



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:

**DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA LA
CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRUSORES PARA UNA
IMPRESORA 3D**

AUTOR: Carlos Roberto Hidrobo Pepinosa

DIRECTOR: Ing. Christian Renán Vásquez Falcony

Ibarra-Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo de grado “DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRUSORES PARA UNA IMPRESORA 3D”, presentado por el egresado CARLOS ROBERTO HIDROBO PEPINOSA, para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

Ibarra, Julio de 2019

Ing. Christian Vásquez

DIRECTOR DE TESIS



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 | | | |
|-----------------------------|---|------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 0401869102 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | HIDROBO PEPINOSA CARLOS ROBERTO | | |
| DIRECCIÓN: | Caranqui, Calles Princesa Cory Cory y Lucila Benalcazar | | |
| EMAIL: | crhidrobop@utn.edu.ec – carloshidrobo20@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | 2 652 963 | TELÉFONO MÓVIL: | 0980644991 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|--|
| TÍTULO: | “DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRUSORES PARA UNA IMPRESORA 3D” |
| AUTOR: | HIDROBO PEPINOSA CARLOS ROBERTO |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 2019/07/04 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | PREGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERO EN MECATRÓNICA |
| ASESOR /DIRECTOR: | ING. CHRISTIAN VÁSQUEZ |

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 4 días del mes de julio de 2019

EL AUTOR:



Carlos Roberto Hidrobo Pepinosa
C.I: 0401869102

AGRADECIMIENTO

A Dios que con su bendición he podido seguir adelante para ser una persona de bien, a mi familia que se ha preocupado siempre por mi futuro y mi bienestar, a mis amigos que han sido mis compañeros de lucha y apoyo, a mis profesores que iluminaron mi camino durante todos mis estudios y a todas las personas en general que con sus palabras fueron siempre un aporte para seguir adelante.

Roberto Hidrobo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que con sus frases y palabras de apoyo han permitido que llegue hasta tan alto y que de un paso en mi vida profesional, en especial a mis padres Doris y Carlos que son personas incondicionales en mi vida con su apoyo y su bendición han sabido estar presente incondicionalmente en todos mis triunfos y fracasos, a mis hermanos Alejandra, Carla y Sebastián, los cuales con su cariño y alegría han compensado los momentos más difíciles. A mis amigos y compañeros de batalla, los cuales sin pensarlo nos convertimos en un pilar fundamental el uno al otro en este trayecto, en el cual, sin sus ocurrencias y sonrisas hubiera sido mucho más difícil, Y a mi tutor y buen amigo, por guiarme en la recta final de esta meta.

Roberto Hidrobo

RESUMEN

Se define como plataforma de pruebas para la caracterización experimental de extrusores enfriados por aire y agua para una impresora 3D al dispositivo que tiene como finalidad la adquisición de datos mediante el uso de termistores instalados en los sistemas de enfriamiento de los extrusores y en el interior y exterior de la plataforma evaluando condiciones ambientales, utilizando una pantalla HMI acoplada a la impresora 3D para la visualización de los parámetros previo al procesamiento de los mismos; obteniendo también una base de datos a partir del software LabView, el mismo que servirá para representar las curvas de comportamiento; temperatura vs distancia y temperatura vs tiempo.

La longitud del extrusor servirá para el análisis de desempeño térmico, para esto se utilizará varios termistores ubicados en los disipadores de calor, los cuales permitirán determinar un perfil de temperatura en régimen de trabajo y mantener la temperatura adecuada sin perder las propiedades del material.

Se tiene también dentro de la pantalla HMI un sistema de control de flujo tanto de aire como de agua que permite una transferencia de calor forzada al extrusor durante la operación, para esto se controlará un ventilador en el extrusor de aire y un flujómetro para el extrusor de agua que permitirá arrojar un caudal determinado mediante un sistema de control y a su vez se mostrará los gráficos temperatura - tiempo en la misma HMI.

ABSTRACT

It is defined as a testing platform for the experimental characterization of air and water cooled extruders for a 3D printer by device. Its purpose is to use thermistors in the cooling systems of the extruders and in the interior and exterior of the platform, evaluating environmental conditions, using an HMI screen coupled to the 3D printer for the visualization of the parameters prior to processing them; also obtaining a database from the LabView software, which will serve to represent the behavior curve; Temperature vs distance and temperature vs time.

The length of the extruder will serve for the analysis of thermal operation, for this several thermistors will be used in the heat sinks, which will give the profile of the temperature in the working regime and the maintenance of the adequate temperature to lose the properties of the material.

HMI a flow control system of both air and water that allows a forced heat transfer to the extruder during the operation, for this a fan is controlled in the air extruder and a flowmeter for the water extruder that has to be given to know as a system of control of his time, as well as the graphs of temperature - time and temperature - distance in a graphical interface in the software LabView..

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| INDICE DE CONTENIDOS | vi |
| INDICE DE FIGURAS..... | x |
| INDICE DE TABLAS | xiii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 1 |
| 1.1.1. Objetivo General | 1 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos..... | 1 |
| 1.2. Antecedentes | 1 |
| 1.3. Problema | 2 |
| 1.4. Justificación | 2 |
| 1.5. Alcance..... | 3 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| 2. MÁRCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1. Extrusión | 4 |
| 2.1.1. El Extrusor | 4 |
| 2.2. Tipos de Extrusores..... | 4 |
| 2.2.1. Partes del Extrusor Enfriado por Aire | 5 |
| 2.2.2. Partes del Extrusor Enfriado por Agua | 5 |
| 2.3. El Cabezal y la Boquilla..... | 6 |
| 2.3.1. El Cabezal Extrusor | 6 |
| 2.3.2. La Boquilla Extrusora | 7 |
| 2.3.3. Partes Fundamentales del Hotend | 7 |
| 2.3.4. Partes Fundamentales del Coldend | 7 |
| 2.4. Factores que Inciden Durante la Impresión | 8 |
| 2.4.1. Temperatura Ambiente | 9 |
| 2.4.2. Temperatura en el Extrusor..... | 9 |

| | | |
|--------------------------|--|-----------|
| 2.4.3. | Refrigeración en el Extrusor de Aire | 9 |
| 2.4.4. | Refrigeración en el Extrusor de Agua..... | 10 |
| 2.4.5. | Velocidad de Extrusión..... | 11 |
| 2.4.6. | Velocidad de Flujos | 12 |
| 2.4.7. | Relación entre la Velocidad y la Temperatura de Extrusión | 12 |
| 2.5. | Los Termistores en Impresión 3D..... | 13 |
| 2.6. | Las Pantallas HMI en Impresión 3D..... | 15 |
| 2.6.1. | Tipos de HMI..... | 15 |
| 2.6.2. | Tipos de Pantallas | 16 |
| 2.7. | Las tarjetas de Adquisición en Impresión 3D | 17 |
| 2.7.1. | Tarjeta Arduino..... | 17 |
| 2.8. | Máquinas de Caracterización Experimental | 18 |
| 2.9. | Sistema de Control..... | 19 |
| 2.10. | Software Requerido..... | 20 |
| 2.10.1. | Software LabView | 20 |
| 2.10.2. | Software Repetier Host | 21 |
| 2.10.3. | Software Acces de Microsoft - Base de Datos..... | 22 |
| CAPÍTULO III..... | | 23 |
| 3. | METODOLOGÍA | 23 |
| 3.1. | Plataforma de Pruebas..... | 23 |
| 3.1.1. | Descripción del Estado de la Impresora..... | 23 |
| 3.1.2. | Elementos de Adecuación..... | 27 |
| 3.1.3. | Diseño de Elementos Requeridos | 32 |
| 3.2. | Variables de Control | 34 |
| 3.2.1. | Parámetros Visualizables | 34 |
| 3.2.2. | Elementos del Sistema de Control, Visualización y Almacenamiento | 35 |
| 3.2.2.1. | Diseño de la Shield: | 35 |
| 3.2.2.2. | Características y Programación de la Pantalla HMI: | 36 |
| 3.2.2.3. | Sensores a Utilizarse | 37 |
| 3.2.2.4. | Calibración de Sensores:..... | 38 |
| 3.2.2.5. | Software Requerido Dentro del Sistema..... | 43 |
| 3.2.3. | Flujo de Aire | 44 |
| 3.2.3.1. | Determinación del Flujo de Aire..... | 46 |

| | | |
|--------------------------|---|-----------|
| 3.2.4. | Flujo de Agua Control PID | 48 |
| 3.2.4.1. | Enfriamiento del Reservorio de Agua..... | 55 |
| 3.2.5. | Elementos de la Interfaz HMI..... | 55 |
| 3.2.6. | Visualización de Parámetros de Temperatura..... | 57 |
| 3.2.7. | Programación de Pantalla HMI..... | 58 |
| 3.2.8. | Interfaz en Software LabView | 59 |
| 3.3. | Adquisición de Datos | 59 |
| 3.3.1. | Adquisición y visualización de Parámetros | 60 |
| 3.3.2. | Base de Datos para el Almacenamiento de Parámetros | 60 |
| 3.3.3. | Parámetros Temperatura vs Distancia..... | 62 |
| 3.3.4. | Parámetros Temperatura vs Tiempo | 63 |
| 3.3.5. | Diagrama de Flujo..... | 64 |
| CAPÍTULO IV | | 66 |
| 4. | RESULTADOS..... | 66 |
| 4.1. | Adecuación de la Impresora 3D..... | 66 |
| 4.1.1. | Carcasa Estructural para la impresora 3D..... | 66 |
| 4.1.2. | Base Soporte de Extrusores..... | 66 |
| 4.1.3. | Carcasa Base para Pantalla LCD 16 x 8 | 67 |
| 4.1.4. | Carcasa Base para Pantalla HMI Nextion Touch..... | 67 |
| 4.1.5. | Bases Soporte para eje Z..... | 68 |
| 4.1.6. | Soportes Esquineros Superiores de Eje y Transmisión..... | 69 |
| 4.1.7. | Bases soporte para Motores Nema a Pasos | 69 |
| 4.1.8. | Soporte para Carretes de Filamento | 70 |
| 4.2. | Sistema de Visualización y Control de Flujos | 71 |
| 4.2.1. | Implementación de Termistores en los Extrusores | 71 |
| 4.2.2. | Implementación de Termistores Para Temperatura Ambiente | 72 |
| 4.2.3. | Comunicación con Pantalla HMI..... | 74 |
| 4.2.4. | Base de Datos..... | 75 |
| 4.2.5. | Comunicación con LabView..... | 75 |
| 4.2.6. | Gráfica Temperatura – Tiempo..... | 76 |
| 4.2.7. | Gráfica Temperatura – Distancia | 78 |
| 4.2.8. | Sistema de Flujo de Aire | 78 |
| 4.2.9. | Sistema de Flujo de Agua | 80 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 4.3. | Registro y Almacenamiento de Parámetros | 81 |
| 4.4. | Pruebas de Validación..... | 82 |
| 4.4.1. | Flujos..... | 82 |
| 4.4.2. | Temperaturas..... | 84 |
| 4.5. | Resultados de Impresión | 85 |
| 4.5.1. | Impresiones con el Extrusor de Aire..... | 85 |
| 4.5.2. | Impresiones con el Extrusor de Agua | 85 |
| 4.5.3. | Impresiones a Doble Extrusor..... | 86 |
| CAPÍTULO V..... | | 87 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 87 |
| 5.1. | Conclusiones | 87 |
| 5.2. | Recomendaciones..... | 88 |
| 5.3. | Bibliografía | 89 |
| ANEXO I: MATRIZ MORFOLÓGICA DE SELECCIÓN DE ELEMENTOS | | 92 |
| ANEXO II: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN..... | | 105 |
| ANEXO III: MANUAL DE USUARIO | | 115 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Extrusor de metal de tipo hexagonal de 7 aletas | 4 |
| Figura 2: Partes constitutivas del extrusor enfriador por aire..... | 5 |
| Figura 3: Partes constitutivas del extrusor enfriado por agua | 6 |
| Figura 4: Zonas de separación térmica en un extrusor (Hotend y Coldend) | 7 |
| Figura 5: Interfaz del programa Repetier Host..... | 8 |
| Figura 6: Extrusor tipo RepRap Enfriado por Aire de 9 Aletas. | 10 |
| Figura 7: Diagrama de extrusión enfriada por agua. | 11 |
| Figura 8: Bloque de calentamiento tipo V6 original. | 12 |
| Figura 9: Termistores..... | 13 |
| Figura 10: Curvas Temperatura – Resistencia de los Termistores NTC Izquierda y PTC Derecha | 14 |
| Figura 11: Termistores ubicados a lo largo de un extrusor RepRap | 15 |
| Figura 12: Pantalla HMI Resistiva Siemens para Procesos..... | 17 |
| Figura 13: Proceso de Adquisición de Datos..... | 17 |
| Figura 14: Tarjeta de Desarrollo Arduino Mega | 18 |
| Figura 15: Estudio del Comportamiento Térmico de un Extrusor RepRap | 18 |
| Figura 16: Estudio del Comportamiento Térmico de un Extrusor Diseñado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPC | 19 |
| Figura 17: Sistema de Control en Lazo Abierto | 19 |
| Figura 18: Sistema de Control en Lazo Cerrado | 20 |
| Figura 19: Software LabView Interfaz Gráfica..... | 21 |
| Figura 20: Software Repetier Host interfaz Gráfica..... | 21 |
| Figura 21: Interfaz Software Access Microsoft..... | 22 |
| Figura 22: Impresora 3D fabricada en la Universidad Técnica del Norte..... | 23 |
| Figura 23: Láminas de Acrílico Brillante | 28 |
| Figura 24: Base Soporte de Extrusores de Impresora Proporcionada Inicialmente | 29 |
| Figura 25: Pantalla de Manejo de la Impresora Proporcionada Inicialmente..... | 29 |
| Figura 26: Bases Inestables y Desgastadas de Impresora Proporcionada Inicialmente | 30 |
| Figura 27: Soportes Esquineros de Impresora Proporcionada Inicialmente..... | 30 |
| Figura 28: Motor Nema Expuesto sin Protección de Impresora Proporcionada Inicialmente | 31 |
| Figura 29: Soporte Lateral para Carretes de Filamento en Impresora 3D | 31 |
| Figura 30: Ubicación Gráfica de Termistores a lo Largo de los Extrusores | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 31: Diseño de la Shield en Proteus que irá Montada sobre la Tarjeta Arduino Mega | 35 |
| Figura 32: Pantalla HMI Nextion touch de 7’’ | 36 |
| Figura 33: Interfaz de Programación de Pantalla HMI Nextion | 37 |
| Figura 34: Curva Resistencia - Temperatura Termistores ntc | 37 |
| Figura 35: Termistor ntc 100k tipo perla | 38 |
| Figura 36: Divisor de Voltaje | 38 |
| Figura 37: Gráfico Resistencia vs Temperatura | 41 |
| Figura 38: Cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson en Excel para Calibración de Termistor | 42 |
| Figura 39: Software LabView interfaz Gráfica | 43 |
| Figura 40: Programación Gráfica Comunicación Serial Visa - Arduino | 43 |
| Figura 41: Comunicación Seria USB Type A y B 2.0 | 44 |
| Figura 42: Ventiladores Acoplados a la Base Soporte de Extrusores | 44 |
| Figura 43: Anemómetro Utilizado para Medición de Caudal de Flujo de Aire | 45 |
| Figura 44: Periodicidad de PWM Modulando su Porcentaje | 45 |
| Figura 45: Toma de Valores Experimentales de Ventilador Grande con Porcentaje de PWM al 100 % Utilizando un Anemómetro | 46 |
| Figura 46: Ajuste Polinomial del Flujo de Aire del Ventilador Pequeño | 47 |
| Figura 47: Ajuste Polinomial del Flujo de Aire del Ventilador Grande | 48 |
| Figura 48: Diagrama de Conexión para el Monitoreo y Regulación de Flujos de Aire | 48 |
| Figura 49: Sensor de Caudal yf-S401 | 49 |
| Figura 50: Diagrama del Sistema para Control de Flujo de Agua | 49 |
| Figura 51: Sistema de Control de Flujo de Agua en Lazo cerrado | 50 |
| Figura 52: Sistema de Enfriamiento del Extrusor de Agua (Reservorio, Bomba, Sensor y Purga) | 50 |
| Figura 53: Muestreo de Datos de Sensor de Flujo en el Tiempo | 51 |
| Figura 54: Importación de Datos Excel - Matlab | 51 |
| Figura 55: Ingreso de Señal de Entrada y Salida del Sistema | 52 |
| Figura 56: Curva de Sistema de Control | 52 |
| Figura 57: Parámetros de Control y Desempeño | 53 |
| Figura 58: Toma de Datos de Flujo con el Sistema Desconectado del Sensor | 54 |
| Figura 59: Pantalla Principal de Selección de Extrusor en Pantalla HMI | 55 |
| Figura 60: Pantalla de Visualización y Control de Flujo de Agua | 57 |
| Figura 61: Diagrama de Acondicionamiento y Visualización de Parámetros | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 62: Adaptador TTL para Comunicación Serial Pantalla – PC | 58 |
| Figura 63: Entorno de Programación de Nextion | 59 |
| Figura 64: Distribución de termistores en los extrusores (Aire izquierda, Agua Derecha).... | 60 |
| Figura 65: Sistema de adquisición de datos..... | 60 |
| Figura 66: Hoja de Datos de Acces | 61 |
| Figura 67: Perfil de temperatura del extrusor BCNozzle para diferentes velocidades del ventilador | 62 |
| Figura 68: Carcasa Estructural de Recubrimiento para Impresora 3D..... | 66 |
| Figura 69: Base de Material ABS para Soporte de 2 Extrusores..... | 67 |
| Figura 70: Carcasa Base para Pantalla 16x8 | 67 |
| Figura 71: Carcasa Base para Pantalla HMI Nextion Touch..... | 68 |
| Figura 72: Soportes ejes Z superior | 68 |
| Figura 73: Soportes ejes Z Inferior | 69 |
| Figura 74: Soporte de Ejes y Bandas Esquinero..... | 69 |
| Figura 75: Bases Inferiores para Motores Nema a Pasos | 70 |
| Figura 76: Soporte para carretes de filamento..... | 70 |
| Figura 77: Soporte para carretes de filamento..... | 70 |
| Figura 78: Distribución de Termistores a lo Largo del Extrusor de Aire..... | 71 |
| Figura 79: Distribución de Termistores a lo Largo del Extrusor de Agua | 72 |
| Figura 80: Termistor Externo | 72 |
| Figura 81: Termistor Interno | 73 |
| Figura 82: Parámetros de Temperaturas Externa e Interna de la Plataforma en Pantalla HMI | 73 |
| Figura 83: Parámetros de Temperaturas Externa e Interna de la Plataforma en Software LabView..... | 73 |
| Figura 84: Interfaz de Visualización y Control de Parámetros en Pantalla HMI Extrusor de Aire | 74 |
| Figura 85: Interfaz de Visualización y Control de Parámetros en Pantalla HMI Extrusor de Agua..... | 74 |
| Figura 86: Programación de Comunicación Labview-Acces para Base de Datos | 75 |
| Figura 87: Interfaz de Comunicación con el Software LabView | 76 |
| Figura 88: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Aire Pantalla HMI | 76 |
| Figura 89: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Agua Pantalla HMI..... | 77 |
| Figura 90: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Aire Software LabView | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 91: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Agua Software LabView | 77 |
| Figura 92: Interfaz Gráfica Temperatura – Distancia Extrusor de Aire Software LabView.. | 78 |
| Figura 93: Gráfica Temperatura – Distancia Extrusor de Agua Software LabView..... | 78 |
| Figura 94: Sistema de Control en Lazo Abierto del Flujo de Aire..... | 79 |
| Figura 95: Programación en la Tarjeta Arduino | 79 |
| Figura 96: Sistema de Flujo de Aire | 79 |
| Figura 97: Sistema de Control en Lazo Cerrado del Flujo de Agua..... | 80 |
| Figura 98: Sistema de Flujo de Agua (extrusor)..... | 80 |
| Figura 99: Sistema de Flujo de Agua (bomba, sensor y reservorio) | 80 |
| Figura 100: Ficha de Registro y Almacenamiento de Parámetros de Temperatura | 81 |
| Figura 101: Validación de Datos de Flujo de Aire al 60% Ventilador Pequeño..... | 82 |
| Figura 102: Validación de Datos de Flujo de Aire al 50% Ventilador Grande..... | 83 |
| Figura 103: Toma de Datos de Flujo de Agua con la bomba desconectada del sistema al 100% de su pwm..... | 83 |
| Figura 104: Validación con Pirómetro de Datos de Temperaturas de Extrusor de Aire | 84 |
| Figura 105: Validación con Pirómetro de Datos de Temperaturas de Extrusor de Agua | 84 |
| Figura 106: Impresión Realizada con el Extrusor de Aire | 85 |
| Figura 107: Impresión Realizada con el Extrusor de Agua..... | 85 |
| Figura 108: Impresión Realizada con los Extrusores Juntos | 86 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Evaluación de Estado de Componentes de la Impresora..... | 24 |
| Tabla 2: Diseño de Elementos Requeridos para Adecuación | 32 |
| Tabla 3: Datos Experimentales de Temperatura de Termistores a Utilizarse e Instrumentos de comparación | 40 |
| Tabla 4: Datos del Coeficiente de Correlación de Pearson para Calibración de Sensores..... | 42 |
| Tabla 5: Valores de Porcentajes de Flujo de Aire de acuerdo con su PWM | 46 |
| Tabla 6: Mediciones de Flujo de Agua de la Bomba para Contraste de Valores | 54 |
| Tabla 7: Conjunto de Datos Tomados de Accés en Régimen de Trabajo | 61 |

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de extrusores para una impresora 3D.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Adecuar una impresora 3D para ensayo experimental de extrusores.
- Implementar un sistema para visualización, control y almacenamiento de parámetros.
- Analizar los datos obtenidos y desplegar los resultados.
- Validar la plataforma de pruebas.

1.2. Antecedentes

El determinar un control adecuado de temperatura en el extrusor de una impresora 3D es de suma importancia para la calidad de impresión y el proceso en general, ya que ayuda a evitar pérdidas innecesarias de tiempo debido a un posible taponamiento.

Por esta visión, varios autores han estudiado el desarrollo de modelos matemáticos que permitan entender el comportamiento mecánico del MDF. Utilizando un modelo de elementos finitos para determinar el perfil de temperatura del extrusor en un régimen de trabajo permanente siendo este modelo matemático validado con datos experimentales registrados con sensores de temperatura fijados a lo largo de un extrusor [1].

[2] Realiza un modelo matemático que intenta pronosticar la conducta del extrusor, concluyendo en una posible función de transferencia que expresaría el proceso.

No obstante, algunos autores no tratan el cambio de la temperatura externa del cabezal extrusor a medida que el proceso de fabricación se va dando, y el embate que tiene en las

diferentes partes tangibles de la impresora 3D en general, como es una de las contribuciones en este trabajo.

1.3. Problema

En las impresiones 3D, el modelado por deposición fundida es uno de los métodos más utilizados en la industria, mientras dura el proceso de impresión el material fundido es depositado por una boquilla caliente siguiendo un patrón sobre una determinada plataforma. A medida que el material es depositado este se enfría y solidifica con los materiales que se encuentran en su entorno, provocando en ciertos casos la obstrucción que paralizan el proceso de impresión. La distribución incorrecta de la temperatura en el extrusor durante la impresión varía las propiedades mecánicas del filamento utilizado, provocando desperfectos en el elemento impreso.

El análisis térmico de un extrusor tipo RepRap para una impresora 3D [1], establece un perfil de temperatura que fue utilizado como referencia para el desarrollo del prototipo de extrusores enfriados por aire y agua [3]. Con este antecedente se requiere caracterizar de forma teórico – experimental a los extrusores mediante la implementación de una plataforma de pruebas que permita monitorear en tiempo real los parámetros de funcionamiento durante la impresión de modelos tridimensionales.

1.4. Justificación

La gran acogida a nivel mundial en la industrial de las impresiones 3D, ha permitido la necesidad de mejorar y corregir continuamente problemas en la impresión de elementos, uno de los principales problemas es el que surge en el cabezal extrusor debido a su obstrucción por problemas en el manejo de temperatura.

Los métodos de enfriamiento permiten sustentar un control de temperatura en condiciones de impresión para cada material, optimizando el proceso y asegurando una adecuada

distribución de temperatura a lo largo del extrusor, evitando sobrecalentamiento del material y manteniendo la condición de impresión en prolongados periodos de tiempo.

Considerando el experimento de [1], se plantea replicar su trabajo para ampliar el campo de investigación en el área y utilizando como base el estudio de [3], en el uso de extrusores enfriados por aire y agua.

1.5. Alcance

El proyecto tiene como finalidad el desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de dos extrusores uno enfriado por aire y otro enfriado por agua los cuales fueron diseñados y construidos en la Universidad Técnica del Norte para una impresora 3D.

Consiste en implementar una pantalla HMI de análisis que va a arrojar datos previo al procesamiento en una tarjeta de adquisición, también se obtendrá una base de datos mediante LabView mismo que servirá para representar la curva de comportamiento; temperatura vs distancia y temperatura vs tiempo.

La longitud del extrusor servirá para el análisis de desempeño térmico, para esto se utilizará varios termistores ubicados en los disipadores de calor, los cuales permitirán determinar un perfil de temperatura en régimen de trabajo y mantener la temperatura adecuada sin perder las propiedades del material.

Se implementará en la plataforma de pruebas un sistema de control de flujo permitiendo una transferencia de calor forzada al extrusor durante la operación, para esto se controlará un ventilador en el extrusor de aire y un flujómetro para el extrusor de agua que permitirá arrojar un caudal determinado mediante un sistema de control y a su vez se mostrará los gráficos temperatura - tiempo en la misma HMI.

CAPÍTULO II

2. MÁRCO TEÓRICO

2.1. Extrusión

Dentro de las impresiones 3D el proceso de extrusión se utiliza para formar un elemento a partir de un diseño previamente definido, este proceso se da fundiendo un filamento que pasa a través de un extrusor, permitiendo la deposición del mismo capa por capa siguiendo una trayectoria definida establecida en un software de CAD sobre la cama de impresión y aumentando la altura del extrusor, esto a su vez solidificándose para así ir teniendo una adherencia del material y que vaya adoptando la forma final [4].

2.1.1. El Extrusor

Es el elemento que se encarga de permitir el paso del filamento del material seleccionado para la impresión y fundirlo a través de una boquilla, siendo considerado como uno de los elementos más importantes dentro del proceso de impresión, ya que el mal funcionamiento del mismo puede llegar a romper, taponar e incluso afectar a la calidad del objeto impreso [5].



Figura 1: Extrusor de metal de tipo hexagonal de 7 aletas
Fuente: [6]

2.2. Tipos de Extrusores

En esta parte se destacará los dos principales extrusores utilizados en las impresiones 3D y así mismo utilizados como elementos de investigación en este trabajo, los cuales son: el extrusor enfriado por aire y el extrusor enfriado por agua.

- a. **Extrusor Enfriado Por Aire:** Es el encargado de fundir el filamento siendo refrigerado por aire mediante un ventilador acoplado a los disipadores de calor [7].
- b. **Extrusor Enfriado Por Agua:** Es el encargado fundir el filamento siendo refrigerado por recirculación de agua destilada o refrigerante mediante un sistema de bombeo [7].

2.2.1. Partes del Extrusor Enfriado por Aire

Dentro de las partes del extrusor enfriado por aire se puede destacar dos principales que son; La zona de disipación térmica y la zona de calentamiento las cuales podemos apreciar en la figura 2.

- a) **Zona de Disipación Térmica:** Dentro de esta zona se encuentra los elementos disipadores de calor que son las aletas, las cuales dependen en su mayoría del régimen de trabajo del extrusor para estimar la cantidad de estas [7].
- b) **Zona de Calentamiento:** Dentro de esta zona se encuentra el bloque de calentamiento, el cual es el elemento que posee una resistencia térmica de 40W que permite configurar una cierta temperatura para la fundición del filamento que va a ser extruido [7].



Figura 2: Partes constitutivas del extrusor enfriador por aire
Fuente: [8]

2.2.2. Partes del Extrusor Enfriado por Agua

Dentro de las partes del extrusor enfriado por agua también se puede identificar la zona de disipación térmica y la zona de calentamiento siendo diferente en algunos aspectos las cuales podemos apreciar en la figura 3.

- a) **Zona de Disipación Térmica:** Dentro de esta zona se encuentra el tanque de recirculación de agua el cual es elemento que posee una entrada y una salida del líquido que permite mantener siempre una refrigeración estable en el extrusor [9].
- b) **Zona de Calentamiento:** Dentro de esta zona se encuentra el bloque de calentamiento, el cual es el elemento que posee una resistencia térmica de 40W que permite configurar una cierta temperatura la fundición del filamento que va a ser extruido [9].



Figura 3: Partes constitutivas del extrusor enfriado por agua
Fuente: [10]

2.3. El Cabezal y la Boquilla

El cabezal y la boquilla dentro de un extrusor para impresión 3D se encargan de ejecutar la impresión del filamento fundido realizando movimientos a través de los ejes X,Y y Z de la impresora y posicionándolo en la cama de impresión de acuerdo a la geometría del elemento descrito en el código G [5].

Las características de estos dos elementos están sujetas al tipo de impresora 3D con la que se esté laborando ya que cada una de estas destaca por diferentes características como los tipos de configuración, los cuales entre los más conocidos tenemos el tipo Bowden y el tipo directo [7].

2.3.1. El Cabezal Extrusor

Es el encargado de permitir el paso del filamento de una zona fría (Coldend) a una zona caliente (Hotend) la cual se encontrará a una temperatura adecuada para la fundición del filamento, ver figura 4 [5].

2.3.2. La Boquilla Extrusora

Es el elemento mecánico que encontramos al final del Hotend en donde se encuentra el filamento acumulado y fundido para ser depositado en la cama de impresión, ver figura 4 [5].

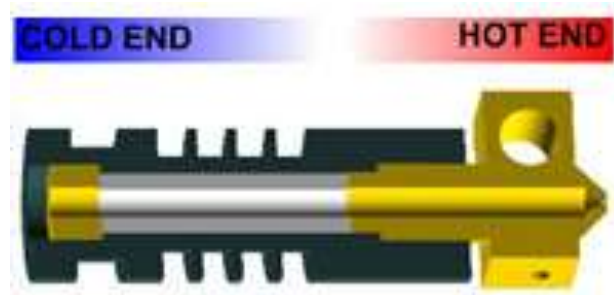


Figura 4: Zonas de separación térmica en un extrusor (Hotend y Coldend)

Fuente: [11]

2.3.3. Partes Fundamentales del Hotend

El Hotend es el que se encarga de la recepción del filamento y transmitir a este la temperatura requerida para fundirlo.

a. Resistencia Térmica:

Es la encargada de fundir el filamento y cambiarlo de estado a semi-líquido para ser introducido en la cama de impresión [7].

b. Sensor de Temperatura:

Es el encargado de realizar la medición de valores de temperatura en el bloque de calentamiento [7].

c. Boquilla:

Es el elemento donde encontramos el filamento fundido y listo para ser depositado en la cama, el diámetro de esta determina el tipo de impresión y la calidad [7].

2.3.4. Partes Fundamentales del Coldend

El Coldend es el encargado de la recepción del filamento desde la parte exterior a la parte interior del extrusor siendo este la zona de menor temperatura que encontramos.

a. Tubo Disipador de Calor:

Es un tubo ubicado en el interior del extrusor que puede ser de material metálico o tener piezas de material no metálico como el PTFE (teflón), que consigue mantener una temperatura baja en el filamento que pasa por su interior para no causar su dilatación temprana [5].

b. Motor a Pasos y Engranajes:

Es el elemento encargado dar empuje al filamento con la ayuda de engranajes de tracción que se encuentran en el eje [5].

c. Polea de Presión:

Es el elemento encargado de presionar junto al engranaje al filamento para permitir el desplazamiento de este [5].

d. Tubo de Transporte de Filamento:

Es un tubo de diámetro mayor al del filamento y material aislante encargado de transportarlo desde el motor a pasos hasta la entrada del extrusor [7].

2.4. Factores que Inciden Durante la Impresión

Nos referimos a factores que inciden durante la impresión a las variables físicas que convergen entre sí en el instante del proceso de impresión de una pieza; como la temperatura y la velocidad, estas variables generalmente pueden controlarse desde el programa de impresión o desde una pantalla propia de la impresora 3D [12].

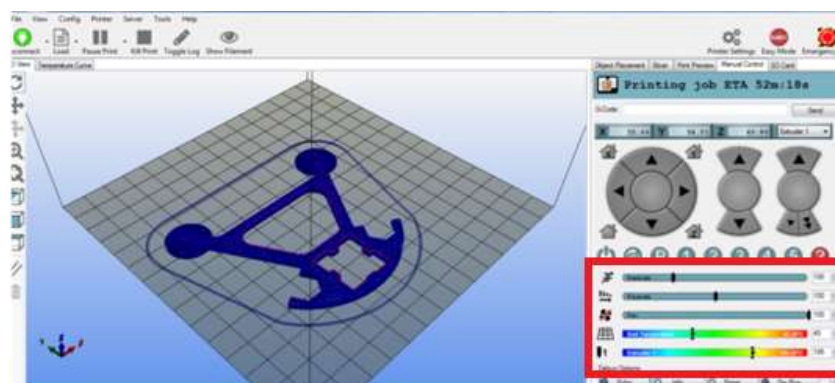


Figura 5: Interfaz del programa Repetier Host
Fuente: [13]

2.4.1. Temperatura Ambiente

La temperatura ambiental es la temperatura del aire circundante en donde se encontrará ubicada la impresora, dependiendo de algunos factores externos como la humedad, el aire y la fuerza del viento, la temperatura es medida en diferentes escalas (kelvin, fahrenheit, celsius) siendo la más utilizada la escala en celsius y para cálculos científicos usualmente la temperatura tomada es de 20 a 25 grados Celsius [14].

