



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

*SECADOR CON CÁMARA DE VACÍO PARA ALMACENAJE E IMPRESIÓN DE  
MATERIALES PARA IMPRESIÓN 3D*

**AUTOR:** ERICK ANDRÉS ESPINOSA FUENTES

**DIRECTOR:** MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO

**ASESOR:** PHD. DAVID ALBERTO OJEDA PEÑA, ING

**ASESOR:** ING. JONATHAN XAVIER LIMA TRUJILLO

**IBARRA – ECUADOR**

**2022**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

## AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	172048136-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Espinosa Fuentes Erick Andres		
<b>DIRECCIÓN:</b>	13 de abril y Otavalo 26-75		
<b>EMAIL:</b>	eaespinosaf@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062611327	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0961000471

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“Secador con cámara de vacío para almacenaje e impresión de materiales para impresión 3D”
<b>AUTOR (ES):</b>	Espinosa Fuentes Erick Andres
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	23/02/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero en Mecatrónica
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Msc Iván Iglesias Navarro, Ing.

## CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo sin violar derechos de autores de terceros, por lo tanto, la obra es original, y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes febrero de 2022

### EL AUTOR



---

Nombre: Erick Andres Espinosa Fuentes

Cédula: 172048136-3

## CERTIFICACIÓN

MSC. IVÁN IGLESIAS NAVARRO, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

En calidad de tutor del presente Trabajo de Grado titulado: **“SECADOR CON CÁMARA DE VACÍO PARA ALMACENAJE E IMPRESIÓN DE MATERIALES PARA IMPRESIÓN 3D”**, certifico que fue desarrollado por el señor Erick Andrés Espinosa Fuentes, bajo mi supervisión.

IVAN  
IGLESIAS  
NAVARRO

Digitally signed by  
IVAN IGLESIAS  
NAVARRO  
Date: 2022-02-07  
09:28-05:00

---

MSc. Iván Iglesias, Ing.

DIRECTOR DEL PROYECTO

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón entero este trabajo de titulación a toda mi familia. Principalmente a mis padres que han sido un pilar fundamental dentro de toda mi formación personal y profesional.

A Dios por haberme permitido llegar a culminar los objetivos planteados con anhelo desde el principio de la carrera, que me proporcionó salud y las mejores condiciones para culminar este gran paso.

A mis padres Javier y Adriana que con su ayuda, motivación y dedicación por mi porvenir y apoyo para salir adelante me hicieron ver que siempre se puede lograr lo que se proponga alguien. Que con sus valores, enseñanzas y apoyo con un gran e infinito amor a sus hijos me hacen agradecerles cada día a Dios por ser tan buenos padres.

A mi abuela Maria Luisa que siempre trabajó y luchó porque nada nos haga falta hasta en los momentos más adversos, que quiere a su hijo y nietos con gran amor y hace cualquier cosa por ellos.

A mi tía Lucía que me ve desde el cielo y que fue una gran inspiración en cada paso de superación y pasión por aprender que siempre fue un motivo para que ella me vea orgullosa al final de este logro que con orgullo se lo dedico para poder conseguir muchos más.

Erick Andres Espinosa Fuentes

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional durante toda mi carrera y mi día a día.

A Dios que con su infinito amor me ayudó en cada paso a realizar este sueño que no muchos podemos cumplir.

A la Universidad Técnica del Norte por haberme dado la oportunidad de expandir mis conocimientos y contar con docentes que han sido atentos y leales a mi formación profesional.

Agradezco a mi abuela por apoyo incondicional en mi formación profesional.

Agradecimientos especiales a mi padre por su ayuda en la construcción del dispositivo.

Y por último a todas las personas que formaron parte de mi formación profesional amigos y compañeros que me ayudaron a la construcción de este proyecto y durante mi carrera para su culminación.

Erick Andrés Espinosa Fuentes

## RESUMEN

Este trabajo tiene el propósito de presentar el desarrollo de un dispositivo de secado y almacenaje para materiales de impresión 3D que sea capaz de eliminar en la mayor parte la humedad de varios tipos de materiales para fabricación aditiva, monitoreando la temperatura dentro de la cámara de secado, así como la humedad relativa presente, además de poseer la capacidad de almacenaje en una cámara de vacío para una bobina de filamento para impresión 3D en un estado controlado y libre de humedad. El dispositivo también es capaz de secar el material de impresión 3D mientras una impresión 3D está en curso ya que la bobina puede girar dentro de la cámara de secado por el proceso de extrusión de material hacia la impresora 3D, manteniendo así el material en ambiente controlado antes del proceso de impresión 3D también, en la cámara de vacío, para que no pueda absorber humedad del ambiente en el proceso. El dispositivo permite su control y configuración a través de una pantalla TFT con un HMI (Interfaz Humano Máquina) el cual tiene ciclos de secado preprogramados para diversos tipos de material y también la opción de poder configurar estos manualmente, tanto en tiempo y temperatura que se desee dentro de rangos específicos a los que trabaja el dispositivo. Se realiza un análisis del funcionamiento del dispositivo en base a los objetivos establecidos y se presenta los resultados obtenidos, así como recomendaciones para su uso dependiendo del material y las características de estos.

## **ABSTRACT**

This work has the purpose of show the development of a drying and storage device for 3D printing materials that can remove most of the moisture from diverse types of materials for additive manufacturing, monitoring the temperature inside the drying chamber, as well as the relative humidity present, in addition to having the storage capacity in a vacuum chamber for a coil of filament for 3D printing in a controlled state and free of humidity. The device is also capable of drying the 3D printing material while a 3D print is in progress as the coil can rotate inside the drying chamber by the material extrusion process towards the 3D printer, thus keeping the material in a controlled environment. before the 3D printing process, in the vacuum chamber, so that it cannot absorb humidity from the environment in the process. The device allows its control and configuration through a TFT screen with an HMI (Human Machine Interface) which has pre-programmed drying cycles for various types of material and the option of being able to configure these manually, both in time and temperature that are want within specific ranges at which the device works. An analysis of the operation of the device is carried out based on the established objectives and the results obtained are presented, as well as recommendations for its use depending on the material and its characteristics.



# Índice General

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD	
TÉCNICA DEL NORTE .....	II
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
INTRODUCCIÓN .....	13
Problema.....	13
Objetivos.....	15
<b>Objetivo General</b> .....	15
<b>Objetivos Específicos</b> .....	15
Alcance .....	16
Justificación .....	18
CAPÍTULO I.....	19
1.    MARCO TEÓRICO.....	19
1.1    La Fabricación Aditiva .....	19
1.2    Características del material para impresión 3D.....	19
•    Los ABS .....	20
•    EL PLA.....	20
•    El PVA.....	20
•    El PET.....	21
•    Las Resinas .....	21
•    Los plásticos flexibles y los cauchos .....	21
1.3    Trabajos previos relacionados al proyecto .....	21
1.4    Control de Temperatura.....	22
1.5    Control de Humedad en materiales de impresión 3D.....	22
1.6    Microcontrolador .....	23
1.7    Software.....	25
1.8    HMI .....	25
1.9    Dimensionamiento de Carretes para bobinado de Filamento para impresión 3D .....	26
CAPÍTULO II .....	29
2    MARCO METODOLÓGICO.....	29
2.1    Principales consideraciones para el sistema .....	29

2.2	Modelo Conceptual del sistema.....	30
2.3	Estructura Física .....	31
2.4	Selección de los parámetros de control y supervisión.....	32
2.4.1	Variables de medición.....	32
2.4.2	Actuadores Para Controlar .....	33
2.5	Hardware del Sistema local .....	33
2.6	Adquisición de datos del sistema.....	34
2.6.1	Medición de temperatura de la lámina calefactora de poliimida .....	34
2.6.2	Medición de temperatura de la cámara de secado.....	35
2.6.3	Medición de humedad relativa de la cámara de secado .....	36
2.7	Tarjeta principal del sistema.....	36
2.7.1	Lógica de la tarjeta principal.....	37
2.8	Adquisición y preprocesamiento de datos .....	37
2.9	Control de Actuadores .....	38
2.9.1	Control de la lámina calefactora de poliimida .....	38
2.10	Descripción y clasificación de funciones.....	38
2.10.1	Funciones Generales.....	38
2.10.2	Funciones Especiales .....	38
2.10.3	Funciones de calibración .....	39
2.10.4	Funciones de seguridad .....	39
2.10.5	Otras funciones .....	39
2.10.6	Función de Almacenaje al Vacío.....	39
2.10.7	Función de Calentamiento de la lámina de poliimida .....	40
2.11	Visualización y HMI.....	41
CAPÍTULO III.....		42
3	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	42
3.1	Implementación del Hardware.....	42
3.1.1	Conexión de entradas y Salidas en la tarjeta principal.....	43
3.1.2	Ubicación de los Sensores.....	44
3.2	Consideraciones para el uso del sistema a largo plazo.....	45
3.2.1	Uso en temperatura bajas .....	45
3.2.2	Importancia del sellado en la cámara de secado .....	45
3.2.3	Importancia del guardado al Vacío con GEL SILICA.....	45
3.3	Descripción General del HMI.....	45

3.3.1	Pantalla de inicio .....	46
3.3.2	Pantalla de control manual .....	46
3.3.3	Pantalla de control automático .....	47
3.3.4	Pantalla de ciclo de secado.....	48
3.4	Evolución del ciclo de Secado.....	48
3.4.1	Calibración del Ciclo de Secado de los diferentes tipos de Materiales.....	48
3.4.2	Humedad Relativa durante los Ciclos de Secado.....	49
3.4.3	Precisión en la medición de temperatura de la Cámara de Secado .....	49
3.4.4	Porcentaje de humedad Eliminada de los Materiales de impresión 3D .....	50
3.4.5	Almacenaje de Bobinas al Vacío .....	50
3.5	Resultados del Dispositivo .....	51
3.6	Resultados sobre los Materiales de Impresión 3D.....	53
3.7	Limitaciones .....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		56
Conclusiones.....		56
Recomendaciones .....		57
Referencias.....		58

## Índice de Tablas

Tabla 1-1. Porcentaje de absorción de humedad para diferentes plásticos [6] .....	23
Tabla 1-2 Dimensiones de Carretes comerciales de la compañía Ningbo Beilun Tiaoyue Machine Co., Ltd [15].....	27
Tabla 2-1 Variables a medir y su función en el sistema .....	33
Tabla 3-1 Resultados del dispositivo .....	52
Tabla 3-2 Tiempos de Secado y Temperatura para materiales de Impresión 3D .....	54

## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Ecuación 1 Steinhart-Hart .....	41
--	----

