor de puertos PCF8574 y un encoder rotativo de 20 posiciones KY-040. En la figura 3.2 se observa el conexionado de todos los elementos de esta etapa. En la placa de desarrollo, se utilizaron tres pines GPIO para el manejo del encoder rotativo y dos pines para controlar la pantalla LCD a través del módulo conversor I2C.

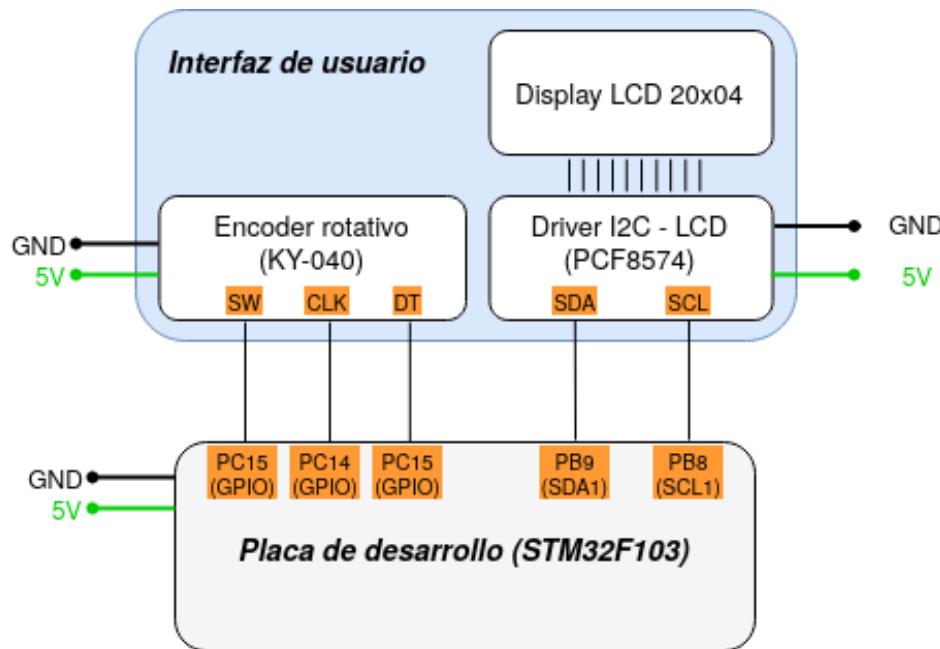


FIGURA 3.2. Detalle de la interfaz de usuario.

El encoder rotativo se usa para navegar por las distintas pantallas del programa que se muestran en el display LCD. El evento de presión del encoder se utiliza para ejecutar la acción seleccionada o acceder al submenú correspondiente, mientras que el evento de rotación cambia la posición del cursor en la pantalla actual.

### 3.1.2. Etapa generadora de filamento

Esta etapa se encarga de transformar la tira de plástico PET en filamento a partir del calentamiento del material y del cambio de su forma. Para lograr esto, se implementó un mecanismo similar al que se encuentra en el extrusor de una impresora 3D: atravesar plástico por un material caliente a una temperatura que lo derrita o lo ablande. La etapa está compuesta por:

- Una resistencia calentadora de 12 V / 40 W.
- Un termistor NTC 100k b3950.
- Un módulo mosfet IRFZ44N [25].

El control de la temperatura de trabajo se realiza desde la placa de desarrollo mediante el sensado de temperatura con el termistor y la activación de la resistencia calentadora a través del módulo MOSFET. En la figura 3.3 se muestra el conexionado de todos los elementos de esta etapa junto a la placa de desarrollo.

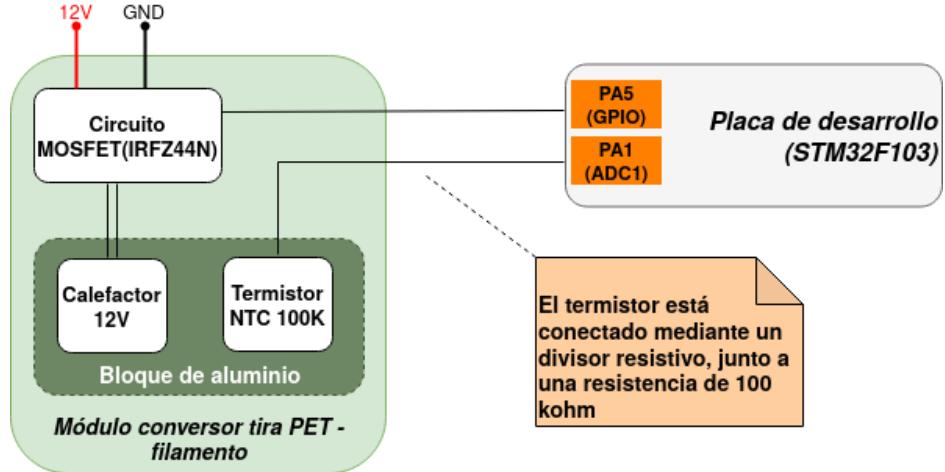


FIGURA 3.3. Etapas de generación de filamento y su interrelación.

### 3.1.3. Etapa colectora de filamento

La colecta de filamento es la forma de acumular el producto resultante del proyecto para que quede en condiciones de utilizarlo directamente en una impresora 3D. En esta etapa se utilizaron los siguientes elementos:

- Un motor paso a paso SC42STH47-1504-01AF.
- Un driver A4988.
- Piezas mecánicas varias (soportes, poleas, etc.).

En la figura 3.4 se describe el conexionado del driver, el motor paso a paso y la placa de desarrollo. El driver es el elemento intermedio entre el motor y la placa de control con el que se maneja:

- Velocidad de giro.
- Reset.
- Dirección de rotación.

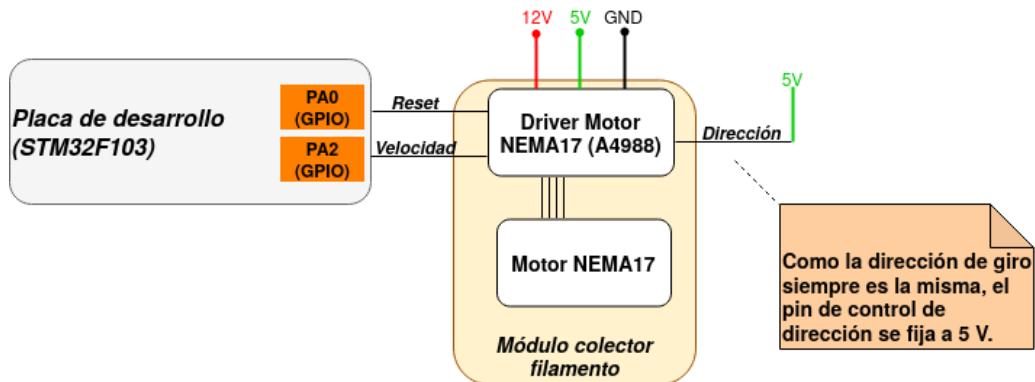


FIGURA 3.4. Diagrama de interconexión del módulo colector de filamento.