Esta temperatura no tiene una incidencia significativa con las impresoras cubiertas, pero si con las descubiertas, ya que en estas todos los materiales entran en contacto con esta temperatura y dependiendo del lugar en donde se vaya a imprimir para obtener un producto de calidad se necesita primero determinar el diferencial que existe entre la parte interior y la parte exterior de la impresora [3].

2.4.2. Temperatura en el Extrusor

La temperatura en el extrusor se encuentra dividida a lo largo del mismo no de manera uniforme ya que varía desde su entrada hasta la salida, esta temperatura se diferencia entre los extrusores enfriados por aire y por agua, ya que cada uno tiene un proceso distinto al momento de refrigerarse [15].

2.4.3. Refrigeración en el Extrusor de Aire

El extrusor enfriado por aire es diseñado con aletas a lo largo de su cuerpo con la intención de poder disipar todo el calor posible hasta la llegada del filamento al bloque de calentamiento y que conserve estas sus propiedades mecánicas, pero no es suficiente ya que es necesaria la ayuda de un ventilador externo acoplado al mismo que permita una transferencia de calor forzada al extrusor y este disipe y se enfríe en menor tiempo [15], ver figura 6.



Figura 6: Extrusor tipo RepRap Enfriado por Aire de 9 Aletas.
Fuente: [16]

a. Aletas:

Las aletas son superficies que se utilizan como un mecanismo acelerador de enfriamiento, combinando el sistema de conducción y convección de un área específica, haciendo fluir la temperatura por la superficie de estas compensando el coeficiente de calor; estas se añaden justificando con cálculos su número [1].

b. Ventilador:

Es una turbomáquina que se encarga de transmitir energía que mantendrá un flujo continuo de aire para realizar una transferencia de calor forzada [1].

2.4.4. Refrigeración en el Extrusor de Agua

El extrusor enfriado por agua es diseñado con un tanque que recubre el licuefactor del extrusor y que posee una entrada de agua y una salida de esta, teniendo como objetivo principal la circulación continua del líquido ayudado por una bomba externa y un tanque de reservorio que se encuentran conectados en serie [9], ver figura 7.

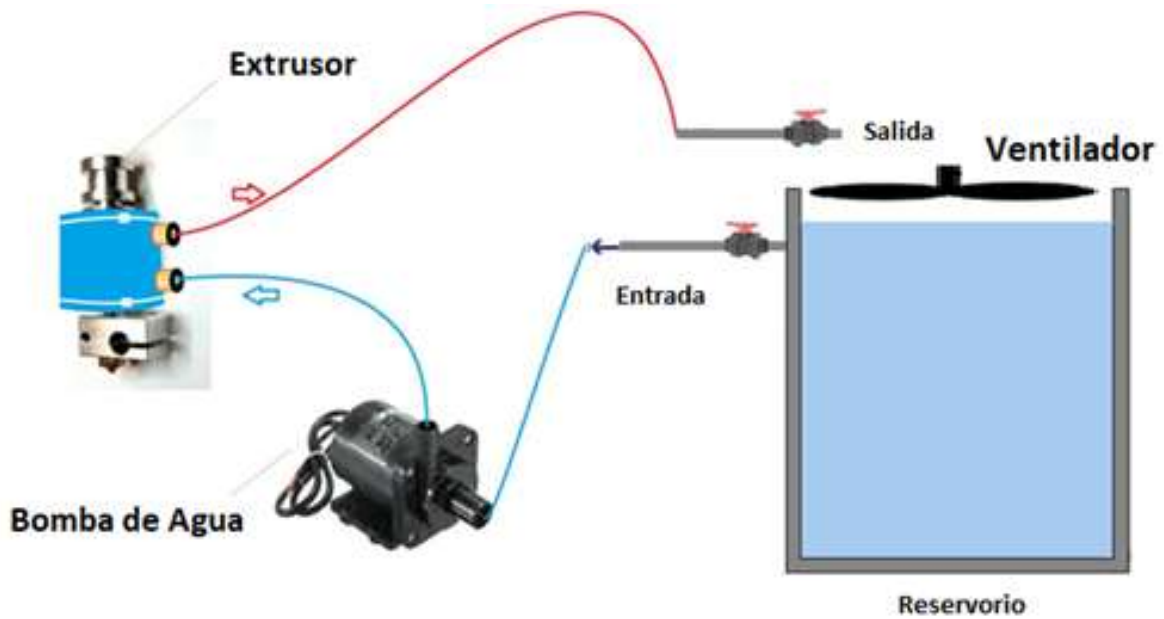


Figura 7: Diagrama de extrusión enfriada por agua.

a) Tanque de Recubrimiento del Extrusor:

Es el tanque que se encuentra alrededor del extrusor y cubre toda la parte del coldend con geometría definida, el cual posee una entrada y salida de líquido [9].

b) Bomba de Agua:

Es una máquina generadora que transforma la energía eléctrica en energía que mueve un fluido incompresible que incrementando la energía aumenta la presión del líquido y por ende su velocidad siguiendo el principio de Bernoulli [17].

c) Tanque de Reservorio:

Es un elemento que se encarga de almacenar un fluido específico con la intención de purgarlo definitivamente o que haya recirculación [17].

2.4.5. Velocidad de Extrusión

La velocidad de extrusión es la cantidad de filamento que puede ser depositado en la cama de impresión, en función de los parámetros de impresión seleccionados en el software, siendo calculados automáticamente por la impresora en función de los pasos/mm que se establecen en los motores [18].

2.4.6. Velocidad de Flujos

Las velocidades de los flujos tanto de agua como de aire es el caudal que circula a través de una sección por unidad de tiempo, normalmente identificado como flujo volumétrico siendo este fundamental en el proceso de transferencia de calor forzada en los extrusores ya que se debe tener una medición exacta del flujo que se va a liberar en determinado tiempo para tener un enfriamiento óptimo [14].

2.4.7. Relación entre la Velocidad y la Temperatura de Extrusión

Dentro del proceso de impresión la velocidad junto a la temperatura de extrusión se ven relacionadas, debido a que hay una relación directamente proporcional de crecimiento, esto quiere decir que, a mayor velocidad de impresión, mayor temperatura en el bloque de calentamiento se necesitará [19].

Para conseguir la mayor velocidad de impresión sin necesidad de un aumento de temperatura de extrusión, se puede reemplazar el extrusor que se esté utilizando por un extrusor que tenga un mayor bloque de calentamiento y a su vez que este se encuentre en posición paralela al flujo del filamento por consiguiente se conseguirá una mayor cantidad de filamento y reducir considerablemente el consumo de energía, ver figuras 8 y 9 [19].



Figura 8: Bloque de calentamiento tipo V6 original.

Fuente: [16]



Figura 9: Bloque de calentamiento tipo Volcano paralelo al flujo.

Fuente: [16]

Los rangos de temperaturas ideales para la impresión las encontramos en la información que proporciona cada fabricante de filamentos y generalmente se debe ir probando la temperatura hasta obtener un valor ideal, en donde se pueda obtener un acabado de calidad y una buena adherencia con la cama.

2.5. Los Termistores en Impresión 3D

Cuando hablamos de termistores se refiere a sensores que sirven para medir la temperatura, estos son muy utilizados en la industria con el fin de poder medir y controlar procesos, estos sensores están basados en la resistividad siendo su objetivo el de subir o bajar el valor de su resistencia a medida que la temperatura varíe, encontrando dos tipos principales el termistor NTC y PTC [20].

Dentro de las impresoras 3D los termistores son herramienta que se utilizan para controlar y medir la temperatura del bloque de calentamiento, siendo de esta manera que se tiene un control al extruir el filamento con la temperatura recomendada por el fabricante.



Figura 9: Termistores

Fuente: [21]

a. Termistor NTC:

Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura siendo este que al aumentar la temperatura aumentará también la concentración de portadores que se encuentran dentro del semiconductor por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo [20].

b. Termistor PTC:

En el caso del PTC encontramos un semiconductor con un dopado muy intenso que adquiere propiedades metálicas, que toma un coeficiente positivo en un margen de temperatura limitado que al momento de subir la resistencia la temperatura será mayor también [20].

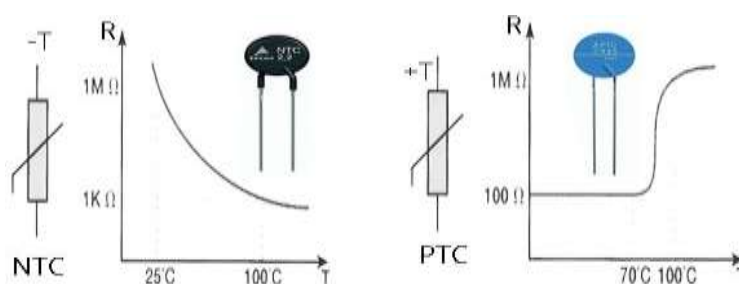


Figura 10: Curvas Temperatura – Resistencia de los Termistores NTC Izquierda y PTC Derecha

Fuente: [22]

[15] utiliza termistores a lo largo de tres disipadores específicos como es el 3D RepRap y el BCNozzle y un tercero realizado por el Dto. De Ingeniería Mecánica de la UPC, con el objetivo de estudiar la disipación de calor a lo largo del cuerpo de estos y con la ayuda de un modelado de elementos finitos.

En el estudio previo de [1] también se puede observar la utilización de sensores de temperatura a lo largo del extrusor RepRap para recopilar datos, centrándose en la disipación de calor por convección a lo largo del extrusor en régimen de trabajo y contrastando los datos con un modelo FEM.



Figura 11: Termistores ubicados a lo largo de un extrusor RepRap

Fuente: [15]

2.6. Las Pantallas HMI en Impresión 3D

Si bien existen varias formas de realiza un control de un determinado proceso, ya sea en computadoras o físicamente, para la supervisión y control local se destacan las pantallas táctiles industriales debido a la funcionalidad y al uso de espacio reducido a comparación de un computador, reemplazando los componentes eléctricos y electromecánicos (pulsadores, interruptores) por paneles interactivos gráficos conocidos como HMI (Interfaz Humano Máquina), ofreciendo la posibilidad de interactuar en tiempo real con el proceso en cuestión que se está dando en el mismo instante, ejemplos: sistemas de medición, sistemas de temperatura, apertura de bombas, activación de ventiladores, etc [23].

2.6.1. Tipos de HMI

a. Terminal de Operador:

Consiste en un elemento que puede ser instalado generalmente en un ambiente industrial y agresivo el cual se caracteriza por desplegar resultados numéricos, gráficos, alfanuméricos los cuales interactúan con una pantalla sensible al tacto [24].

b. PC + Software:

Se constituye como alternativa basada en una PC donde se cargará un software apropiado para la aplicación. Como PC se utilizará según las exigencias del proyecto, en donde existen también las industriales para ambientes agresivos, los de panel que se

instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador e instalando el software necesario para la aplicación [24].

2.6.2. Tipos de Pantallas

Para las diferentes aplicaciones existen dos tipos principales de pantallas táctiles: capacitiva y resistiva. Las dos utilizan el mismo principio para detectar las pulsaciones o los cambios en la corriente eléctrica. Sin embargo, los componentes que forman los distintos tipos de pantalla táctil y, sobre todo, la sensación para el usuario es distinta [24].

a. Capacitiva:

Las pantallas capacitivas necesitan ser manejadas mediante el dedo o un objeto que disponga de capacitancia, pueden detectar varias pulsaciones simultáneas o gestos, lo que permite diversas formas de actuar con ellas, aumentando su capacidad para ser controladas. Las pulsaciones o gestos no requieren presión, basta con deslizar el dedo para controlar la pantalla del dispositivo [24].

Al ser utilizadas directamente por el dedo, sin objetos intermedios, y no ser necesario realizar ninguna presión, la experiencia para el usuario al manejar este tipo de pantallas es bastante buena. La impresión es de rapidez, de inmediatez [24].

b. Resistiva:

Las pantallas resistivas están formadas por varias capas sobre la pantalla que, al momento de entrar en contacto, se produce un cambio en la corriente eléctrica y se detecta la pulsación. Aparte de su precio la pantalla resistiva es la mejor en cuanto a la barrera contra polvo o al agua, sin embargo, el uso de múltiples capas hace que su brillo se reduzca en, aproximadamente, un 25 por ciento y la necesidad de ejercer más presión a diferencia de la capacitiva implica una experiencia de usuario diferente [24].

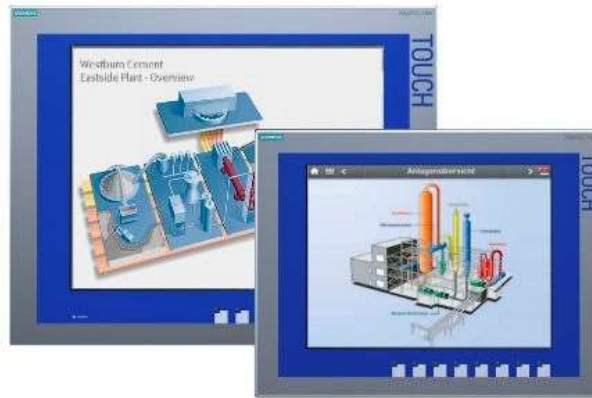


Figura 12: Pantalla HMI Resistiva Siemens para Procesos
Fuente: [25]

2.7. Las tarjetas de Adquisición en Impresión 3D

Cuando se pretende manipular, controlar, recopilar, desplegar, datos físicos de un proceso específico y manipularse con una computadora es necesario utilizar una tarjeta de adquisición de datos, las cuales sirven para obtener una variable física (corriente, voltaje, temperatura, presión) a partir de un sensor y después se acondiciona para convertirlo en un dato que pueda ser leído y registrado por un sistema digital con el fin de que la PC lo reconozca y se realice una tarea en específico [26].



Figura 13: Proceso de Adquisición de Datos
Fuente: [27]

2.7.1. Tarjeta Arduino

El Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo Open – Source construida con un microcontrolador modelo AtMega 2560 que posee pines de entrada y salida (E/S), analógicas y digitales, esta se programa en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Posee 54 pines; 14 de los cuales pueden ser utilizados como PWM, 16

entradas analógicas, 4 UARTs, cristal oscilador de 16 MHz, conexión USB, conector ICSP, Jack de alimentación y botón de Reset, fuente de alimentación de 9 a 12 VDC [28].



Figura 14: Tarjeta de Desarrollo Arduino Mega
Fuente: [29]

2.8. Máquinas de Caracterización Experimental

Algunos trabajos similares se han llevado a cabo anteriormente, como el realizado por [1], implementando de manera práctica un sistema para realizar supervisión y modelado FEM de comportamiento térmico centrándose en la disipación de calor por convección, que se desarrolla a lo largo del cuerpo del extrusor durante el proceso de impresión 3D, manipulando el flujo de aire por medio de un ventilador acoplado al extrusor y estudiando la influencia del mismo en la transferencia de calor para la correcta conservación de los componentes de la impresora, analizando y evaluando los resultados en diferentes condiciones de impresión.

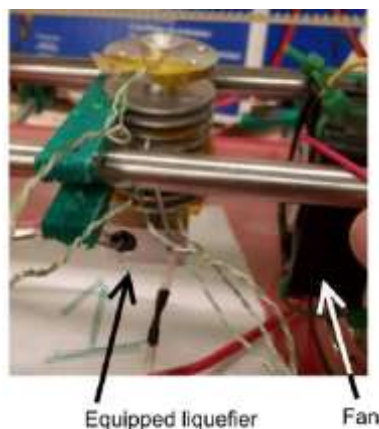


Figura 15: Estudio del Comportamiento Térmico de un Extrusor RepRap
Fuente: [1]

Dentro de la investigación de [15] se estudia el comportamiento térmico de dos disipadores RepRap y BcNozzle de investigaciones previas [1] y [30] y un tercero fabricado por el Dto. De

Ingeniería Mecánica de la UPC para ampliar la investigación se ha realizado un análisis computacional de los modelos geométricos diferentes de entre los tres disipadores, para encontrar el más óptimo, siendo el que consiga la mayor disipación de calor el mejor, para diferentes flujos de aire refrigerante proveniente de un ventilador del que están dotadas las impresoras 3D, para esto se estudió con pruebas experimentales para validar los resultados computacionales, combinando finalmente los resultados de ambas fases de análisis.

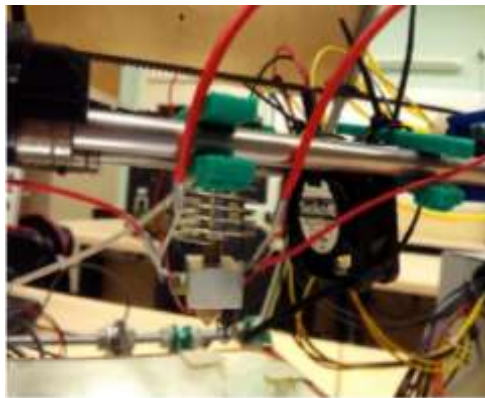


Figura 16: Estudio del Comportamiento Térmico de un Extrusor Diseñado en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPC
Fuente: [15]

2.9. Sistema de Control

Cuando hablamos de sistema de control son los sistemas que se caracterizan por la presencia de una serie de elementos que influyen en el funcionamiento de un sistema, mediante la manipulación de variables de control, teniendo un dominio sobre las variables de salida de modo que se alcance un valor deseado, garantizando; estabilidad, robustez frente a errores, eficiencia y comodidad de operación [31].



Figura 17: Sistema de Control en Lazo Abierto
Fuente: [32]

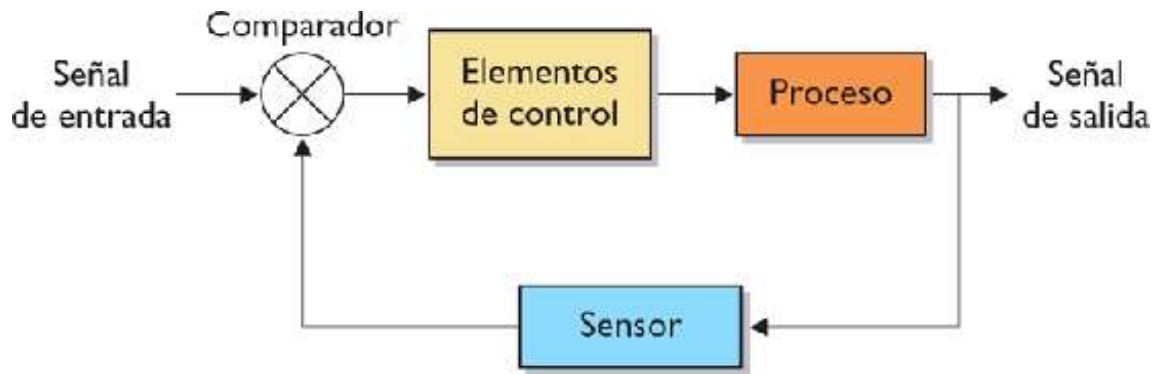


Figura 18: Sistema de Control en Lazo Cerrado
Fuente: [32]

2.10. Software Requerido

Es esencial cuando se maneja un sistema trabajar con un software que esté relacionado con la aplicación que se está desarrollando, en este caso nosotros para la visualización de las variables y datos tendremos un software específico que vamos a utilizar como lo es LabView, para el manejo de la plataforma en general tendremos el software Repetier Host y para la administración de los datos tenemos a Acces de Microsoft [33].

2.10.1. Software LabView

El software LabView es una herramienta gráfica de programación la cual nos permite crear aplicaciones y programas dibujando los componentes y uniéndolos mediante cableado, el cual nos facilita mucho su comprensión.

Dentro de las librerías del mismo programa se encuentran diseñados una cantidad enorme de bloques de programación ya predefinidos y a su vez guarda en su memoria componentes físicos utilizados normalmente en proyectos de electrónica como sensores y actuadores los cuales nos facilitan la creación del sistema [34].

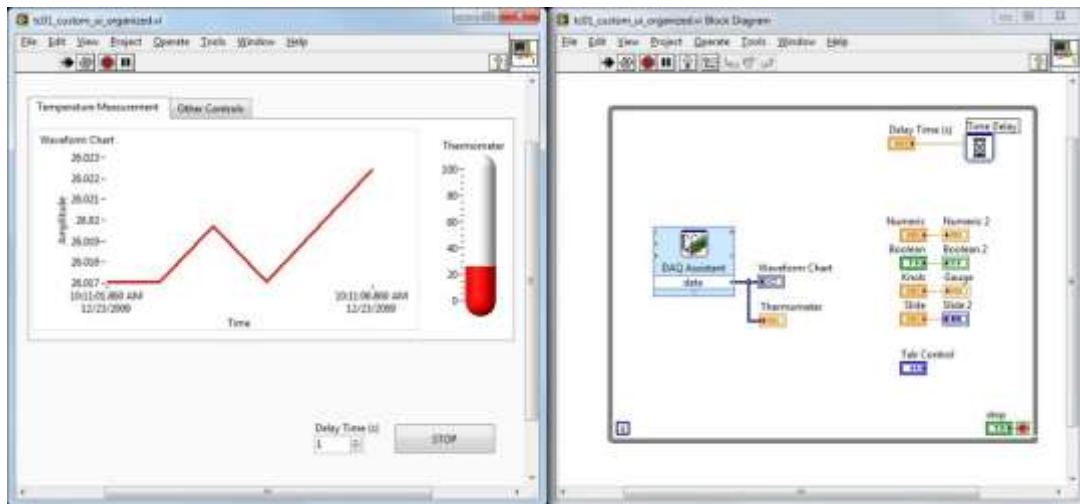


Figura 19: Software LabView Interfaz Gráfica
Fuente: [35]

2.10.2. Software Repetier Host

El software más popular en la actualidad para manejar el proceso de impresión es Repetier Host, que se encarga de controlar y calibrar parámetros de diferentes tipos de impresora 3D, ya sea mediante una conexión USB línea a línea o almacenando los datos en la tarjeta microSD de la impresora. Este software, es ampliamente utilizado y está desarrollado de forma libre, ofrece un control manual durante la impresión y la capacidad de visualizar el código G durante la impresión [13].

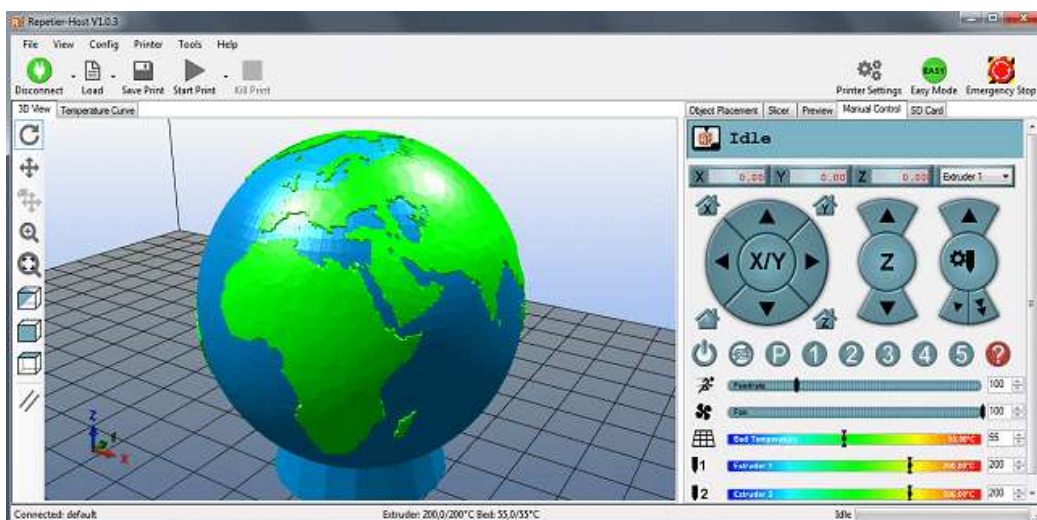
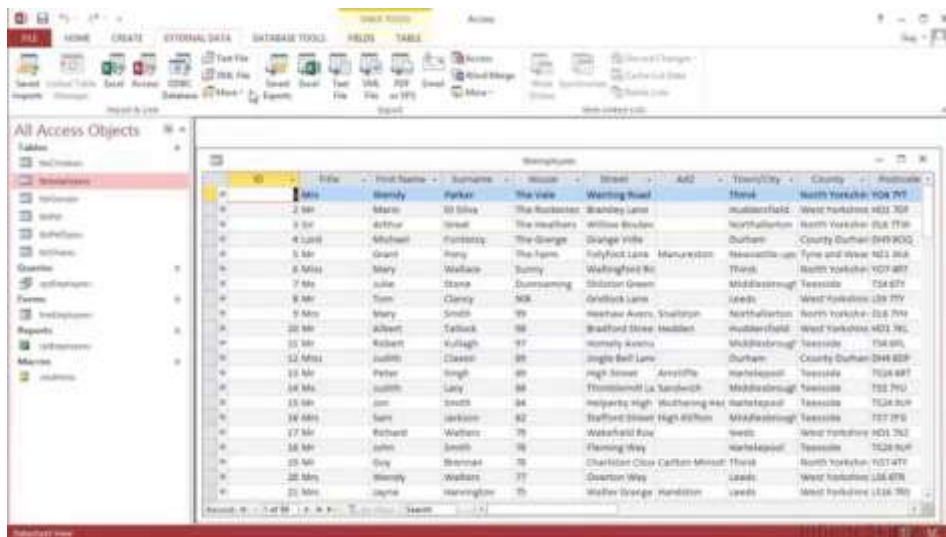


Figura 20: Software Repetier Host interfaz Gráfica
Fuente: [13]

2.10.3. Software Acces de Microsoft - Base de Datos

Día a día, cada vez son más las aplicaciones que encontramos y que requieren una interacción con una base de datos, siendo su principal función almacenar, recopilar y organizar un conjunto de datos de un contexto específico sistemáticamente, para el uso en una determinada aplicación en un formato digital [36].

Una base de datos computarizada sirve para alojar objetos, puede contener más de una tabla; por ejemplo, un sistema de inventario que usa bases de datos o códigos de otro origen, en Access se almacenan tablas en un solo archivo, junto con otros objetos como formularios, informes, macros y módulos [36].



| Title | First Name | Surname | House | Street | Add | Town/City | County | Postcode | |
|--------|------------|------------|-------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| 2 Mrs | Wendy | Parker | 16 | Washing Road | Howk | North Yorkshire | YO4 7YF | | |
| 2 Mr | Mark | De Silva | 10 | The Rectory | Wainley Lane | Northallerton | West Yorkshire | HD1 3JF | |
| 3 Mr | Arthur | Steed | 10 | The Rectory | Wainley Lane | Northallerton | North Yorkshire | DL6 7JH | |
| 4 Mrs | Michael | Fontenay | 10 | The Garage | Orange Walk | Durham | County Durham | DA9 9QJ | |
| 5 Mr | Grant | Fery | 10 | The Farm | Fullyford Lane | Manxwreston | North Yorkshire | YO11 3JH | |
| 6 Miss | Mary | Wallace | 10 | Sunny | Wainford Hill | Thirsk | North Yorkshire | YO7 4BT | |
| 7 Mr | Julie | Stane | 10 | Dunsmuir | Shilston Green | Middleton | West Yorkshire | LS4 6TY | |
| 8 Mr | Tom | Clary | 10 | 108 | Chalkwell Lane | Leeds | West Yorkshire | LS9 7TY | |
| 9 Mrs | Mary | Smith | 10 | 108 | Westlaw Acre | Southallerton | Northallerton | North Yorkshire | DL6 7JH |
| 10 Mr | Albert | Tylock | 10 | 108 | Bradford Street | Howden | Northallerton | West Yorkshire | HD1 3JF |
| 11 Mr | Robert | Kullagh | 10 | 108 | Womersley Avenue | Howden | Northallerton | West Yorkshire | LS4 6JH |
| 12 Mrs | John | Clayton | 10 | 108 | Single Bell Lane | Durham | County Durham | DA9 9JH | |
| 13 Mr | Peter | Smith | 10 | 108 | High Street | Arcliffe | North Yorkshire | YO24 6JH | |
| 14 Mr | John | Lilly | 10 | 108 | Thornhill La | Southallerton | North Yorkshire | YO11 3JH | |
| 15 Mr | Jim | Smith | 10 | 108 | Highways High | Wetheringholme | North Yorkshire | YO24 6JH | |
| 16 Mrs | Sarah | Jackson | 10 | 108 | Bradford Street | High Allerton | Middleton | West Yorkshire | LS4 6JH |
| 17 Mr | Richard | Watson | 10 | 108 | Wetheringholme | Wetheringholme | North Yorkshire | YO11 3JH | |
| 18 Mr | John | Smith | 10 | 108 | Flaming Way | Wetheringholme | North Yorkshire | YO11 3JH | |
| 19 Mr | Guy | Stewart | 10 | 108 | Charlton Close | Carlton Minors | Thirsk | North Yorkshire | YO11 3JH |
| 20 Mrs | Wendy | Wallace | 10 | 108 | Gearton Way | Gearton | West Yorkshire | LS16 6JH | |
| 21 Mrs | Janet | Harrington | 10 | 108 | Wetheringholme | Wetheringholme | North Yorkshire | YO11 3JH | |

Figura 21: Interfaz Software Access Microsoft
Fuente: [37]

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Plataforma de Pruebas

Para el desarrollo de la plataforma se ha decidido implementarla dentro de una impresora 3D fabricada en la Universidad Técnica del Norte, ver figura 23, por medio de una pantalla HMI de análisis que muestra los datos de temperaturas a lo largo del extrusor con la ayuda de una serie de termistores acoplados a su cuerpo y que sirven a su vez para representar las curvas de comportamiento; temperatura vs distancia y temperatura vs tiempo las cuales son visualizables en la pantalla HMI y el software LabView. Utilizando como referencia el trabajo realizado por [1] en el que de manera sencilla implementa un sistema para realizar la supervisión de los parámetros de temperatura y contrastarlo con un modelado de elementos finitos, centrándose en la disipación de calor por convección, que se desarrolla a lo largo del cuerpo del extrusor.

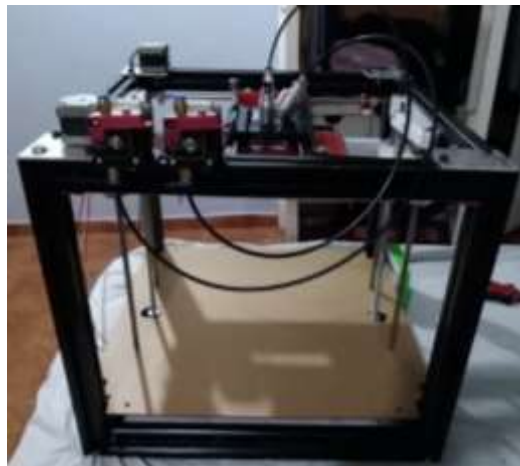









Figura 22: Impresora 3D fabricada en la Universidad Técnica del Norte.








3.1.1. Descripción del Estado de la Impresora






Para verificar el estado de todos los componentes de la impresora tanto internos como externos, se realizó una evaluación completa de todos sus elementos con la cual se pudo determinar el funcionamiento respectivo de cada uno de ellos y considerar reemplazarlos o diseñarlos nuevamente ver tabla 1.

