



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
**“Formando líderes para la construcción de
un nuevo país en paz”**

**EXTRUSORA AUTOMATIZADA CON CONTROL DE
TEMPERATURA PARA LA REUTILIZACIÓN DE
MATERIAL DE IMPRESIÓN 3D (PLA),
RESULTANTE POR MALAS IMPRESIONES,
DESECHOS O RESIDUOS DE PIEZAS.**

Autor:
Henry Esteban Torres Rocha

Director:
M.Sc Andrés Orlando Páez Melo

Codirector:
M.Sc Victor Julio Vargas Sarmiento

Ingeniería Electrónica
Departamento de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Sistemas y
Telecomunicaciones
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Universidad de Pamplona
Pamplona, junio de 2022

DEDICATORIA

En esta vida Dios nos ha otorgado el libre albedrío para que nosotros escojamos nuestro camino a seguir. Sabiendo que en la vida hay caminos fáciles y difíciles, cada uno con más retos que otros, pero con fe, perseverancia y sabiduría podemos salir adelante. Por lo anterior mencionando, quiero agradecerle y dedicarle a Dios primeramente este logro obtenido, por haberme brindado toda la fuerza y la motivación en momentos difíciles, por haberme otorgado amistades inquebrantables y buenas relaciones a lo largo de mi proceso como estudiante del programa de ingeniería electrónica. Espero poder seguir creciendo como persona con una fuerza motivacional, amistades y buenos valores como profesional para poder seguir pasando cada obstáculo de todos los nuevos retos venideros.

A mis abuelos, a mis hermanos y a mis padres Luis Henry Torres García y Doris Isabel Rocha Yépez quienes me han brindado todo su apoyo, me han acompañado en cada momento importante de mi vida, en la realización de mis sueños y en mis triunfos conseguidos. Gracias a ellos por todo el acompañamiento y Dios les permita continuar en mi camino y yo en él de ellos.

**Para mis Padres, mis Hermanos y mis Abuelos
Por todo el apoyo que me han brindado
Y su eterno cariño, amor y
confianza.**

Índice

Prefacio	VII
AGRADECIMIENTO	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUCCIÓN	- 13 -
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	- 14 -
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	- 15 -
1.3. OBJETIVOS	- 16 -
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	- 16 -
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	- 16 -
1.4. ACOTACIONES	- 17 -
2. MARCO TEÓRICO	- 20 -
2.1. ANTECEDENTES	- 20 -
2.2. MÁQUINA EXTRUSORA	- 21 -
2.2.1 EXTRUSIÓN	- 21 -
2.2.2 TIPOS DE EXTRUSIÓN	- 21 -
2.2.2.1 EXTRUSIÓN DIRECTA	- 21 -
2.2.2.2 EXTRUSIÓN INDIRECTA	- 22 -
2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN CALIENTE	- 22 -
2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN FRÍO	- 22 -
2.2.3 EXTRUSORA	- 22 -
2.2.4 TIPOS DE EXTRUSORAS	- 23 -
2.2.4.1 EXTRUSORA DE PISTÓN	- 23 -
2.2.4.2 EXTRUSORA DE TORNILLO	- 23 -
2.2.4.2.1 EXTRUSORA MONO HUSILLO	- 24 -
2.2.4.2.2 EXTRUSORA DOBLE HUSILLO	- 24 -
2.2.5 PARTES PRINCIPALES DE LA EXTRUSORA	- 25 -
2.2.5.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN O TOLVA	- 25 -
2.2.5.2 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN	- 25 -
2.2.5.3 CILINDRO	- 26 -
2.2.5.4 TORNILLO O HUSILLO	- 26 -
2.2.5.5 SISTEMA DE CALEFACCIÓN	- 26 -
2.2.5.6 CABEZAL Y BOQUILLA	- 26 -
2.2.5.7 PLACA FILTRADORA	- 27 -
2.3 FILAMENTO	- 27 -
2.3.1 TERMOPLÁSTICOS	- 28 -
2.3.2 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES	- 28 -