Si se modifica la señal que llega al pin de velocidad del driver, se modifica la velocidad de giro del motor. Además de las características mencionadas, el driver maneja la alimentación eléctrica del motor.

### 3.1.4. Alarmas

Las alarmas del proyecto tienen como objetivo alertar al usuario cuando se terminó de procesar toda la tira PET disponible. La alarma sonora consiste en la activación de un buzzer de 5 V, mientras que la lumínica consta de un LED de 5 mm. La presencia de filamento se detecta mediante un *switch* tipo fin de carrera [26]. Como se observa en la figura 3.5, el switch, el LED y el buzzer están conectados a la placa de desarrollo mediante tres puertos GPIO.

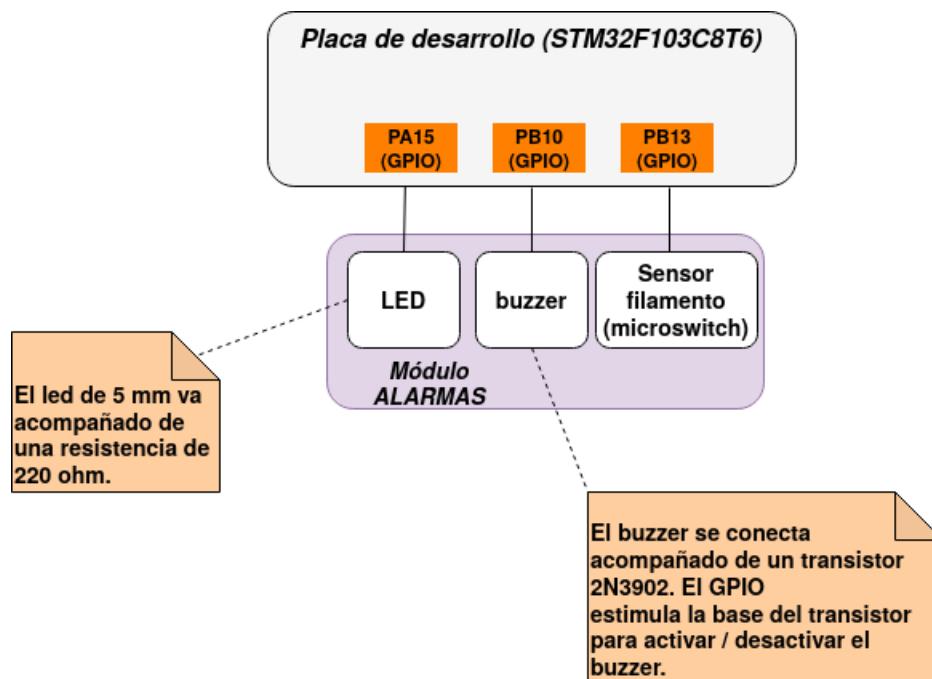


FIGURA 3.5. Diagrama de interconexiónado del módulo de alarmas.

La placa de desarrollo monitorea la falta de contacto entre el filamento procesado y el microswitch, por lo tanto, al aparecer este evento se activa la alarma configurada. Ambas alarmas pueden ser habilitadas a través del menú de configuración, sin embargo, el usuario puede usar el equipo sin configurar ninguna de ellas.

## 3.2. Diseño de firmware

El principal criterio al diseñar el firmware fue tratar de mantener el flujo de trabajo lo más ligero posible al evitar funciones extensas o retardos bloqueantes. Se evaluó la posibilidad de usar un sistema operativo de tiempo real, pero fue descartado en favor de una solución *bare-metal* debido a la mayor experiencia en este tipo de soluciones. En la figura 3.6 se muestra un esquema general del firmware y de las acciones que realiza.

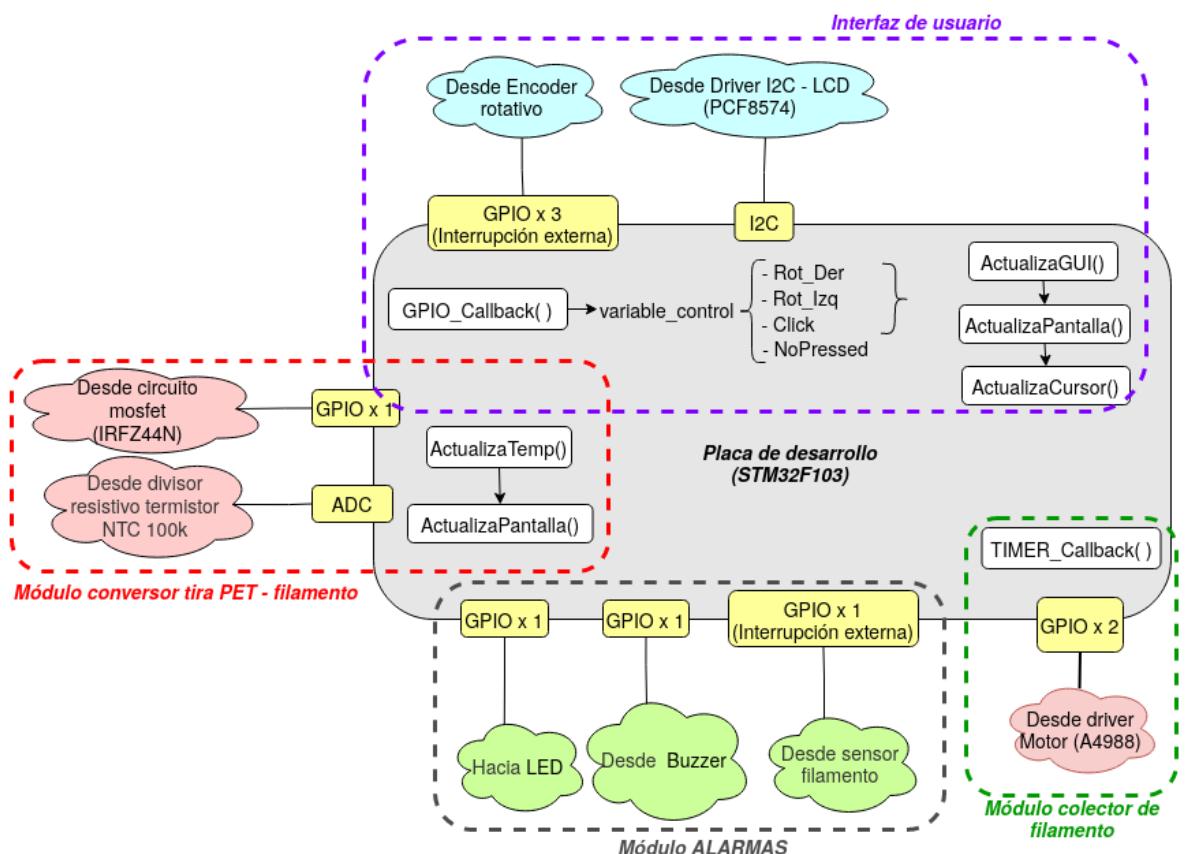


FIGURA 3.6. Diagrama general del firmware.