Tabla 1: Evaluación de Estado de Componentes de la Impresora

| Número | Componente | Estado del original | Acciones | Fotografía |
|--------|--|--|---|---|
| 1 | Eje de acoplamiento flexible coupling 5x8mm (x2) | Mal acople con el tornillo y movimiento indeseado debido al desgaste | Reemplazo del par de couplings termoplásticos a un par de material de aluminio nuevos |  |
| 2 | Base de soporte de extrusores (x1) | Base desgastada y oxidada debido al material metálico y el tiempo | Reemplazo de la base original por una base diseñada en SolidWorks e impresa en PLA |  |
| 3 | Boquillas de extrusión (x2) | Desgastadas en los dos extrusores | Reemplazo de las originales por boquillas nuevas de 0,4mm |  |
| 4 | Resistencia eléctrica niquelina de 12v a 40W (x2) | Daño y desgaste en el cableado debido al uso | Reemplazo de ambas niquelinas por unas nuevas del mismo estilo |  |
| 5 | Manguera PTFE 1,75mm de ingreso de filamento | Daño y desgaste debido al uso | Reemplazo de todas las mangueras por nuevas del mismo tipo |  |
| 6 | Mangueras y acoples para refrigeración por medio de agua | Daño, desgaste y fugas debido al uso | Reemplazo de mangueras y acoples por nuevas del mismo tipo |  |
| 8 | Cama de extrusión (x1) | Cama metálica sin propiedad de | Reemplazo de la cama antigua por una nueva con | |

| | | | | |
|----|---|---|---|---|
| | | calentamiento con desgaste | propiedades de calentamiento a 12v |  |
| 9 | Drivers de alimentación de motores a paso a paso (x2) | Drivers drv8825 quemados | Reemplazo por los drivers a4988 nuevos que se integran de manera facil a la palca Arduino |  |
| 10 | Fuente de alimentación 12v a 15 A (x1) | Fallos al entregar energía a los componentes y pantalla | Reemplazo de la fuente de alimentación 12v a 30A (x2) |  |
| 11 | Motor NEMA 17 a pasos para extrusor mk8 de transporte de filamentos (x1) | Recalentamiento del motor de extrusión de aire | Reemplazo del motor recalentado por un motor nuevo de tipo mk8 similar |  |
| 12 | Ventiladores mk8 de refrigeración para motores a pasos de transporte de filamentos (x2) | No existía | Implementación de ventiladores mk8 propios de motores a pasos NEMA |  |
| 13 | Bases para mecanismo de impresora correspondiente al eje z superior e inferior (x2) | Bases desgastadas por el uso | Diseño en SolidWorks, impresión en 3D e implementación en la plataforma |  |
| 15 | Muelles de la cama (x2) | Muelles desgastados | Reemplazo por nuevos |  |

| | | | | |
|----|--|---|---|---|
| 16 | Rodamientos para varilla roscada eje z (x4) | Rodamientos desgastados y con restos de óxido | Reemplazo por nuevos |  |
| 17 | Sensor final de carrera (x2) | Ninguna novedad | Reemplazo por precaución y reemplazo de bases de sujeción |  |
| 18 | Base para pantalla LCD | Se tenía una base de madera sin ningún diseño | Se Diseñó en SolidWorks, se imprimió en 3D y se implementó en la pantalla para que pueda sujetarse en la plataforma |  |
| 19 | Bus de comunicación de pantalla con tarjeta Marlin | Buses de datos demasiado cortos | Se reemplazó los buses de datos por los mismos pero de mayor tamaño |  |
| 20 | Base y cubierta de acrílico | No existía | Se implementó la base y las cubiertas de acrílico para proteger el diferencial de temperatura |  |
| 21 | Cableado, terminales y cadenas pasacables | No existía seguridades para el cableado | Se cambió el cableado más desgastado y se cubrió para una mayor protección con manguera de tipo caracol |  |
| 22 | Base para pantalla HMI de control | No existía | Se diseñó en SolidWorks, se imprimió en 3D y se implementó en la plataforma |  |

| | | | | |
|----|---|-----------------------------------|--|---|
| 23 | SHIELD para tarjeta Arduino | No existía | Se diseñó e implementó una tarjeta electrónica SHIELD para incorporarla a la tarjeta Arduino |  |
| 24 | Tanque reservorio de refrigerante | En mal estado | Se compró un nuevo tanque de reservorio |  |
| 25 | Rodamientos para ejes Z superiores e inferiores | En mal estado | Se adquirió nuevos rodamientos a medida |  |
| 26 | Rodamientos Lineales | Insuficientes para la estabilidad | Se agregó 4 rodamientos más z680 |  |
| 27 | Bases laterales para cama caliente | No existía | Se diseñó e imprimió |  |

3.1.2. Elementos de Adecuación

Dentro de los elementos de adecuación se describirá los elementos previamente diseñados y adquiridos los cuales fueron implementados en el lugar correspondiente de la impresora 3D con el fin de mantener un funcionamiento óptimo bajo las características requeridas en el sistema.

a. Estructura Externa para Impresora 3D

Una característica que marca la calidad de impresión es la temperatura ambiente y uno de los problemas fundamentales al momento de imprimir en regiones frías. Este efecto

se denomina warping, que sucede al depositar el plástico caliente y este es enfriado rápidamente produciendo una contradicción en la impresión que provoca que las capas superiores se deslicen de las capas inferiores y se despeguen, por tal motivo se ha decidido solucionar este inconveniente mediante el diseño de una carcasa con plástico acrílico de 2mm de espesor de opal brillante, que nos ayude tanto con la estética y que mejore el diferencial de temperatura existente entre la parte externa y la parte interna.



Figura 23: Láminas de Acrílico Brillante

b. Base Soporte de Extrusores

Se pudo identificar en la base original el desgaste y la inseguridad que existía en el acople de los extrusores, por tal motivo se ha tomado la decisión de diseñar y posteriormente imprimir una base especialmente diseñada que se utilizará en la plataforma, la cual consta de la respectiva seguridad de acople con los ejes X Y, para permitir el movimiento libre de los extrusores en el proceso de impresión, esta será impresa en material ABS el cual se destaca por su dureza y su resistencia térmica sobre los 240°C, ya que los extrusores estarán constantemente en régimen de trabajo.

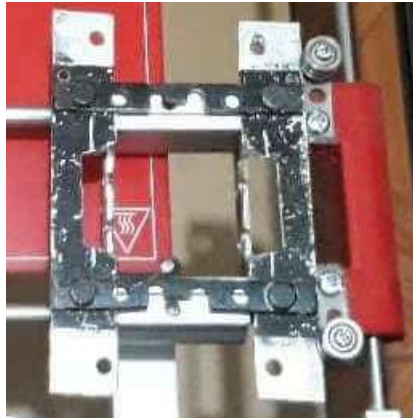


Figura 24: Base Soporte de Extrusores de Impresora Proporcionada Inicialmente

c. Carcasa Base para Pantallas LCD

Para garantizar la protección de las pantallas multifunción tanto la propia de la impresora 3D como la del sistema, se diseñarán 2 bases de recubrimiento y posterior impresión 3D en material PLA que es un producto natural y nos permite escoger de una gran variedad de colores de filamento. Este elemento se acoplará a la carcasa frontal de la impresora.



Figura 25: Pantalla de Manejo de la Impresora Proporcionada Inicialmente

d. Bases Soporte para eje Z

Previo la evaluación de los elementos se encontró que las bases de Soporte de eje Z estaban fabricadas por un material metálico muy inestable y desgastado provocando una inestabilidad en el eje z y los tornillos roscados al momento de la impresión, por tal motivo se realizará el diseño y la impresión 3D de nuevas bases tanto inferiores como superiores teniendo en cuenta el acople de los rodamientos y los couplings de los motores a pasos.



Figura 26: Bases Inestables y Desgastadas de Impresora Proporcionada Inicialmente

e. Soportes Esquineros Superiores de Eje y Transmisión

Se modificarán los soportes esquineros de los ejes XY que se encontraban en la parte superior de la impresora para adecuarlos al nivel del esqueleto principal, con el objetivo de poder manipular la apertura y cierre de la tapa superior de ventilación, el diseño que se realizará es enfocado a las dimensiones de la impresora con un orificio en la parte inferior para el eje X y en la parte central una apertura para el movimiento de las bandas de transmisión de potencia de los motores a pasos.

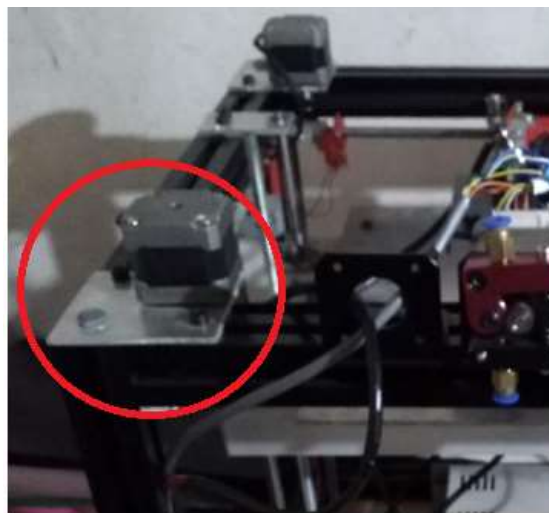


Figura 27: Soportes Esquineros de Impresora Proporcionada Inicialmente

f. Bases soporte para Motores Nema

Los soportes de los motores a pasos Nema son bases que se diseñarán e imprimirán para ubicarlas en la parte inferior de la impresora 3D siendo los últimos elementos que

reciben a la barilla roscada del eje Z y encerrando el motor, ya que en la impresora proporcionada no existen estos elementos y son fundamentales para evitar la desalineación del eje.



Figura 28: Motor Nema Expuesto sin Protección de Impresora Proporcionada Inicialmente

g. Soporte para Carretes de Filamento

Se diseñarán los soportes en la parte lateral de la impresora los cuales serán impresos en 3D, con el objetivo de tener un elemento de sostén para los carretes de filamento que se utilizará dentro del proceso de impresión, los cuales tendrán una conexión directa hacia los motores a pasos de transporte.







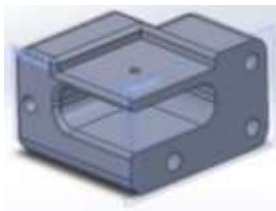



Figura 29: Soporte Lateral para Carretes de Filamento en Impresora 3D













Fuente: [38]

3.1.3. Diseño de Elementos Requeridos

Los elementos que necesitaron un rediseño y los nuevos mencionados en la tabla 1, se los realizó en el software SolidWorks, con las respectivas mejoras, y adecuados al tamaño de cada elemento de la impresora para que tenga un ajuste y funcionamiento adecuado con cada pieza dentro de la misma.

Tabla 2: Diseño de Elementos Requeridos para Adecuación

| Núm. | Componente | Diseño | Modelo Impreso |
|------|---|---|---|
| 1 | Base Soporte Extrusores |  |  |
| 2 | Base Soporte Eje Z Superior |  |  |
| 3 | Soportes Esquineros Superiores de Eje y Transmisión |  |  |
| 4 | Soporte Medio Superior de Ejes XY |  |  |
| 5 | Bases Inferiores para | | |

| | | | |
|----|---|---|---|
| | <p>motores Nema (x2)</p> |  |  |
| 6 | <p>Acople Finales de Carrera</p> |  |  |
| 7 | <p>Tuerca de Seguridad de Ejes</p> |  |  |
| 8 | <p>Soportes para Carretes de Filamento</p> |  |  |
| 9 | <p>Circuito Impreso Shield para Tarjeta Arduino</p> |  |  |
| 10 | <p>Bases de Pantalla HMI</p> |  |  |

| | | | |
|----|----------------------------------|---|--|
| 11 | Soportes Base Inferiores de Cama |  |  |
|----|----------------------------------|---|--|

3.2. Variables de Control

Dentro de las variables de control será prioridad los parámetros de carácter cuantitativo, que servirán para la medición de los elementos previamente determinados, siendo las variables que se controlarán: el flujo de aire que será determinado por medio de los tres ventiladores colocados de refrigeración del extrusor de aire y el flujo de agua que se determinará por medio del sistema de control de la bomba del extrusor de agua.

3.2.1. Parámetros Visualizables

Los parámetros que visualizaremos dentro del estudio son: las temperaturas a lo largo de los extrusores las cuales serán medidas por medio de los termistores ubicados a lo largo del cuerpo de estos como se representa en [1], la temperatura ambiental tanto exterior como interior de la plataforma y los flujos correspondientes de aire y agua de cada extrusor.

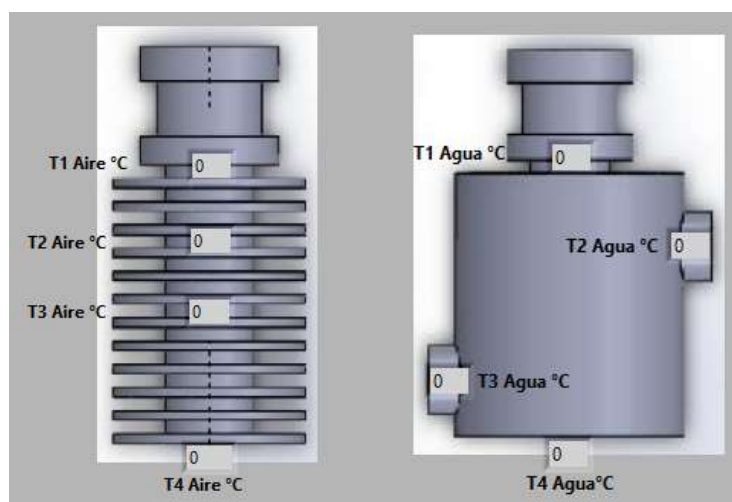


Figura 30: Ubicación Gráfica de Termistores a lo Largo de los Extrusores

3.2.2. Elementos del Sistema de Control, Visualización y Almacenamiento

Para la realización del sistema de visualización, control y almacenamiento de parámetros se implementarán varios elementos electrónicos externos a la impresora como es: la placa Arduino Mega adicional para incorporar los elementos de control, una pantalla HMI Nextion de 7" Resistiva, termistores para realizar las mediciones de temperatura y los software Labview para visualización de gráficas y Acces para la vinculación de la base de datos.

3.2.2.1. Diseño de la Shield:

Dentro del diseño del Shield para la tarjeta Arduino se encuentran la conexión directa con los puertos análogos que en total son 10, 4 termistores para el extrusor de aire, 4 para el extrusor de agua y 2 para temperaturas interna y externa cada uno con una resistencia. Los transistores mosfet son activados por la señal pwm para poder activar los diferentes dispositivos externos como la bomba, el ventilador, el extractor de calor de aire del tanque y el sensor de caudal; cada pin sirve para comunicar con los dispositivos como la pantalla y para la comunicación serial rx y tx de la tarjeta arduino.

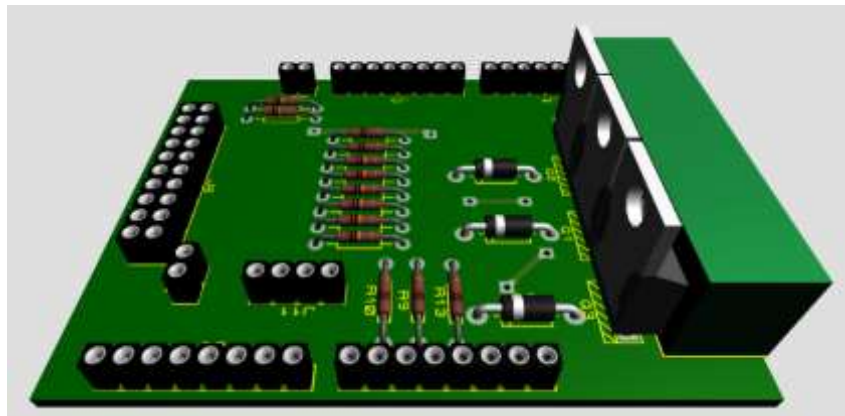


Figura 31: Diseño de la Shield en Proteus que irá Montada sobre la Tarjeta Arduino Mega

Para realizar el acondicionamiento de los sensores se ha montado un divisor de voltaje en la misma shield, el cual se trata de un circuito simple que reparte la tensión de una fuente entre una o más impedancias conectadas siendo en este caso todos los sensores. Los termistores entran a cada una de las resistencias para variar la resistencia de estos y luego pasa por el divisor

de voltaje que también permite que varíe el voltaje, para esto se tiene una resistencia estándar R2 de 10 K y la resistencia variable de cada termistor en R1.

3.2.2.2. Características y Programación de la Pantalla HMI:

Para realizar el sistema de visualización se ha decidido trabajar con la pantalla de interacción humano máquina de 800 x 480 de 7.0 pulgadas táctil Nextion Touch la cual nos proporciona una interfaz de control y visualización amigable entre el operador y el proceso y con la facilidad de trabajar con su propio software descargable de internet. Esta pantalla es aplicada principalmente en el campo del internet de las cosas o la electrónica de consumo, utiliza un único puerto serial para su comunicación y es compatible con varias tarjetas de desarrollo como Arduino y Raspberry, tiene una superficie de 154 x 86 mm con memoria de 16 MB flash.

El consumo de energía es de 5 V con alrededor de 1500mA de corriente, siendo un consumo elevado e insuficiente para que la batería soporte, por tal motivo se ha decidido implementar un adaptador de alimentación que permite regular la corriente de la pantalla acoplándose al consumo de los demás elementos.



Figura 32: Pantalla HMI Nextion touch de 7''



Figura 33: Interfaz de Programación de Pantalla HMI Nextion

3.2.2.3. Sensores a Utilizarse

Se utilizará los termistores ntc 100k 3950 los cuales son sensores que han sido seleccionado debido a su uso mayoritario dentro de las impresoras 3D, estos sirven para medir la temperatura y se constituyen por un material semiconductor oxido metálico que presenta cambios en su resistencia en proporción a un cambio pequeño en la temperatura siendo elementos no lineales. En general estos termistores tienen coeficientes de temperatura negativos lo que significa que la resistencia del termistor disminuye a medida que se aumenta la temperatura, ver figura 35.

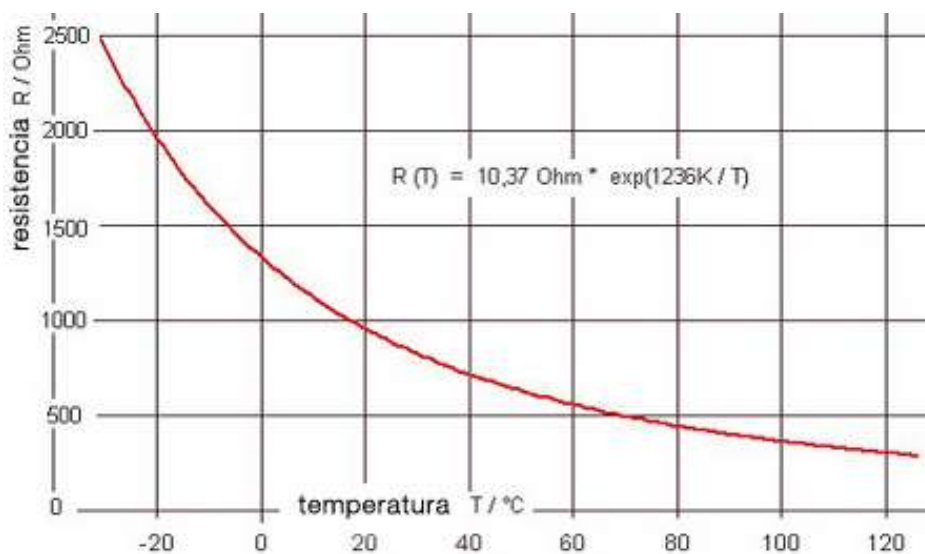


Figura 34: Curva Resistencia - Temperatura Termistores ntc
Fuente: [39]



Figura 35: Termistor ntc 100k tipo perla
Fuente: [40]

3.2.2.4. Calibración de Sensores:

El primer paso dentro del proceso de calibración es la linealización del sensor a utilizarse el NTC 3950; el sensor trabaja como una resistencia que baja según la temperatura aumenta, para su conexión se necesita de un divisor de voltaje y el cálculo de la resistencia se lo realiza mediante una ecuación.

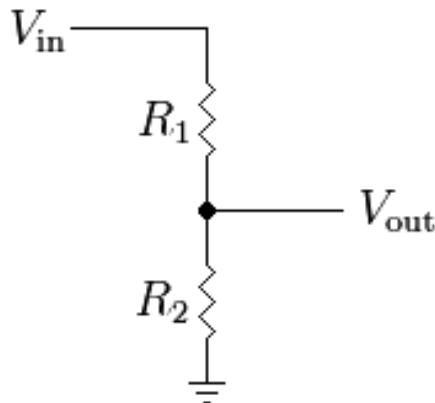


Figura 36: Divisor de Voltaje
Fuente: [41]

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in} \quad (1)$$

$$R_1 = \frac{R_2}{V_{out}} * V_{in} - R_2$$

Donde:

R1: Resistencia sensor de temperatura NTC 3950

R2: Resistencia fija de 100kΩ

Vin: Voltaje de ingreso 5V

Vout: Voltaje que será leído por el pin análogo de la placa Arduino

Para calcular la temperatura necesitamos saber el valor beta del termistor a utilizarse, normalmente este valor se lo suele encontrar en el datasheet del fabricante, pero en el caso que se vaya a calibrar o que el fabricante no lo proporcione se calculará utilizando la siguiente ecuación.

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{t1}}{R_{t2}}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} \quad (2)$$

Donde:

Rt1: Resistencia a temperatura 1

Rt2: Resistencia a temperatura 2

T1: Temperatura 1 en (K°)

T2: Temperatura 2 en (K°)

Ubicamos el termistor a una temperatura determinada con la ayuda del bloque de calentamiento propio de la impresora y de su sensor calibrado previamente con el que está conectado a la placa marlyn y se toma el valor de su resistencia en K° después se eleva la temperatura a un grado mayor y volvemos a tomar la resistencia. Cuanta más diferencia de temperatura más fiable será el cálculo, estos valores se los puede tomar con un multímetro o directamente con los valores que nos da su datasheet a determinada temperatura.

Temperaturas tomadas y aplicación del cálculo de Beta:

$$T1 = 25^{\circ}C + 273,15 = 298.15^{\circ}K$$

$$T2 = 215^{\circ}C + 273,15 = 488.15^{\circ}K$$

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{t1}}{R_{t2}}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)} = 4161.7$$

Con el valor de beta encontrado, se aplicará la siguiente fórmula para encontrar el valor de la temperatura real.

$$T = \left(\frac{\ln\left(\frac{R_{ntc}}{R_o}\right)}{\beta} + \frac{1}{T_o}\right)^{-1} \quad (3)$$

Donde:

T: Temperatura actual del sensor (K°)

Ro: Resistencia fija utilizada en el divisor de voltaje (R2=100kΩ)

To: Temperatura en K° a 25°C

Rntc: Resistencia que marca el sensor de temperatura (divisor de voltaje R1)

β: Valor beta calculado

La relación entre la temperatura y la resistencia se da de manera exponencial, se continúa las pruebas de calibración buscando una curva característica del termistor, para esto se tomará las mediciones ante la variación de temperatura en el bloque de calentamiento del extrusor de aire mediante dos herramientas que son el pirómetro y el sensor calibrado de fabrica conectado en la placa marlyn propia de la impresora, arrojando resultados de temperatura, mientras que el termistor 3950 se tomará la medida de la resistencia con un multímetro:

Tabla 3: Datos Experimentales de Temperatura de Termistores a Utilizarse e Instrumentos de comparación

| Datos tomados Termistores 3950 (Ω ohmios) | Termistor del Bloque de Calentamiento (°C) | Pirómetro (°C) |
|---|---|-------------------|
| 35,92 | 50 | 51 |

| | | |
|-------|-----|-----|
| 24,56 | 60 | 62 |
| 18,12 | 70 | 69 |
| 12,66 | 80 | 81 |
| 8,44 | 90 | 89 |
| 6,82 | 100 | 99 |
| 4,82 | 110 | 111 |
| 3,61 | 120 | 121 |
| 2,76 | 130 | 128 |
| 2,32 | 140 | 139 |

$$y = 0,0005x^4 - 0,044x^3 + 1,3014x^2 - 17,816x + 171,66$$

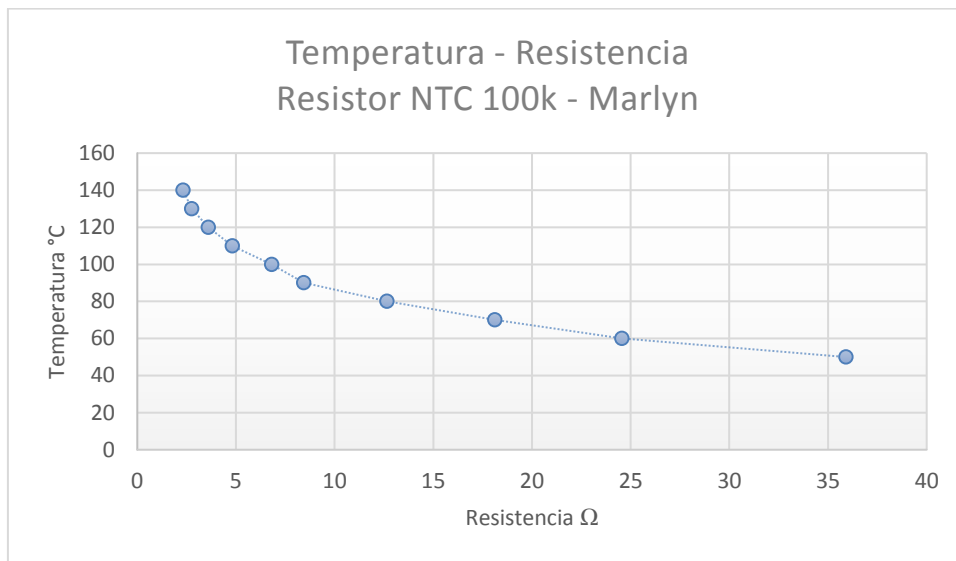


Figura 37: Gráfico Resistencia vs Temperatura

Para identificar la confiabilidad entre las dos variables comparadas, en este caso la variable en ohmios medida ya convertida a temperatura mediante su datasheet y la temperatura del sensor de la marlyn se realiza el método de Coeficiente de Correlación de Pearson el cual nos permite medir el grado de relación de estas dos variables desde 0 a 1, siendo que la variable se acerca a 1 podemos decir que tiene una dependencia bastante fuerte y una confiabilidad aceptable.

En la siguiente tabla se representará los valores de los cálculos para realizar este método estadístico de comparación, cabe recalcar que se ha representado con “x” al termistor NTC 3950 el cual es el elemento sometido a calibración y con “y” el termistor acoplado a la placa marlyn que mide la temperatura del bloque de calentamiento.

Tabla 4: Datos del Coeficiente de Correlación de Pearson para Calibración de Sensores

| NTC 100k | Sensor Marlyn |
|----------|---------------|
| 49 | 50 |
| 62 | 60 |
| 69 | 70 |
| 81 | 80 |
| 89 | 90 |
| 101 | 100 |
| 111 | 110 |
| 119 | 120 |
| 127 | 130 |
| 143 | 140 |

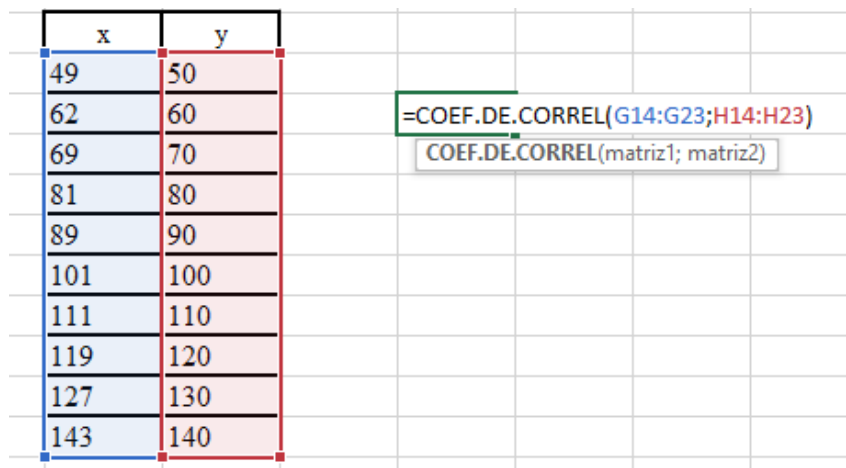


Figura 38: Cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson en Excel para Calibración de Termistor

Para determinar el coeficiente en Excel ingresamos el comando = COEF.DE.CORREL(x,y) seleccionando las dos columnas, con esto el Coeficiente de Correlación de Pearson es de 0,998261 teniendo una dependencia muy fuerte.

3.2.2.5. Software Requerido Dentro del Sistema

Dentro del sistema se planificó trabajar con el software LabView de National Instrument ya que es una herramienta gráfica de programación que nos permitirá adecuar nuestra aplicación, con una interfaz gráfica, el mismo nos facilita mucho su comprensión y posee librerías para la conexión y lectura de los sensores en Arduino (VISA ARDUINO), ver figura 40 y 41, a su vez guarda en su memoria componentes físicos utilizados normalmente en electrónica.

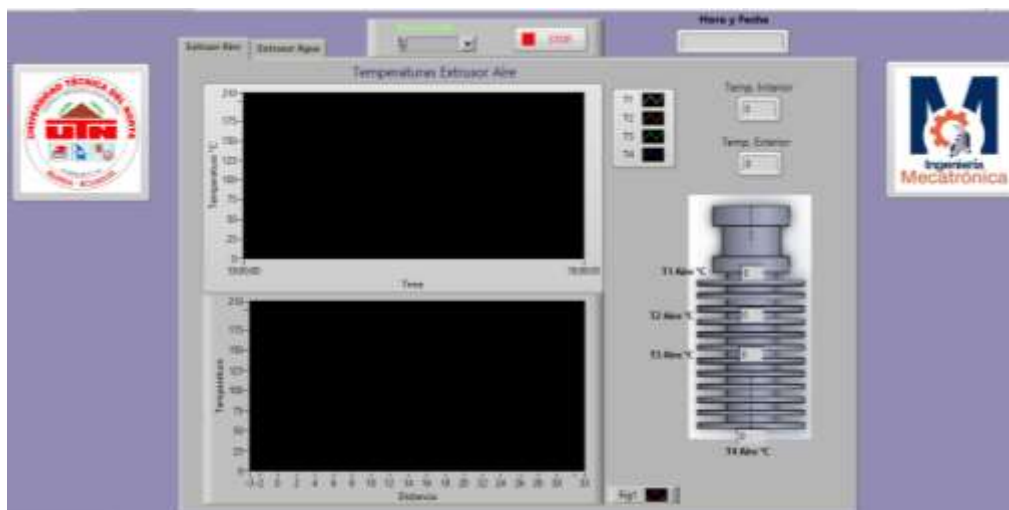


Figura 39: Software LabView interfaz Gráfica

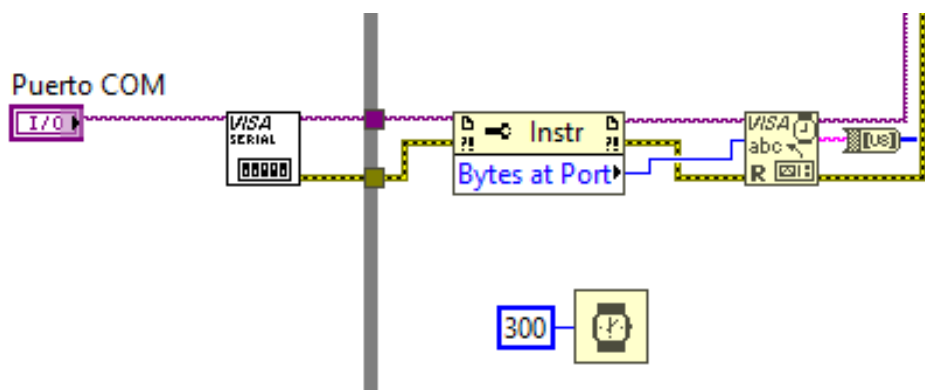


Figura 40: Programación Gráfica Comunicación Serial Visa - Arduino

Para la comunicación entre el software y el sistema se lo realizará mediante una comunicación serial USB 2.0 type A para la PC y Type B para la plataforma, la cual es una comunicación robusta, segura y generalmente usada dentro de la mayoría de las impresoras 3D.

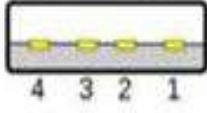



| Type | Port Image | Connector Image |
|--------|---|--|
| Type A |  |  |
| Type B |  |  |

Figura 41: Comunicación Serial USB Type A y B 2.0
Fuente: [42]

3.2.3. Flujo de Aire

Se considera flujo a cualquier fluido sea líquido o gaseoso que posea velocidad generada por algún tipo de energía y sea transportado por una determinada superficie, en este caso el flujo de aire se lo analizará siendo este generado por tres ventiladores de 12 voltios de 7 aletas, siendo dos de ellos de dimensiones 30*30*10 ubicados en los laterales del extrusor de aire y uno de 40*40*10 ubicado en la parte frontal como extractor, teniendo la posibilidad de activarlos y desactivarlos mediante un control dipswitch a cada uno, ver figura 43, además para las mediciones de flujo de aire se tendrá un instrumento conocido como anemómetro, el cual nos dará las lecturas de velocidad del viento a medida que se varíe su pwm.



Figura 42: Ventiladores Acoplados a la Base Soporte de Extrusores



Figura 43: Anemómetro Utilizado para Medición de Caudal de Flujo de Aire
Fuente: [43]

El proceso se lo realizará tomando mediciones en decenas de unidades de porcentaje de acuerdo con la variación de su PWM en periodos, ver figura 46. Para la toma de mediciones se realizará a partir del 10 % luego el 20% y así sucesivamente hasta llegar al 100% en valores de decenas desde la velocidad mínima hasta alcanzar la máxima velocidad, para los valores intermedios de unidades entre las decenas ejemplo: 15%, 37%; se realizará un polinomio característico para estimar valores del flujo con los datos que se tomó previamente y esto implementarlo en la programación de la placa ARDUINO y en la pantalla HMI para su control.

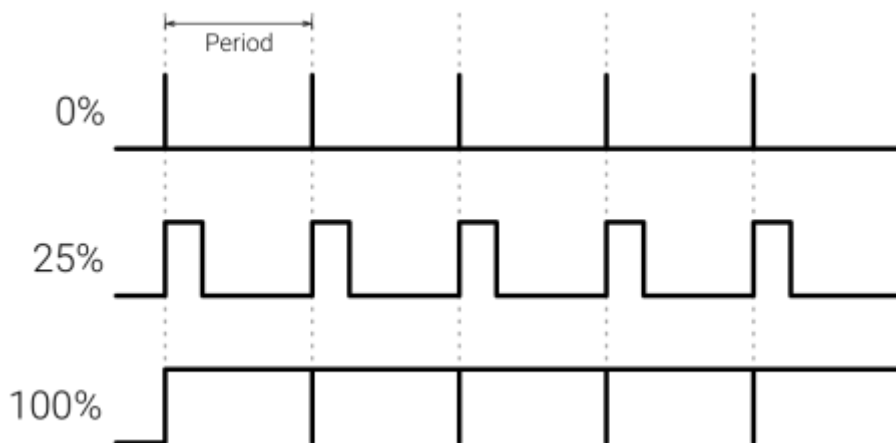


Figura 44: Periodicidad de PWM Modulando su Porcentaje
Fuente: [44]

3.2.3.1. Determinación del Flujo de Aire

Para determinar el flujo de aire lo primero que se realizará son las mediciones del porcentaje en decenas con la ayuda del anemómetro para los dos tipos de ventiladores, tanto el ventilador grande de 40x40x10 y para el ventilador pequeño de 30x30x10 registrando los datos como se observa en la figura 46.