# Índice de Figuras

Fig. 1-1 Esquema básico de un microcontrolador.....	24
Fig. 2-1 Modelo conceptual del sistema .....	30
Fig. 2-2 Diseño preliminar de la estructura de la cámara de secado.....	31
Fig. 2-3 Diseño preliminar de la estructura de la bomba de vacío.....	32
Fig. 2-4 Bloques del Hardware del Sistema.....	34
Fig. 2-5 Sensor 3950 NTC epoxi .....	35
Fig. 2-6 Representación de la ubicación de los sensores de temperatura en la cámara de secado .....	35
.....	
Fig. 2-7 Sensor de Humedad relativa y Temperatura DHT-22 y sus terminales .....	36
Fig. 2-8 Diagrama de la tarjeta principal para la lectura de datos y control de actuadores .....	37
Fig. 3-1 Dispositivo de Secado construido y bomba de vacío .....	43
Fig. 3-2 Conexiones de la tarjeta principal .....	43
Fig. 3-3 Localización Termistor de la base del Secador .....	44
Fig. 3-4 Localización del Sensor de Humedad DHT22 .....	44
Fig. 3-5 Visualización Menú de Inicio.....	46
Fig. 3-6 Ventana de Control Manual.....	46
Fig. 3-7 Ventana de Control Automático .....	47
Fig. 3-8 Ventana de Ciclo de Secado .....	48
Fig. 3-9 Gráfica de datos durante un Ciclo de Secado del Dispositivo.....	49
Fig. 3-10 Gráfica de % de Humedad eliminada por el Dispositivo .....	50
Fig. 3-11 Bobina Sellada al Vacío .....	51
Fig. 3-12 Impresión con material Húmedo .....	54
Fig. 3-13 Impresión con material después del Secado .....	55

## INTRODUCCIÓN

### Problema

Luego de realizar varias prácticas de prototipado rápido e impresión 3D en los laboratorios de prototipado rápido de la Universidad Técnica del Norte, se evidencia la falta de un dispositivo que ayude a mejorar la calidad de impresión 3D y a cuidar los equipos de dicho laboratorio.

La tecnología de impresión 3D es el proceso por el cual, se hace un objeto tridimensional, casi de cualquier forma, a partir de un modelo 3D, básicamente bajo un proceso de adición de material. Es por eso por lo que también se denomina manufacturera aditiva. Esto es, el objeto formado por la superposición de capas de material que se agregan una y una. [1]

Los usuarios de una impresora 3D que llevan un nivel medio de conocimientos saben la importancia de mantener el filamento libre de humedad, ya que es una fuente de problemas habituales. Detectar el problema de la humedad es sencillo ya que el acabado de la pieza que se imprime es blando y con muchos poros, además, durante la impresión se escuchan unas mini explosiones, producidas al evaporarse repentinamente el agua del interior del filamento a la salida del extrusor. Esta agua puede llegar a oxidar ciertos elementos del extrusor, como los nozzles de acero endurecido. [2]

El diseño de un dispositivo capaz de romper los enlaces intermoleculares entre el agua y el polímero, para esto se propone la utilización de los materiales higroscópicos que son propensos a absorber agua en gran medida, ya que las moléculas de agua se unen a las moléculas de los polímeros, formando fuertes enlaces intermoleculares. Ciertos materiales, como los Nylons, tienden a ganar gran cantidad de humedad en poco tiempo y necesitan ser secados aplicando calor sobre ellos, debido a la dificultad que supone romper los enlaces intermoleculares tan fuertes que

los forman, ya que se saturan antes de conseguir reducir lo suficiente los valores de humedad del filamento (menos del 20%). [3]

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Diseñar un secador con cámara de vacío para almacenaje e impresión para materiales de impresión 3D para el laboratorio de prototipado rápido de la Universidad Técnica del Norte.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las características principales de ingeniería para el diseño del secador.
- Diseñar el modelo y sistema de control del equipo mediante herramientas computacionales de simulación.
- Validar el secador con cámara de almacenaje de materiales de impresión 3D mediante pruebas de campo.
- Diseñar un sistema HMI automatizado para el secado de cada tipo de material.

## **Alcance**

El presente trabajo de grado desarrollará e implementará el diseño y la automatización de un dispositivo capaz de conservar diferentes materiales de impresión 3D en su interior, además de dar datos de cada tipo de material que pretenda secarse y almacenarse. A través del diseño de los elementos de sistema mecánico, eléctrico, electrónico del equipo e información recabada, se realizará un nuevo diseño adaptado a los requerimientos que quieren cubrir.

Contará con la capacidad de almacenaje de 1 bobina de filamento de material para impresión 3D y 1 bobina que estará en uso mientras este activo el proceso de impresión y secado. El diseño, automatización y control de calidad de impresión luego del secado permitirá aumentar los niveles de calidad de las impresiones y conservar los elementos de impresión. Dentro del proceso de ingeniería se diseña el sistema mecánico para adaptarlo a los diferentes diámetros y pesos de las bobinas estándar, requeridos para poder usarse con cualquier marca o modelo de los diferentes fabricantes; además, se diseña un sistema de control automático para cada tipo de material, para que sea manejado por el usuario con la mayor facilidad mediante una interfaz con un proceso eficiente controlado por un microprocesador que tenga perfiles para cada tipo de material de impresión 3D y sea muy amigable con el usuario. Al tener todos los diseños mecánicos, diagramas y diseños electrónicos y diagramas de control se deriva la construcción del diseño del dispositivo, para realizar pruebas y complementar el proceso de secado y almacenaje para la validación y funcionamiento del equipo.

Finalmente, se entregarán los nuevos planos mecánicos, electrónicos y eléctricos del dispositivo, en conjunto con el código de programación pertinente de dispositivo de control, añadido al manual de funciones que detalla el funcionamiento adecuado del equipo y



mantenimiento preventivo del mismo y una ficha del dispositivo con todos los detalles técnicos necesarios.

## **Justificación**

Las tendencias tecnológicas en la manufactura marcadas por el internet de las cosas, la inteligencia artificial, la robotización y la analítica de grandes datos, están transformando los procesos industriales. Adaptarse a una nueva industria, a un nuevo modo de realizar las actividades industriales y potenciarlos mediante nuevas tecnologías que benefician a los usuarios a imprimir en óptimas condiciones y proteger sus máquinas, a base de requerimientos que permiten optimizar el trabajo en la industria, en este caso de la impresión 3D. [4]

Ante la necesidad evidente de un dispositivo capaz de optimizar la calidad de impresión y elevar la duración de los equipos de prototipado rápido e impresión 3D, el implemento de este dispositivo beneficiaria a la Universidad Técnica del Norte que estará al tanto del cuidado de los quipos y la calidad de impresión evitando así pérdidas a largo plazo.

La implementación de este dispositivo permitirá obtener una mejor calidad para el material de impresión y un estado constante de registro de los materiales a usar o anteriormente utilizados, así como evitar que los equipos de los laboratorios de mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte se deterioren por cualquier circunstancia prevenible. [3]

Por otro lado, la aplicación de la norma internacional ISO 9001 de sistema de Gestión de Calidad, en las empresas permite seguir un plan estratégico óptimo para realizar la potenciación de los dispositivos de consumo personal mediante la automatización de procesos con el uso de instrumentos tecnológicos efectivos para el cumplimiento de las necesidades de los usuarios como de las empresas. [5]

## **CAPÍTULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se analizan todos los conceptos necesarios para desarrollar el dispositivo secador de material de impresión 3D, teniendo en cuenta los diferentes tipos de material, la instrumentación, software, HMI, electrónica y parámetros importantes de los ciclos de secado para cada diferente tipo de material. Este es el punto de partida para un buen diseño del proyecto a realizar.

#### **1.1 La Fabricación Aditiva**

Es el nombre técnico que engloba todas las tecnologías de impresión 3D, se trata de la fabricación de objetos tridimensionales por aportación de material en vez de sustracción. En impresión 3D, partiendo de un archivo digital (modelo 3D), se utilizan diferentes procesos aditivos en los que se aplican capas sucesivas de materia para crear un objeto tangible. [2]

Si bien existen numerosos procesos de impresión 3D, todos tienen en común que los objetos se producen a base de superposición de capas sucesivas. Esta técnica recibe el nombre de fabricación “aditiva”, pues se lleva a cabo mediante la adición de materia: el objeto cobra forma a medida que las capas se solidifican. [1]

#### **1.2 Características del material para impresión 3D**

Los principales materiales utilizados en la actualidad en impresión 3D se dividen en 2 grandes familias: plásticos y metales.

Las impresoras personales imprimen sobre todo a partir de dos tipos de plásticos: el ABS y el PLA; pero algunos modelos que funcionan por depósito de filamento fundido (FDM) admiten materias alimentarias: chocolate, queso y glaseado de azúcar, entre otros. [1]

El material empleado es un filamento enrollado en una bobina. Según la impresora puede ser de un diámetro u otro, los más comunes son de 3mm, 2,85mm y 1,75mm. Por este motivo se dice que las impresoras 3D se basan en el método FFF (Fabricación por Filamento Fundido). [6]

Entre varios de los materiales de impresión 3D plásticos y sus características tenemos:

- **Los ABS**

Según Berchón en [1]. El ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), perteneciente a la familia de los termoplásticos, es uno de los materiales más populares en impresión 3D.

El ABS tiene un punto de fusión entre los 200 y 250 °C, puede soportar temperaturas relativamente bajas (hasta -20°C) y elevadas (80°C).

No es biodegradable, al contrario que el PLA. Resiste bien a los golpes gracias a la estructura elastómera de polibutadieno, y ofrece un resultado muy atractivo, con una superficie lisa y brillante.

- **EL PLA**

El PLA (poliácido láctico). Este último, que se funde a una temperatura comprendida entre 160 y 220°C, es más difícil de manipular que el ABS, ya que se enfría y endurece con gran rapidez. Cuenta con excelentes propiedades medioambientales. Es procedente del almidón de maíz, es biodegradable y compostable. [1]

- **El PVA**

El Alcohol Polivinílico es el plástico que se utiliza normalmente como material de soporte en las impresiones en PLA, ABS o depósito de filamento fundido. Es biodegradable, se disuelve tras la impresión y cada vez se le encuentran más aplicaciones En el ámbito de las impresoras con múltiples cabezales de impresión. [1]

- **El PET**

El poli tereftalato de etileno es un plástico de tipo poliéster saturado, procedente del petróleo. Mas solido que el ABS, está más indicado para la impresión de artículos funcionales que exijan un tiempo de solidez y flexibilidad. Se funde a una temperatura aproximada de 220°C. [1]

- **Las Resinas**

Constituyen el tercer gran tipo de material utilizado habitualmente en impresión 3D. Son polímeros termoestables, estos materiales poseen diversas características que los hacen muy útiles en muchos campos de la ingeniería; por ejemplo, son resistentes a la permeación de gases, tienen alta rigidez, son poco dúctiles y soportan altas temperaturas. [6]

- **Los plásticos flexibles y los cauchos**

Los materiales flexibles permiten reproducir el comportamiento y el tacto del caucho o de la goma, y crear objetos dúctiles. Ninjaflex es un termoplástico elastómero que permite imprimir artículos flexibles con una impresora personal. Se extrusiona a una temperatura comprendida entre 210 y 225 °C, y se deposita sobre una bandeja de impresión térmica a 30 o 40 °C. [1]

### **1.3 Trabajos previos relacionados al proyecto**

Los temas referentes a este proyecto se pudieron encontrar en bibliografía internacional de España y temas relacionados de secados de PET a nivel nacional en la bibliografía de la Universidad de Chimborazo.