### 3.2.1. Control principal del flujo del programa

Durante el funcionamiento del dispositivo existen dos tareas principales a ejecutarse:

- Mantener la temperatura de extrusión en el valor configurado.
- Mantener el movimiento continuo del colector de filamento en caso de estar activado.

Debido a esto, la función main() se divide en:

- Sensar la temperatura de trabajo cada 1 segundo.
- Monitorear si el usuario interactuó con la interfaz para cambiar algún parámetro.

A partir del diagrama mostrado en la figura 3.7 se describe el flujo de acción del código principal.

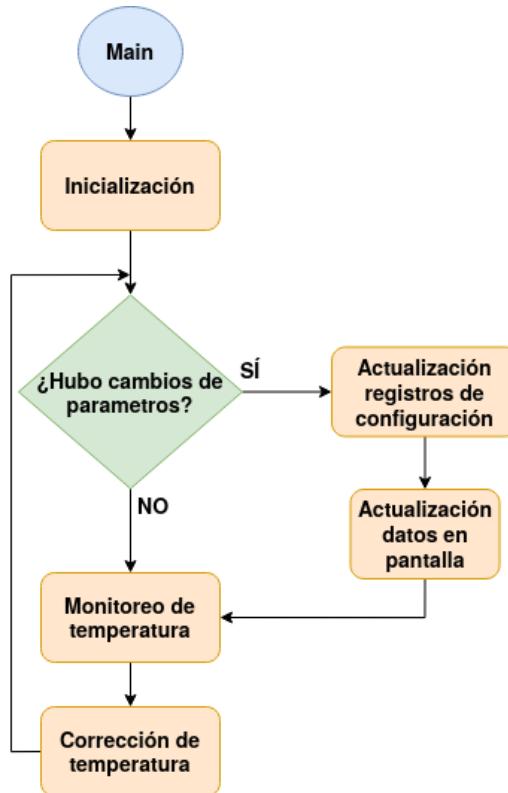


FIGURA 3.7. Diagrama del flujo principal.

### 3.2.2. Control de datos de interfaz de usuario

La gestión de los datos que ponen en funcionamiento el dispositivo se basa en la interacción del usuario con el encoder rotativo y la pantalla LCD, como se explicó en la sección 3.1.1. Dentro del firmware, esa interacción repercute en el valor que toma una variable de control llamada `g_btnPressed`, la cual puede tomar 4 estados posibles:

- `noPressed`

- *Left*
- *Right*
- *Ok*

Si *g\_btnPressed* es igual a *noPressed* significa que el usuario no interactúa con la interfaz. En cualquiera de los otros estados, significa que hay una interacción de algún tipo. El diagrama que describe la figura 3.8 presenta el manejo de las interrupciones generadas por el encoder.

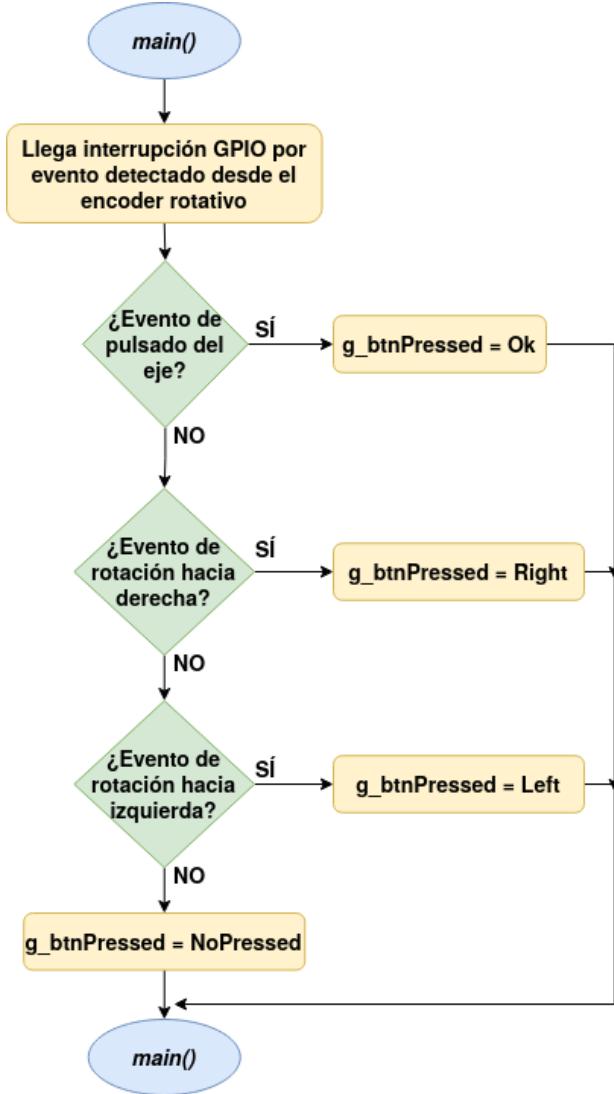


FIGURA 3.8. Diagrama del manejo de los eventos del encoder rotativo.

En el caso de que la variable sea igual a *Left*, *Right* u *Ok*, se ejecutarán las siguientes funciones en el orden que se presentan:

*UpdateGUI()*: actualiza un conjunto de variables asociadas al número de pantalla impresa, línea de la pantalla donde se ubica el cursor, ubicación actual dentro del menú, etc.

*UpdateLCD()*: actualiza la pantalla si es necesario.

*UpdateCursor()*: actualiza el cursor en caso de estar cambiando parámetros dentro del menú de configuración.

### 3.2.3. Control de alarmas

Las alarmas del equipo se modifican en el menú de configuración. La activación tanto de la alarma lumínica como de la alarma sonora está asociada a tres variables, *lightAlarm\_state*, *soundAlarm\_state* y *g\_alarmFil*. El estado de *lightAlarm\_state* y *soundAlarm\_state* cambia según la configuración del usuario mientras que el código procesa la presencia de una interrupción del sensor de filamento a partir del cambio de la variable de control *g\_alarmFil*. El diagrama de la figura 3.9 muestra la configuración de las alarmas.