Figura 45: Toma de Valores Experimentales de Ventilador Grande con Porcentaje de PWM al 100 % Utilizando un Anemómetro

Una vez tomadas todas las mediciones de los valores se proceden a registrarlos en una tabla junto con su porcentaje de PWM como se puede observar en la tabla 5 y realizar un gráfico de tendencia como se observa en la figura 47 para tener un modelo polinómico.

Tabla 5: Valores de Porcentajes de Flujo de Aire de acuerdo con su PWM

| MEDICIÓN DE VALORES PARA DETERMINAR EL FLUJO DE AIRE | | |
|--|---|--|
| Porcentaje de PWM (%) | Mediciones Tomadas con Anemómetro Ventilador Pequeño (m/s) | Mediciones Tomadas con Anemómetro Ventilador Grande (m/s) |
| 100 | 2,7 | 4,7 |

| | | |
|----|-----|-----|
| 90 | 2,3 | 3,9 |
| 80 | 1,9 | 3,3 |
| 70 | 1,5 | 2,9 |
| 60 | 1 | 2,4 |
| 50 | 0,8 | 1,8 |
| 40 | 0,4 | 1 |
| 30 | 0 | 0,5 |
| 20 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 |

Posterior a esto para estimar los valores intermedios como ya se mencionó anteriormente se calcula el ajuste polinomial con los puntos y la curva característica mediante el software de Matlab.

$$Y = -2.913753e-9*x^4 - 2.816628e-6*x^3 + 7.392191e-4*x^2 - 0.016198*x + 0.027972$$

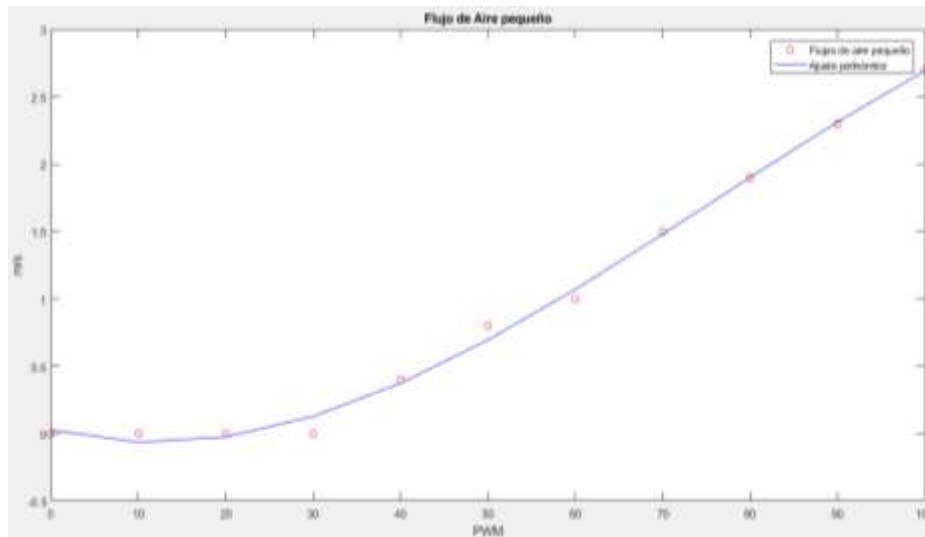


Figura 46: Ajuste Polinomial del Flujo de Aire del Ventilador Pequeño

$$y = 1.923077e-7*x^4 - 4.366744e-5*x^3 + 0.003454*x^2 - 0.054141*x + 0.070629$$

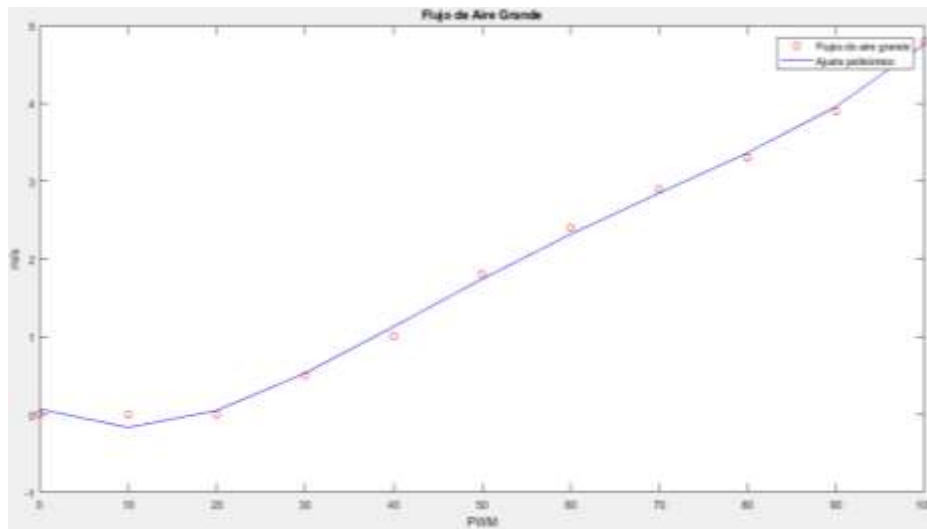


Figura 47: Ajuste Polinomial del Flujo de Aire del Ventilador Grande

Para poder controlar la regulación de flujos para el caudal en la pantalla HMI se programará dentro de la misma botones que permitan operar las velocidades del ventilador en porcentaje; ejemplo 10%, 12%, 15%, 20% y 30% regulables tanto en decenas como en unidades; todo esto con la finalidad de tener una precisión al momento de elegir una velocidad adecuada para el enfriamiento del extrusor de aire bajo las condiciones requeridas.

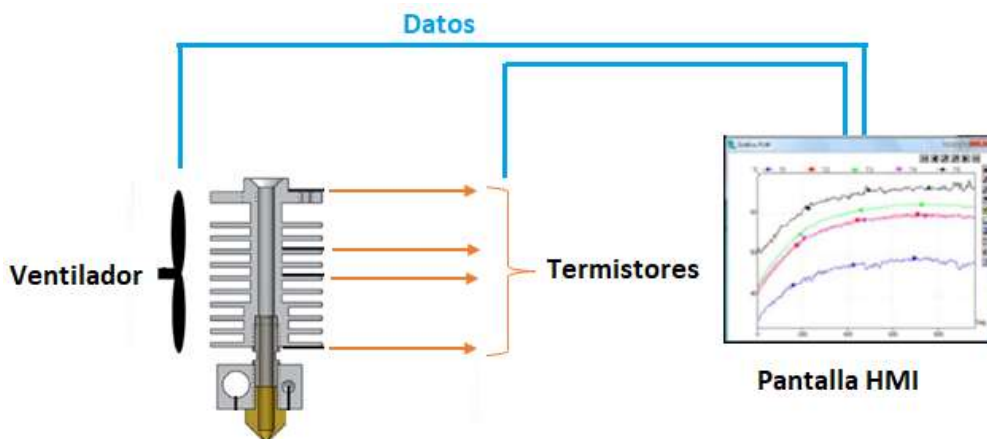


Figura 48: Diagrama de Conexión para el Monitoreo y Regulación de Flujos de Aire

3.2.4. Flujo de Agua Control PID

Se considera flujo de agua a cualquier fluido que tenga su estado líquido y que posea velocidad la cual está generada por algún tipo de energía y se transporte por una determinada superficie [14], en este caso para el control del flujo de agua se lo realizará implementando un

sistema de control en lazo cerrado por medio de una bomba de agua de plumas de un auto la cual será el enlace entre el reservorio de agua, el sensor yf-s401 que nos ayudará a tomar datos del flujo en pulsos eléctricos y el extrusor, tomando todo lo mencionado como planta.



Figura 49: Sensor de Caudal yf-S401
Fuente: [45]

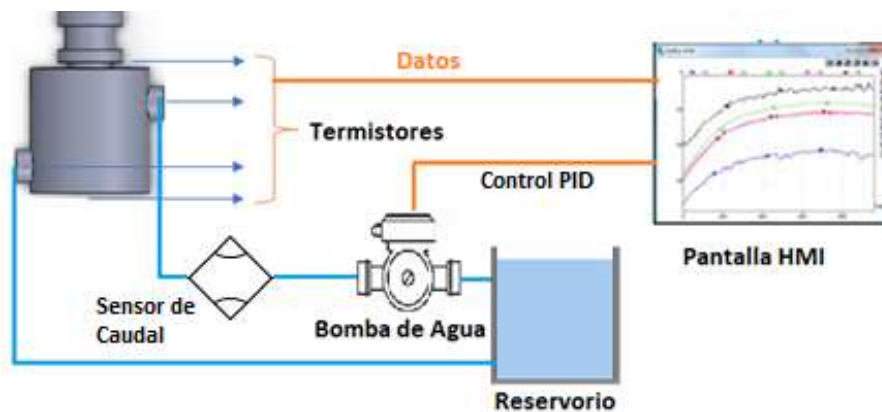


Figura 50: Diagrama del Sistema para Control de Flujo de Agua

Para realizar el control PID es necesario tener la planta conectada en lazo cerrado, ingresando el flujo de agua en mililitros/segundo para la referencia y la medida del sistema, el controlador será el elemento donde se realizarán los cálculos del PID en nuestro caso la tarjeta Arduino para obtener la señal de control necesaria y alcanzar la referencia, la entrada del sistema o de la bomba será el voltaje en PWM, la salida del sistema es el flujo de agua el cual se medirá con el sensor yf-s401 teniendo un rango de trabajo de 0.2 a 6 litros/minuto adaptándose bien a nuestra planta.

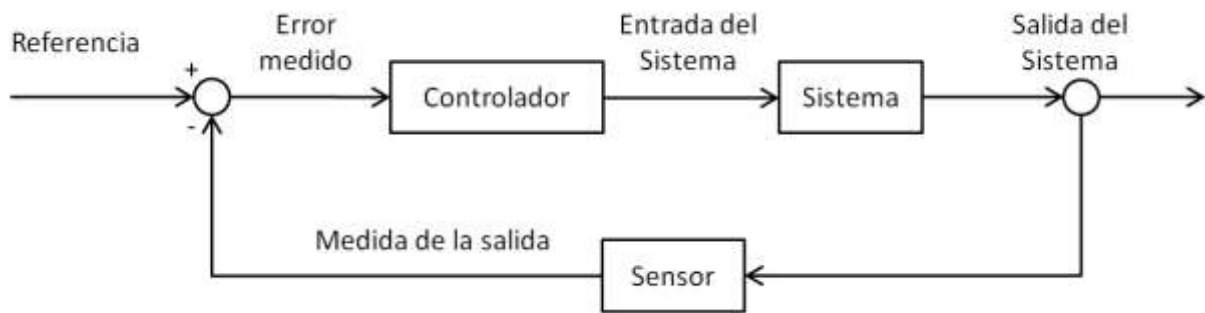


Figura 51: Sistema de Control de Flujo de Agua en Lazo cerrado



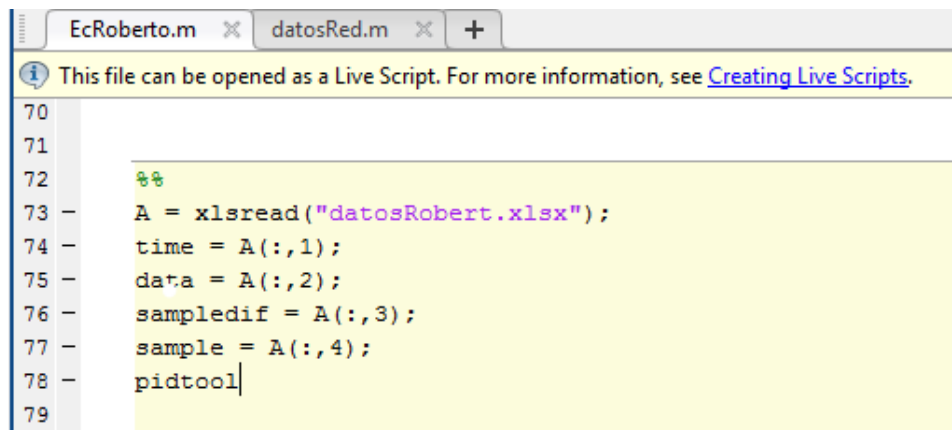
Figura 52: Sistema de Enfriamiento del Extrusor de Agua (Reservorio, Bomba, Sensor y Purga)

Para determinar los datos de flujo que arroja el sistema lo primero es desplegar en pantalla del software de Arduino el tiempo de muestreo y el flujo en determinado tiempo como se indica en la figura 54, obteniendo aproximadamente 3 datos por segundo con un tiempo de muestreo aproximado de 300ms, en el apartado de anexos encontraremos la tabla completa.

```
23:51:01.225 -> recvRetNumber :1
23:51:01.429 -> 0.00
23:51:02.109 -> 7.42
23:51:02.381 -> 11.97
23:51:02.692 -> 13.12
23:51:02.964 -> 13.12
23:51:03.236 -> 13.72
23:51:03.541 -> 13.93
23:51:03.815 -> 16.72
23:51:04.122 -> 16.19
23:51:04.395 -> 14.80
23:51:04.706 -> 14.00
23:51:04.981 -> 14.12
23:51:05.257 -> 14.80
23:51:05.563 -> 14.84
```

Figura 53: Muestreo de Datos de Sensor de Flujo en el Tiempo

Posteriormente guardamos estos valores en un archivo de Excel el cual nos servirá para exportarlos a Matlab y guardarlo en un vector, como se muestra en la figura 55.



```
EcRoberto.m x datosRed.m x +
This file can be opened as a Live Script. For more information, see Creating Live Scripts.
70
71
72 %%
73 - A = xlsread("datosRobert.xlsx");
74 - time = A(:,1);
75 - data = A(:,2);
76 - sampledif = A(:,3);
77 - sample = A(:,4);
78 - pidtool|
79
```

Figura 54: Importación de Datos Excel - Matlab

Con la ayuda de la herramienta pidtool, se procede a analizar los datos y generar las constantes k_p , k_i y k_d del controlador PID seleccionando una nueva planta, especificando la señal de entrada que en nuestro caso es una señal STEP Response de 5v, el tiempo de muestreo es de 300ms y la señal de salida cuyos datos se encuentran en el vector asignado anteriormente en el código de Matlab.

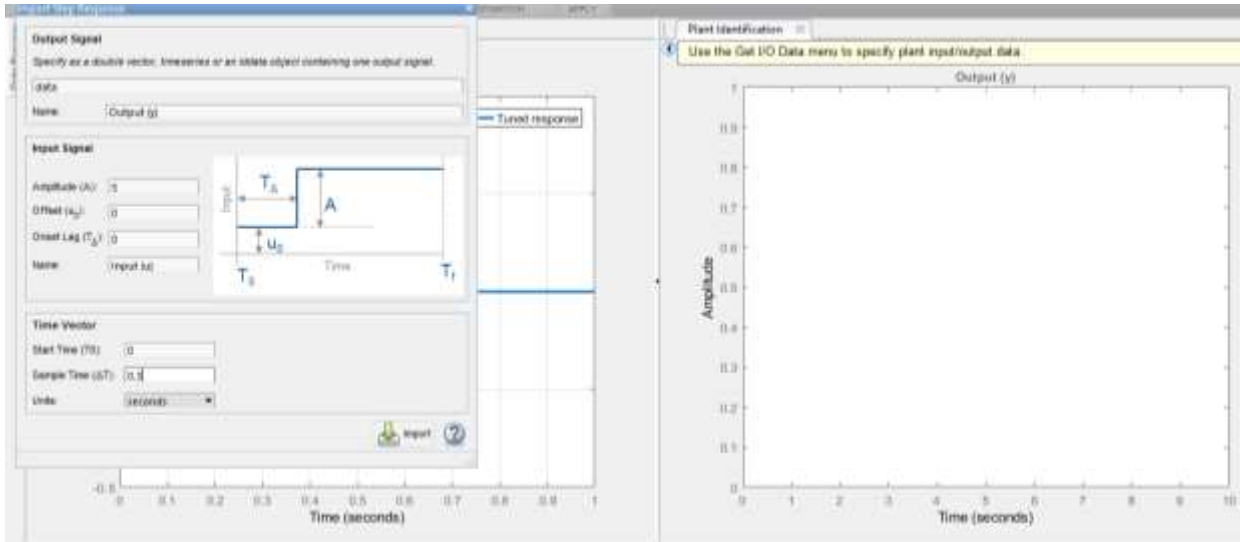


Figura 55: Ingreso de Señal de Entrada y Salida del Sistema

Una vez encontradas las constantes se nos desplegará una pantalla donde encontraremos la estructura y la respuesta de nuestro controlador PID el cual da la posibilidad de modificar la curva y realizar un ajuste al tiempo de respuesta y al comportamiento transitorio, en este caso tenemos un sistema de primer orden el cual no necesita una estabilización rápida pero si una robustez y precisión en los datos obtenidos, por tal motivo el sistema se ha modelado como se muestra en la figura 57, y con los datos de la figura 58 se procederá a implementar en la tarjeta Arduino para el control.

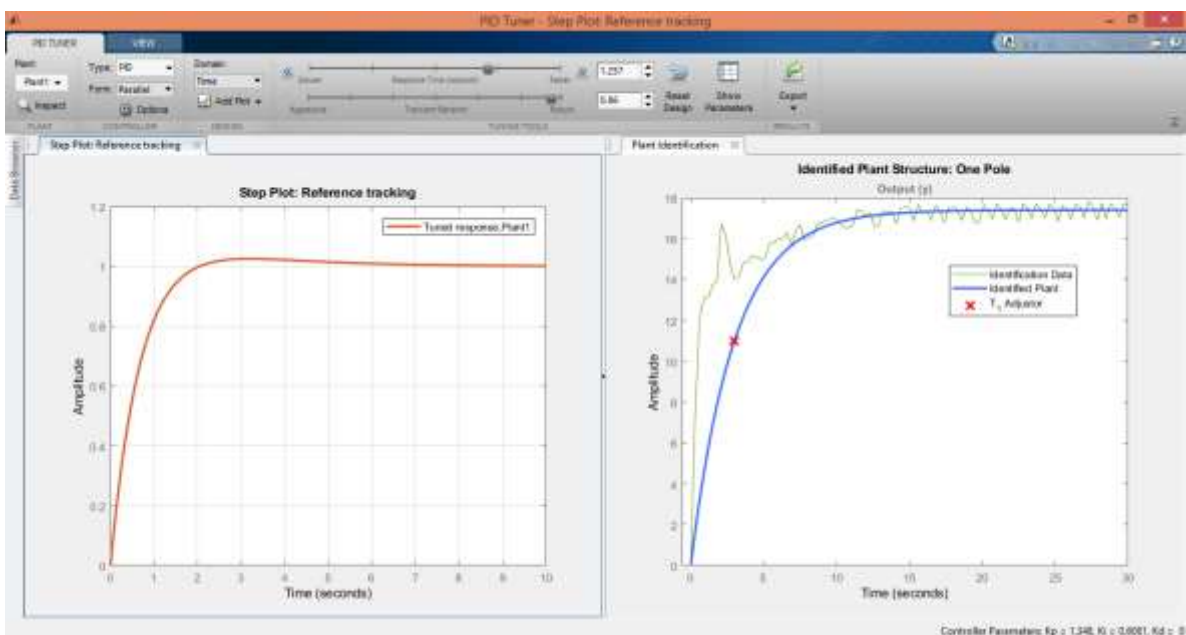


Figura 56: Curva de Sistema de Control

| Controller Parameters | |
|-----------------------|---------|
| | Tuned |
| Kp | 1.3478 |
| Ki | 0.60809 |
| Kd | 0 |
| Tf | n/a |
| | |
| | |

| Performance and Robustness | |
|----------------------------|---------------------|
| | Tuned |
| Rise time | 1.21 seconds |
| Settling time | 4.19 seconds |
| Overshoot | 2.49 % |
| Peak | 1.02 |
| Gain margin | Inf dB @ NaN rad/s |
| Phase margin | 86 deg @ 1.59 rad/s |
| Closed-loop stability | Stable |

Figura 57: Parámetros de Control y Desempeño

Con la finalidad de contrastar los datos arrojados por el sensor de flujo se ha realizado también la medición del caudal volumétrico por medio del llenado de un vaso de precipitación con la manguera del sistema de agua, siendo esta desconectada en el punto del sensor y utilizándola para llenar el vaso en un tiempo de 10 segundos al PWM máximo y así con la fórmula del caudal (1) contrastar los datos de esta medición con los del sensor.

$$Q = \frac{V}{T} \quad (4)$$

Donde:

Q: Caudal Volumétrico (ml/s)

V: Volumen (mililitros)

T: Tiempo (segundos)

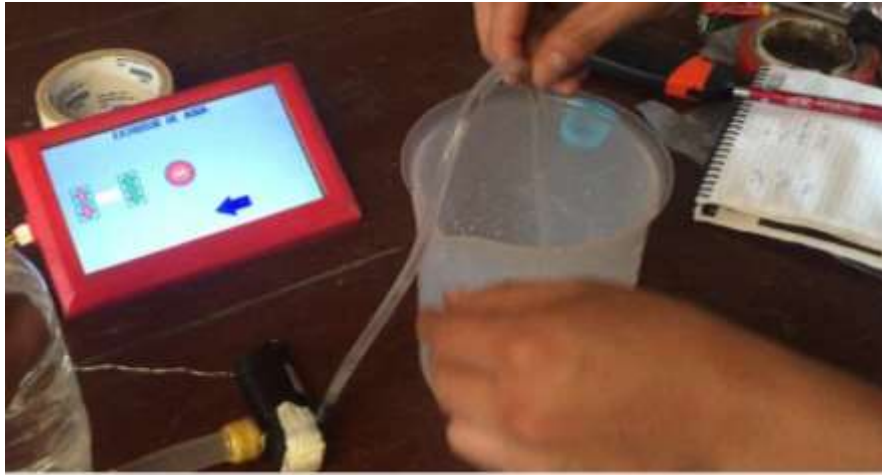


Figura 58: Toma de Datos de Flujo con el Sistema Desconectado del Sensor

Dádonos como resultado un contraste similar que mediante el sensor se obtiene 17 ml/s y con el flujo de la manguera se obtiene 17,2 ml/s, existiendo un error aproximado del 0.012% que es aceptable bajo las condiciones del sistema.

Tabla 6: Mediciones de Flujo de Agua de la Bomba para Contraste de Valores

| Muestras de medición del flujo de agua al 100% de PWM durante 10 segundos |
|---|
| 172 mililitros |
| 171 mililitros |
| 170 mililitros |
| 172 mililitros |
| 172 mililitros |
| 171 mililitros |
| 172 mililitros |
| 172 mililitros |
| 173 mililitros |
| 172 mililitros |

3.2.4.1. Enfriamiento del Reservorio de Agua

Para la circulación de líquido de enfriamiento en el extrusor de agua se utilizará un refrigerante o agua destilada que se encargará de actuar como agente de enfriamiento, absorbiendo calor del cuerpo del extrusor.

A parte de esto tendremos ubicado en la parte superior del reservorio un Ventilador DC de 12 v que será el encargado de regular la temperatura en el interior del reservorio para optimizar de mejor manera el enfriamiento del líquido y que el extrusor funcione de manera adecuada, adicional a esto se implementará también una purga de agua conectada al tanque reservorio con la finalidad de poder drenar el líquido cuando sea necesario.

3.2.5. Elementos de la Interfaz HMI

Para el diseño de la interfaz se ha tomado en cuenta la norma ISO 9241 la cual corresponde al diseño de interfaces con consideraciones visuales, colores que enfatizan la importancia de información y ubicación adecuada de etiquetas. Una vez encendido el sistema se tiene una pantalla principal de selección de extrusor, la cual permitirá escoger entre el extrusor de Aire o de Agua.



Figura 59: Pantalla Principal de Selección de Extrusor en Pantalla HMI

A continuación, se presenta la descripción de los elementos de la pantalla de los extrusores tanto de aire como de agua que la van a componer, ya que su interfaz es similar en el manejo, con la única diferencia de la imagen del extrusor a controlar. Dentro de la pantalla se encontrará botones para el manejo adecuado de flujos y visualización de parámetros.

a. Texto Superior:

En la parte superior se encuentra el texto que indica el extrusor con el cual se está trabajando en ese momento sea de aire o de agua.

b. Área de Gráficas de Temperatura:

En la parte superior izquierda con fondo de color negro y mallado se encontrará el área donde se mostrarán las gráficas de temperatura – distancia en tiempo real en régimen de trabajo.

c. Imagen del Extrusor:

En la parte superior derecha de la pantalla se encontrará la gráfica del extrusor que se está utilizando con sus respectivas etiquetas y colores de ubicación de cada termistor.

d. Etiquetas de temperatura:

Al lado derecho del gráfico se encuentran indicando cuanto marca cada temperatura de acuerdo con el color y ubicación de su sensor en el extrusor

e. Flechas de control de Flujo:

En la parte inferior izquierda se tendrá las flechas de control de flujo, las cuales se dividirán en dos controles, las de color rojo para controlar el flujo en decenas de unidades (10%, 20%, 30%) y las de color verde para controlar unidades (12%, 46%, 98%) en el extrusor de Aire, en el extrusor de agua se seleccionará únicamente un valor de referencia para que el controlador actúe.

f. Paro de Emergencia:

Al lado derecho del control tenemos el botón de paro de emergencia (stop) el cual se encarga de suspender todo el proceso que se esté realizando en ese instante cancelando el flujo y limpiando las gráficas, los valores de temperatura de etiquetas se mantendrán.

g. Etiquetas de Temperatura Ext/Int:

Al lado derecho del paro de emergencia se encontrarán las etiquetas de lectura de temperaturas tanto interior como exterior de la plataforma.

h. Flecha de Regreso:

En la parte inferior derecha se encontrará la flecha de regreso, que nos permitirá regresar a la pantalla principal de selección de extrusores.

i. Botón de Encendido del Ventilador de Refrigeración del Reservorio (ON):

En el lado izquierdo del botón de regreso en el extrusor de agua se encuentra el botón de encendido y apagado del ventilador del reservorio de agua, el cual permite activar y desactivar la ventilación en cualquier momento del proceso.



Figura 60: Pantalla de Visualización y Control de Flujo de Agua

3.2.6. Visualización de Parámetros de Temperatura

Para la visualización de parámetros de temperatura como ya se mencionó en la metodología en Parámetros Visualizables estarán ubicados cuatro termistores a lo largo de cada extrusor en lugares específicos según la investigación de [1] y [15] en los cuales tienen una separación considerable entre cada uno con la intención de tratar de no acaparar las mismas zonas dos o más extrusores, las señales de estos pasan a través de la Shield-Arduino que las acondiciona para poder visualizarlas en un medio digital, en este caso la pantalla HMI y el software Labview por medio del toolkit VISA, en la figura 62 a continuación se puede observar un diagrama de la ubicación de los mismos y la visualización en la interfaz.

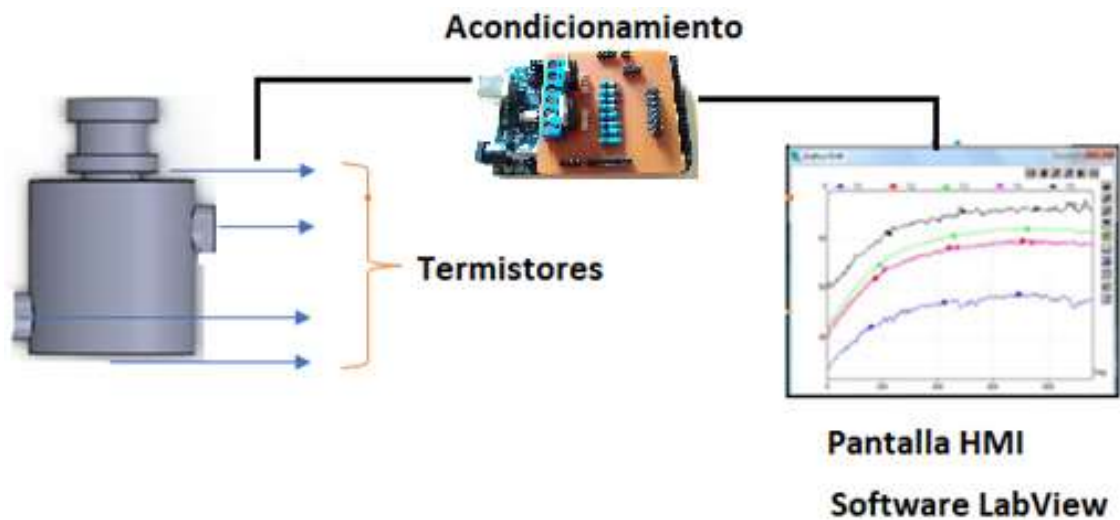


Figura 61: Diagrama de Acondicionamiento y Visualización de Parámetros

3.2.7. Programación de Pantalla HMI

El entorno de programación de la pantalla Nextion está basado en un lenguaje básico de comandos y arrastre de elementos, se utilizará la comunicación serial por medio de un adaptador TTL para programar la pantalla, la cual tiene elementos predefinidos para adecuar la interfaz, en este caso se programó tres tipos de interfaz, que son la pantalla principal de selección de extrusor, y las pantallas secundarias de manejo de cada uno de los extrusores.

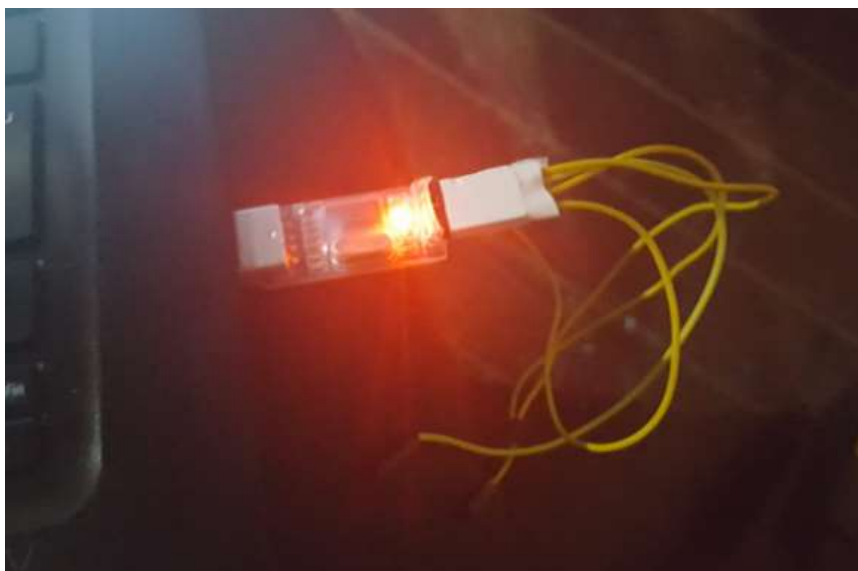


Figura 62: Adaptador TTL para Comunicación Serial Pantalla – PC

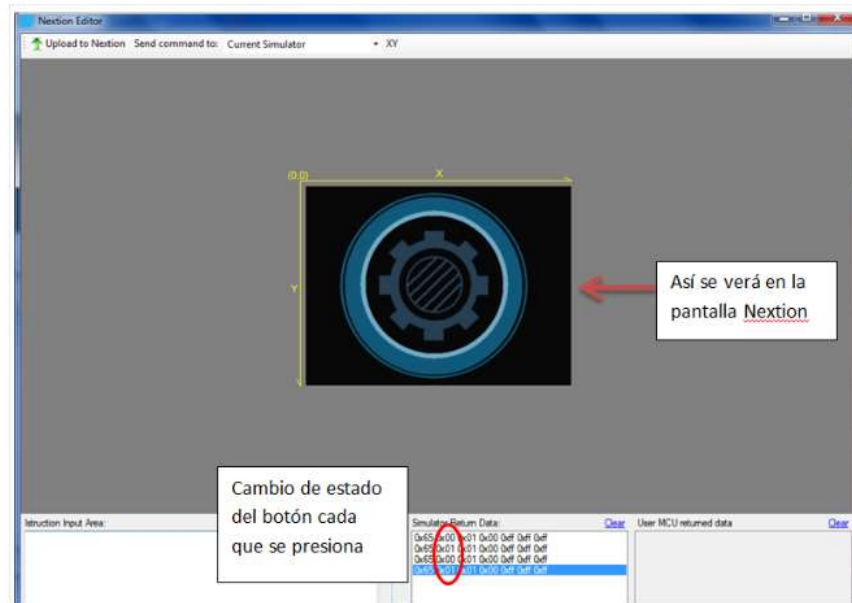


Figura 63: Entorno de Programación de Nextion

3.2.8. Interfaz en Software LabView

La interfaz de la pantalla HMI Nextion no será la única que permitirá la visualización de los parámetros de temperatura, se tendrá también la interfaz en LabView que aparte de indicarnos las gráficas temperatura – tiempo nos indicará una gráfica adicional temperatura – distancia según el criterio de [1] con el objetivo de observar y estudiar gráficamente la distancia entre parámetros de temperatura y la afectación entre los mismos.

3.3. Adquisición de Datos

Dentro de la adquisición de datos nos centraremos en el proceso de muestreo de la señal física, en este caso las señales de temperatura, que para determinarlas se ha ubicado a lo largo de los extrusores los sensores correspondientes (termistores) ver figura 65, así también con el diferencial de temperatura, para su posterior almacenamiento, análisis y presentación en la pantalla HMI y en el Software Labview.