- Según Ges y Ferrag, en [7] los métodos que usan para secado de resinas y polímeros pasan a través del sistema de secado ERD (Economic Resin Dryer) que puede utilizarse de manera central o individual para todos los procesos de secado y está diseñado para calentar y secar materias primas

en dos etapas dentro de una tolva: en un circuito abierto, usando aire seco, y en un circuito cerrado, utilizando una corriente de aire adicional.

- La empresa Filament2print [3], desarrolló la secadora de filamentos PrintDry el cual es un dispositivo capaz de romper los enlaces intermoleculares entre el agua y el polímero que cuenta con un display y 5 opciones preestablecidas para poder ajustar la temperatura y el temporizador fácilmente, para la mayoría de los tipos de materiales de impresión 3D en el mercado.
- Aldaz y Abarca [8] propusieron un secador rotatorio para la obtención de escamas PET para reducir sustancialmente la humedad del plástico. Sus elementos que lo conforman son: Cámara de secado, motor, ventilador y fuente de calor. Obteniendo reducción de humedad del PET desde un 28% hasta el 1% en un tiempo de 0,3 horas y una velocidad total de secado de  $5,36Kg/m^2h$

#### **1.4 Control de Temperatura**

Ges y Ferrag [7] especifican a la temperatura como un factor importante; si se tiene en cuenta éste, muchas materias primas se podrían secar a una temperatura mucho más bajas. Materiales como el nylon (o el PA) se oxidan a temperaturas cercanas a los 80°C; por ello, se debe mantener la temperatura del aire de proceso (rico en oxígeno) por debajo de este valor cuando se secan poliamidas, requiriendo elevados tiempos de secado.

#### **1.5 Control de Humedad en materiales de impresión 3D**

Balart, López, García y Parres [9] determinan el porcentaje de humedad de un polímero por el contacto con el agua o por la acción de la humedad del ambiente, las piezas de plástico absorben agua en una cantidad que depende en gran medida de la estructura y composición del plástico. Los factores que afectan a la absorción de agua, y que están relacionados con la estructura

del material polimérico que principalmente se da en los filamentos como materia prima es la naturaleza polar de los enlaces ya que permiten la formación de enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, también polares.

El secado de plásticos granulados y en polvo, por lo general, el tiempo depende de la humedad relativa del lugar de trabajo y de la humedad inicial del material. [7]

El valor ideal de la humedad en filamento es entre 10-13%. [3]

*Tabla 1-1. Porcentaje de absorción de humedad para diferentes plásticos [6]*

<b>Polímero</b>	<b>Símbolo</b>	<b>% absorción de agua</b>
Poliamida 6	PA	hasta 8
Poliétileno de baja densidad	LD-PE	0,01
Poliétileno de alta densidad	HD-PE	0,01
Copolímero de estireno - acrilonitrilo	SAN	0,2-1,65
Polipropileno	PP	0,1
Poliestireno	PS	0,07 – 0,12
Copolímero de acrilonitrilo – butadieno - estireno	ABS	1,6 – 1,8
Politereftalato de butileno	PBT	0,5
Polióxido de metileno	POM	0,8
Poliamida 66	PA66	4 – 9,5
Polisulfona	PSU	0,8
Policloruro de vinilo no plastificado	U-PVC	0,5

## **1.6 Microcontrolador**

Según López [10]. Un microcontrolador es, en esencia, un computador completo, aunque con prestaciones más limitadas. El microprocesador está contenido en el chip de un circuito integrado programable, se destina a desarrollar una tarea determinada con el programa que reside en su memoria. Los pines de entrada y salida de los que dispone soportan el conexionado de los sensores y actuadores con los que se interacciona para el desarrollo de nuestro objetivo.



*Fig. 1-1 Esquema básico de un microcontrolador.*

Se pueden resumir las características principales de un microcontrolador en los siguientes puntos que lo definen:

- Velocidad del reloj u oscilador.
- Tamaño de palabra.
- Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM, etc.
- E/S (Entradas/Salidas) Digitales.
- Convertidor Digital Analógico.
- Buses
- Comunicación UART.

El microcontrolador recibe información de las entradas (read), la procesa y escribe un 1 o 0 (5 o 0V) en las salidas (write), actuando sobre el dispositivo que tenemos conectado. Al microcontrolador, por lo tanto, conectamos unos sensores a la entrada y unos actuadores a la salida, para que, en función del programa y de la lectura de sensores, se produzcan una serie de actuaciones. [10]



## 1.7 Software

IDE son las siglas que corresponden con Entorno de Desarrollo Integrado.

Un IDE es un programa informático que contiene integradas todas las herramientas, utilidades y funcionalidades necesarias para facilitar la tarea de desarrollo de software. [11]

Las tareas de desarrollo de software que integran los IDE son las siguientes:

- Creación y modificación de proyectos de desarrollo de software.
- Implementación de código fuente.
- Compilación del código fuente.
- Ejecución del programa.
- Depuración del programa.

La programación en Arduino se basa en programas en lenguaje C/C++ que hacen uso de la librería de Arduino. Todos los operadores y estructuras de control de C/C++ son aplicables en Arduino.

## 1.8 HMI

Una Interfaz Hombre-Máquina, HMI (Man-Machine Interface, MMI), es un mecanismo que le permite al operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/ apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial. [12]

Las principales funciones del HMI son:

- **Monitorización:** es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real.
- **Supervisión:** Esta función permite junto con la monitorización la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.

- **Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos.
- **Control:** Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. [13]

### 1.9 Dimensionamiento de Carretes para bobinado de Filamento para impresión 3D

El carrete de plástico es ideal para todos los usuarios y fabricantes de filamento para impresión 3D, ya que en el carrete es donde se enrolla el filamento para impresión 3D. [3]

Las especificaciones de los carretes usados por Filament2Print son especificados en la Tabla 1-2:

*Tabla 1-2 Porcentaje de absorción de humedad para diferentes plásticos [3]*

Color	Blanco, natural o negro
Modelo A	Diámetro interior: 40mm Diámetro exterior: 160mm Longitud Interna: 85mm Longitud Externa: 95mm Peso: 150g
Modelo B	Diámetro interior: 53mm Diámetro exterior: 200mm Longitud Interna: 43mm Longitud Externa: 54mm Peso: 250g
Modelo C	Diámetro interior: 19mm

	Diámetro exterior: 127mm Longitud Interna: 64mm Longitud Externa: 70mm Peso: 100g
HS Code	3923,1

También la empresa Ningbo Beilun Tiaoyue Machine Co., Ltd. Dedicada a la fabricación de carretes para diferentes tipos de procesos provee la Tabla 1-2. de los carretes comercializados a grandes empresas para el bobinado de los filamentos de material de impresión 3D.

*Tabla 1-2 Dimensiones de Carretes comerciales de la compañía Ningbo Beilun Tiaoyue Machine Co., Ltd [15]*

Model No.	Net Weight (Kg)	Flange Diameter d1 (mm)	Barrel Diameter d2 (mm)	Outside Width H2 (mm)	Inside Width H1 (mm)	Middle Hole Diameter d3 (mm)
2006455-1	0.243	200	94	64	57	55
2503853-1	0.273	250	90	38	30	53
2005653-1	0.219	200	94	56	48	53
2006256-1	0.198	200	61	62	55	56
1803053-2	0.105	180	78	30	23	53
2005553-2	0.208	200	94	54	46	53
1403555- <i>pc</i>	0.061	140	86	33	30	54
2187062-1	0.278	218	90	70	62	62.3

<i>1803053-2</i>	<i>0.105</i>	<i>180</i>	<i>78</i>	<i>30</i>	<i>23</i>	<i>53</i>
<i>1904952-2</i>	<i>0.120</i>	<i>190</i>	<i>60</i>	<i>49</i>	<i>45</i>	<i>52</i>

Para el presente Proyecto los aspectos más importantes a tomar en cuenta son el diámetro exterior de la bobina, y el ancho de espaciado entre cada pared del bobinado del filamento ya que dependiendo de esas medidas se establecerá las medidas del diseño.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo tiene el desempeño principal para el desenlace del presente proyecto, ya que se debe plantear buenas estrategias para dar solución al problema que se planteó. Aquí se describe el proceso de selección de elementos que conformarán nuestro diseño al que directamente se adherirá nuestro diseño CAD y finalmente el diseño del HMI.

#### 2.1 Principales consideraciones para el sistema

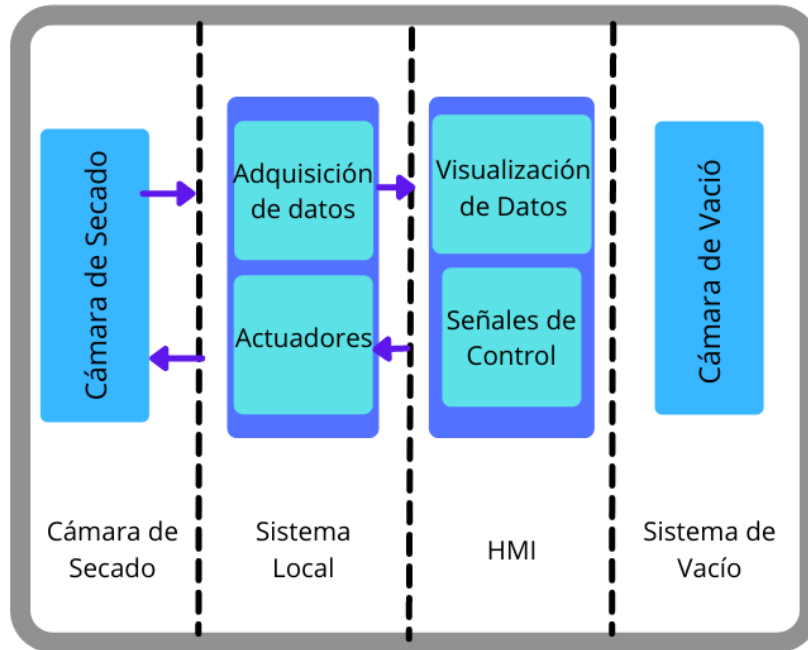
Para el cumplimiento de los objetivos detallados en el capítulo 1, se consideraron las siguientes premisas a cumplir por el presente proyecto:

A continuación, se detallan los requerimientos para el desarrollo del dispositivo:

- Ser un sistema con la capacidad de tomar medidas y acciones sobre el entorno de la cámara de secado y sus componentes.
- Ser un sistema automático que requiera en lo menor posible la intervención del usuario durante el secado de materiales de impresión 3D.
- Ser un sistema adaptativo para los diferentes tipos de materiales de impresión 3D.
- Tener funcionalidades de control manual que permitan al usuario tomar decisiones sobre el sistema.
- Tener funciones de seguridad que garanticen la integridad del sistema y el usuario.
- Tener indicadores visuales que permitan señalar el estado del sistema.
- Tener funciones de control de tiempo para los procesos de secado de materiales de impresión 3D.
- Tener la función de almacenaje al vacío de una bobina de filamento de material para impresión 3D.