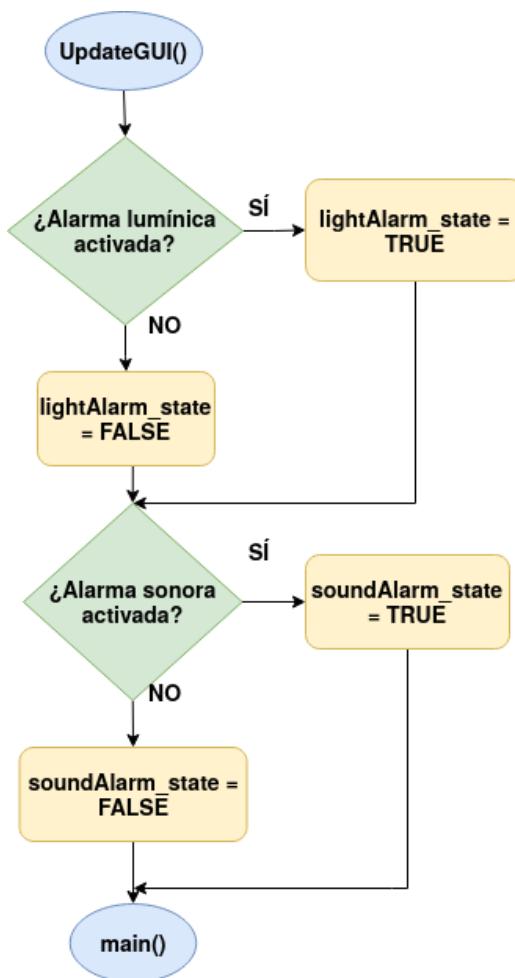


FIGURA 3.9. Diagrama del control de alarmas.

### 3.2.4. Control de temperatura de trabajo

El usuario debe configurar la temperatura de trabajo para el bloque extrusor de filamento, que moldea la tira PET que recibe. A nivel firmware, para elevar la temperatura se debe activar el puerto GPIO asociado al calentador, mientras que en caso de enfriar el bloque se lo desactiva.

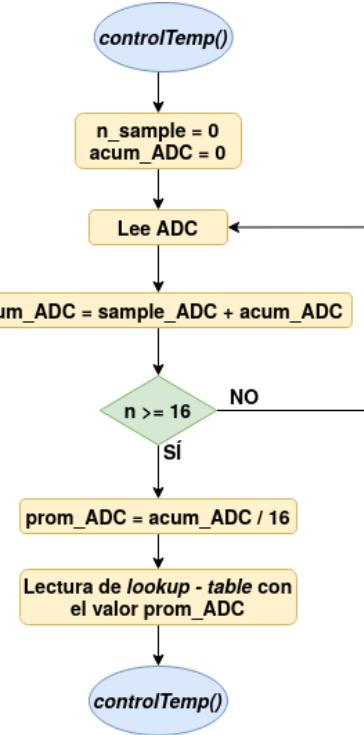


FIGURA 3.10. Proceso de lectura de ADC para cálculo de temperatura.

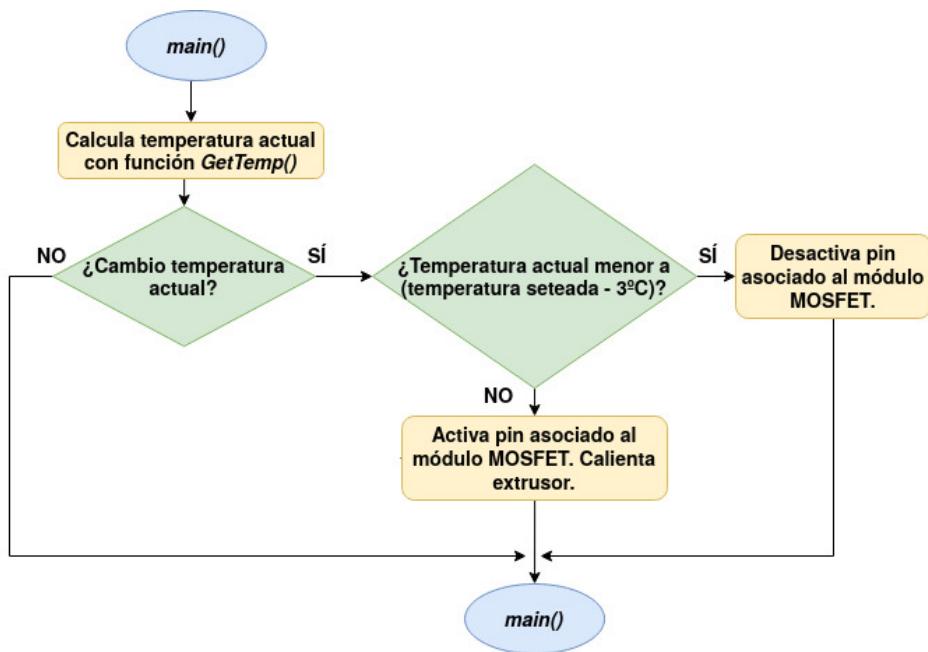


FIGURA 3.11. Proceso de control ON/OFF para temperatura de trabajo.

El cálculo de la temperatura medida se realiza con una *look-up table* que relaciona la medición del ADC con el valor de temperatura actual. Es interesante destacar que este método es el mismo que utilizan las impresoras 3D [27]. Para la generación de la tabla se utiliza un script [28] obtenido del proyecto RepRap [29] basado en el lenguaje Python [30], donde se cargan los datos relacionados al modelo de termistor, al valor de la resistencia que forma el divisor resistivo, la cantidad de valores que se desee incorporar en la tabla y la tensión máxima tolerada por el conversor ADC.

El esquema de la figura 3.10 se muestra la función *GetTemp*, la cual calcula la temperatura a partir de la lectura de la tabla de conversión.

Luego del cálculo de temperatura se verifica el valor obtenido contra la temperatura configurada y se hace la corrección de ser necesaria. El control que se realiza es de tipo *ON/OFF* ya que pruebas con un control PID arrojaron resultados muy inestables. La lógica del control se describe en la figura 3.11.

### 3.2.5. Control de velocidad de motor

El control de velocidad de giro del motor incluido en el colector de filamento se realiza a partir de un timer del microcontrolador, el cual activa una interrupción por desborde. Al ocurrir este evento, dentro de la función *callback* se ejecutan las siguientes acciones:

- Se verifica si el usuario modificó la velocidad de giro del motor.
- Se cambia de estado el GPIO asociado al pin *velocidad*.

El usuario puede seleccionar tres valores distintos de velocidad de recolección: 100 mm/min, 200 mm/min o 300 mm/min.