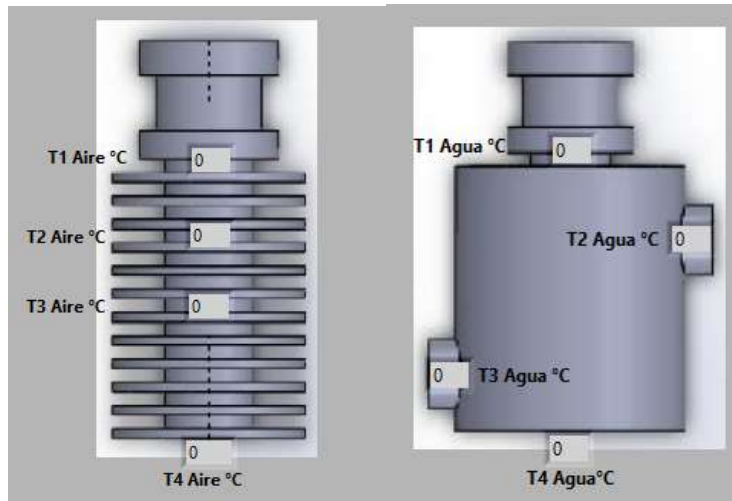


Figura 64: Distribución de termistores en los extrusores (Aire izquierda, Agua Derecha)

3.3.1. Adquisición y visualización de Parámetros

La adquisición y visualización de parámetros se los realizará por medio de la tarjeta Arduino y también en la PC por medio de la cual vinculada a LabView se creará una base de datos que servirá para la recopilación de información de las señales físicas de temperaturas en los extrusores y en el medio ambiente.



Figura 65: Sistema de adquisición de datos

3.3.2. Base de Datos para el Almacenamiento de Parámetros

Para la plataforma, se utilizará una base de datos que tenga compatibilidad con el software LabView, donde se mostrarán los parámetros, esto se realizará con la utilización del software Acces de Microsoft, que nos permite crear una hoja plantilla de almacenamiento de datos en un orden específico y conectarlo en tiempo real en régimen de trabajo mediante un archivo DSN con el fin de almacenar y recopilar información.

Figura 66: Hoja de Datos de Acces

Para el manejo de la información recopilada en el tiempo de los termistores se programará para que el muestreo de los mismos se vaya dando cada 1000 ms (1 segundo) por dato, con el fin de que estos sean claros; dentro del programa los datos se van almacenando en una tabla con el nombre “BASE”, los cuales llevan la fecha y la hora de cada dato almacenado correspondiente a cada sensor en su ubicación específica.

Tabla 7: Conjunto de Datos Tomados de Acces en Régimen de Trabajo

| BASE | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|
| LLAVE | T1 AIRE | T2 AIRE | T3 AIRE | T4 AIRE | T1 AGUA | T2 AGUA | T3 AGUA | T4 AGUA | T_INTERIOR | T_EXTERIOR |
| 15/1/2019 15:20:54 | 20 | 19 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:20:55 | 20 | 19 | 20 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:20:56 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 18 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:20:57 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 18 | 18 | 17 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:20:58 | 20 | 20 | 19 | 19 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:20:59 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 18 | 21 | 18 |
| 15/1/2019 15:21:00 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 18 | 18 | 17 | 21 | 19 |
| 15/1/2019 15:21:01 | 20 | 20 | 19 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 | 19 |

| BASE | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| LLAVE | T1 AIRE | T2 AIRE | T3 AIRE | T4 AIRE | T1 AGUA | T2 AGUA | T3 AGUA | T4 AGUA | T_INTERIOR | T_EXTERIOR | |
| 15/1/2019 15:21:02 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 17 | 21 | 19 | |
| 15/1/2019 15:21:03 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 18 | 18 | 18 | 21 | 19 | |
| 15/1/2019 15:21:04 | 20 | 19 | 19 | 20 | 18 | 17 | 18 | 18 | 21 | 19 | |

3.3.3. Parámetros Temperatura vs Distancia

Para la visualización de los parámetros se construirá una gráfica Temperatura vs Distancia que será mostrada en la interfaz gráfica del software LabView, la cual mostrará la incidencia de la temperatura con respecto a la longitud.

Mediante la pantalla HMI nos permitimos controlar la velocidad del ventilador y el flujo de la bomba respectivamente, de modo que se realiza el monitoreo de temperaturas para velocidades diferentes en los dos extrusores que se derivaron en los respectivos procesos de disipación de calor y en la gráfica representada con sus respectivas distancias [1].

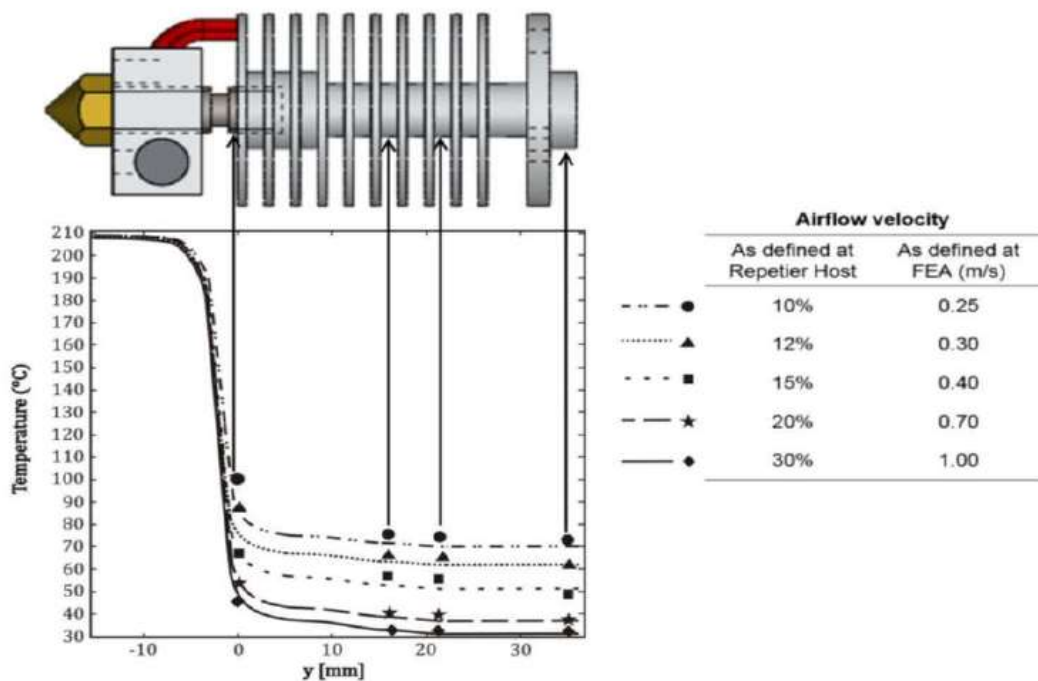
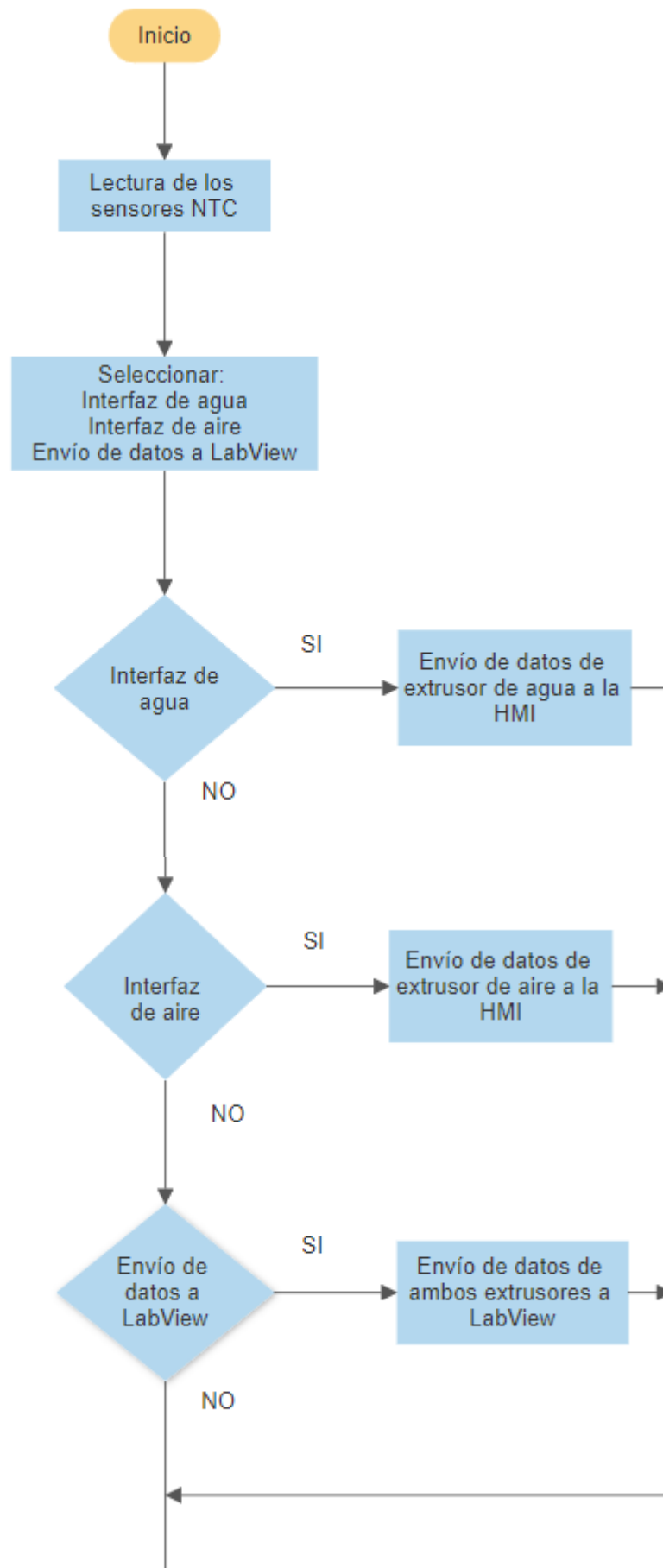


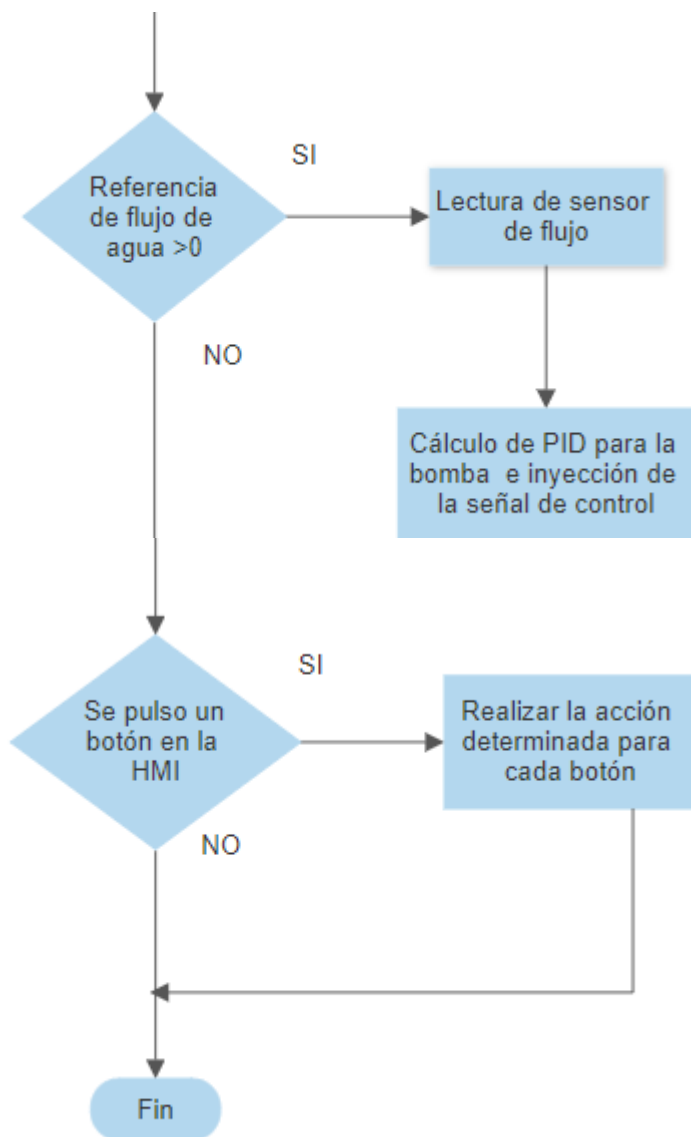
Figura 67: Perfil de temperatura del extrusor BCNozzle para diferentes velocidades del ventilador
Fuente: [1]

3.3.4. Parámetros Temperatura vs Tiempo

Para la visualización de la gráfica Temperatura vs Tiempo se ubicará en el eje “x” el tiempo que va a ir recorriendo de manera lineal y constante en tiempo real y en el eje “y” las temperaturas superiores a las más alta tomada que será de 260°C esto con el objetivo de evitar desbordamiento en el gráfico que se maneje, serán 4 temperaturas las que irán desplegándose a medida que el sistema esté trabajando y por lo tanto en la pantalla se visualizará de diferentes colores las temperaturas en régimen de trabajo, las cuales nos mostrarán por medio de la regulación de los distintos flujos el cambio inmediato en las mismas de acuerdo a su control.

3.3.5. Diagrama de Flujo





CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Adecuación de la Impresora 3D

4.1.1. Carcasa Estructural para la impresora 3D

Se construyó e implementó la carcasa que recubre la impresora en general, con la ayuda de las láminas de acrílico y con las pruebas realizadas se pudo evitar el efecto warping para contrarrestar el diferencial de temperatura, adicional a eso se implementó una tapa en la parte frontal de la plataforma y en la parte superior con el fin de controlar la temperatura interior y visualizar mejor el proceso.



Figura 68: Carcasa Estructural de Recubrimiento para Impresora 3D

4.1.2. Base Soporte de Extrusores

Se llevó a cabo la impresión de una base especialmente diseñada para los extrusores utilizados en este proyecto la cuál consta de la debida seguridad de acople con los ejes, la unión con los tres ventiladores a usarse y el acople con las bandas en el proceso de impresión, esta base fue impresa en material ABS el cual se destaca por su dureza y su resistencia térmica ya que es la zona donde más incidencia de temperatura se tiene.

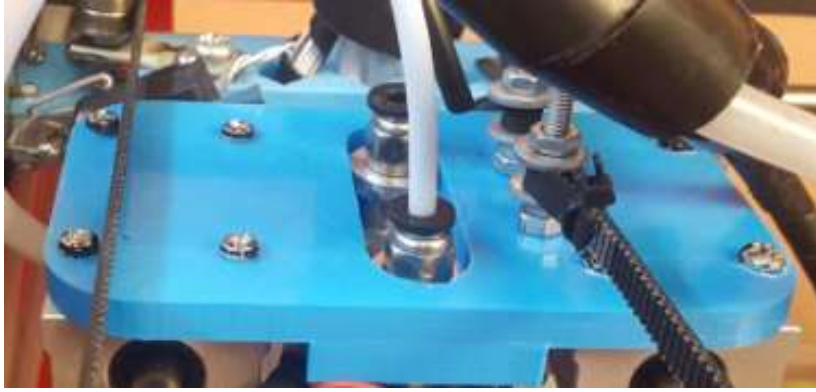


Figura 69: Base de Material ABS para Soporte de 2 Extrusores

4.1.3. Carcasa Base para Pantalla LCD 16 x 8

La función principal de esta carcasa es proteger la pantalla, esta base se realizó con una impresión 3D en material PLA con un diseño predefinido, siendo necesario su seguridad y acople ya que sirve para el manejo de la tarjeta marlyn de la impresora.



Figura 70: Carcasa Base para Pantalla 16x8

4.1.4. Carcasa Base para Pantalla HMI Nextion Touch

Con la finalidad de tener un acople a la carcasa principal y una protección, se desarrolló la impresión en 3D con material PLA de un modelo predefinido para la pantalla Nextion la cual es el enlace de comunicación entre el usuario y el sistema.



Figura 71: Carcasa Base para Pantalla HMI Nextion Touch

4.1.5. Bases Soporte para eje Z

Los soportes del eje Z son bases que se ubicaron en la parte superior e inferior de los ejes y varilla roscada de ambos lados siendo 2 por cada uno (superior e inferior) reemplazando los anteriores de diferente diseño y en mal estado, mismos que se acoplaron a los rodamientos y a los couplings de los motores a pasos para contrarrestar los movimientos innecesarios en el proceso de impresión y así mejorar la calidad de impresión.



Figura 72: Soportes ejes Z superior

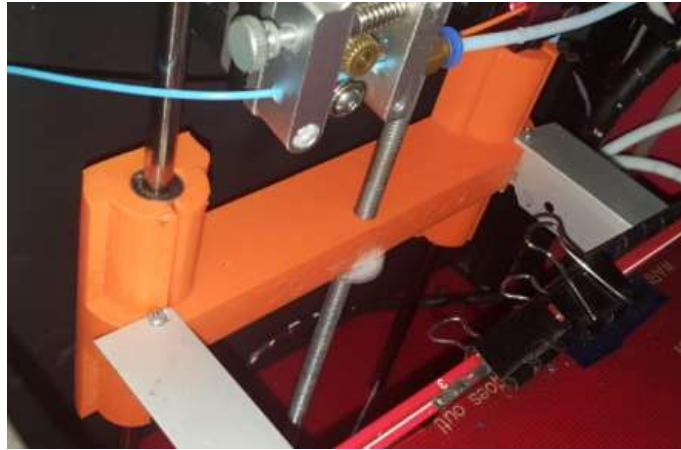


Figura 73: Soportes ejes Z Inferior

4.1.6. Soportes Esquineros Superiores de Eje y Transmisión

Una vez modificado los soportes esquineros al nivel del esqueleto principal se logró el avance correcto entre ejes x y, el ajuste de bandas de transmisión y dado que la estructura del esqueleto bajó su medida 2 cm esto nos ayudó a manipular la apertura y cierre de la tapa superior de ventilación con mayor comodidad.



Figura 74: Soporte de Ejes y Bandas Esquinero

4.1.7. Bases soporte para Motores Nema a Pasos

Los soportes inferiores de los motores a pasos conectados también con los ejes Z permitieron reforzar la sujeción que ya se tiene con las bases superiores, ya que los mismos encierran en una carcasa a los motores impidiendo la desalineación de estos, y para mantener la estética de la plataforma estos se encuentran debajo de la base acrílica interior junto con el sistema electrónico.



Figura 75: Bases Inferiores para Motores Nema a Pasos

4.1.8. Soporte para Carretes de Filamento

Para una mayor estética y comodidad al momento de realizar las impresiones se ha realizado el diseño de las bases de soporte de los carretes de filamento con material PLA que se destaca por su resistencia.



Figura 76: Soporte para carretes de filamento



Figura 77: Soporte para carretes de filamento

4.2. Sistema de Visualización y Control de Flujos

Para el sistema de visualización y control de flujos como ya se habló en la metodología se procedió a implementar varios elementos que nos ayudarán a visualizar las temperaturas a lo largo del extrusor y controlar los flujos de aire y de agua del sistema de enfriamiento de cada extrusor.

4.2.1. Implementación de Termistores en los Extrusores

Dentro de la visualización de parámetros tenemos la principal en la plataforma que es la temperatura que se encuentra distribuida a lo largo del cuerpo de los extrusores lo cual nos permite observar el desempeño térmico y el rendimiento de estos, centrándose en la disipación de calor por convección durante el proceso de impresión.

a) Extrusor de Aire:

En el extrusor de aire se ha replicado la posición de los termistores como el estudio de [1], el cual maneja un extrusor tipo BCNozzle diseñado por la UPC y dentro de esta plataforma se maneja un extrusor con las mismas características.



Figura 78: Distribución de Termistores a lo Largo del Extrusor de Aire

a. Extrusor de Agua:

Para la ubicación de los termistores del extrusor de agua se realiza un orden distinto ya que para dicho extrusor el sistema de enfriamiento no se relaciona con el de aire ni maneja aletas disipadoras, para esto se los ha distribuido en los bordes; tanto en la parte superior, inferior y en la entrada y salida de agua.

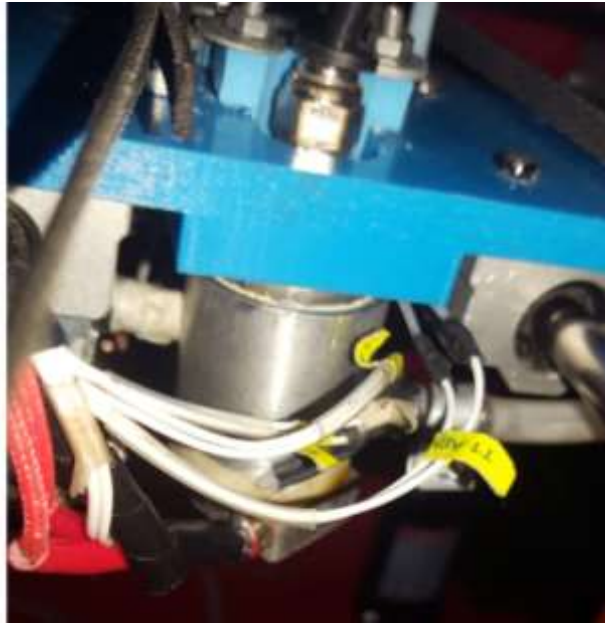


Figura 79: Distribución de Termistores a lo Largo del Extrusor de Agua

4.2.2. Implementación de Termistores Para Temperatura Ambiente

Como ya se mencionó la temperatura exterior e interior de la plataforma es muy importante para reconocer su diferencial y las características que presenta el material cuando la plataforma está destapada o totalmente sellada, para esto se implementó también dos termistores, uno en la parte exterior y otro en la parte interior los cuales nos ayudan a determinar una temperatura correcta al momento de imprimir una pieza. Estos datos de la misma manera se despliegan en la pantalla HMI y en la interfaz de LabView.

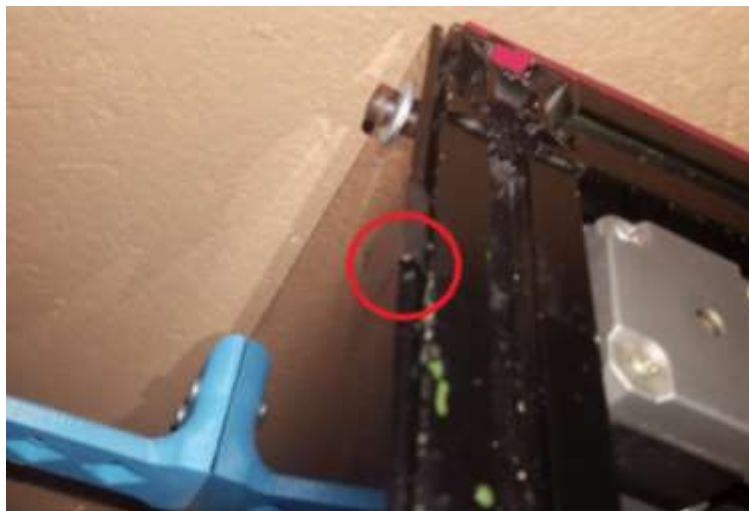


Figura 80: Termistor Externo



Figura 81: Termistor Interno



Figura 82: Parámetros de Temperaturas Externa e Interna de la Plataforma en Pantalla HMI



Figura 83: Parámetros de Temperaturas Externa e Interna de la Plataforma en Software

LabView

4.2.3. Comunicación con Pantalla HMI

Una vez instalados los termistores a lo largo del extrusor las señales físicas pasan por un acondicionamiento previo su calibración y esto a su vez se complementa con el programa realizado en la tarjeta Arduino, cabe recalcar que la pantalla sirve como vínculo únicamente para arrojar señales a la tarjeta Arduino la cual es la que se encarga de realizar todos los cálculos y así mostrándolos en la HMI.



Figura 84: Interfaz de Visualización y Control de Parámetros en Pantalla HMI Extrusor de Aire



Figura 85: Interfaz de Visualización y Control de Parámetros en Pantalla HMI Extrusor de Agua

4.2.4. Base de Datos

Para la base de datos lo primero que se estableció fue la comunicación entre el software LabView y Acces de Microsoft, para esto se realizó la programación gráfica con el toolkit VISA comunicándose mediante un archivo DSN y esto acoplado a un calendario que muestra la fecha y hora de almacenamiento muestreando los valores cada segundo y esto alojándose en un registro permanente.

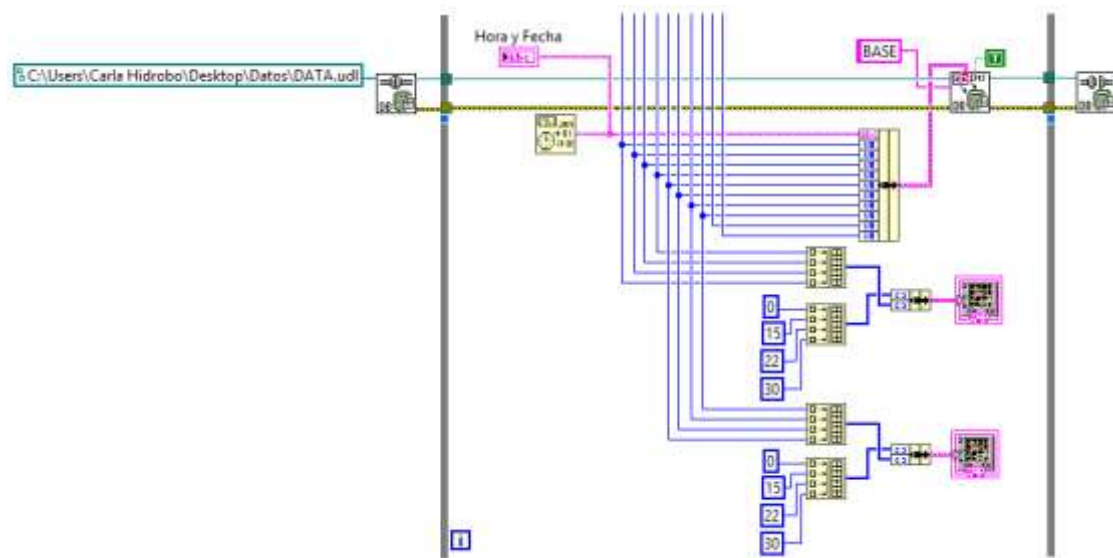


Figura 86: Programación de Comunicación Labview-Acces para Base de Datos

4.2.5. Comunicación con LabView

Posterior a la comunicación con la pantalla HMI se procedió a comunicar el sistema con el software LabView, mediante una comunicación serial, pero en este caso se realiza esta comunicación mediante la conexión USB 2.0 type A y Type B. De la misma manera que en la interfaz HMI se puede visualizar los gráficos de Temperatura – Tiempo en régimen de trabajo, pero adicional dentro de LabView también se puede visualizar la gráfica temperatura – Distancia.

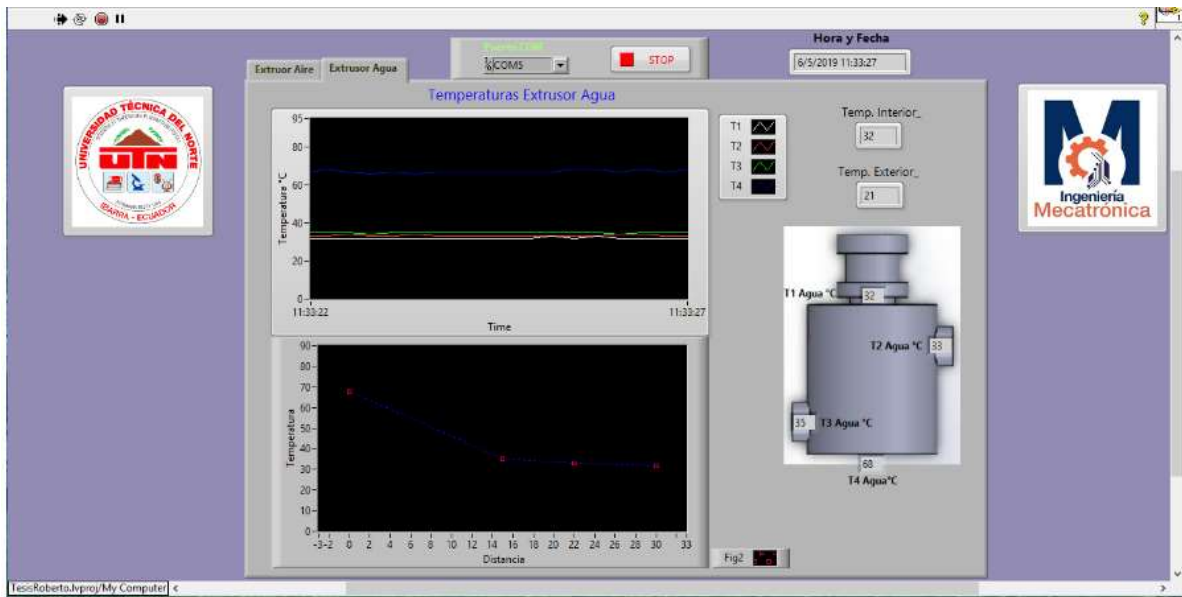


Figura 87: Interfaz de Comunicación con el Software LabView

4.2.6. Gráfica Temperatura – Tiempo

Durante el proceso de calentamiento de los extrusores, el ventilador se enciende mediante la pantalla HMI y los termistores unidos a las aletas de disipación en el extrusor de aire y al cuerpo del extrusor de agua se calientan registrando las temperaturas discretas de los dispositivos en sus puntos respectivos. La misma pantalla HMI nos permite cambiar la velocidad del ventilador en el extrusor de aire y el caudal de la bomba en el extrusor de agua, de modo que se realiza el monitoreo de temperaturas para velocidades diferentes que se derivaron en los respectivos procesos y todos estos cambios pueden ser observables en la pantalla HMI y en la interfaz de LabView en tiempo real.

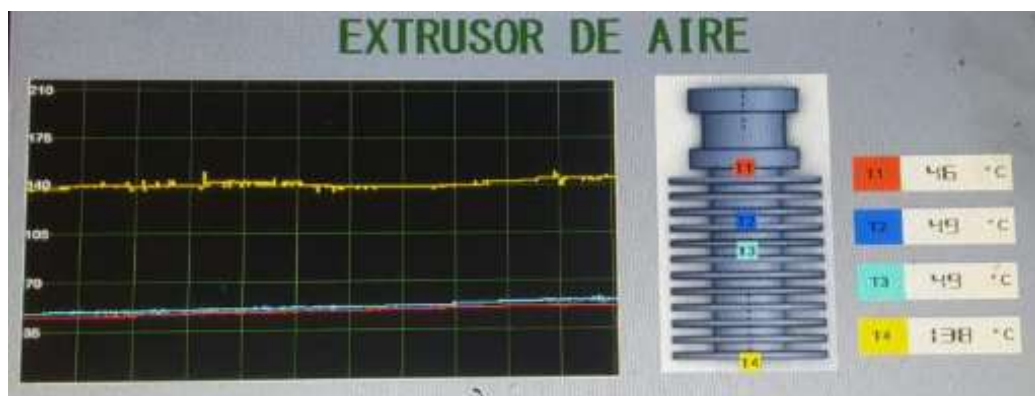


Figura 88: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Aire Pantalla HMI



Figura 89: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Agua Pantalla HMI

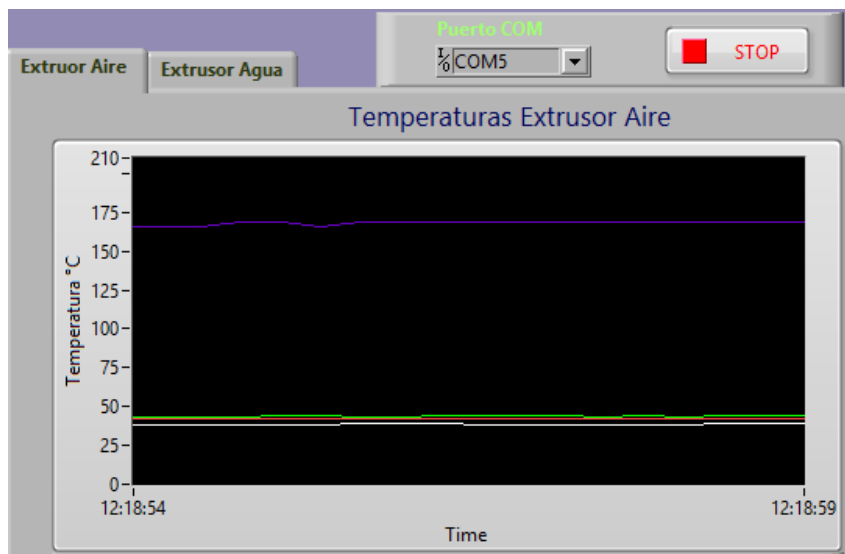


Figura 90: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Aire Software LabView

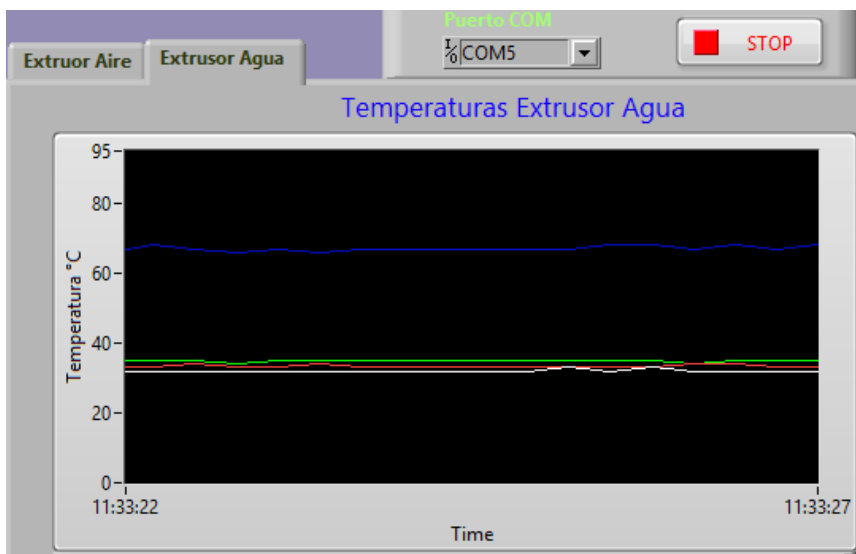


Figura 91: Gráfica Temperatura – Tiempo Extrusor de Agua Software LabView

4.2.7. Gráfica Temperatura – Distancia

De la misma manera que la gráfica Temperatura – Tiempo la gráfica Temperatura - Distancia se mostrará durante el proceso de calentamiento de los extrusores y cuando el sistema esté en funcionamiento registrando las temperaturas en cada punto de su distancia donde se encuentra ubicado cada sensor mostrando la afectación térmica en distintos puntos.