## 2.2 Modelo Conceptual del sistema

Aquí se presenta un modelo del sistema capaz de cumplir los requisitos básicos del sistema, donde este modelo debe permitir la adquisición de datos y control de los actuadores, visualización de datos en tiempo real y control de ciclos de secado. La Fig. 2.1 indica los 4 bloques que conforman el modelo empleado para este proyecto.



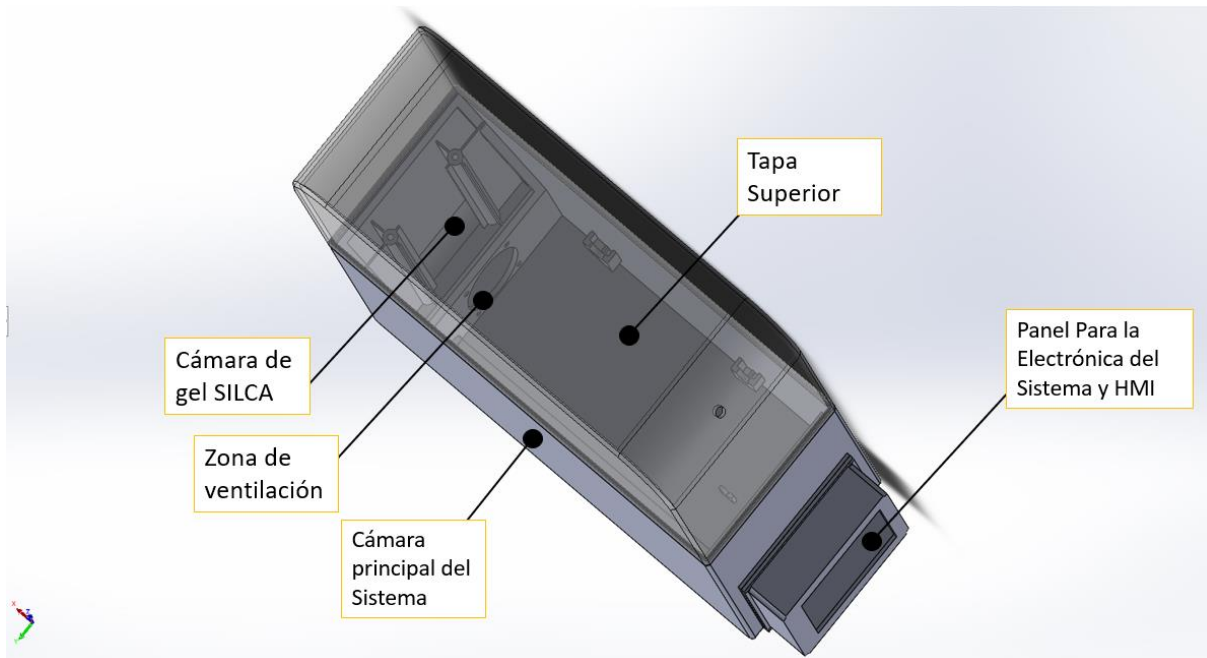
*Fig. 2-1 Modelo conceptual del sistema*

El presente modelo separa el proyecto en 4 bloques orientados a funciones específicas. El primer bloque, también llamado Cámara de secado corresponde a la estructura de soporte, donde se posicionará la bobina de filamento a secar y que contiene todos los sensores, actuadores y HMI del sistema de secado. El segundo bloque designado "Sistema local" conformado por el hardware del sistema que incluye los sensores y actuadores. El tercer bloque es del HMI que corresponde al control y visualización del estado del sistema para el usuario. El último bloque corresponde a la cámara de vacío y su actuador para el almacenamiento de una bobina de filamento.

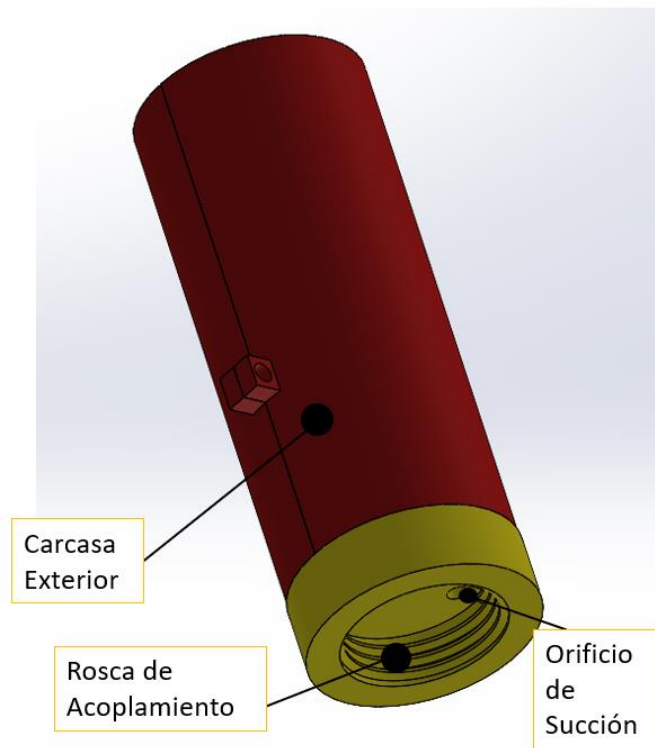
### 2.3 Estructura Física

En el apartado de la estructura física de nuestro sistema de secado donde se ubican todos los componentes del sistema de secado. Donde se colocan el sistema local y el HMI que encerrarán la bobina de filamento para su secado. Se divide en dos partes simples como las estructuras principales para la ubicación adecuada de los actuadores y sensores.

La Fig. 2.2 y Fig. 2.3 muestran el diseño preliminar realizado con el software 3D designado para este proyecto.



*Fig. 2-2 Diseño preliminar de la estructura de la cámara de secado*



*Fig. 2-3 Diseño preliminar de la estructura de la bomba de vacío*

## **2.4 Selección de los parámetros de control y supervisión**

En el secado de un polímero la temperatura de la cámara cumple un papel fundamental ya que es el encargado de eliminar la humedad en el filamento principalmente, además de ser el valor que se controlará con más de un sensor de temperatura para asegurar un mismo valor en toda la cámara. Para que el secado sea efectivo se deben respetar horarios y temperaturas acorde a cada tipo de material de impresión 3D y sus necesidades específicas de eliminación de humedad.

### **2.4.1 Variables de medición**

Para la selección de variables de medición se realizó en base a los temas tratados en el capítulo I del presente proyecto. La tabla 2.1 enlista las variables seleccionadas y la función que se le asignara a cada una.



Tabla 2-1 Variables a medir y su función en el sistema

<b>Variable</b>	<b>Función</b>
<b>Temperatura Ambiente</b>	Empleada para tomar un valor referencial de la cámara de secado y el punto de partida de los valores actuales de la cámara y actuadores.
<b>Temperatura de la lámina de poliimida</b>	Empleada para el calentamiento de la cámara en función de todos los sensores de temperatura.
<b>Temperatura general de la Cámara de Secado</b>	Empleada para la compensación de temperatura se establezca uniformemente en la bobina de filamento.
<b>Humedad Relativa</b>	Empleada para saber el porcentaje de humedad dentro de la cámara de secado al principio y fin del ciclo de secado y saber su efectividad.

#### 2.4.2 Actuadores Para Controlar

Para este sistema los actuadores a controlar serán: la lámina de poliimida encarga de calentar la cámara de secado y el ventilador que permite el flujo constante y distribución de aire caliente en la cámara.

#### 2.5 Hardware del Sistema local

El hardware empleado para este proyecto se muestra en la Fig. 2.4. El alma de este diseño se basa en un Arduino uno R3 el cual permite la función de unidad central de procesamiento de datos, encargado de coordinar las acciones y lecturas de todo el sistema. Esta unidad central de procesamiento de datos se encuentra conectada a la pantalla de visualización y control del sistema, así como también los actuadores y sensores para su operación manual y automática para la

comunicación con el usuario u operador. La Fig. 2.4 también muestra los diferentes bloques que componen el hardware.

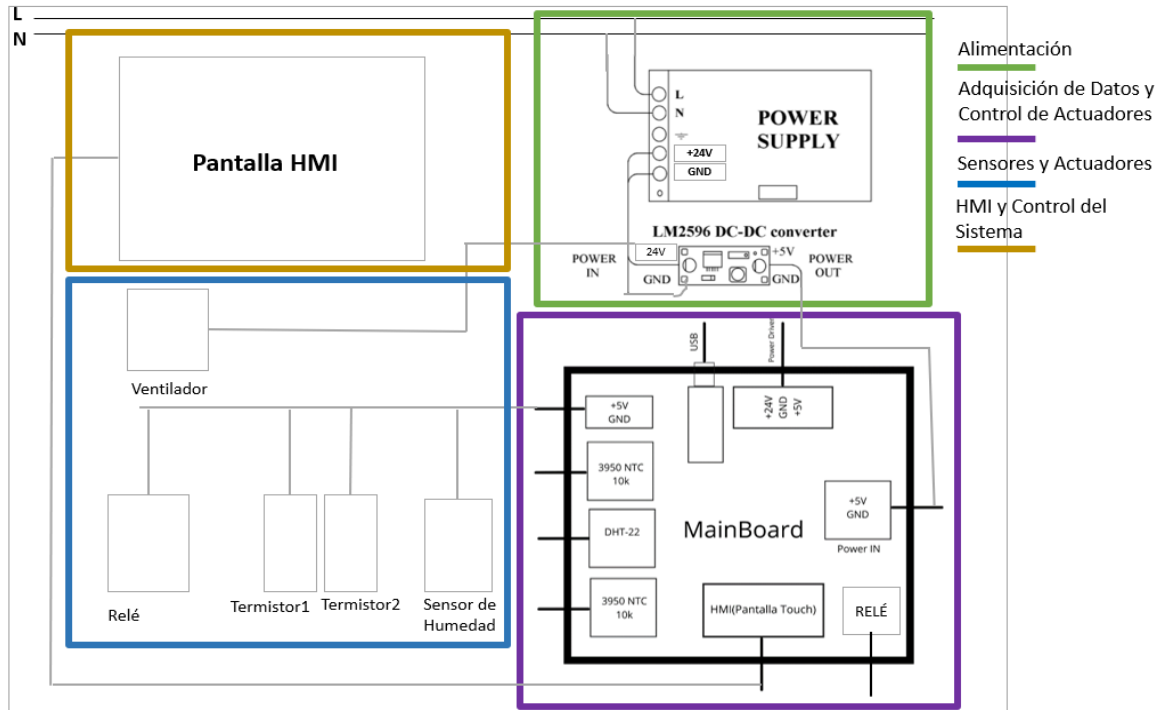


Fig. 2-4 Bloques del Hardware del Sistema

## 2.6 Adquisición de datos del sistema

La adquisición de datos del sistema es donde se hace la obtención de información de la cámara de secado a través de los sensores del sistema. Es realizada por la tarjeta principal que en este caso es también la tarjeta de adquisición de datos y a la vez de control de salidas, donde la información es almacenada y actualizada hasta el panel de visualización en tiempo real.