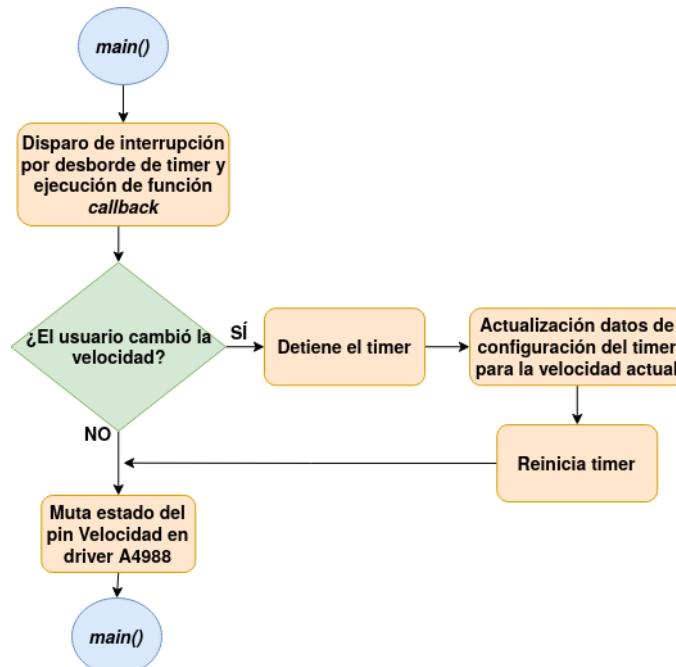


FIGURA 3.12. Proceso de control de velocidad del colector de filamento.

A partir del diagrama de la figura 3.12, se observa como cambia la velocidad de giro en caso de que el usuario lo ejecute y como se reinicia el timer con los parámetros asociados a la velocidad seleccionada. En caso de que no existan cambios por parte del usuario, únicamente se invierte el estado del pin *velocidad*.

### 3.2.6. Diseño del montaje mecánico

El montaje del equipo se realizó sobre un gabinete de madera de 480x200x200 mm, el cual fue acondicionado en su interior para alojar las partes electrónicas y fuentes de alimentación, como se describe en las imágenes 3.13 y 3.14. En el exterior, se instalaron las partes asociadas a la interfaz de usuario, al extrusor de filamento, al sensor de filamento y al colector de filamento. La información específica para el montaje del equipo se puede consultar en el Manual Técnico escrito como parte de los elementos entregables del proyecto [31].



FIGURA 3.13. Detalle de la interfaz de usuario del equipo.



FIGURA 3.14. Montaje mecánico del equipo.



## Capítulo 4

# Ensayos y resultados

Este capítulo tiene como finalidad explicar el proceso de validación del trabajo y determinar si los requerimientos fueron cumplidos.

### 4.1. Pruebas unitarias sobre la pantalla LCD

Los ensayos ejecutados sobre la pantalla LCD permitieron verificar su correcta integración con la placa de desarrollo y ensayar la impresión de todos los tipos de datos a visualizar en cada instancia del funcionamiento del equipo. Para ello, se probaron las siguientes acciones:

- Impresión de valores y textos de prueba.
- Secuencias de borrado de la pantalla.
- Pruebas de las funciones que integran la librería para manejo del componente.

A partir de esto, se diseñó un banco de pruebas con los elementos que se observan en la figura 4.1, conectado a partir del esquema de la figura 4.2 y enlistados a continuación:

- Placa de desarrollo STM32F103.
- Programador ST-LINK V2 [32].
- Multímetro digital UT203 [33].
- Fuente *switching* 5 V/10 A [34].
- Pantalla LCD2004.
- Expansor de entradas y salidas PCF8574.
- PC con el entorno de desarrollo STMCubeIDE [35].

En el entorno de desarrollo se escribieron los códigos de las pruebas, que se grabaron en la placa de desarrollo gracias al programador ST-LINK V2. Los ensayos permitieron imprimir distintos valores y palabras en la pantalla LCD y verificaron la correcta integración de la misma a la placa de desarrollo mediante el uso de su respectiva librería de funciones. Tanto la fuente *switching* como el multímetro permitieron energizar el banco de pruebas, verificar las conexiones y el consumo energético de la pantalla LCD.



FIGURA 4.1. Elementos del banco de pruebas para pantalla LCD.

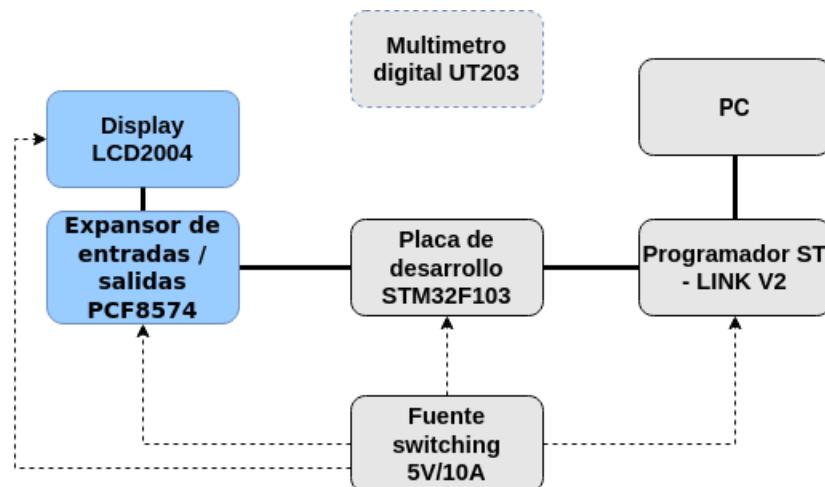


FIGURA 4.2. Conexionado de banco de pruebas para pantalla LCD.

## 4.2. Pruebas unitarias sobre el motor paso a paso

Para los ensayos sobre el motor paso a paso se tomó como base el banco de pruebas de la figura 4.3 y se montó un esquema de conexionado como el de la figura 4.2, pero reemplazando algunas partes. Para estas pruebas, se utilizaron los siguientes elementos:

- Placa de desarrollo STM32F103.
- Programador ST-LINK V2.
- Multímetro digital UT203.
- Fuente *switching* 5 V/10 A.
- Fuente *switching* 12 V/10 A [36].
- Motor paso a paso SC42STH47-1504-01AF.
- Driver A4988.
- PC con el entorno de desarrollo STMCubeIDE [35].



FIGURA 4.3. Banco de pruebas para motor paso a paso.