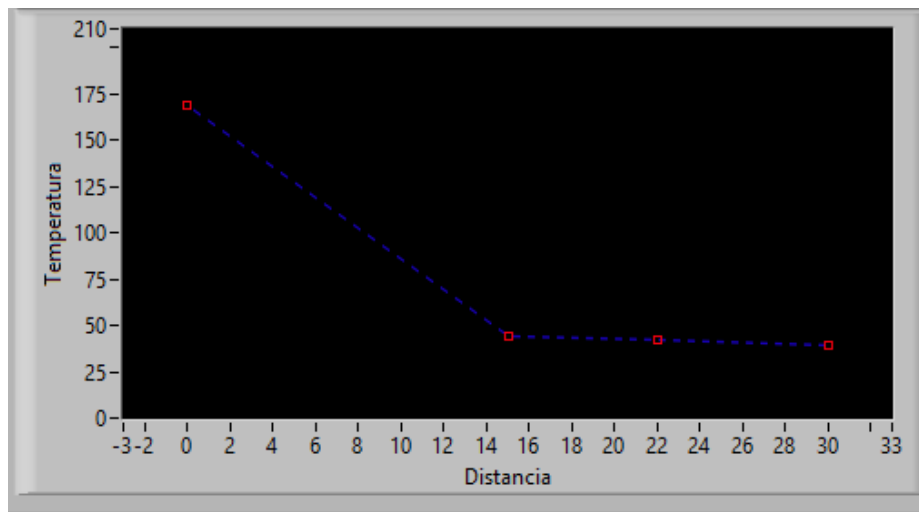


Figura 92: Interfaz Gráfica Temperatura – Distancia Extrusor de Aire Software LabView

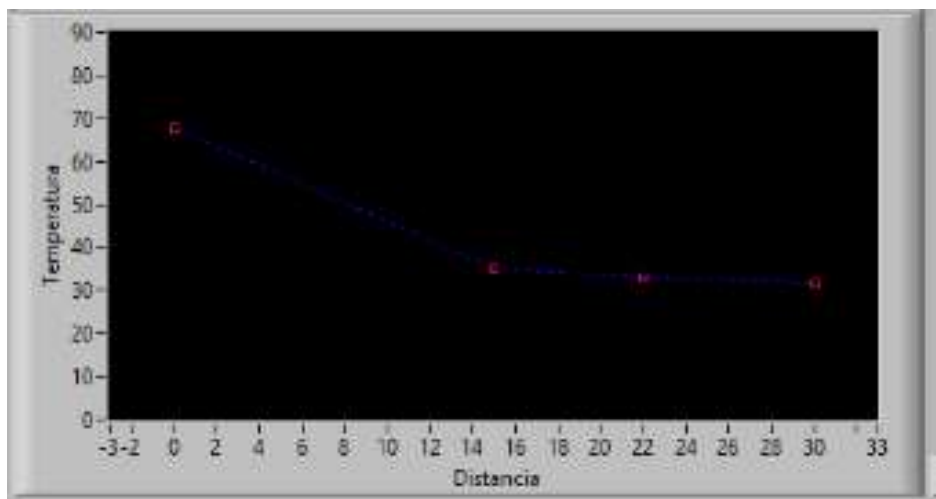


Figura 93: Gráfica Temperatura – Distancia Extrusor de Agua Software LabView

4.2.8. Sistema de Flujo de Aire

Para el sistema de flujo de aire los principales elementos a manejarse son los ventiladores que arrojarán el flujo, siendo 2 ventiladores pequeños de 12 v 7 aletas de 30x30x10 y uno más grande de 40x40x10 del mismo voltaje acoplados alrededor del extrusor de Aire, los

cuales poseen una velocidad determinada por medio de un PWM (control de lazo abierto) de 0 a 100% y validados mediante un anemómetro como se puede apreciar el análisis en la metodología, todo esto programado en la tarjeta de desarrollo y la pantalla HMI.



Figura 94: Sistema de Control en Lazo Abierto del Flujo de Aire

```
Firmware_Nextion_Arduino_Labview
#include <Nextion.h> //libreria para HMI
#include <max6675.h> //libreria para termocuplas

//variables para calculo de temperatura
int V0_0, V0_1, V0_2, V1_0, V1_1, V1_2, V2_0, V2_1, V2_2, V3_0, V3_1, V3_2;
float R = 10000;
float logR0, R0, T0, logR1, R1, T1, logR2, R2, T2, logR3, R3, T3,
float c1 = 1.009249522e-03, c2 = 2.378405444e-04, c3 = 2.019202697e-05;
int T1Agua, T2Agua, T3Agua, T4Agua, T1Aire, T4Aire, T2Aire, T3Aire;

char s0, s1, s2, s3, s4, s5, s6, s7, s8, s9;

int auxValorAgua, auxValorAire;
int CurrentPage = 0;
int ventilador = 2;
int bomba = 3;

// ThermoCouple
int thermo_gnd_pin0 = 31;
```

Figura 95: Programación en la Tarjeta Arduino

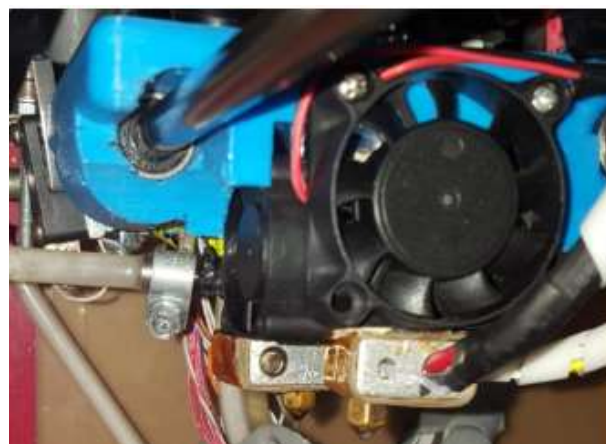


Figura 96: Sistema de Flujo de Aire

4.2.9. Sistema de Flujo de Agua

Para el sistema de flujo de agua se ha diseñado un control PID (sistema en lazo cerrado) que se encuentra implementado a los elementos de la planta (bomba, sensor, reservorio, extrusor), el cual nos permitirá variar el flujo volumétrico de la bomba de PWM para tener una precisión exacta al momento de arrojarlo, ya que la plataforma está diseñada para dar valores reales como se indicó en la metodología.

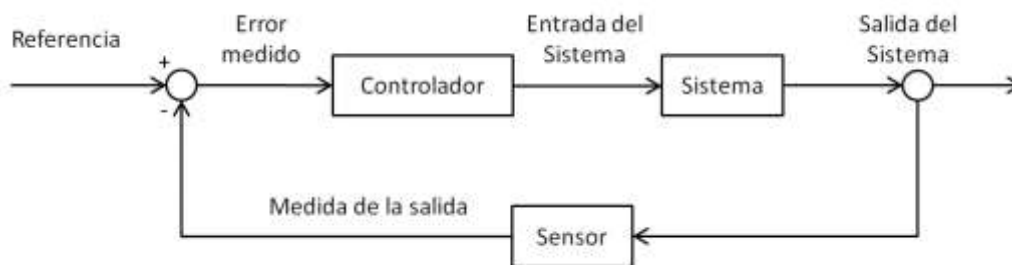


Figura 97: Sistema de Control en Lazo Cerrado del Flujo de Agua



Figura 98: Sistema de Flujo de Agua (extrusor)



Figura 99: Sistema de Flujo de Agua (bomba, sensor y reservorio)

4.3. Registro y Almacenamiento de Parámetros

Para el registro y almacenamiento de los parámetros de temperaturas a lo largo de los extrusores tanto de aire como de agua y las temperaturas tanto interna como externa de la plataforma, se los ha almacenado en la misma base de datos previamente programada en el software Acces y comunicada con LabView el cual es el encargado de vincular los datos con la hora y fecha exacta según el muestreo programado de 1000 ms. Cada vez que se quiera actualizar los datos a la fecha y la hora exacta sin importar si se está trabajando o no en una impresión basta con abrir la hoja de datos o si ya está abierta presionar el botón de “Actualizar Todo”.

| ccoo | T1 Aire | T2 Aire | T3 Aire | T4 Aire | T1 Agua | T2 Agua | T3 Agua | T4 Agua | T Interior | T Exterior |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|------------|
| 27/3/2019 18:12:33 | 42 | 41 | 41 | 80 | 47 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:33 | 42 | 40 | 41 | 80 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:33 | 42 | 40 | 41 | 80 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:34 | 42 | 40 | 41 | 80 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:34 | 42 | 40 | 41 | 80 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:34 | 42 | 41 | 41 | 80 | 47 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:35 | 42 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:35 | 42 | 40 | 41 | 79 | 47 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:35 | 42 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:36 | 42 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:36 | 42 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 34 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:36 | 42 | 40 | 41 | 79 | 47 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:36 | 42 | 40 | 39 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:37 | 42 | 40 | 41 | 79 | 47 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:37 | 42 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 34 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:37 | 42 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:38 | 41 | 40 | 41 | 79 | 46 | 45 | 46 | 49 | 34 | 31 |
| 27/3/2019 18:12:38 | 42 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 31 |
| 27/3/2019 18:12:38 | 42 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 42 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 41 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 34 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 41 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 34 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 41 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 41 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:39 | 41 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |
| 27/3/2019 18:12:40 | 42 | 40 | 41 | 78 | 46 | 45 | 46 | 49 | 35 | 30 |

Figura 100: Ficha de Registro y Almacenamiento de Parámetros de Temperatura

4.4. Pruebas de Validación

Dentro de las pruebas de validación tenemos el registro fotográfico y documentado en video de los procesos de toma de datos y valores de flujo de aire y caudal de agua y de mediciones de sensores de temperatura. Toda esta información se presenta a continuación de manera resumida y de manera detallada en los Anexos.

4.4.1. Flujos

a. Flujo de Aire

Para determinar el flujo de aire de los ventiladores se ha utilizado un instrumento de medición calibrado previamente como es el anemómetro el cual permite acercarlo a cualquier flujo de aire en este caso a cada uno de los tres ventiladores acoplados al extrusor de aire, pero teniendo en cuenta que dos de ellos son iguales, las dimensiones de los dos ventiladores pequeños es de 30x30x10 y del tercero con mayor tamaño es de 40x40x10, todos estos mediante la regulación de su pwm en porcentajes se realiza la toma de los datos como se aprecia en la metodología en Flujo de Aire.



Figura 101: Validación de Datos de Flujo de Aire al 60% Ventilador Pequeño



Figura 102: Validación de Datos de Flujo de Aire al 50% Ventilador Grande

b. Flujo de Agua

Para determinar y validar los datos de flujos de agua se ha realizado el control PID del sistema con la ayuda de un sensor de caudal yf -s401 el cual nos ayuda a tomar mediciones exactas del flujo y todo esto contrastado con la medición con la medición del caudal y velocidad de la bomba desconectada del sistema mediante el llenado del vaso de precipitación arrojando un caudal durante 10 segundos y tomando el tiempo para una vez hecho esto con la fórmula del caudal volumétrico realizar el cálculo y determinar los valores.



Figura 103: Toma de Datos de Flujo de Agua con la bomba desconectada del sistema al 100% de su pwm

4.4.2. Temperaturas

Para la validación de las temperaturas arrojadas por los termistores se usó el pirómetro el cual es un instrumento de medición por infrarrojo que nos permite medir de manera cómoda todos los datos que están registrándose dentro la interfaz únicamente apuntándolos de manera directa.



Figura 104: Validación con Pirómetro de Datos de Temperaturas de Extrusor de Aire



Figura 105: Validación con Pirómetro de Datos de Temperaturas de Extrusor de Agua

4.5. Resultados de Impresión

4.5.1. Impresiones con el Extrusor de Aire

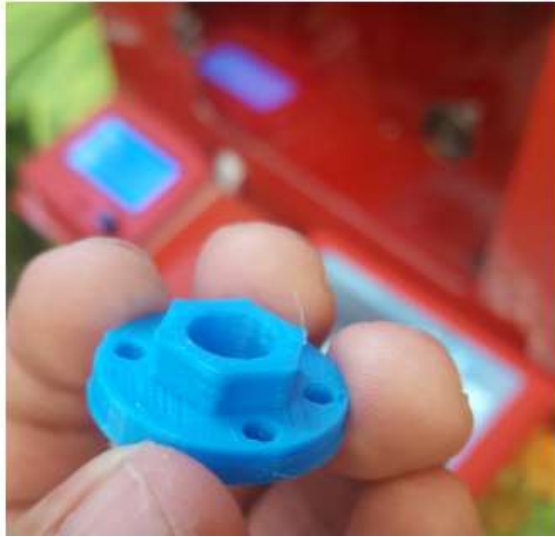


Figura 106: Impresión Realizada con el Extrusor de Aire

4.5.2. Impresiones con el Extrusor de Agua



Figura 107: Impresión Realizada con el Extrusor de Agua

4.5.3. Impresiones a Doble Extrusor



Figura 108: Impresión Realizada con los Extrusores Juntos

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se realizó la adecuación de la impresora 3D tipo Core XY proporcionada por la Universidad Técnica del Norte rediseñando un 50% de las piezas y reemplazando un 40% de elementos tanto electrónicos como mecánicos posteriores a una evaluación del estado de los mismos.
- Se realizó la recopilación de datos para un análisis térmico mediante una configuración de termistores 3950 a lo largo del cuerpo de los extrusores, para visualizar sus temperaturas en régimen de trabajo en función también de distintas velocidades de flujo tanto de aire que va de 0 a 4,7 m/s y del caudal de agua mediante un control PID que va de 0 a 17 ml/s.
- Se implementó una HMI basada en la norma ISO 9241 tipo hardware in situ que permite visualizar los parámetros de temperatura del extrusor y temperatura ambiental, así como también controlar los flujos para el proceso de enfriamiento de los extrusores de aire y de agua.
- Para la obtención de la base de datos y supervisión de variables se implementó una interfaz bajo el software LabView que enlaza los datos obtenidos al software de Access bajo los requerimientos del sistema.
- Para la validación de los datos desplegados en la plataforma de pruebas se ha realizado la calibración de los termistores para los valores de temperatura y la comparación con una herramienta de medición como es el pirómetro AR360 - A, el muestreo de valores con un anemómetro CR2032 para el flujo de aire y un sistema de control PID para el flujo de agua.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable que para un futuro se realice la implementación en la plataforma de nuevos tipos de extrusores que vayan incorporándose al mercado y realizar la configuración de termistores de distinta manera obteniendo resultados diferentes y contrastarlos con los actuales.
- Para tener una mejor comunicación de la plataforma con el pc es recomendable reemplazar la tarjeta de desarrollo Arduino por una tarjeta de desarrollo del software de National Instrument.
- Se propone implementar un control PID también al proceso de enfriamiento por aire para resultados más precisos en el control de flujo.

5.3. Bibliografía

- [1] R. Mesa, T. J. R. Busqué y G. Gomez, «Finite element analysis of the thermal behavior of a RepRap 3D printer liquefier,» *ELSEVIER*, 2015.
- [2] S. Bellini y M. Guceri, «Liquefier dynamics in fused deposition,» *Journal of Manufacturing Science*, 2004.
- [3] C. Vásquez, E. Guerrero, T. Maria y D. Álvarez, «Análisis térmico y comparativo de un extrusor tipo HotEnd enfriado por aire y otro enfriado por agua para impresión 3D (Universidad Técnica del Norte),» 2017.
- [4] G. Pereira y J. M. Schaich, «IMPresora 3D en los procesos productivos del mobiliario tradicional,» 2015.
- [5] D. Martínez, Diseño y fabricación de un extrusor para plásticos reciclables en impresión 3D, Querétaro, 2017.
- [6] «threedom,» threedom, 22 enero 2018. [En línea]. Available: threedom.de/3d-drucker-hotend. [Último acceso: Agosto 2018].
- [7] J. P. Rodríguez, Implementación de triple extrusor sobre impresora 3D de bajo coste, Madrid, 2014.
- [8] «filament2print,» 24 octubre 2016. [En línea]. Available: https://filament2print.com/es/blog/14_evitar-atascos-extrusor-impresora-3d.html. [Último acceso: Enero 2019].
- [9] E. Guerrero, Cabezal multiextrusor para impresora 3D, Ibarra, 2017.
- [10] «3d Spring,» 2019. [En línea]. Available: 3d-spring.es. [Último acceso: Enero 2019].
- [11] «3D Printing Stackexchange,» Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://3dprinting.stackexchange.com/questions/5200/what-do-you-do-if-the-whole-extruder-is-clogged>. [Último acceso: Enero 2019].
- [12] F. Leyton, Estudio y caracterización de las variables que afectan a la impresión 3D en la generación de objetos manipulables, 2016.
- [13] «RepRap,» 23 octubre 2015. [En línea]. Available: <https://reprap.org/wiki/Repetier-Host>. [Último acceso: Enero 2019].
- [14] R. L. Mott, Mecánica de fluidos, vol. 6ed, Pearson, 2006.
- [15] V. P. García, Estudio del comportamiento térmico del disipador de calor de un extrusor de impresora 3D, 2016.
- [16] «3D Printers,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.3dprinters-shop.com/es/44-e3d-online>. [Último acceso: Enero 2019].
- [17] M. V. Zubicaray, Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones, Ciudad de México: Limusa, 2005.
- [18] R. Valverde, IMPRESORAS 3D: Marco teórico modelos de desarrollo y campos de aplicación, Cuenca: UCLM, 2013.
- [19] R. A. Pérez, «Efecto de las variables del proceso de extrusión sobre la relación estructura - propiedades de películas tubulares de PEBD,» *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 2013.
- [20] G. Enriquez, El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales, Grupo Alta Edad Media, 2000.
- [21] D. M. Sempere, «Seveau,» 19 mayo 2013. [En línea]. Available: <https://seveau.wordpress.com/2013/05/19/termistor/>. [Último acceso: Enero 2019].

- [22] F. Mecafenix, «Ingeniería Mecafenix,» 30 abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/termistor-sensor-temperatura/>.
- [23] D. M. Bohórquez, *Electrónica y Procesos Industriales*, Sogamoso: UPTC, 2013.
- [24] J. A. Cevallos, *Diseño e implementación de una red industrial utilizando protocolos AS-I, profibus y ethernet on interfaz HMI para la estación de control de procesos festo del laboratorio de mecatrónica de la ESPE*, Latacunga: ESPE, 2015.
- [25] «Direct Industry,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.directindustry.es/prod/siemens-industry/product-30335-823697.html>.
- [26] R. A. Pallás, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, vol. 4 ed, Barcelona: Marcombo, 2008.
- [27] «National Instrument,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.
- [28] S. Arduino, «What is Arduino?,» 2015.
- [29] «Robotic Technology Center,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.robotpark.com/Arduino-MEGA-2560-En>.
- [30] J. A. Travieso, *Estudi i proposta de redisseny per a extrussors d'impressores 3D*, 2014.
- [31] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, Minnesota: Pearson, 1998.
- [32] F. Mecafenix, «Ingeniería MecaFenix,» 25 febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/>. [Último acceso: 2019].
- [33] M. D. Romero, *Diseño y construcción de una impresora 3D FDM*, Madrid: UPC, 2014.
- [34] J. R. Lajara, *Entorno gráfico de programación*, vol. 2ed, 2011.
- [35] «Nattional Instrument,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/tutorial/10728/es/>.
- [36] O. Pons, *Introducción a los sistemas de bases de datos*, vol. 1ed, Madrid: Paraninfo, 2008, p. 312.
- [37] «Acces 2016,» [En línea]. Available: <https://www.ediciones-eni.com/open/mediabook.aspx?idR=40b7a03997a1f8f99704f658f24e1968>.
- [38] «Cults 3D,» 2019. [En línea]. Available: <https://cults3d.com/es/modelo-3d/herramientas/soporte-para-filamento-infitary-m-508>.
- [39] «Academia testo,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/termistores>.
- [40] «Electronilab,» 2019. [En línea]. Available: <https://electronilab.co/tienda/termistor-de-100k-3950-ntc-con-cable-para-impresora-3d/>.
- [41] W. McAllister, «Khan Academy,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-voltage-divider>. [Último acceso: Junio 2019].
- [42] «CAVSI,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.cavsi.com/preguntasrespuestas/tipos-de-puertos-y-conectores-usb/>.
- [43] «Mega Technology,» 2019. [En línea]. Available: <https://megatecnology.cl/dron/23-anemometro-digital-profesional.html>.
- [44] «Developers,» 2019. [En línea]. Available: <https://developer.android.com/things/sdk/pio/pwm>.

- [45] «nubbeo,» Mercadoshop, 2019. [En línea]. Available: <https://www.nubbeo.com.ar/caudalimetro-sensor-flujo-6ltrmin-yfs401-arduino-nubbeo-730600562xJM>. [Último acceso: mayo 2019].
- [46] SIEMENS, 10 Febrero 2018. [En línea].
- [47] L. Thayer, «ARDUINO,» 27 Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://arduino.cl/ques-arduino/>.
- [48] «MIDSA,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.midsa.com.mx/acrilico.php>.
- [49] «Impresoras 3D,» Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.impresoras3d.com/producto/cama-caliente-mk2/>.

ANEXO I: MATRIZ MORFOLÓGICA DE SELECCIÓN DE ELEMENTOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE FICA – CIME

TRABAJO FINAL DE GRADO

PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRUSORES EN UNA IMPRESORA 3D

Criterios de Selección de materiales para Trabajo de Grado Mediante Matriz Morfológica de acuerdo con el criterio de valores ponderados

Carlos Roberto Hidrobo Pepinosa

Matriz Morfológica

| Matriz Morfológica | | | | | |
|--|---------------------------------|------------------------------------|---|---|----------------------------------|
| PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA CARACTERIZACIÓN DE EXTRUSORES | | | | | |
| Sistema mecánico (Adecuación) | | | Sistema electrónico (Visualización y control de parámetros) | | |
| Software | Materiales de Construcción | Material de elementos de reemplazo | Controlador y Energía | HMI y Software | Actuadores y Sensores |
| Software para manejo de impresora | Para recubrimiento de impresora | Extrusores | Fuente de poder | Software para visualización de parámetros | Termistores |
| | Para construcción de piezas | Couplings y ejes | Tarjeta de Desarrollo y Adquisición | Pantalla HMI para visualización y control de parámetros | Ventilador de Reservorio de agua |
| | | Reservorio de Agua | Sistema de Control | Software para despliegue y almacenamiento de parámetros (Base de Datos) | Formato de la Interfaz |

Criterios: Calidad Comparación/Manejo/Costo

10 = Mejor/Sencillo/Económico

5 = Igual /Normal/Normal

1 = Peor/Complicado/Caro

ELEMENTOS DE ACUERDO CON LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Adecuar una impresora 3D para ensayo experimental de extrusores.

➤ Selección de Extrusores

Como requisito fundamental se planteó dentro del anteproyecto que se utilicen los dos extrusores realizados en la Universidad Técnica del Norte tanto el de aire como el de agua los cuales poseen características similares de impresión que los extrusores comerciales.

➤ Selección de Software para Manejo de Impresora

Requerimientos:

- Compatible con la impresora
- Manejo sencillo y amigable
- Variedad de Parámetros modificables

Alternativas:

- A. Cura Engine
- B. Slicer
- C. Matter Control

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Compatibilidad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 10 | 16 | 0.36 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.48 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 7 | 0.16 |
| | | | Suma | 44 | 1 |

| Manejo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa B | 5 | | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.08 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Variedad de Parámetros | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 5 | 7 | 0.2 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa C | 5 | 1 | | 7 | 0.2 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

➤ Selección de material para Estructura

Requerimientos:

- Resistencia (Calor al Óxido)
- Durabilidad
- Atractivo al Usuario

Alternativas:

- A. Láminas de acero inoxidable
- B. Madera
- C. Acrílico

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Resistencia | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 5 | 16 | 0.46 |
| Alternativa B | 1 | | 1 | 3 | 0.08 |
| Alternativa C | 5 | 10 | | 16 | 0.46 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Durabilidad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 5 | 16 | 0.46 |
| Alternativa B | 1 | | 1 | 3 | 0.08 |
| Alternativa C | 5 | 10 | | 16 | 0.46 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Atractivo al Usuario | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 1 | 7 | 0.2 |
| Alternativa B | 5 | | 1 | 7 | 0.2 |
| Alternativa C | 10 | 10 | | 21 | 0.6 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa C es la Ganadora

➤ **Selección de Material para Construcción de Piezas**

Requerimientos:

- Resistencia térmica
- Bajo costo
- Buen acabado

Alternativas:

- A. Mecanizado metálico
- B. Impresión de Filamento PLA
- C. Impresión de Filamento ABS

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Resistencia Ter | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Bajo Costo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.11 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.78 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.11 |
| | | | Suma | 27 | 1 |

| Buen Acabad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa B | 1 | | 5 | 7 | 0.2 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 7 | 0.2 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

➤ **Selección de fuente de poder**

Requerimientos:

- 30 Amperios +
- Ventilación
- Compacta

Alternativas:

- A. Fuente de computadora AT 12V
- B. Fuente de computadora ATX 12 V
- C. Fuente conmutada jcpower de 12V

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| 30 Amperios | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Ventilación | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Compacta | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 1 | 7 | 0.2 |
| Alternativa B | 5 | | 1 | 7 | 0.2 |
| Alternativa C | 10 | 10 | | 21 | 0.6 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa C es la Ganadora

➤ **Selección de material para couplings y ejes**

Requerimientos:

- Resistencia Mecánica
- Inoxidable
- Durable

Alternativas:

- A. Aluminio
- B. Hierro
- C. Termoplástico

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Resistencia M | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa B | 5 | | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.08 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Inoxidable | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 5 | 16 | 0.5 |
| Alternativa B | 1 | | 5 | 7 | 0.25 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 7 | 0.25 |
| | | | Suma | 30 | 1 |

| Durable | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa B | 5 | | 10 | 16 | 0.46 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.08 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa A es la Ganadora

➤ **Selección de reservorio de agua**

Requerimientos:

- Resistencia Térmica
- Manejable
- Impermeable

Alternativas:

- A. Cristal
- B. Plástico
- C. Metálico

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Resistencia T | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.12 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.42 |
| Alternativa C | 10 | 1 | | 12 | 0.46 |
| | | | Suma | 26 | 1 |

| Manejable | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 5 | 7 | 0.18 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.50 |
| Alternativa C | 10 | 1 | | 12 | 0.32 |
| | | | Suma | 40 | 1 |

| Impermeable | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

2) Implementar un sistema para visualización, control y almacenamiento de parámetros.

➤ Selección de Software para Visualización de Parámetros

Requerimientos:

- Comunicación Sencilla
- Programación Dinámica
- Amigable con el Usuario

Alternativas:

- A. Matlab
- B. LabView
- C. Arduino

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Comunicación | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Programación | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.12 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.76 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.12 |
| | | | Suma | 27 | 1 |

| Amigable | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.09 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.31 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

➤ Selección de Sensores de Temperatura

Requerimientos:

- Amplio rango de temperaturas
- Acondicionamiento sencillo
- Exactitud y Sensibilidad

Alternativas:

- A. Termocuplas
- B. Termistores NTC
- C. Termistores PTC

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Rango de Tem | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.08 |
| Alternativa B | 10 | | 5 | 16 | 0.46 |
| Alternativa C | 10 | 5 | | 16 | 0.46 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Acondiciona | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.08 |
| Alternativa B | 10 | | 5 | 16 | 0.46 |
| Alternativa C | 10 | 5 | | 16 | 0.46 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Precisión | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 1 | 3 | 0.10 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.70 |
| Alternativa C | 5 | 1 | | 7 | 0.20 |
| | | | Suma | 31 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

➤ Selección de Ventilador de Reservoirio de Agua

Requerimientos:

- Mayor Número de Aletas
- Alta Potencia
- Funcionamiento Continuo

Alternativas:

- A. Ventilador de 5 V, 7 Aletas
 B. Ventilador 12 V, 7 Aletas

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Aletas | Alternativa A | Alternativa B | | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | | 6 | 0.5 |
| Alternativa B | 5 | | | 6 | 0.5 |
| | | | Suma | 12 | 1 |

| Potencia | Alternativa A | Alternativa B | | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | | 2 | 0.15 |
| Alternativa B | 10 | | | 11 | 0.85 |
| | | | Suma | 13 | 1 |

| Continuidad | Alternativa A | Alternativa B | | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|-------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | | 6 | 0.5 |
| Alternativa B | 5 | | | 6 | 0.5 |
| | | | | | |
| | | | Suma | 12 | 1 |

La Alternativa B es la Ganadora

➤ **Selección de Pantalla HMI para visualización y control de parámetros**

Requerimientos:

- Resistente a todo tipo de ambiente
- Costo Económico
- Amigable al usuario

Alternativas:

- A. Pantalla HMI Siemens simatic ktp 600
- B. Pantalla HMI OMROM
- C. Pantalla Nextion Touch HMI Resistiva Arduino

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Resistencia | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Costo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 1 | 6 | 0.18 |
| Alternativa B | 5 | | 1 | 6 | 0.18 |
| Alternativa C | 10 | 10 | | 21 | 0.64 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Amigable U | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

La Alternativa C es la Ganadora

➤ **Selección de Tarjeta de Desarrollo y Adquisición**

Requerimientos:

- Compatibilidad con Impresora y Software
- Fácil Comunicación
- Costo Económico

Alternativas:

- A. Arduino Mega
- B. NI My RIO
- C. Raspberry

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Compatibilidad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.43 |
| Alternativa B | 5 | | 10 | 16 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.24 |
| | | | Suma | 48 | 1 |

| Comunicación | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.32 |
| Alternativa B | 5 | | 10 | 16 | 0.47 |
| Alternativa C | 5 | 1 | | 7 | 0.21 |
| | | | Suma | 34 | 1 |

| Costo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.78 |
| Alternativa B | 1 | | 1 | 3 | 0.11 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.11 |
| | | | Suma | 27 | 1 |

La Alternativa A es la Ganadora

A. Analizar los datos obtenidos y desplegar los resultados.

➤ **Selección de Software (base de datos)**

Requerimientos:

- Compatibilidad con LabView
- Fácil de usar
- Capacidad de Actualizar y mostrar datos durante el proceso

Alternativas:

- A. Acces de Microsoft
- B. My SQL
- C. Oracle

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Compatibilidad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Uso | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.64 |
| Alternativa B | 1 | | 5 | 6 | 0.18 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 6 | 0.18 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Capacidad | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 31 | 1 |

La Alternativa A es la Ganadora

D. Validar la plataforma de pruebas.

➤ Selección de Anemómetro para datos y validación

Requerimientos:

- Costo Económico
- Preciso en las Mediciones
- Compacto

Alternativas:

- A. Anemómetro Digital Ar - 816
- B. Anemómetro Digital Uni-t lf85
- C. Anemómetro Digital Peak-Meter

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

| Costo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa B | 1 | | 5 | 7 | 0.2 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 7 | 0.2 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

| Precisión | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

| Compacto | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa B | 1 | | 5 | 7 | 0.2 |
| Alternativa C | 1 | 5 | | 7 | 0.2 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

La Alternativa A es la Ganadora

➤ Selección de Software para gráficas de tendencia y determinar ecuación polinómica

Requerimientos:

- Sencillo de usar
- Preciso
- Claro

Alternativas:

- A. Excel
- B. Matlab
- C. LabView

Selección de Alternativas por Criterios Ponderados:

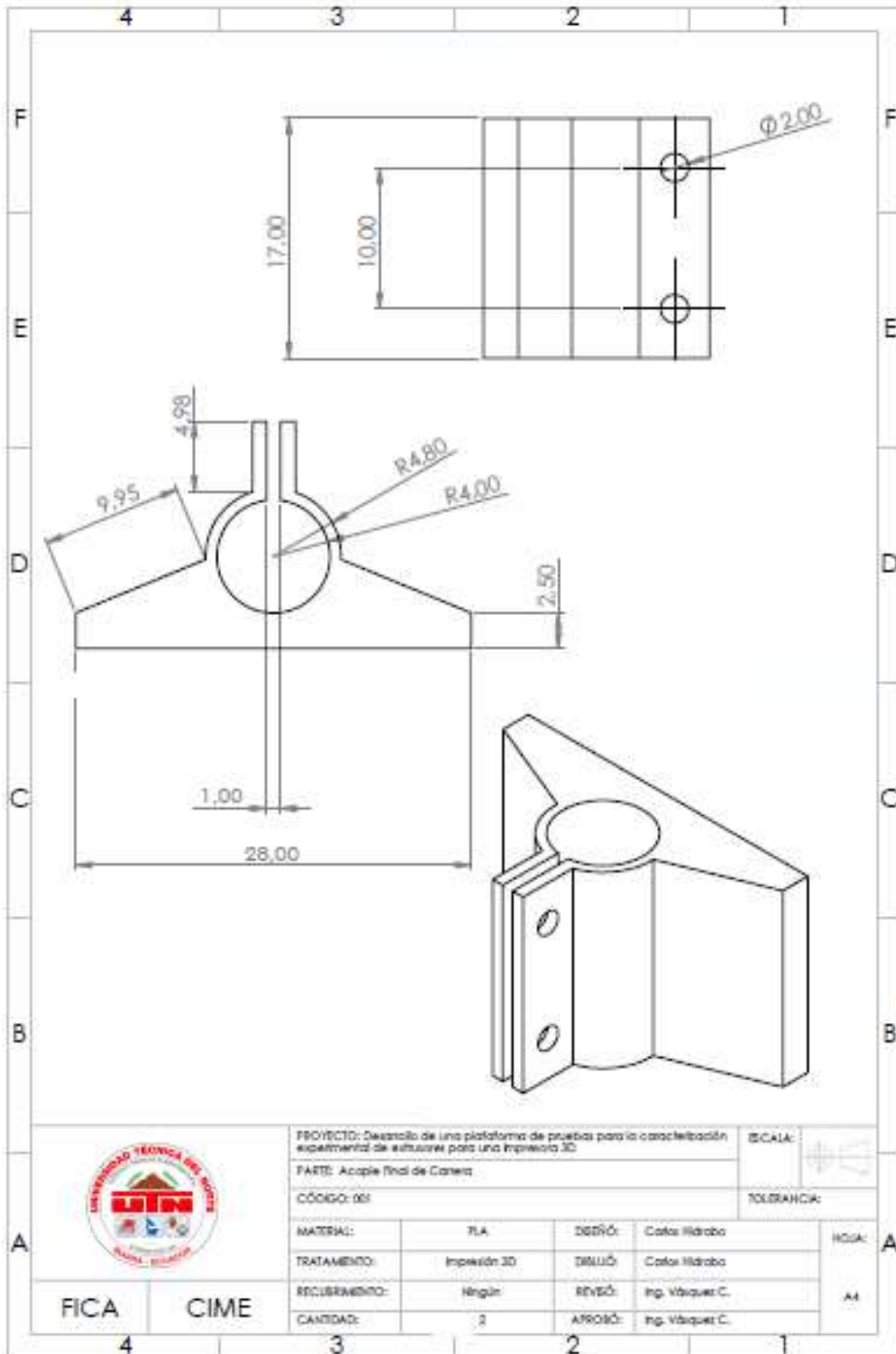
| Sencillo | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 10 | 10 | 21 | 0.6 |
| Alternativa B | 1 | | 10 | 12 | 0.34 |
| Alternativa C | 1 | 1 | | 3 | 0.06 |
| | | | Suma | 35 | 1 |

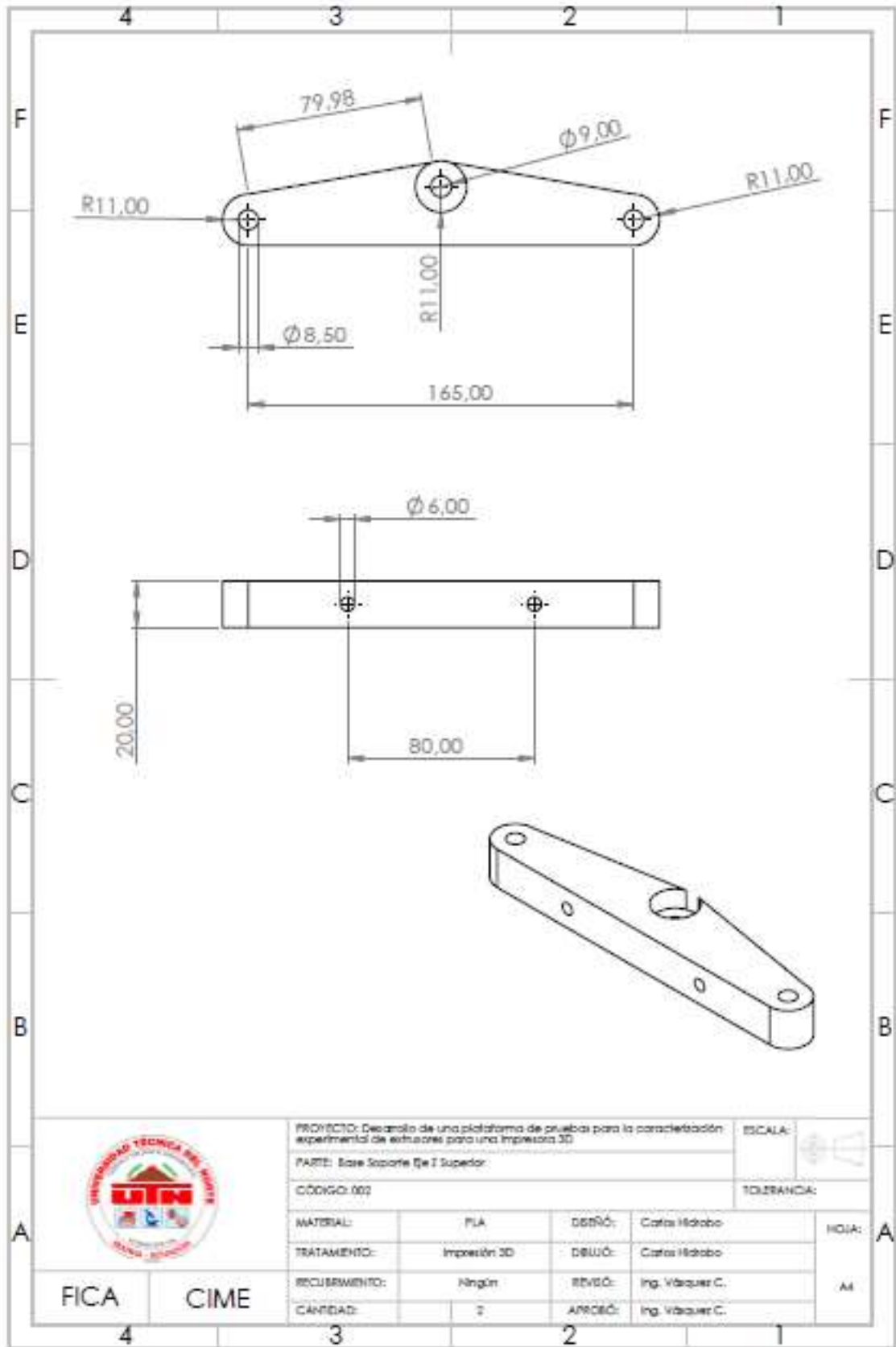
| Preciso | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 1 | 5 | 16 | 0.36 |
| Alternativa B | 10 | | 10 | 21 | 0.48 |
| Alternativa C | 5 | 1 | | 7 | 0.16 |
| | | | Suma | 44 | 1 |

| Claro | Alternativa A | Alternativa B | Alternativa C | $\Sigma+1$ | Ponderación |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| Alternativa A | | 5 | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa B | 5 | | 5 | 11 | 0.33 |
| Alternativa C | 5 | 5 | | 11 | 0.33 |
| | | | Suma | 33 | 1 |

La Alternativa A o B Funcionan de la misma manera

ANEXO II: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN





PROYECTO: Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de actuadores para una impresora 3D

ESCALA:

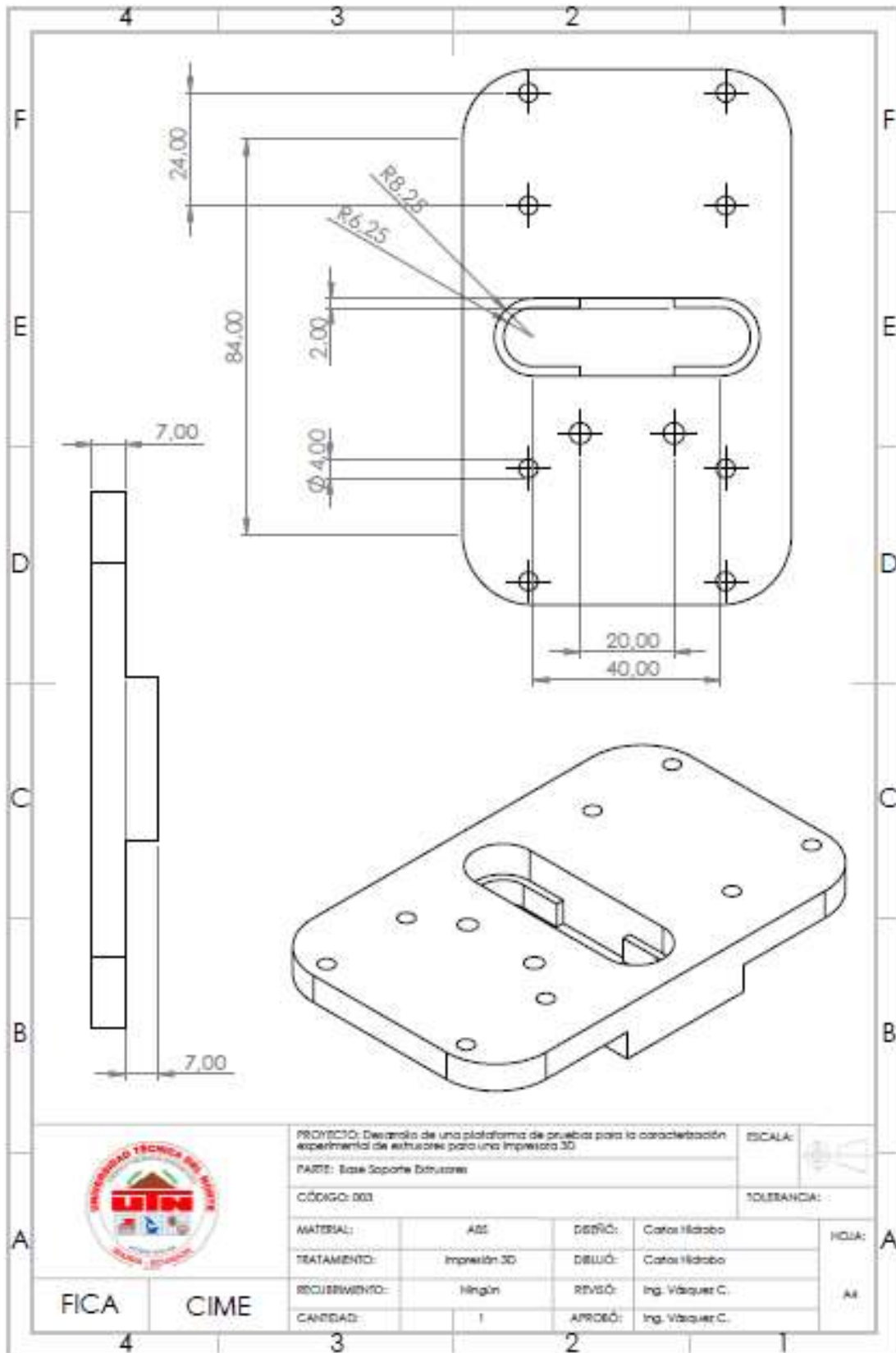
PART: Base Soporte Eje Z Superior

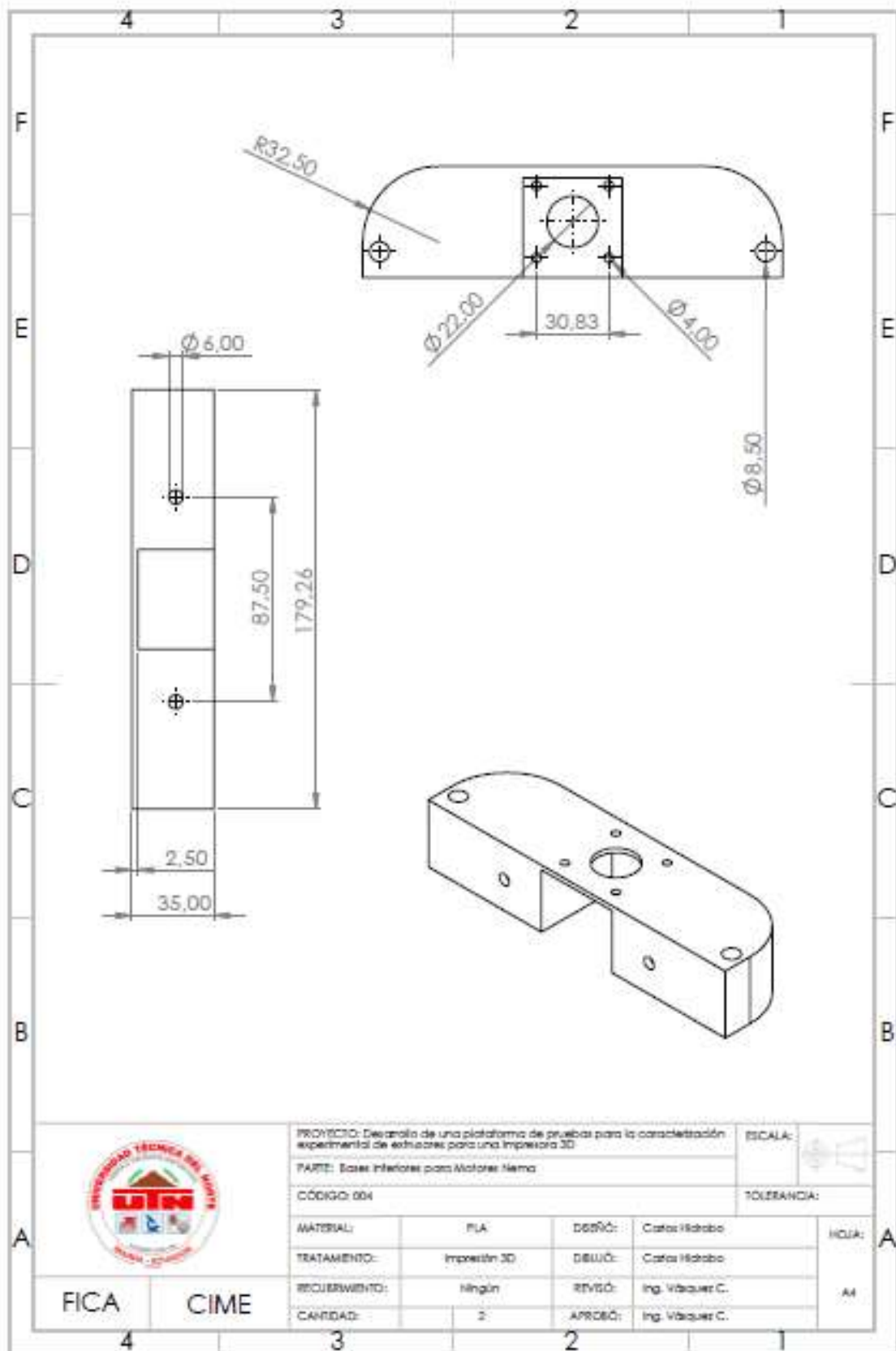
CÓDIGO: 003

TOLERANCIA:

| | | | | |
|----------------|--------------|---------|-----------------|-------------|
| MATERIAL: | PLA | DISEÑO: | Carlos Hédabo | HOJA: A4 |
| TRATAMIENTO: | Impresión 3D | DELUO: | Carlos Hédabo | |
| RECURRIMIENTO: | Ningún | REVISÓ: | Ing. Vázquez C. | |
| CANTIDAD: | 2 | APROBÓ: | Ing. Vázquez C. | |

FICA CIME





PROYECTO: Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de estructuras para una impresora 3D

ESCALA:



PART: Bases inferiores para Motores Nema

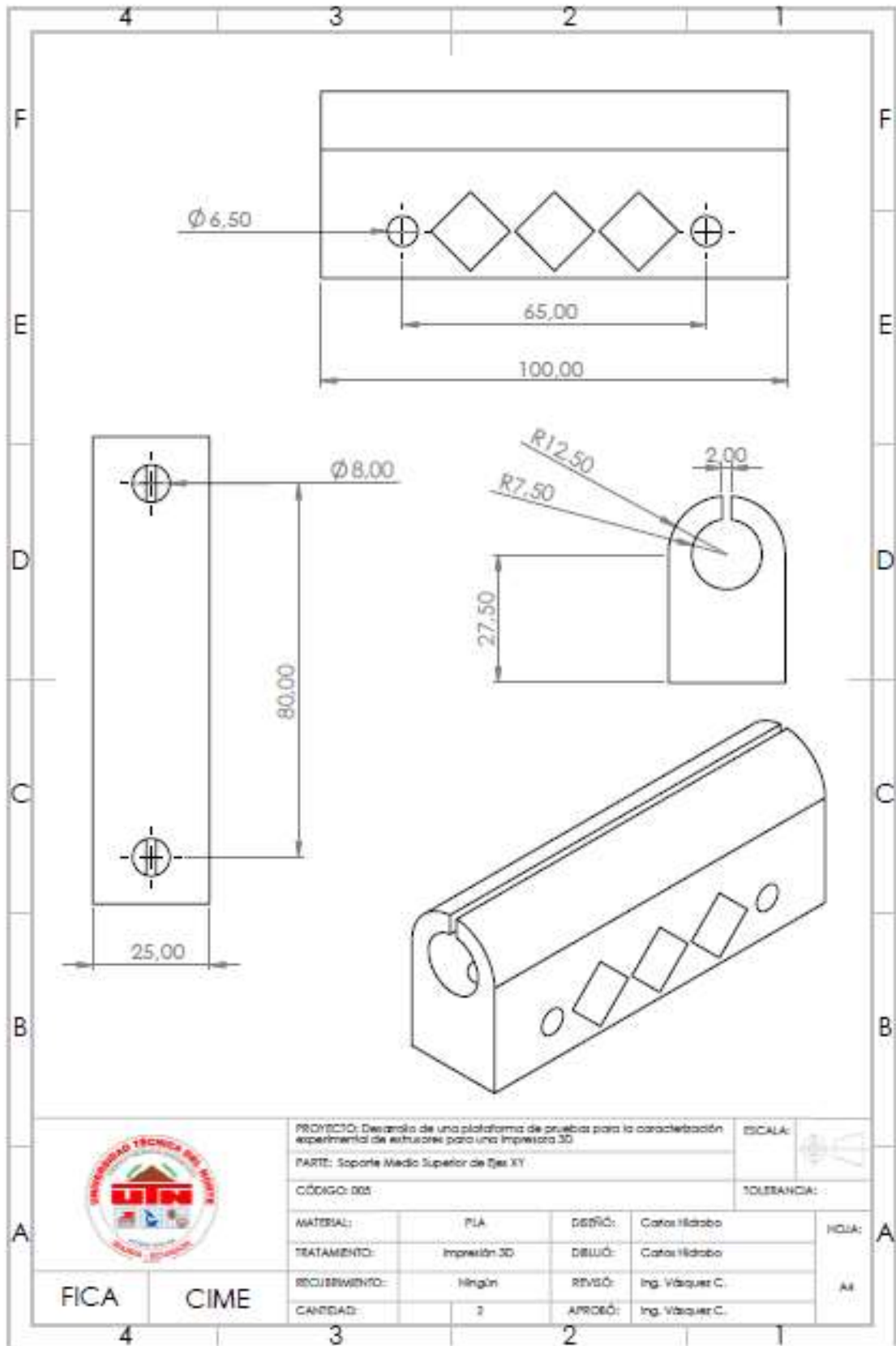
CÓDIGO: 004

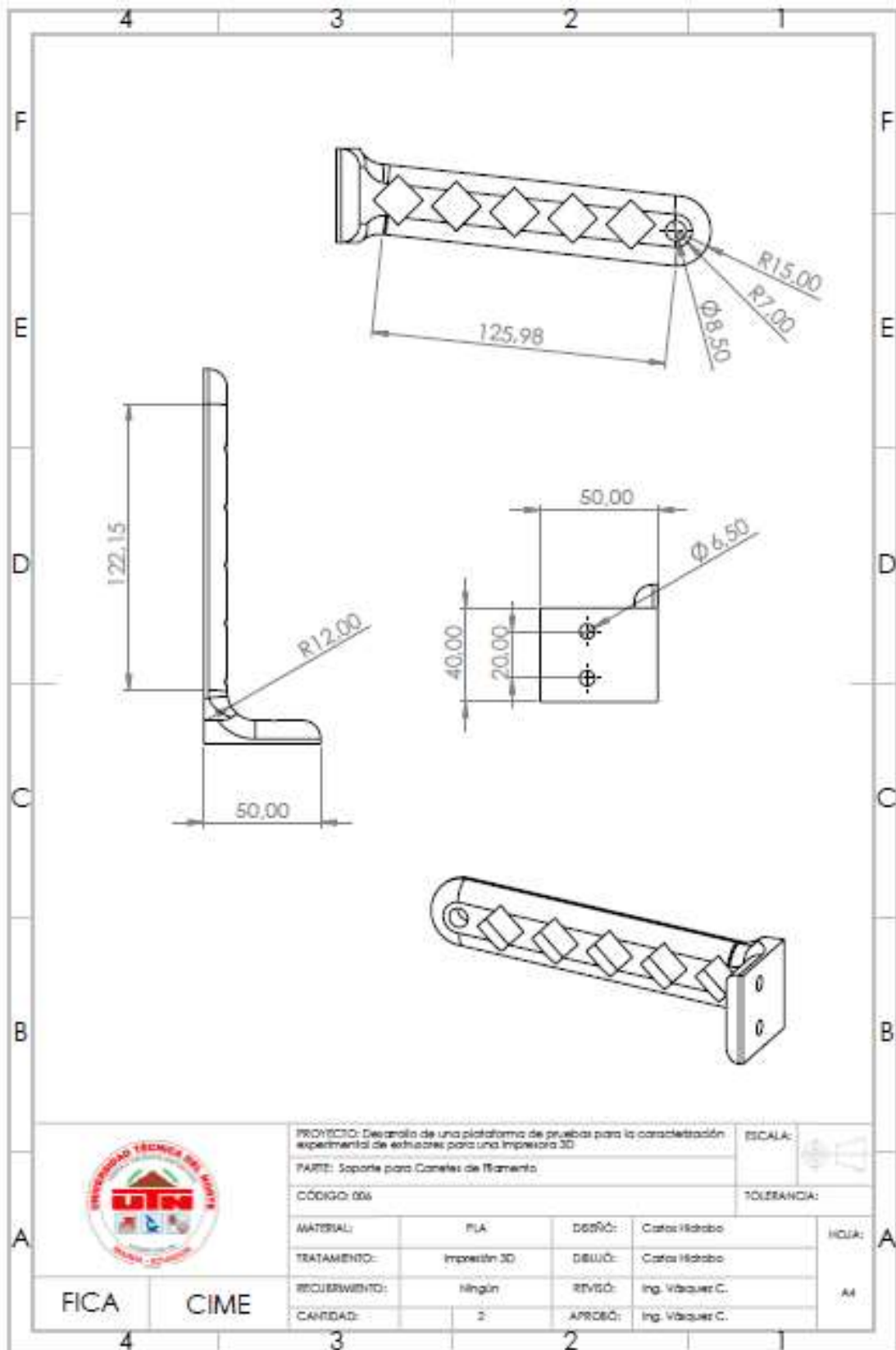
TOLERANCIA:

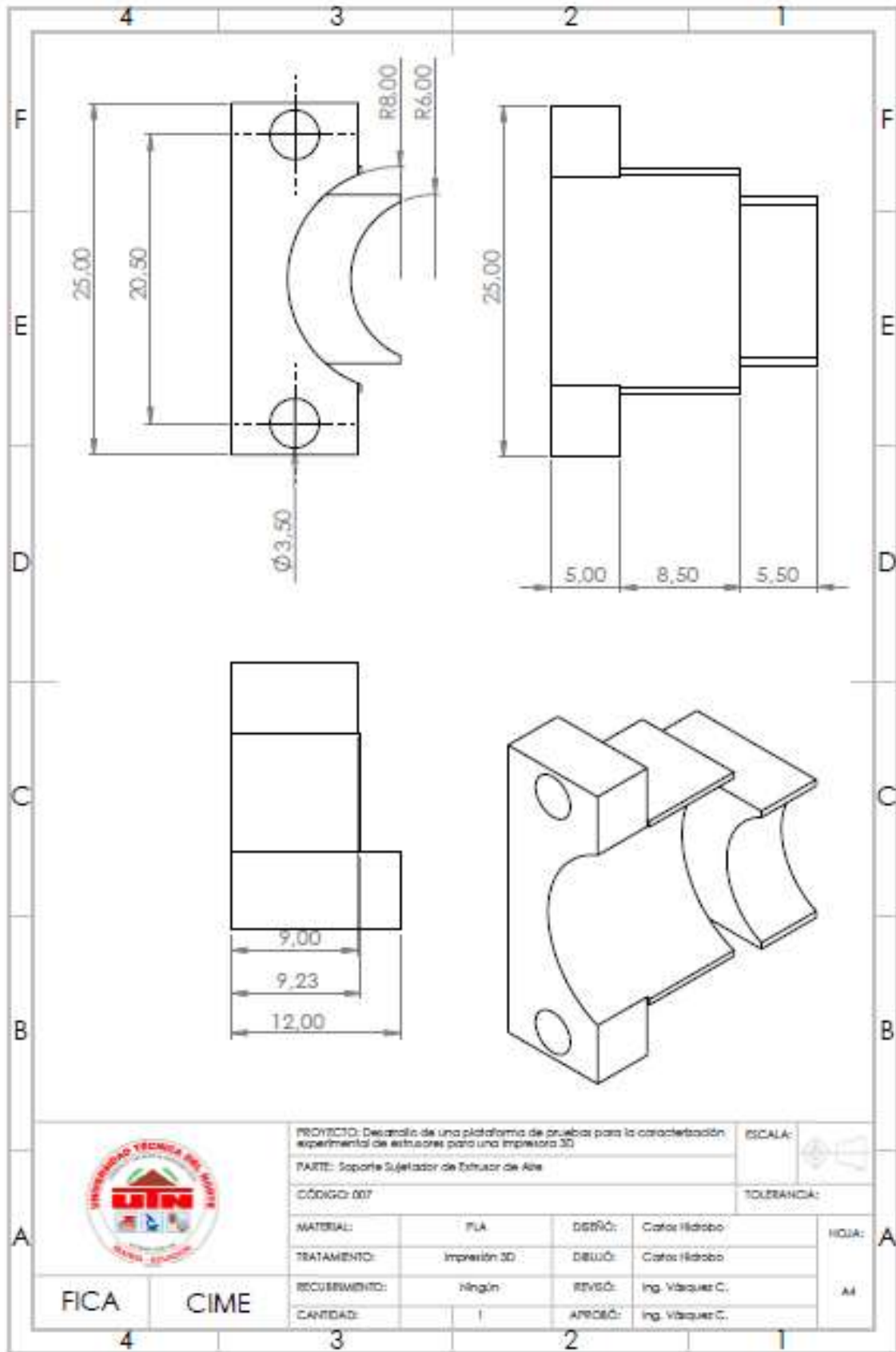
| | | | | |
|----------------|--------------|--------|----------------|-------------|
| MATERIAL: | PLA | DESB: | Carlos Hidalgo | HOJA: A4 |
| TRATAMIENTO: | Impresión 3D | DELU: | Carlos Hidalgo | |
| REQUERIMIENTO: | Ningún | REVIS: | Ing. Váquer C. | |
| CANTIDAD: | 2 | APROB: | Ing. Váquer C. | |

FICA

CIME







PROYECTO: Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de estrojes para una impresora 3D

ESCALA:



PARTE: Soporte Sujetador de Estruor de Aler

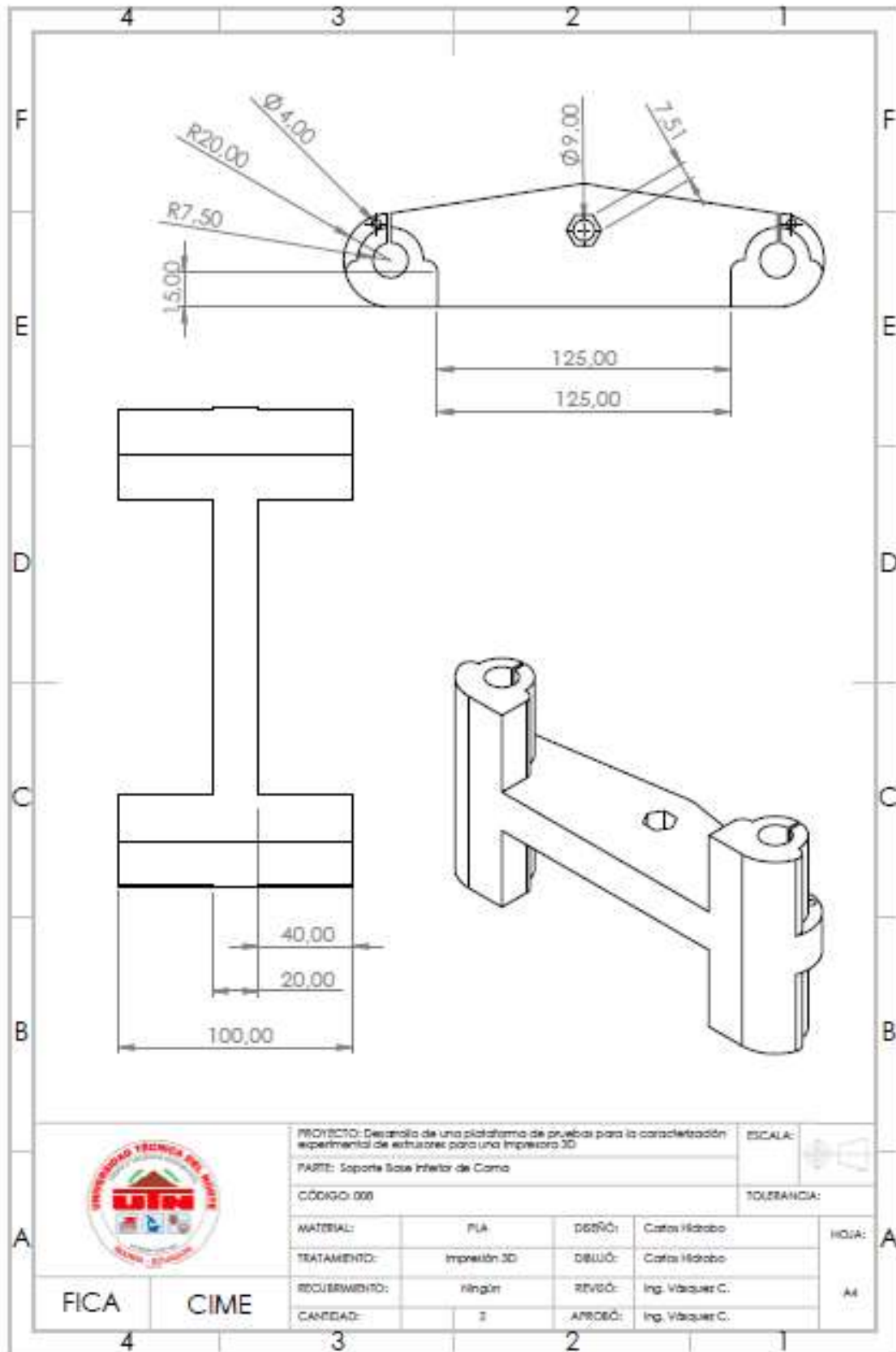
CÓDIGO: 007

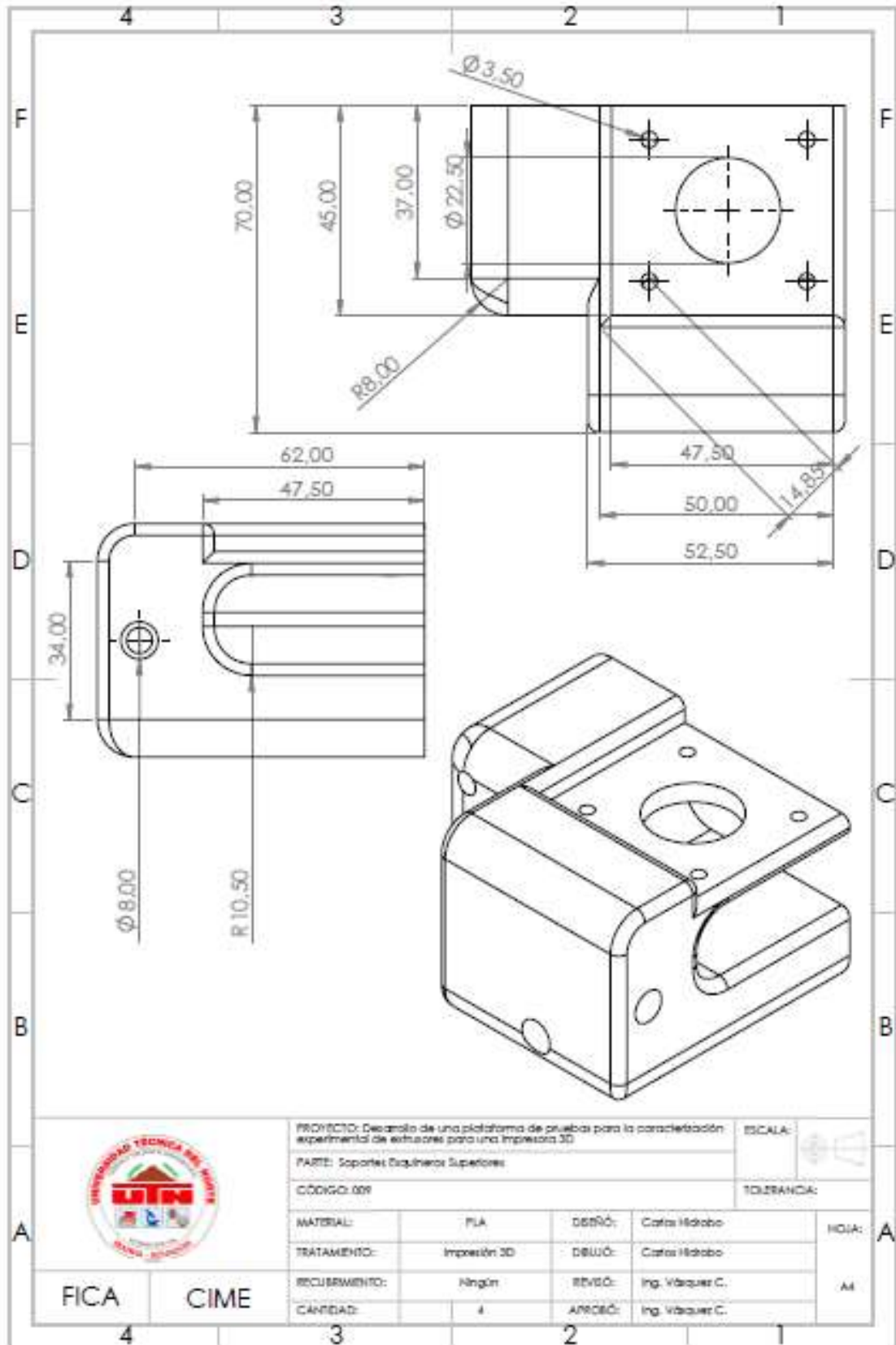
TOLENCANCIA:

| | | | | |
|----------------|--------------|---------|-----------------|-------------|
| MATERIAL: | PLA | DISEÑO: | Cafar Hábabo | HOJA: A4 |
| TRATAMIENTO: | Impresión 3D | DELUO: | Cafar Hábabo | |
| RECUBRIMIENTO: | Ningún | REVICO: | Ing. Vázquez C. | |
| CANTIDAD: | 1 | APROBÓ: | Ing. Vázquez C. | |