### 2.6.1 Medición de temperatura de la lámina calefactora de poliimida

La medición de temperatura es realizada por medio de sensores análogos RTD (Resistive Temperature Detectors) de la serie 3950 NTC 10k los cuales se comunican con la tarjeta principal

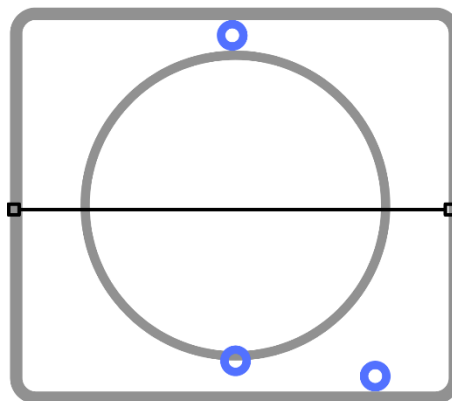
de adquisición de datos por medio de las entradas análogas. Estos sensores presentan dos características importantes para el proyecto, la primera es la de conectar varios sensores a la tarjeta controladora y la protección a la corrosividad, altas temperaturas y humedad por un encapsulado de epoxi. Esto les permite a los sensores ser capaces de operar en condiciones ambientales presentes dentro de la cámara de secado.



*Fig. 2-5 Sensor 3950 NTC epoxi*

### **2.6.2 Medición de temperatura de la cámara de secado**

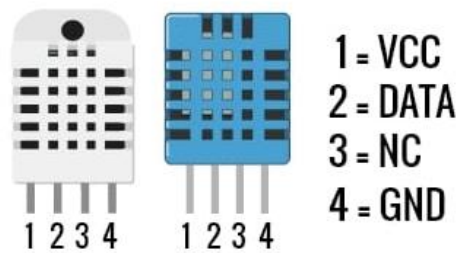
La medición de temperatura de la cámara de secado se realiza por medio de la combinación de los sensores de la serie 3950 NTC 100k y el sensor digital de temperatura y humedad relativa DHT-22 con encapsulado plástico. La función de estos es que toda la cámara alcance la misma temperatura uniformemente con un control de relé que da enciende y apaga la lámina de poliimida.



*Fig. 2-6 Representación de la ubicación de los sensores de temperatura en la cámara de secado*

### 2.6.3 Medición de humedad relativa de la cámara de secado

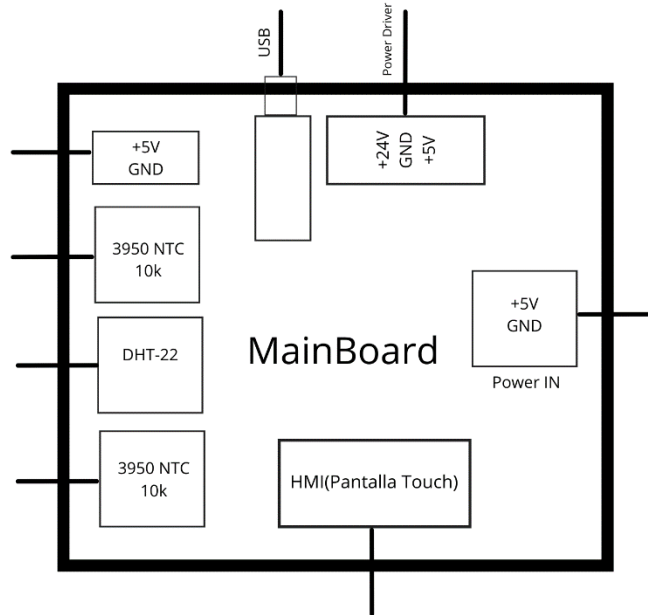
La medición de humedad relativa se realiza con el sensor de la serie DHT-22 que también se usará para medir la temperatura en la parte superior de la cámara de secado, y su principal función es medir la humedad del aire dentro de la cámara de secado envía una señal digital a la tarjeta principal para procesarla y su posterior visualización en tiempo real en el panel táctil.



*Fig. 2-7 Sensor de Humedad relativa y Temperatura DHT-22 y sus terminales*

### 2.7 Tarjeta principal del sistema

La tarjeta principal o unidad central de procesamiento de datos y control de actuadores (Fig. 2.6) es una interfaz entre los sensores, actuadores y la pantalla de visualización HMI. Su función consiste en realizar las mediciones de todos los sensores que conforman el sistema, así como del control, activación y desactivación de salidas o actuadores. Tiene entradas analógicas y digitales para los distintos sensores de temperatura y humedad relativa usados en el proyecto, así como también las señales de salida para la activación y desactivación de la lámina de poliimida.



*Fig. 2-8 Diagrama de la tarjeta principal para la lectura de datos y control de actuadores*

### 2.7.1 Lógica de la tarjeta principal

El software programado está basado en una máquina de estados finitos, con sus funciones que cambian basadas en tiempos.

- **Configuración inicial de la tarjeta principal:** Este estado corresponde a la configuración inicial de estado, de salidas, entradas e inicialización de variables.

### 2.8 Adquisición y preprocesamiento de datos

La adquisición de los datos de los sensores se realiza a través de los puertos analógicos del Arduino uno R3, los cuales convierten señales de voltaje a señales digitales empleadas por la tarjeta. Con estas señales, el programa del Arduino se encarga de transformar la información recibida a en datos de temperatura y de humedad, los cuales se almacenan en la memoria interna de datos para su uso por el sistema cuando sea requerido.

## **2.9 Control de Actuadores**

El control de los actuadores se derivará de la programación de un control condicional además de un control manual por parte del usuario para la bomba de vacío por medio de un switch.

### **2.9.1 Control de la lámina calefactora de poliimida**

Este control es el encargado de mantener la temperatura de la cámara de secado al valor seteado por el usuario a través de la pantalla TFT. Este sistema se basa en un control on-off que activa un relé conectado a la lámina calefactora, elevando la temperatura hasta llegar al valor deseado. Posteriormente este relé se desactivará para evitar un sobrecalentamiento. Este control se realizará durante todo el ciclo de secado.

## **2.10 Descripción y clasificación de funciones**

En este apartado se contemplan todas las descripciones de funciones que debe cumplir el dispositivo para una correcta operación.

### **2.10.1 Funciones Generales**

Son aquellas funciones que se encargan de realizar las tareas que realiza el sistema normalmente. Estas funciones son:

- Función de secado de materiales de impresión 3D
- Manejo de datos
- Control de actuadores
- Sellado al vacío de una Bolsa para guardado al vacío

### **2.10.2 Funciones Especiales**

Son aquellas funciones que automatizan el ajuste del sistema de secado de acuerdo con al tipo de material que se utilizara. Dentro de las funciones especiales se tiene:

- Configuración de tiempo de secado

- Configuración de temperatura
- Configuración de material

### **2.10.3 Funciones de calibración**

Son funciones que se establecen una única vez sobre el código de programación del dispositivo con el objetivo de mejorar la precisión y exactitud de la respuesta de los sensores.

- Calibración de sensores de temperatura
- Calibración de pantalla TFT

### **2.10.4 Funciones de seguridad**

Son aquellas funciones que aseguran un buen funcionamiento de todo el sistema:

- Indicación de temperatura de la cámara de secado
- Desactivación de lámina calefactora por temperatura crítica
- Alarma de fallo en el sistema de calefacción
- Alarma de fallo en los sensores de temperatura
- Fuerza máxima en el motor de la Bomba de Vacío limitada

### **2.10.5 Otras funciones**

Funciones del sistema que se ejecutan únicamente cuando son requeridas.

- Visualización de humedad relativa de la Cámara de Secado
- Cronometrado del tiempo de secado
- Visualización de la Temperatura General y puntual de la Cámara de Secado

### **2.10.6 Función de Almacenaje al Vacío**

Para la función correcta del almacenaje por Sellado al Vacío una vez desarrollado el dispositivo con la bomba de vacío se utiliza de manera directa enroscando el dispositivo

en una bolsa de sellado al vacío reutilizable para ropa que cumple con las dimensiones máximas de una bobina de filamentos.

### 2.10.7 Función de Calentamiento de la lámina de poliimida

Para determinar de forma correcta la temperatura censada por el termistor se debe hacer uso de una función de conversión la cual se encargará de convertir los valores de voltaje registrados por el sensor a valores de temperatura para su posterior uso por el sistema.