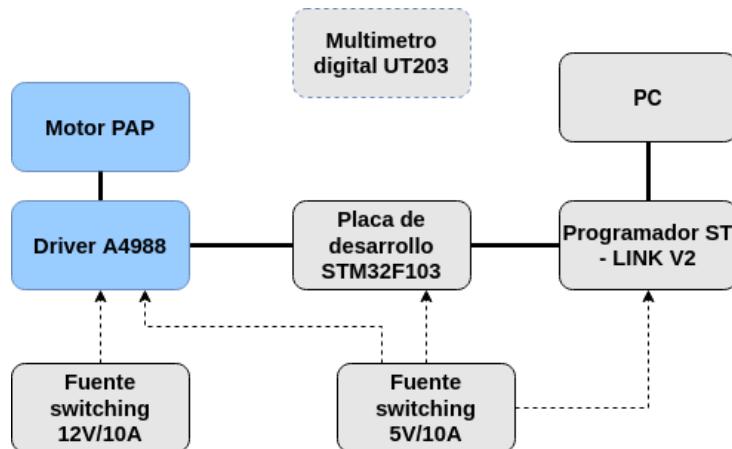


FIGURA 4.4. Conexión del banco de pruebas para motor paso a paso.

Los códigos generados y probados sobre el banco de pruebas de la figura 4.4 permitieron verificar la configuración de interrupciones por desborde del timer, los pasos correctos para poder generar un cambio de velocidad de giro del motor y verificar la integración de la placa de desarrollo con el driver A4988 para actuar sobre el motor paso a paso. Como complemento, se ejecutaron pruebas para validar los cambios de velocidad de giro del motor.

### 4.3. Pruebas unitarias sobre el encoder rotativo

Los ensayos para verificar la integración del encoder rotativo con la placa de desarrollo se realizaron sobre un banco de pruebas que integraba:

- Placa de desarrollo STM32F103.
- Programador ST - LINK V2.
- Multímetro digital UT203.
- Fuente *switching* 5 V/10 A.
- PC con el entorno de desarrollo STMCubeIDE.
- Encoder rotativo KY - 040.
- Tres LED 5 mm.

A partir de los elementos observados en la figura 4.5, las pruebas realizadas sobre el esquema de la figura 4.6 verificaron que los movimientos del encoder rotativo eran recibidos correctamente por parte de la placa de desarrollo. Como testigo de la interconexión de dichos componentes, se conectaron tres leds para visualizar cuando el eje del encoder rotaba a la izquierda, cuando rotaba a la derecha y cuando era presionado.

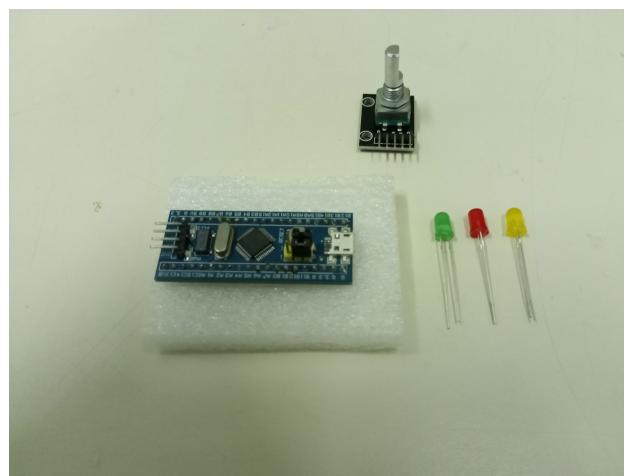


FIGURA 4.5. Elementos del banco de pruebas para el encoder rotativo.

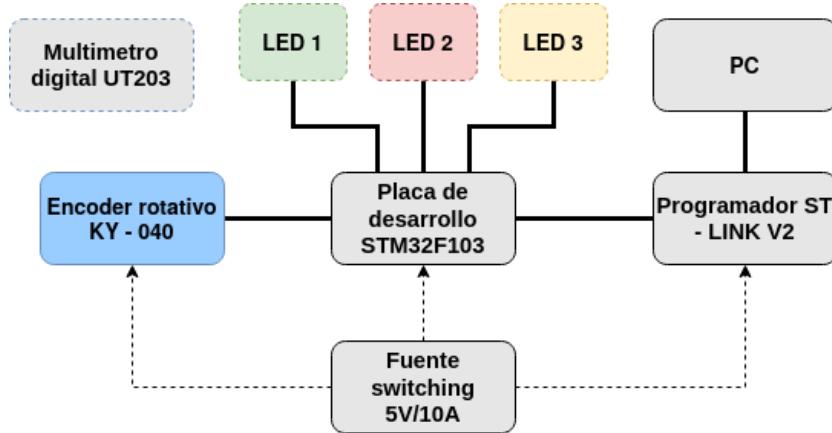


FIGURA 4.6. Conexionado del banco de pruebas para encoder rotativo.

#### 4.4. Pruebas unitarias sobre el control de temperatura

A partir de los bancos de pruebas de la sección 4.1 y 4.3, se diseñó una combinación, como se muestra en la figura 4.7, con el objetivo de verificar:

- Que la etapa extrusora de filamento lograra llegar a la temperatura preconfigurada por código.
- Verificar si la temperatura alcanzada era precisa.
- Visualizar las variaciones de temperatura ante cambios de configuración por parte del usuario.

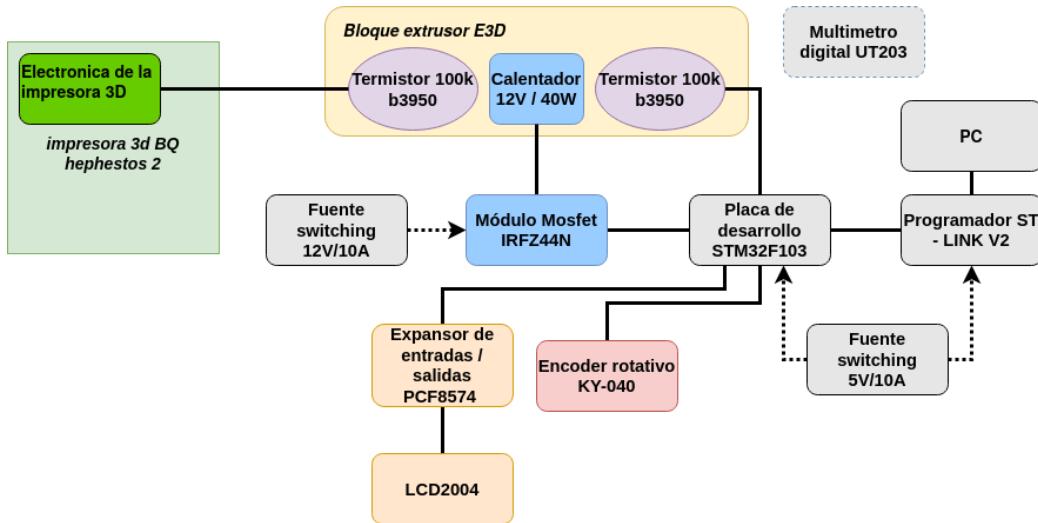


FIGURA 4.7. Banco de pruebas para el control de temperatura del extrusor.