FICA

CIME





PROYECTO: Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de actuadores para una impresora 3D

ESCALA:

PARTES: Soportes Mecánicos Superiores

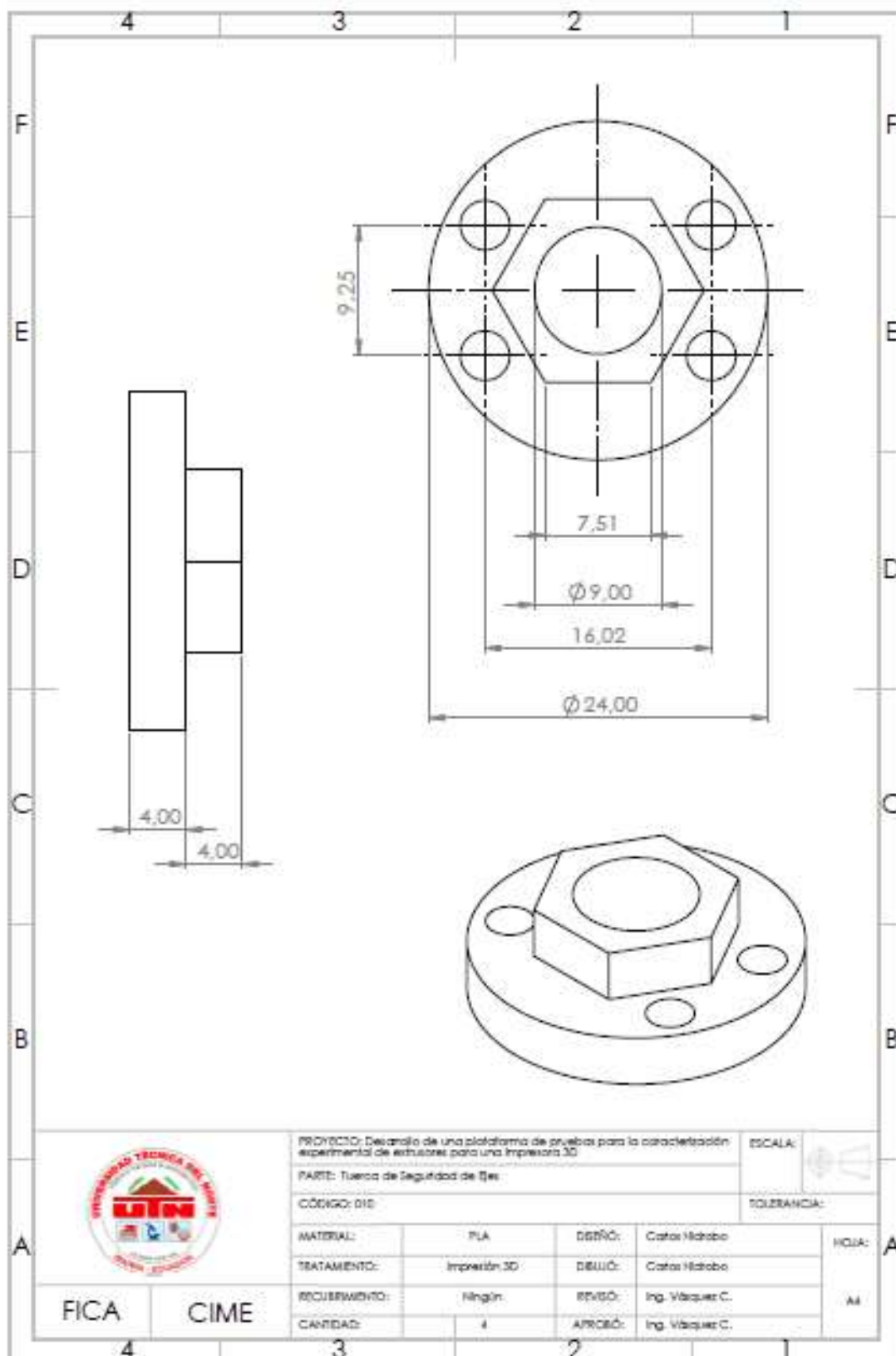
CÓDIGO: 009

TOLERANCIA:

| | | | | |
|--------------|--------------|---------|-----------------|----------|
| MATERIAL: | PLA | DESBÓ: | Cafes Hrababo | HOJA: A1 |
| TRATAMIENTO: | Impresión 3D | DEBUÓ: | Cafes Hrababo | |
| RECURSIVO: | Ningún | REVISÓ: | Ing. Vázquez C. | |
| CANTIDAD: | 4 | ANOSÓ: | Ing. Vázquez C. | |

FICA

CIME



PROYECTO: Desarrollo de una plataforma de pruebas para la caracterización experimental de estiradores para una Impresora 3D

ESCALA:



PARTI: Tuerca de Seguridad de Res

CÓDIGO: 010

TOLERANCIA:

MATERIAL:

PLA

DESENHO:

Catón Hincob

HOJA:

TRATAMIENTO:

Impresión 3D

DESENHO:

Catón Hincob

REQUISITO:

Ningún

REVISÓ:

Ing. Vázquez C.

A4

CANTIDAD:

4

APROBÓ:

Ing. Vázquez C.

FICA

CIME

4

3

2

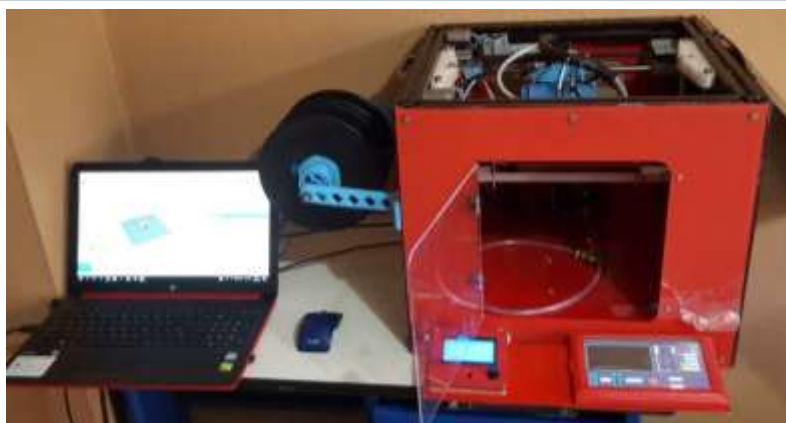
1

ANEXO III: MANUAL DE USUARIO

Manual de Instrucciones, Uso y Mantenimiento



PLATAFORMA DE PRUEBAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE EXTRUSORES PARA UNA IMPRESORA 3D



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
0980644991

INDICE

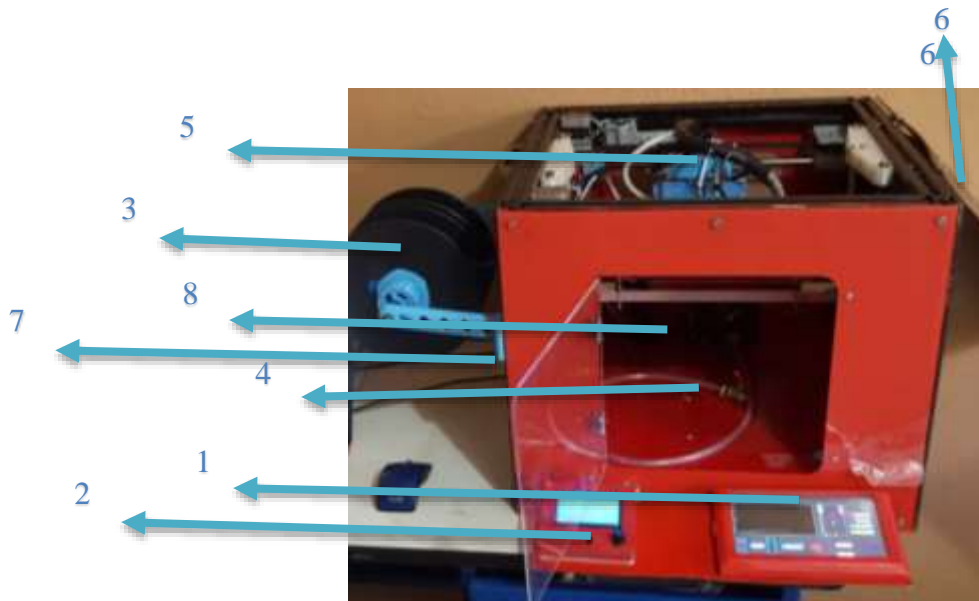
| | |
|---|------------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 117 |
| 2 COMPONENTES DEL EQUIPO | 117 |
| 3 ELEMENTOS EXTERNOS | 117 |
| 4 RESPONSABILIDAD | 119 |
| 5 DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 119 |
| 6 CARACTERÍSTICAS GENERALES | 120 |
| 7 TRANSPORTE Y ALOJAMIENTO | 120 |
| 8 ANTES DE LA INSTALACIÓN..... | 120 |
| 9 REQUISITOS AMBIENTALES | 120 |
| 10 ENERGÍA ELÉCTRICA | 120 |
| 11 EXAMEN DE LAS PARTES INTERNAS..... | 121 |
| 12 SOFTWARE REQUERIDO | 121 |
| 13 INSTALACIÓN | 122 |
| 14 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE REPETIER HOST | 125 |
| 15 PUESTA EN MARCHA..... | 128 |
| 16 EXIGENCIAS DE SEGURIDAD..... | 130 |
| 17 MANTENIMIENTO..... | 130 |
| 18 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO | 131 |

1 INTRODUCCIÓN

El equipo que se mostrará a continuación es un equipo creado en la Universidad Técnica del Norte para un trabajo de titulación con fines investigativos, el presente manual busca enseñar el funcionamiento de una plataforma de pruebas para caracterización de extrusores en una impresora 3D, así como el modo de uso y su mantenimiento.

2 COMPONENTES DEL EQUIPO

En la figura pueden apreciarse los elementos principales que forman parte del equipo



- 1 – Pantalla HMI temperatura y flujo
- 2 – Pantalla de parámetros de impresión
- 3 – Carretes de filamentos
- 4 – Purga de refrigerante
- 5 – Sistema de extrusión
- 6 – Tapa superior
- 7 – Conectores eléctricos
- 8 – Sistema de flujo de agua

3 ELEMENTOS EXTERNOS

- Cable de poder



- Cables de datos USB type A y type B (2)



- Tarjeta SD tipo cámara



SE RECOMIENDA AL USUARIO QUE LEA ATENTAMENTE ESTE MANUAL Y QUE SIGA LAS INSTRUCCIONES GENERALES.

ESTE DOCUMENTO ES UNA HERRAMIENTA NECESARIA PARA EL CONOCIMIENTO PREVIO DEL PRODUCTO QUE SE VA A UTILIZAR.

SU LECTURA Y ENTENDIMIENTO ES OBLIGATORIO ANTES DE HACER USO DEL PRODUCTO, YA QUE ES NECESARIO CONOCER TODOS SUS ASPECTOS DE FUNCIONAMIENTO, REVISIÓN, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD.



4 RESPONSABILIDAD

CARLOS ROBERTO HIDROBO, no se responsabiliza de cualquier tipo de daño o perjuicio que pueda ocasionar el uso o mal uso de este equipo.

5 DESCRIPCIÓN GENERAL

Se define como plataforma de pruebas para la caracterización experimental de extrusores enfriados por aire y agua para una impresora 3D al dispositivo que tiene como finalidad la adquisición de datos mediante el uso de termistores instalados en los sistemas de enfriamiento y en el interior y exterior de la plataforma que evalúa condiciones ambientales, utilizando una pantalla LCD acoplada a la impresora 3D previo al procesamiento de datos por medio de una tarjeta de adquisición obteniendo una base de datos, la misma que servirá para representar la curva de comportamiento; temperatura vs distancia y temperatura vs tiempo.

La longitud del extrusor servirá para el análisis de desempeño térmico, para esto se utilizará varios termistores ubicados en los disipadores de calor, los cuales permitirán determinar un perfil de temperatura en régimen de trabajo y mantener la temperatura adecuada sin perder las propiedades del material.

Se tiene también dentro de la pantalla un sistema de control de flujo tanto de aire como de agua que permite una transferencia de calor forzada al extrusor durante la operación, para esto se controlará un flujómetro que arrojará un caudal determinado mediante el sistema de control y a su vez se tendrá una interfaz gráfica en el software LabView que muestren los gráficos temperatura -tiempo y temperatura – distancia en el software LabView.

6 CARACTERÍSTICAS GENERALES

| Características generales de la Plataforma de Pruebas | |
|--|--------------------|
| MARCA | DUAL TEST 3D PRINT |
| MODELO - TIPO | Core XY |
| Altura (cm) | 60 cm |
| Anchura (cm) | 55 cm |
| Longitud (cm) | 55 cm |
| Peso Total (kg) | 25 kg |
| Temperatura máxima admisible (°C) | 70°C |
| Material constructivo | Acrílico y metal |
| Número de Pantallas | 2 |

7 TRANSPORTE Y ALOJAMIENTO

Asegure de manera firme la plataforma evitando vibraciones que puedan afectar a los componentes cuando se transporte, para evitar el desfase de los extrusores y en los ejes de movimiento.

8 ANTES DE LA INSTALACIÓN

Previo a la instalación del equipo en cualquier lugar, asegúrese de que sea un lugar plano y vigilar que cada uno de los elementos se encuentren en el lugar indicado.

9 REQUISITOS AMBIENTALES

No instalar la máquina en los siguientes ambientes:

- Donde exista una fuente de vibración
- Lugares blandos o poco firmes
- Para la cama caliente si la temperatura ambiente sobrepasa los 30°C no es necesario ocupar un pegamento para la adherencia de la pieza fundida, caso contrario si la temperatura es inferior se requiere de un acoplante (recomendable fijador de cabello o goma en barra).

10 ENERGÍA ELÉCTRICA

En la tapa lateral izquierda de la máquina en la parte inferior se encuentra la tapa de conexiones eléctricas y de datos.

De izquierda a derecha

- Conector de corriente eléctrica 120V
- Interruptor de encendido y apagado
- Conector de datos de sensores LabView
- Conector de datos de Marlin



11 EXAMEN DE LAS PARTES INTERNAS

Una vez que la plataforma se encuentre en un lugar fijo se deberá:

- Asegurarse de que los cables eléctricos y de datos se encuentran conectados en el lugar adecuado.
- Examine y asegúrese que el sistema de extrusión se encuentre en el lugar correcto y los extrusores alineados.
- En caso de ser necesario con la ayuda de un nivel asegurarse que la cama esté completamente nivelada.
- Asegurarse que la pantalla de parámetros color azul y la pantalla HMI se encuentren encendidas.



12 SOFTWARE REQUERIDO

Los softwares requeridos para el funcionamiento correcto de la plataforma son el “Repetier Host” que permite configurar los parámetros completos de la impresora, “LabView” que permite visualizar las gráficas y parámetros de impresión y “MS Acces” que permite almacenar los datos obtenidos y crear base de datos para su procesamiento e interpretación.

13 INSTALACIÓN

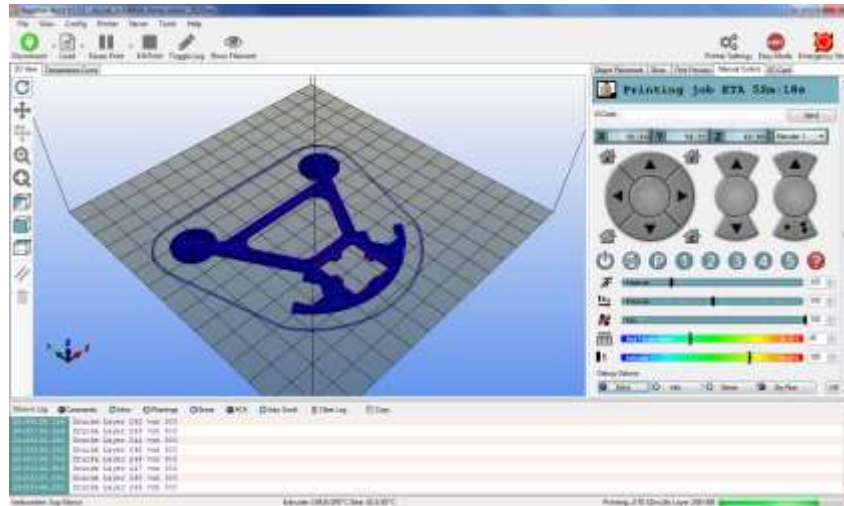
- **LabView**



Instalar una de las versiones de LabView a partir del 2013 en adelante ya que a partir de ahí se tiene el toolkit VISA – ARDUINO para la conexión serial y la base de datos.

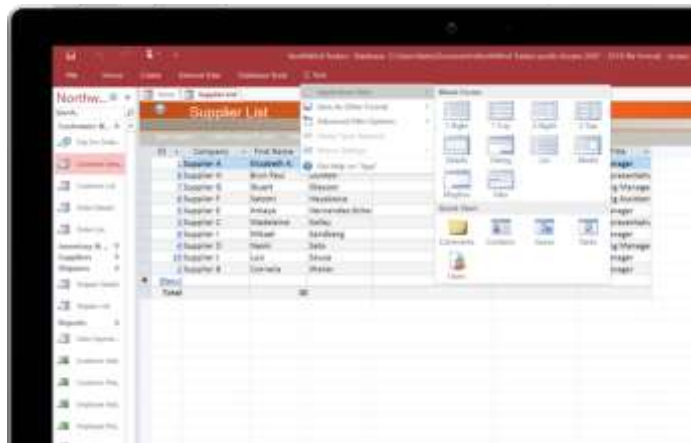
- **Repetier Host**





Para instalar el software Repetier Host debe ingresar en el siguiente LINK: <https://www.repetier.com/>. Se selecciona el tipo de sistema operativo del ordenador y se procede con la descarga de la versión más reciente.

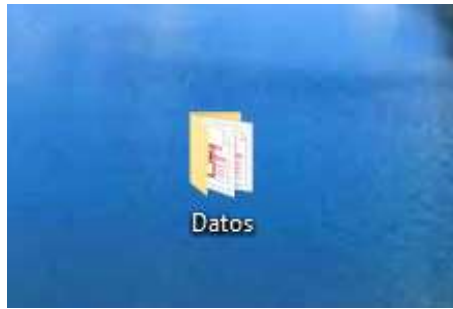
- **MS Access**



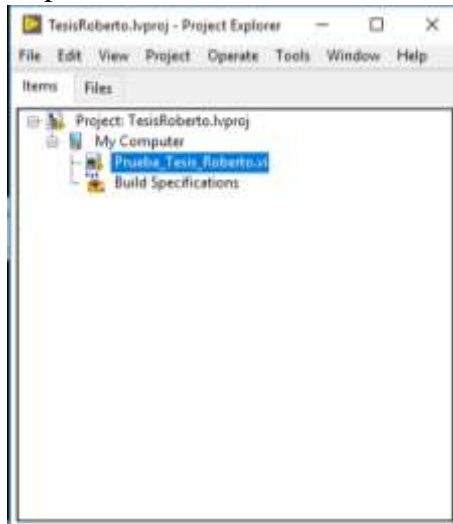
Para instalar el software MS Access se necesita ingresar en el siguiente LINK: <https://products.office.com/es-ww/access> y se escoge la opción de PROBAR AHORA cabe recalcar que la mayoría de sistemas operativos que traen el paquete de office también traen el paquete de Acces.

Para la conexión de la Base de Datos y LabView con los archivos proporcionados:

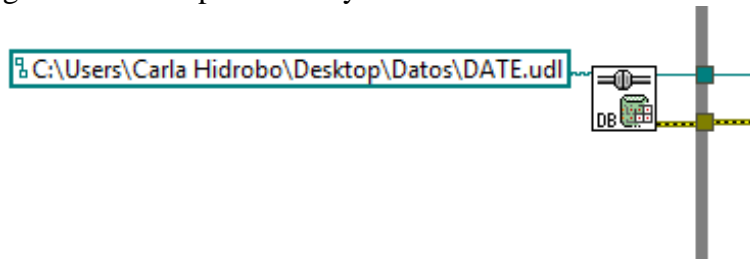
1. Copiar la carpeta Datos a su computadora



2. Copiar el Archivo de LabView con el programa



3. Dentro de la Interfaz de programación gráfica en LabView específicamente en la conexión de base de datos escribimos la dirección donde se encuentra guardada la carpeta Datos y el archivo DATE.udl



Para la creación de la Base de Datos y Conexión con LabView desde cero:

1. Crear un archivo en acces, el cual debe ir con el formato del año 2000
2. En el panel frontal de labview, seleccionamos Tools>>Create Data Link...
3. En la pantalla emergente seleccionamos >> Microsoft Jet 4.0 OLE DB Provider, y seleccionamos siguiente.
4. Posteriormente se pedirá la dirección de la base de datos que creamos en acces y seleccionamos en <<probar conexión>>, y verificamos que haya comunicación y aceptamos.
5. Luego aparecerá una ventana emergente donde se guardará el archivo de la conexión y guardamos.

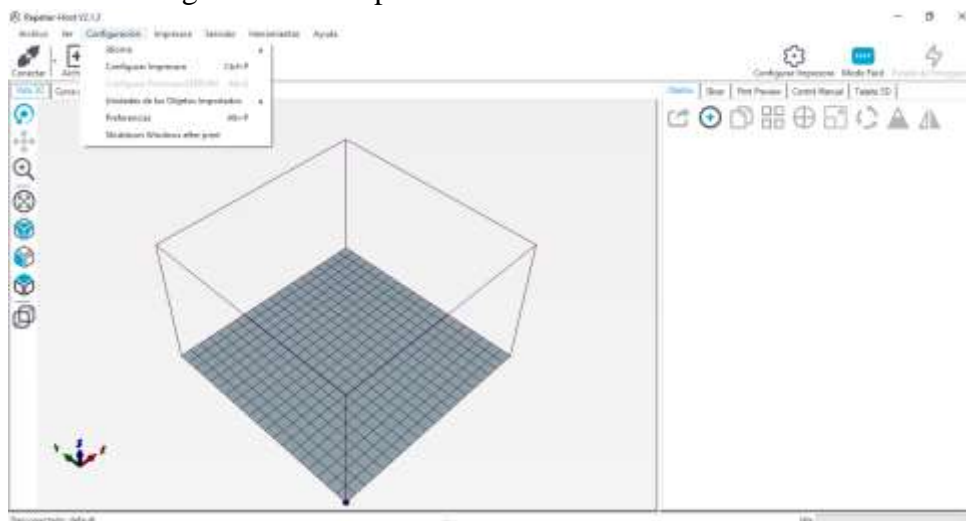
6. Para comunicar labview con la base de datos, se utiliza el link que se creo anteriormente, mas no la base de datos directamente.

Para mas información referirse a <https://www.youtube.com/watch?v=dNsFccTj0zs>

14 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE REPETIER HOST

Para la configuración del software Repetier Host, se deberá realizar las siguientes operaciones:

- En el programa Repetier Host es necesario configurar los parámetros de la impresora de tipo core xy que vamos a trabajar actualmente.
- Para eso abrimos el programa y nos vamos al apartado de Configuración y damos click en configuración de impresora.



- En la ventana Emergente “Conexión” que se despliega, ingresar los siguientes parámetros



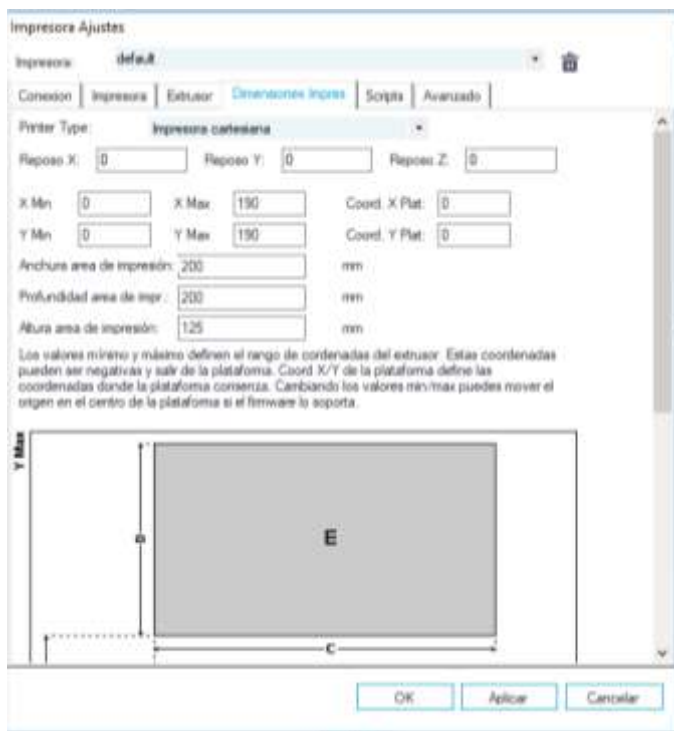
- En la siguiente ventana “Impresora”, observamos la imagen y configuramos los parámetros.



- En la siguiente ventana “Extrusor”, observamos la imagen y configuramos los parámetros.



- En la siguiente ventana “Dimensionas Impresora”, observamos la imagen y configuramos los parámetros.



En las dos pestañas restantes se manejan los valores por default.

Es importante tener en cuenta que dentro del software Repetier Host para imprimir un elemento se debe utilizar el Toolkit [SLICER](#).

15 PUESTA EN MARCHA

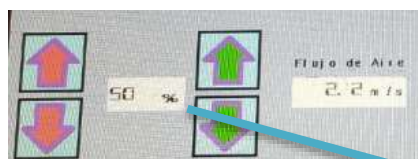
1. Conectamos el cable de energía a una corriente de 120 V
2. Conectamos el cable de datos en el conector con la etiqueta MARLIN esto nos permitirá comunicarnos con el software Repetier Host, caso contrario si vamos a utilizar la tarjeta SD no es necesario conectar dicho cable.
3. Conectamos el cable de datos en el conector con la etiqueta SENSORES lo cual nos permitirá tener una comunicación con el software LabView y visualizar los parámetros.
4. En la pantalla HMI saldrá una pantalla para escoger con cual extrusor se trabajará.



5. Una vez escogemos el extrusor se nos desplegará la siguiente pantalla de control, cabe recalcar que en la pantalla de agua hay un botón adicional de ON para encender y apagar el ventilador acoplado al tanque.

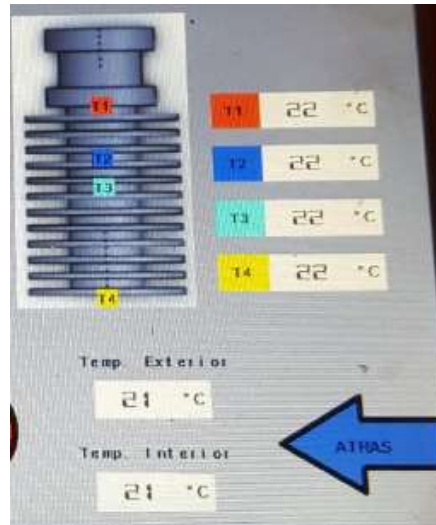


6. Previo al calentamiento del extrusor por parte de la impresión es necesario encender los flujos a un mínimo seguro del 40 % para agua y un 60% para aire, para los flujos tenemos las flechas rojas para flujos en decenas y las flechas verdes para el flujo en unidades.



40% y 60% +

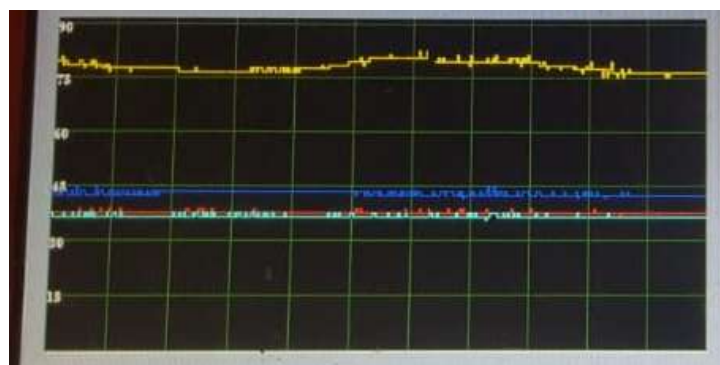
7. Para visualizar los parámetros de temperaturas tenemos la figura del extrusor y las ventanas de temperatura ambiental.



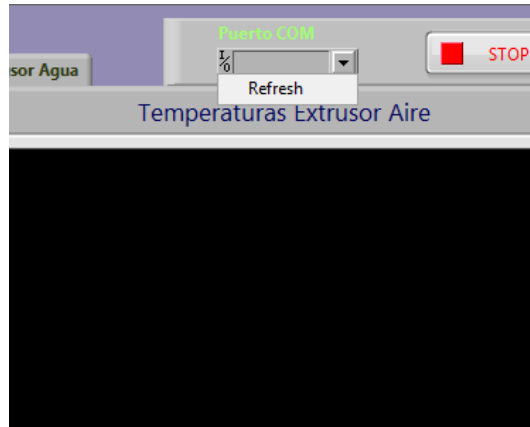
8. Para regresar y escoger la pantalla de otro extrusor o parar el proceso completamente tenemos los botones de regreso y paro de emergencia (utilizar este último solo en casos específicamente necesario de estudio)



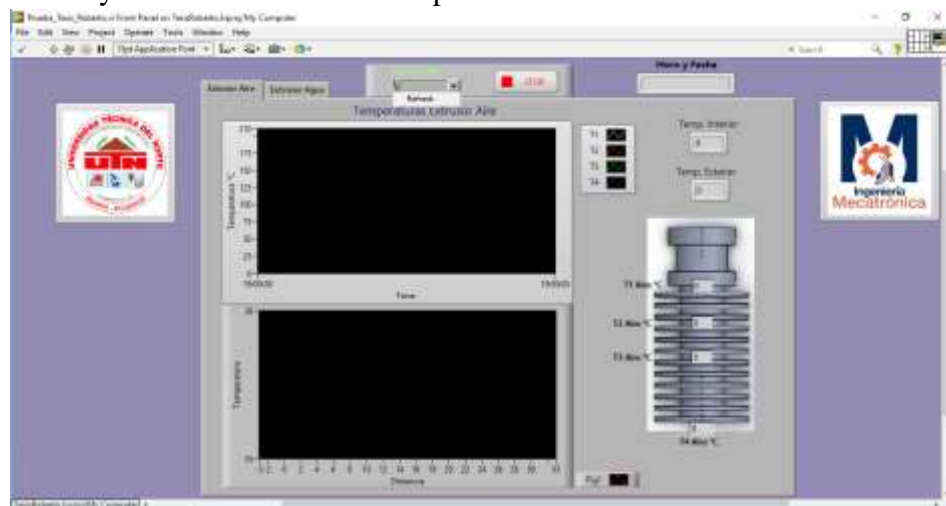
9. Para visualizar los parámetros tenemos la pantalla de visualización gráfica, la cual nos muestra el gráfico temperatura – tiempo.



10. Para la visualización de parámetros en el software LabView, lo primero es escoger el puerto COM donde se encuentra conectado el cable de SENSORES



11. Cabe recalcar que en la pantalla de LabView se puede observar las gráficas temperatura – tiempo (misma que en la pantalla HMI) y temperatura – distancia y de la misma manera los parámetros individuales.



16 EXIGENCIAS DE SEGURIDAD



- Leer claramente el manual
- No tratar los elementos con dureza
- Revisar la conexión previa al encendido
- Mantener las tapas cerradas
- No tocar los elementos internos mientras se está realizando una impresión

17 MANTENIMIENTO

- Procurar tener limpia la plataforma y en un espacio fuera de polvo
- Antes de una impresión limpiar los restos de filamento dentro de la cama

- Purgar el agua con regularidad para evitar el crecimiento de bacterias y algas
- No doblar ni maltratar los cables internos y externos
- Se recomienda la calibración mensual del ventilador de aire acoplado al extrusor, mediante limpieza de polvo y ajuste.

18 CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO

- Corriente Alterna 120V AC
- Componentes internos 12 y 5 V
- Fuente de poder de 12V , 30 A