Para realizar este proceso es necesario conocer la relación existente entre la resistencia del termistor y la temperatura para lo cual se hace uso de la siguiente tabla obtenida de la página del fabricante:

*Tabla 2-2 Valores Termistor NTC 3950*

R25=100 ohm		TOLERANCE: ±1%		B25/50=3950K		TOLERANCE: ±1% (P209-15A)	
TEMP(°C)	Resistencia (K ohm)			Resistencia-Tol(%)		Temperatura-Tol(°C)	
	MIN	CENTER	MAX	ΔR	-ΔR	ΔT	-ΔT
20	123.173	124.692	126.217	1.223	-1.218	0.272	-0.271
25	99.000	100.000	101.000	1.000	-1.000	0.229	-0.229
30	79.672	80.650	81.632	1.217	-1.212	0.287	-0.286
35	64.467	65.395	66.330	1.429	-1.419	0.347	-0.345
40	52.436	53.300	54.173	1.637	-1.620	0.410	-0.405
45	42.865	43.659	44.462	1.840	-1.817	0.473	-0.467
50	35.119	35.840	36.571	2.041	-2.010	0.539	-0.530
55	29.061	29.713	30.377	2.233	-2.194	0.607	-0.596
60	24.095	24.681	25.279	2.423	-2.375	0.677	-0.664
65	20.066	20.592	21.129	2.608	-2.552	0.748	-0.732
70	16.783	17.253	17.735	2.790	-2.724	0.822	-0.803
80	11.890	12.265	12.650	3.141	-3.055	0.975	-0.948

La tabla resume todo el rango de temperatura empleado para ajustar el termistor. Para determinar la ecuación de relación de los parámetros de temperatura y resistividad se



emplea el modelo de Steinhart-Hart el cual utiliza una ecuación logarítmica cuyo ajuste se realiza por medio de 3 coeficientes.

$$\frac{1}{T} = A + B \cdot \ln(Rt) + C(\ln(Rt))^3$$

*Ecuación 1 Ecuación 1 Steinhart-Hart*

Los coeficientes obtenidos para esta ecuación son los siguientes:

- $A = 2.114990448 \times 10^{-32}.114990448 \times 10^{-3}$
- $B = 0.3832381228 \times 10^{-40}.3832381228 \times 10^{-4}$
- $C = 5.228061052 \times 10^{-75}.228061052 \times 10^{-7}$

## 2.11 Visualización y HMI

El secador cuenta con mecanismos de visualización compuestos por diferentes indicadores para señalar el estado actual del sistema al usuario. Para ello hace uso de Leds y la propia pantalla TFT para realizar estas funciones. Algunos ejemplos de los sistemas de visualización implementados son los siguientes:

- Led de relé para indicar lamina conectada
- Temperatura, tiempo restante de secado en pantalla

## **CAPÍTULO III**

### **3 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se presentan los resultados y pruebas que se realizaron para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo y el cumplimiento de los objetivos planteados anteriormente.

#### **3.1 Implementación del Hardware**

El hardware empleado para el secador de materiales de impresión esta centralizado en un Arduino uno R3 el cual se encarga de realizar la monitorización de sensores, control de actuadores, comunicación con periféricos, etc. La comunicación entre el dispositivo y el usuario se realiza por medio de una interfaz gráfica táctil mostrada en una pantalla TFT ILI9341\_RTC la cual se conecta con el Arduino empleando el protocolo SPI.

La alimentación de la electrónica se realiza por medio de una fuente de 24V a 2 A, encargada de suministrar los voltajes requeridos por la parte de potencia, mientras que para la parte lógica se emplea un reductor DC-DC LM2596 para reducir el voltaje a 7V.

Para el sellado al vacío en el apartado del almacenaje se usó una bomba de vacío que funciona a 5V y se puede conectar por medio de un puerto USB.

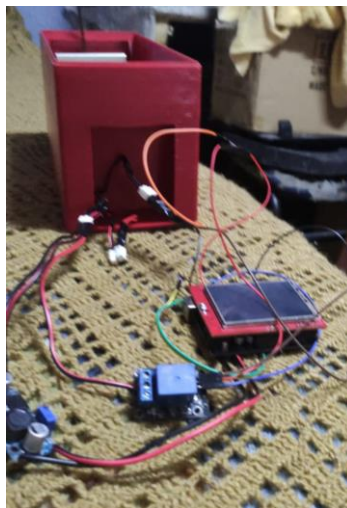


*Fig. 3-1 Dispositivo de Secado construido y bomba de vacío*

### **3.1.1 Conexión de entradas y Salidas en la tarjeta principal**

Para este sistema, los dispositivos de entrada empleados son los sensores encargados de monitorizar la temperatura y la humedad del dispositivo y el panel táctil de la pantalla TFT.

Los dispositivos de salida corresponden únicamente al actuador que realiza el calentamiento de la cámara de secado y a los elementos de visualización.



*Fig. 3-2 Conexiones de la tarjeta principal*

### 3.1.2 Ubicación de los Sensores

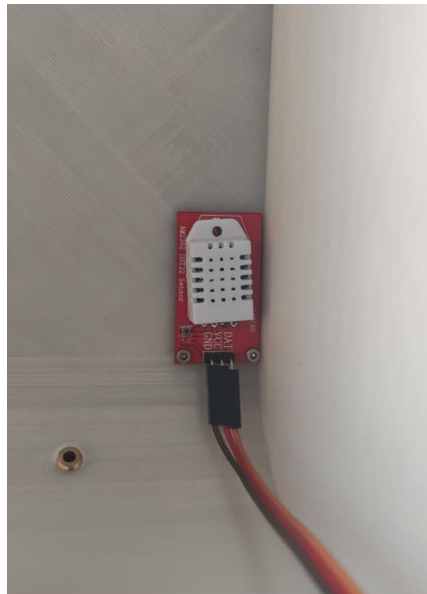
El sistema cuenta con 2 sensores ubicados en zonas estratégicas alrededor de la cámara de secado. En la siguiente figura se puede observar el sensor de temperatura localizado en la base del



*Fig. 3-3 Localización Termistor de la base del Secador*

secador.

El segundo sensor implementado en el sistema es un sensor de humedad DHT22 localizado en la zona superior de la cámara de secado.



*Fig. 3-4 Localización del Sensor de Humedad DHT22*

## **3.2 Consideraciones para el uso del sistema a largo plazo**

Existen ciertas consideraciones y parámetros a tomar en cuenta para un uso continuo y extensivo del dispositivo para obtener los mejores resultados que serán descritos en este apartado.

### **3.2.1 Uso en temperatura bajas**

Cuando la temperatura descendiendo por debajo de la temperatura ambiente, (alrededor de 20 °C), se debe extender como mínimo una hora el tiempo de secado para garantizar un buen resultado.

### **3.2.2 Importancia del sellado en la cámara de secado**

Durante el secado es posible abrir la cámara que contiene el material de impresión 3D. Sin embargo, esto no se debe hacer debido al riesgo existente del ingreso de humedad al interior de la cámara, afectando de forma negativa el resultado final

### **3.2.3 Importancia del guardado al Vacío con GEL SILICA**

Al guardar una bobina de filamento al vacío en la bolsa de vacío predestinada es muy importante que en el orificio central de la bobina se encuentre una bolsa pequeña de gel silica para que absorba la humedad restante y sea absorbida en ese punto que es donde más aire puede quedar después de su vaciado.

## **3.3 Descripción General del HMI**

El HMI del sistema es una interfaz localizada en la pantalla TFT la cual está encargada de realizar la comunicación con el usuario para la configuración de los parámetros de secado del sistema. La interfaz está compuesta por cuatro ventanas las cuales dan acceso a diferentes opciones que buscan facilitar el uso del secador, y para un uso debido de la función táctil de la pantalla TFT debe pulsarse con el dedo o un lápiz táctil resistivo la zona pintada alrededor de las letras para poder acceder a cada menú.

### 3.3.1 Pantalla de inicio

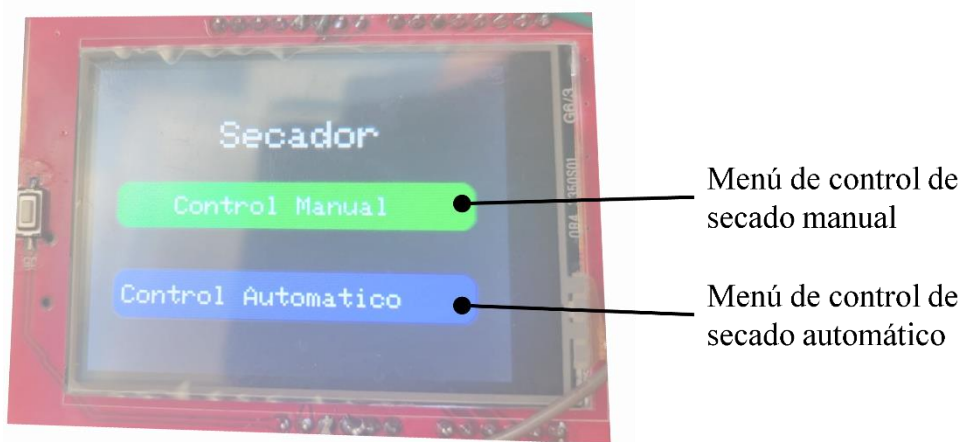


Fig. 3-5 Visualización Menú de Inicio

Es la ventana que se muestra al iniciar el secador. Su función es permitir que el usuario realice el proceso de secado del material de impresión de forma automática, de acuerdo con unos parámetros preestablecidos, o de forma manual permitiendo el ajuste riguroso del sistema de acuerdo con los criterios del operador.