Los elementos utilizados en el banco de pruebas son:

- Una fuente *switching* 12 V/10 A.
- Una fuente *switching* 5 V/3 A.
- Multímetro digital UT203.

- Un módulo mosfet IRFZ44N.
- Un calentador 12 V / 40 W.
- Un termistor NTC 100k b3950.
- Una pantalla LCD2004.
- Un expansor de entradas y salidas PC PCF8574.
- Un encoder rotativo KY-040.
- Un bloque extrusor de aluminio E3D [37].
- Una impresora 3D BQ hepestos 2 [38].

La inclusión de una impresora 3D en el banco de pruebas sirvió para contrastar los valores de temperatura. Se retiró el termistor de la impresora 3D de su bloque extrusor pero sin desconectarlo eléctricamente. El extremo del termistor se unió al bloque extrusor del banco de pruebas junto al termistor propio del banco. De esta manera, se monitoreó el valor de temperatura que alcanzaba el bloque extrusor a partir del sistema de control de la impresora 3D. Luego, se ejecutó la misma prueba, pero se reemplazó el termistor de la impresora 3D por la sonda de temperatura del multímetro UT203.

Los resultados de los ensayos permitieron corroborar que el control de temperatura creado respondía de manera adecuada para la aplicación.

#### 4.5. Pruebas unitarias de integración

Luego del ensamblaje del equipo y de los resultados de las pruebas realizadas sobre las etapas que componen el equipo, se ejecutaron pruebas complementarias:

- Se navegó por el menú de configuración del equipo para verificar que existía una correcta visualización de cada pantalla del menú.
- Se hicieron cuatro pruebas relacionadas con la temperatura de trabajo del extrusor: se configuró la temperatura a 100°C, a 150°C, a 200°C y a 240°C. En cada prueba, el equipo alcanzó la temperatura objetivo y la mantuvo en un rango de variación de 4°C aproximadamente. Como complemento, se verificó que la temperatura se mantenía en los rangos normales a lo largo del tiempo.
- Se seleccionó cada opción de velocidad de recolección de filamento para verificar el correcto cambio de la misma. Luego de este paso, se elevó la temperatura de trabajo a 240°C y se repitió el repaso de velocidades de recolección. La prueba arrojó que la etapa colectora de filamento y la etapa extrusora funcionaban correctamente cuando ambas estaban a pleno funcionamiento.
- Se configuró la temperatura de extrusión a 150°C, la velocidad de recolección de filamento a 100 mm/min y se comenzó a procesar una tira PET para evaluar el funcionamiento de las alarmas cuando la etapa extrusora y colectora estaban en funcionamiento. El ensayo entregó que, al existir contacto

entre el filamento procesado y el sensor de filamento (microswitch) las alarmas no reaccionaban si no eran configuradas por el usuario y se activaban en caso contrario.

## 4.6. Comparación con productos similares

El equipo ensamblado permitió realizar una comparación con los dispositivos presentados en la tabla 1.2. Respecto al material procesado, el equipo trabaja con los mismos tipos de botellas plásticas que el dispositivo de ReitenDesign y el de JRT 3D. Respecto al montaje y a las dimensiones físicas logradas, el resultado es comparable únicamente con las dimensiones de JRT 3D.

Una ventaja del dispositivo desarrollado es la posibilidad de expandir las líneas de generación de filamento debido al diseño del menú de configuración (existe la posibilidad de ampliar las opciones a configurar) y la cantidad de puertos sobrantes sobre la placa de desarrollo.



## Capítulo 5

# Conclusiones

### 5.1. Resultados obtenidos

El presente trabajo surgió de la necesidad de generar un mecanismo para articular el reciclaje de plásticos y la innovación tecnológica del diseño 3D en las instituciones educativas. Se logró diseñar e implementar un prototipo de un equipo que transforma el plástico PET de botellas descartables en filamento para uso en impresoras 3D.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos, el prototipo permite efectivamente procesar el plástico de botellas PET para transformarlo en filamento apto para uso en impresoras 3D. Además, la interfaz de usuario permite el control de los distintos módulos del proyecto de forma fácil y clara. En cuanto a los objetivos no alcanzados, no se logró el almacenamiento de los metros de filamento generados. Al consultar, el cliente manifestó que esa característica no era de real importancia en el resultado final, con lo cual, fue descartado con su debido aval.

En el desarrollo de este prototipo se aplicaron muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de especialización. Entre los conocimientos aplicados, se pueden destacar los adquiridos en las siguientes asignaturas:

- Gestión de proyectos: seguir un plan de proyecto desde el comienzo hizo posible identificar desvíos y tomar medidas correctivas para poder cumplir con el alcance del proyecto.
- Ingeniería de software: se aplicaron conceptos de modularización y reutilización de código, uso de patrones de diseño y control de versiones.
- Protocolos de comunicación en sistemas embebidos: se utilizaron protocolos de comunicación mediante bus I2C lo que posibilitó afianzar así los conocimientos sobre la temática.
- Programación de microprocesadores: Se aplicaron conocimientos sobre el uso de placas de desarrollo con procesadores ARM y el uso de librerías específicas, tanto provistas por el fabricante como algunas creadas para el proyecto.

### 5.2. Trabajo futuro

Con el objetivo de producir más filamento reduciendo los tiempos requeridos, se pueden identificar las siguientes oportunidades de mejora y ampliación:

- Agregar una segunda etapa extrusora y de recolección de filamento.
- Ampliar la interfaz de usuario para el manejo de los agregados comentados en el ítem anterior.
- Desarrollar un módulo de soldadura para unir dos filamentos creados y lograr una extensión mayor de la lograda en la actualidad.