### 3.3.2 Pantalla de control manual

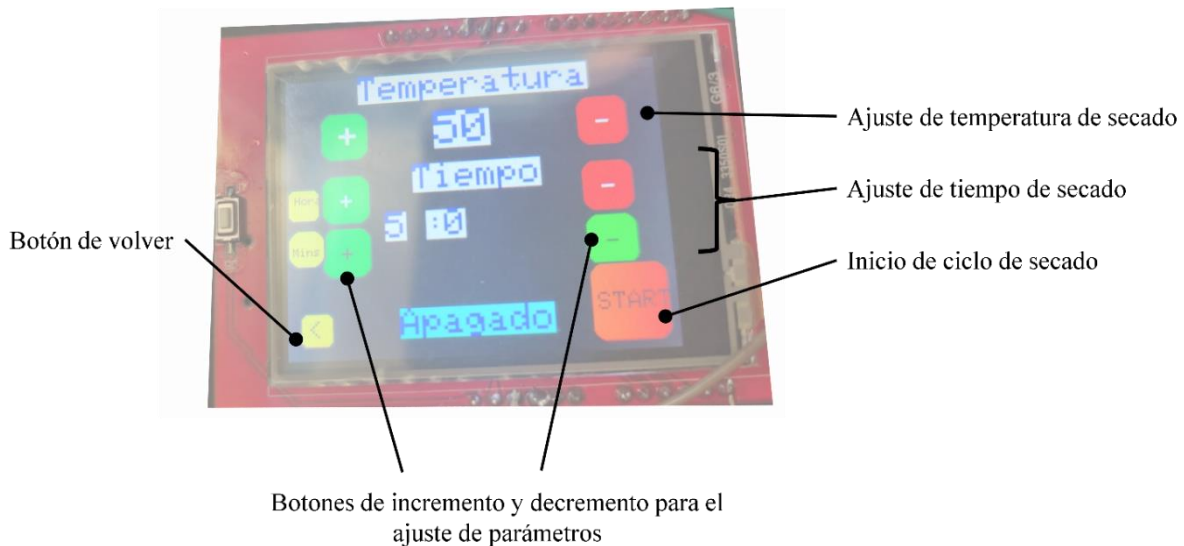
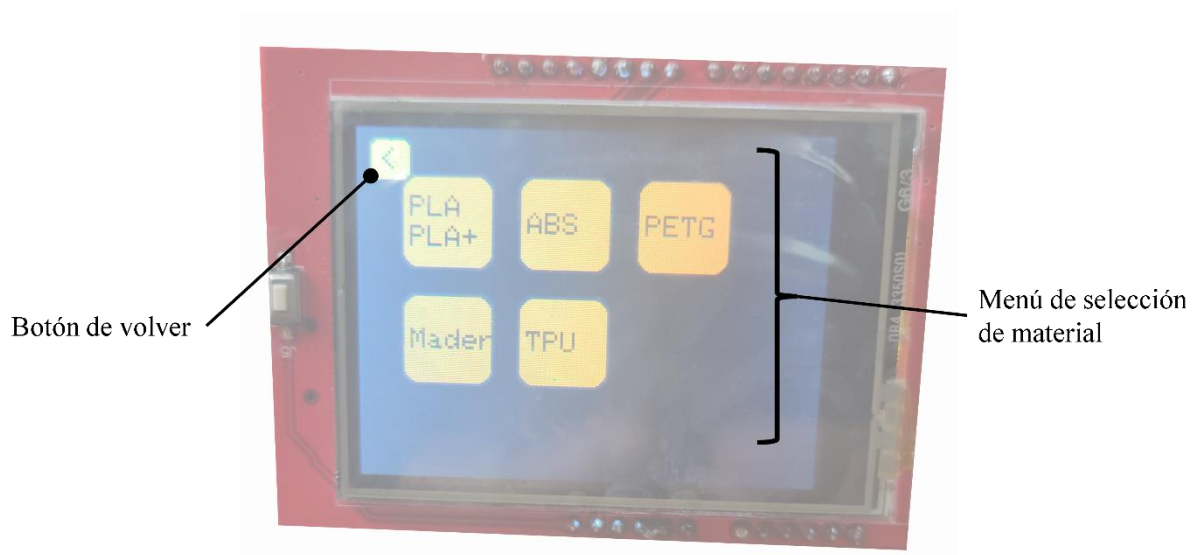


Fig. 3-6 Ventana de Control Manual

Esta ventana se encarga de ajustar los parámetros de tiempo y temperatura para la cámara de secado. Cada control se ajusta de forma individual por medio de botones colocados en los laterales de la ventana. Cuenta también con un botón para iniciar el ciclo de secado.

### 3.3.3 Pantalla de control automático



*Fig. 3-7 Ventana de Control Automático*

Esta ventana permite al operador seleccionar diferentes configuraciones de secado preestablecidas tomando como base el material que será introducido en la cámara de secado.

### 3.3.4 Pantalla de ciclo de secado



Fig. 3-8 Ventana de Ciclo de Secado

Es una ventana cuya principal función es monitorear el estado de los sensores en el interior de la cámara del secador durante el ciclo de secado permitiendo al operador conocer en tiempo real como se desarrolla todo el proceso.

### 3.4 Evolución del ciclo de Secado

Aquí se pueden observar todos los cambios en el tiempo que sufre el material de impresión 3D en el dispositivo al inicio, durante y al final del proceso de secado.

#### 3.4.1 Calibración del Ciclo de Secado de los diferentes tipos de Materiales

La configuración para el ciclo de secado de cualquier material se realizó en base a diferentes pruebas a las que se sometió el material, pasando de la totalidad de humedad que el material puede absorber, pesándolo una vez sometido al proceso donde se humedece y posteriormente haciéndolo pasar por un ciclo de secado a distintas temperaturas por periodos de 1 hora mínimo. Una vez finalizado este paso se procede a pesar el material y a verificar si la cantidad de humedad a la temperatura programada eliminó la mayor parte o en su totalidad la humedad



absorbida por el material, pesando el material regularmente cada hora y verificando la cantidad de humedad eliminada, comparándola con el principio del pesaje del material, llegando así a los tiempos y temperaturas óptimas de secado para cada material.

### 3.4.2 Humedad Relativa durante los Ciclos de Secado

La humedad relativa dentro de la cámara de secado, determinada por el sensor DHT22, durante ciclos de secado con una bobina en el interior arrojó los resultados observables en la siguiente gráfica de la Fig. 3-9.

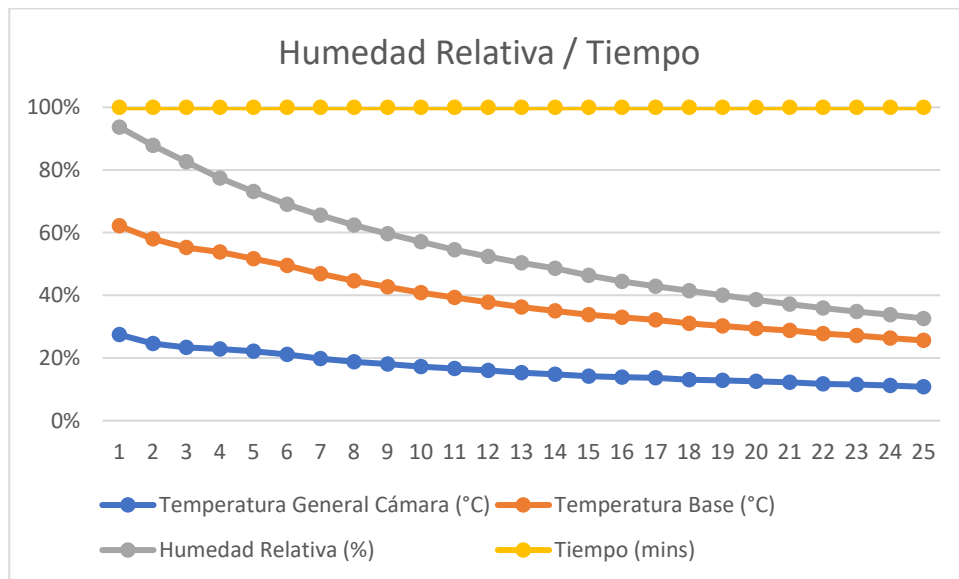


Fig. 3-9 Gráfica de datos durante un Ciclo de Secado del Dispositivo

### 3.4.3 Precisión en la medición de temperatura de la Cámara de Secado

Al disponer de dos sensores que miden constantemente la temperatura tanto en la parte de abajo, como de arriba de la cámara de secado, nos damos cuenta de que la parte más importante es la base, ya que es la que más acumula el calor por estar más cerca de la lámina de poliimida, así que nos guiamos en esta para el control de encendido y apagado de la misma. Estos sensores nos ofrecen una precisión e impedancia del 1%.

Las variaciones que se pudieron observar durante los ciclos de secado fueron en ascenso de 0.2°C cada toma de muestreo y en descenso de 0.12°C como mínimo.

### 3.4.4 Porcentaje de humedad Eliminada de los Materiales de impresión 3D

Para este apartado se realizó en base a mediciones después del tiempo de secado programado para pruebas de cada material humedecido. Teniendo, así como resultado la siguiente gráfica de la Fig. 3-11 que nos explica el porcentaje eliminado después de 2 horas de secado en cada tipo de material a una temperatura base.

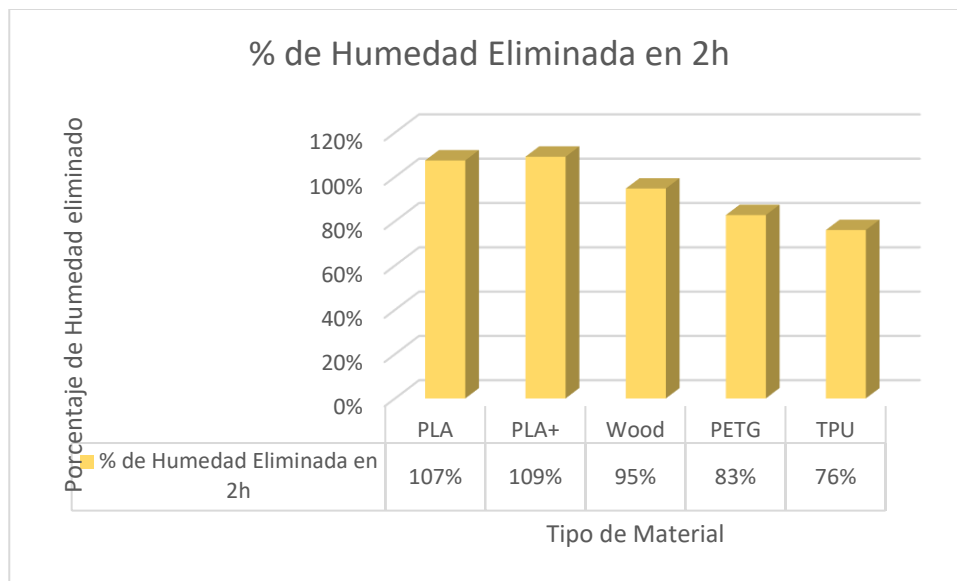


Fig. 3-10 Gráfica de % de Humedad eliminada por el Dispositivo

### 3.4.5 Almacenaje de Bobinas al Vacío

Se realizaron varias pruebas de almacenaje con bolsas para guardar ropa al vacío donde estas tienen una rosca que empata con nuestro dispositivo de sellado al vacío con trazos pequeños de 2m de filamento y comprobando que después de 4 días de almacenaje, el porcentaje de humedad

en estos no subirá más allá de 1 o 2%, teniendo éxito en la prueba se pudo realizar la misma con bobinas de filamento las cuales se muestran en la Fig. 3-8.



Fig. 3-11 Bobina Sellada al Vacío

### 3.5 Resultados del Dispositivo

Para poder certificar que el prototipo cumplió con los objetivos establecidos, se procede a hacer uso de la tabla 3-1, en la cual se califica el funcionamiento del sistema y se añaden observaciones para cada función.