# Bibliografía

- [1] Area Tecnología. *Impresoras 3D*.  
<https://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>. Oct. de 2022. (Visitado 22-10-2022).
- [2] BCN 3D. *Tipos de impresoras 3D y técnicas de impresión: una rápida visión en conjunto*. <https://www.bcn3d.com/es/tipos-de-impresoras-3d-y-tecnicas-de-impresion-una-rapida-vision-en-conjunto/>. Ago. de 2021. (Visitado 19-08-2022).
- [3] IT User. *La impresión 3D comienza a recuperarse del impacto de la pandemia*. <https://www.ittrends.es/infraestructura/2022/01/la-impresion-3d-comienza-a-recuperarse-del-impacto-de-la-pandemia>. Ene. de 2022. (Visitado 31-10-2022).
- [4] Servei Estació. *¿Qué es el PET? Características, usos y aplicaciones*. <https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/>. Jul. de 2021. (Visitado 07-07-2022).
- [5] OECD. *Mejores políticas para una vida mejor*. <https://www.oecd.org/acerca/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [6] Catherine Bremer. *La contaminación por plástico crece sin cesar, en tanto que la gestión de residuos y el reciclaje se quedan cortos, dice la OCDE*. <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/perspectivas-globales-del-plastico.htm>. Feb. de 2022. (Visitado 31-10-2022).
- [7] OCDE. *Los residuos plásticos mundiales casi se triplicarán en 2060, afirma la OCDE*. <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/losresiduosplasticosmundialescasisetriplicaranen2060afirmalaocde.htm>. Jun. de 2022. (Visitado 03-06-2022).
- [8] Ecoplas. *Contenido de plástico reciclado en productos*. <https://ecoplas.org.ar/conocimiento-abierto/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [9] B-PET. *Where others see waste, we see a wasted opportunity*. <https://bpetylament.com/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [10] RE-PET. *Recycled filament*. <https://re-pet3d.com/about/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [11] GST3D. *Welcome to GST3D*. <https://gst3d.us/pages/about-us>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [12] Reiten Design. *Polyformer*. <https://www.reiten.design/polyformer>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [13] Joshua Taylor. *The Recreator 3D*. <http://jrt3d.com/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [14] ARTME 3D. *Original Desktop Filament Extruder MK1*. <https://www.artme-3d.de/>. Oct. de 2022. (Visitado 01-10-2022).
- [15] ST Microelectronics. *Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 64 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN*. Disponible: 2022-03-25. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-micropocessors/stm32f103c8.html>.

- [16] Maker Store. *Thermistor – 100K NTC 3950*. Disponible: 2022-04-22. URL: <https://www.makerstore.com.au/product/3d-therm-ntc3950/>.
- [17] OMEGA. *¿Qué es un termistor?* Disponible: 2022-03-25. URL: <https://es.omega.com/prodinfo/termistores.html>.
- [18] DF Robot. *DFRobot I2C LCD1602 Arduino LCD Display Modules*. Disponible: 2022-03-25. URL: <https://ar.mouser.com/new/dfrobot/dfrobot-lcd1602-display-modules/>.
- [19] Displaytech. *Character LCD Module Product Specification 204G CC BC-3LP*. Disponible: 2022-03-25. URL: <https://ar.mouser.com/datasheet/2/1015/204G-CC-BC-3LP-Displaytech-Spec-1664794.pdf>.
- [20] NXP Semiconductors. *Remote 8-bit I/O expander for I2C-bus with interrupt*. Disponible: 2022-03-25. URL: <https://www.nxp.com/part/PCF8574T#/>.
- [21] SunCor Motor. *1.8° Square 42mm (NEMA17) 2 Phase Hybird Stepper Motor*. Disponible: 2022-05-27. URL: [http://www.suncormotor.com/products/hybrid\\_stepper\\_motor/2\\_phase/1\\_8\\_square\\_42mm\\_nema17\\_2\\_phase\\_hybrid\\_stepper\\_motor.html](http://www.suncormotor.com/products/hybrid_stepper_motor/2_phase/1_8_square_42mm_nema17_2_phase_hybrid_stepper_motor.html).
- [22] Pololu Robotics. *A4988 Stepper Motor Driver Carrier*. Disponible: 2022-05-27. URL: <https://www.pololu.com/product/1182>.
- [23] Luis Llamas. *Medir el ángulo y sentido de giro con Arduino y encoder rotativo*. Disponible: 2016-09-27. URL: <https://www.luisllamas.es/arduino-encoder-rotativo/>.
- [24] Components 101. *KY-040 - Rotary Encoder Module*. Disponible: 2022-05-27. URL: <https://components101.com/modules/KY-04-rotary-encoder-pinout-features-datasheet-working-application-alternative>.
- [25] Max Electrónica. *MOSFET Canal N Modelo IRFZ44N*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://maxelectronica.cl/componentes-electronicos/318-mosfet-canal-n-modelo-irfz44n.html>.
- [26] Zona Maker. *Los finales de carrera*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora/13-crea-imp-endstop>.
- [27] RepRap. *Thermistor*. Disponible: 2019-06-27. URL: <https://reprap.org/wiki/Thermistor>.
- [28] The RepRap Project Code. *Creates a C code lookup table for doing ADC to temperature conversion on a microcontroller*. Disponible: 2022-10-27. URL: [https://sourceforge.net/p/reprap/code/HEAD/tree/trunk/old\\_files/firmware/Arduino/utilities/createTemperatureLookup.py](https://sourceforge.net/p/reprap/code/HEAD/tree/trunk/old_files/firmware/Arduino/utilities/createTemperatureLookup.py).
- [29] RepRap. *Welcome to RepRap.org*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://reprap.org/wiki/RepRap>.
- [30] Python Software Foundation. *Python*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.python.org/>.
- [31] Ing. Nicolás Vargas Alice. *Manual técnico Proyecto PlasticBot*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://docs.google.com/document/d/1KuLW1y2hegdKVkGHPJq1wev-1CASYNgdPW9fUnMxgE4/edit?usp=sharing>.
- [32] ST Microelectronics. *ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html>.
- [33] Tool Boom. *Pinza amperimétrica UNI-T UT203*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://toolboom.com/es/digital-clamp-meter-uni-t-ut203/>.

- [34] WI Automation. *RS-15-5 Mean Well*. Disponible: 2022-10-27. URL: [https://ar.wiautomation.com/mean-well/fuente-de-alimentacion/RS155?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZh9pkRwy9yFfN\\_y96hn6nRERALj8F7EgNgi5ARwvRzg9ILkYBgzBoCnbgQAvD\\_BwE](https://ar.wiautomation.com/mean-well/fuente-de-alimentacion/RS155?gclid=CjwKCAjwzY2bBhB6EiwAPpUpZh9pkRwy9yFfN_y96hn6nRERALj8F7EgNgi5ARwvRzg9ILkYBgzBoCnbgQAvD_BwE).
- [35] ST Microelectronics. *Integrated Development Environment for STM32*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>.
- [36] Seguridad Total. *Fuente Switching 12V/10A Protección contra sobrevoltaje, sobreconsumo y cortocircuito para 16 cámaras en simultáneo*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.seguridadtotal.com.ar/productos/fuentes-de-alimentacion-fuentes/1307-switching-12v10a-cc-hasta-16-camaras>.
- [37] Ingia Automatización. *Bloque de aluminio hotend E3D PT100*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://ingia.com.ar/producto/bloque-de-aluminio-hotend-e3d-pt100/>.
- [38] Impresoras 3D, everything to create. *La nueva Prusa i3 de BQ: Hephestos 2*. Disponible: 2022-10-27. URL: <https://www.impresoras3d.com/la-nueva-prusa-i3-de-bq-hephestos-2/>.