Tabla 3-1 Resultados del dispositivo

<b>Descripción</b>	<b>Función</b>	<b>Cumple</b>	<b>Observación</b>
Capacidad de tomar medidas y acciones sobre el entorno de la cámara de secado y sus componentes	Funciones de control de temperatura y tiempo de secado	Sí	No existió problema
Ser un sistema automático que requiera una menor intervención del usuario durante todo el proceso	Funciones automáticas de configuración de ciclos de secado	Sí	No existió problema
Ser un sistema adaptativo para los diferentes tipos de materiales de impresión 3D	Funciones de secado de material específicas para cada material	Sí	No existió problema
Tener funcionalidades de control manual que permitan al usuario tomar decisiones sobre el sistema.	Funciones de configuración manual	Sí	No existió problema
Tener funciones de seguridad que garanticen	Indicadores de estado actual del	Sí	No existió problema

la integridad del sistema y el usuario	sistema, alarmas de fallo		
Tener indicadores visuales que permitan señalar el estado del sistema	Leds de indicación e interfaz HMI	Sí	No existió problema
Tener funciones de control de tiempo para los procesos de secado	Funciones de ajuste de tiempos de secado	Sí	No existió problema
Tener la función de almacenaje al vacío	Almacenamiento al vacío de materiales de impresión 3D	Sí	No existió problema

### 3.6 Resultados sobre los Materiales de Impresión 3D

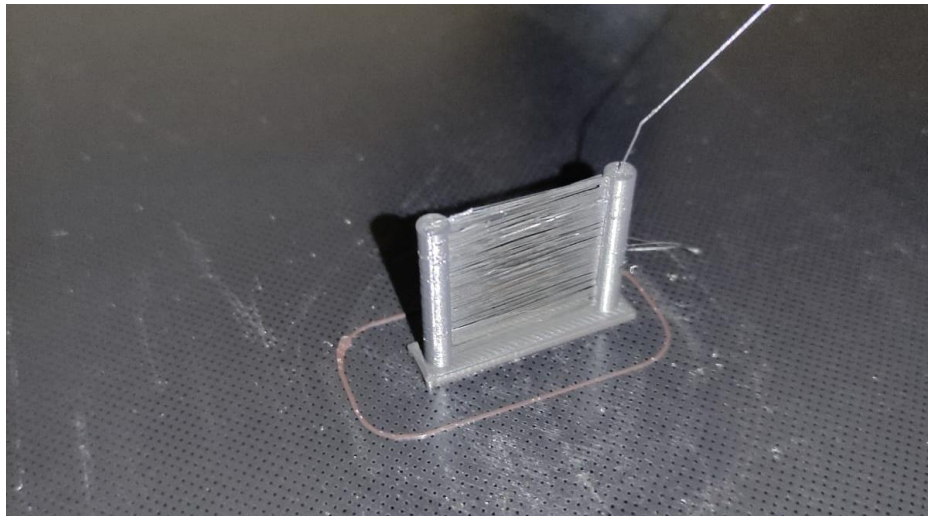
Se hicieron pruebas de impresión 3D, dentro de las cuales la primera prueba se hizo con el mismo material habiéndolo dejado en un lugar bastante húmedo para simular ciertas condiciones ambientales donde el material se verá severamente afectado en poco tiempo. En este caso por 4 horas, con 2 retazos de 3m de filamento negro estándar después de pasado el tiempo determinado para la prueba se procedió a imprimir una prueba de retracciones donde más se pueden notar los efectos de la humedad en una impresión 3D. En la Fig. 3.8 podemos apreciar la impresión con el

material húmedo y en la Fig. 3.9 se aprecia la misma impresión con el mismo código G anterior, pero con el material Secado por 4 Horas a 55°C en el Dispositivo.

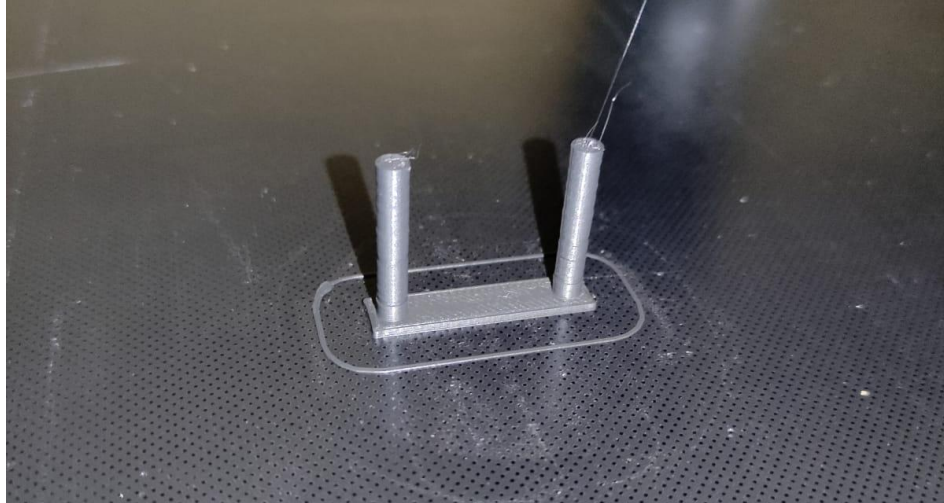
Para un mejor resultado debe tomarse en cuenta la Tabla 3-2. La cual muestra las diferentes temperaturas y tiempos de secado en base a las pruebas anteriores con porciones de cada material.

*Tabla 3-2 Tiempos de Secado y Temperatura para materiales de Impresión 3D*

Tipo de Material	PLA/PLA+	Madera/Wood	ABS	PETG	TPU
Temperatura de Secado (°C)	50 a 55		55	50 a 54	
Tiempo de Secado (Horas)	4 a 6		3 a 5		



*Fig. 3-12 Impresión con material Húmedo*



*Fig. 3-13 Impresión con material después del Secado*

### **3.7 Limitaciones**

El sistema de calentamiento mostró un buen resultado en el secador, sin embargo, resulta complicado mantener de forma estable el valor de temperatura deseado. Esto debido a que se utilizó un control del tipo ON/OFF creando oscilaciones en la temperatura. Como consecuencia, la precisión en la temperatura disminuye.

El sistema debe evitar usarse cerca de fuentes de calor, puesto que esto podría afectar el correcto funcionamiento del dispositivo.

Por último, se debe tener cuidado con las pérdidas de energía durante el uso del secador, esto debido a que el dispositivo no cuenta con una memoria que almacene todos los parámetros configurados a través del HMI.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente documento se planteó inicialmente el diseño de un dispositivo secador el cual conste de una cámara de vacío para el almacenaje de materiales usados en la impresión 3D para el laboratorio de prototipado rápido de la Universidad técnica del Norte; llegando así a la fase final de dicho documento, se logra concluir lo siguiente:

### Conclusiones

- Los resultados del proyecto secador para materiales de impresión 3D lograron alcanzar de forma satisfactoria los requerimientos deseados cumpliendo de esta manera los objetivos establecidos.
- Con respecto al funcionamiento del dispositivo, se logró disminuir el grado de humedad en los materiales de impresión en las diferentes pruebas realizadas indicando un correcto funcionamiento y estabilidad en el uso continuo del dispositivo.
- El uso de un sistema de almacenamiento en vacío para el sellado de los materiales que ya se sometieron al proceso de secado permitió que estos sean almacenados a largo plazo sin incrementar el grado de humedad.
- El sistema de sellado por vacío externo al sistema de secado no afectó significativamente a los materiales ya secados, siempre y cuando estos se sellen inmediatamente después que salen del proceso.
- Un área mayor de calentamiento permite mantener una temperatura más uniforme dentro de la cámara de secado y que el calor se distribuya de mejor manera alrededor de la bobina de filamento.



## Recomendaciones

- Para mejorar los resultados del almacenamiento a largo plazo se puede mejorar el diseño del dispositivo para incluir un sistema de sellado en conjunto con el sistema de secado, permitiendo que las piezas que hayan sido sometidas al proceso sean preparadas directamente para el almacenaje.
- La interfaz gráfica es uno de los aspectos más importantes del proyecto puesto que permite la comunicación entre usuario y máquina. Por tal motivo es recomendable mejorar y desarrollar la interfaz para que esta sea mucho más amigable con el usuario.
- Para brindar mejores prestaciones al dispositivo, es posible incluir más mecanismos de indicación como pueden ser indicadores LEDS y alarmas sonoras. Esto permitiría al usuario reaccionar mejor ante los diversos eventos que podrían ocurrir durante el funcionamiento.
- La temperatura de secado máxima está sujeta al material que conforma la cámara de secado. El uso de otros materiales mucho más resistentes a los cambios temperatura permitirá ampliar el rango que puede soportar el dispositivo para secar los materiales.
- La mejor manera de mantener un calor constante dentro de la cámara de secado se logra variando la temperatura en la programación a la que se apaga y vuelve a encender con un margen de 2 a 4 grados sobre y bajo la temperatura deseada, teniendo así un calentamiento más uniforme solo manteniéndolo directamente a la temperatura programada por el usuario.
- El uso de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida conectado a la maquina puede ser de ayuda durante fallos del suministro de luz eléctrica para no perder el registro del tiempo de secado del dispositivo debido a su falta de uso de memoria EEPROM.

## Referencias

- [1] M. Berchon, La impresion 3D: Guia definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general., Barcelona: Gustavo Gili, 2016.
- [2] J. Ortega, Fabricacion Digital: Introduccion al modelado e impresion 3D., Madrid: Ministerio de educacion y formacion de españa, 2017.
- [3] Filament2Print, Secado de filamento Printdry, Pontevedra: Pontevedra, 2019.
- [4] G. Ian, Additive Manufacturing Technologies.3D Printing, Rapid prototyping, and direct digital manufacturing, Australia: Springer, 2015.
- [5] I. S. Organization, ISO 9001 Sistemas de gestion de calidad, 2015.
- [6] B. Rodriguez, ESTUDIO SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN EN UNA IMPRESORA 3D CON TECNOLOGÍA FDM, Barcelona: Universitatd Politècnica de Catalunya, 2017.
- [7] L. V. R. R. Leonardo Contreras, Procesos de fabricación en polímeros cerámicos, Bogotá, México DF: Ediciones de la U, 2018.
- [8] F. Stipsits Ges.M.B.H., Tecnología para el secado de resinas y plásticos., Informador técnico, (2003).

- [9] A. M. Abarca Adriana, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR ROTATORIO PARA LA OBTENCIÓN DE ESCAMAS PET, Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2014.
- [10] J. L. D. G. F. P. Rafael Balart, Técnicas experimentales de análisis térmico de polímeros, Valencia: UPniversidad Politécnica de Valencia.
- [11] E. L. Aldea, Arduino: Guía práctica de fundamentos y simulación, Madrid: RA-MA , 2016.
- [12] S. C. Alfredo Muñoz, Arduino: curso práctico, Madrid: Ra-Ma, 2018.
- [13] C. L., Interfaces de comunicación Industrial, Quito: Escuela Politecnica Nacional, 2007.
- [14] R. C. Carrion Marcia, DESARROLLO DE SOFTWARE HMI SCADA E IMPLEMENTACIÓN SOBRE UN MÓDULO DIDÁCTICO AUTÓNOMO PARA VENTAS DE LA EMPRESA ECUAINSETEC CÍA. LTDA, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2012.