2.3.3 FILAMENTO PLA.....	- 29 -
2.3.3.1 CARACTERÍSTICAS.....	- 30 -
2.3.3.2 PROPIEDADES.....	- 30 -
2.3.3.4 APLICACIONES.....	- 30 -
2.4 MICROCONTROLADOR.....	- 31 -
2.5 CONTROL DE TEMPERATURA.....	- 31 -
2.5.1 SISTEMAS DE CONTROL.....	- 31 -
2.5.1.2 SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO.....	- 32 -
2.5.2 ACCIONES DE CONTROL.....	- 32 -
2.5.2.1 CONTROL PID.....	- 32 -
2.6 RESISTENCIA ELÉCTRICA CALEFACTORA.....	- 33 -
2.7 SENSORES.....	- 33 -
2.8 MOTORES ELÉCTRICOS.....	- 34 -
3. METODOLOGÍA.....	- 38 -
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	- 38 -
3.2 SELECCIÓN DE DISEÑO.....	- 38 -
3.2.1 DIÁMETRO DE FILAMENTO EXTRUIDO.....	- 38 -
3.2.2 VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN.....	- 38 -
3.2.3 SISTEMA DE SUPERFICIE.....	- 38 -
3.2.4 MATERIALES RESISTENTES.....	- 38 -
3.2.5 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.....	- 39 -
3.2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	- 39 -
3.2.7 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSORA.....	- 41 -
3.2.8 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSIÓN.....	- 43 -
3.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	- 46 -
3.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL.....	- 46 -
3.3.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES ENTRADAS Y SALIDAS.....	- 47 -
3.3.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL.....	- 47 -
3.3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.....	- 48 -
3.3.2.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.....	- 50 -
3.3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA CALÓRICO.....	- 53 -
3.3.3.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA CALÓRICO.....	- 54 -
3.3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SENSOR DE TEMPERATURA.....	- 58 -
3.3.4.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	- 59 -
3.3.5 SELECCIÓN DE ENFRIAMIENTO.....	- 62 -
3.3.6 DIAGRAMA DE ELEMENTOS FUNCIONALES.....	- 63 -
3.3.7 DIAGRAMA QUE CONFORMAN LA EXTRUSORA.....	- 64 -
3.4 PARÁMETROS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN.....	- 65 -

3.4.1	DIMENSIONES DEL BARRIL.....	- 65 -
3.4.2	CÁLCULO DEL HUSILLO.....	- 66 -
3.4.3	CÁLCULOS DE LA TOLVA.....	- 69 -
3.4.4	CÁLCULOS DE FUERZAS QUE REALIZARA EL HUSILLO.....	- 70 -
3.4.5	BOQUILLA.....	- 72 -
3.4.6	TERMOCUPLAS.....	- 72 -
3.4.7	MODULO MAX6675.....	- 73 -
3.4.8	MICROCONTROLADOR ARDUINO.....	- 73 -
3.4.9	SSR – RELÉ DE ESTADO SOLIDO.....	- 74 -
3.5	RESUMEN DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.....	- 75 -
3.5.1	IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE MAQUINA EXTRUSORA.....	- 76 -
3.5.2	ADQUISICIÓN.....	- 79 -
3.5.3	SINTONIZACIÓN.....	- 81 -
3.5.4	CONTROLADOR.....	- 88 -
3.5.5	IMPLEMENTACIÓN.....	- 89 -
3.5.6	COMUNICACIÓN ARDUINO Y LABVIEW.....	- 91 -
4.	RESULTADOS.....	- 93 -
4.1	ENSAMBLE DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.....	- 93 -
4.1.1	ENSAMBLE PARTE MECANICA.....	- 93 -
4.1.2	ENSAMBLE DE PARTE ELECTRONICA.....	- 95 -
4.2	SISTEMA DE CONTROL PID.....	- 101 -
4.3	MANUAL DE OPERACIÓN.....	- 103 -
4.4	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA.....	- 104 -
4.5	LIMITACIONES DE LA MÁQUINA.....	- 104 -
4.6	COSTOS.....	- 105 -
4.7	VALIDEZ CONTROLADOR PID.....	- 107 -
4.8	INTERFAZ.....	- 110 -
5.	CONCLUSIONES.....	- 113 -
6.	TRABAJOS A FUTUROS.....	- 114 -
7.	REFERENCIAS.....	- 115 -
8.	ANEXOS.....	- 117 -

Tabla de Figuras

Figura 1. Máquina extrusora industrial.	- 23 -
Figura 2. Extrusión por pistón.	- 23 -
Figura 3. Extrusora mono husillo.	- 24 -
Figura 4. Extrusora doble husillo.	- 25 -
Figura 5. Tipos de tolvas.	- 25 -
Figura 6. Cilindro o barril máquina extrusora.	- 26 -
Figura 7. Tipos de boquillas para una máquina extrusora.	- 27 -
Figura 8. Tipos de filamentos de extrusión.	- 28 -
Figura 9. Tipos de termoplásticos.	- 28 -
Figura 10. Plásticos biodegradables.	- 29 -
Figura 11. Filamento PLA.	- 29 -
Figura 12. Algunas de las aplicaciones en la que se puede utilizar el filamento PLA.	- 30 -
Figura 13. Tipos de microcontroladores más utilizados.	- 31 -
Figura 14. Sistema de lazo cerrado.[23]	- 32 -
Figura 15. Función de transferencia de un sistema de control de lazo cerrado.[23]	- 32 -
Figura 16. Diagrama en bloques del sistema de control PID.	- 33 -
Figura 17. Tipos de resistencias eléctricas calefactoras.	- 33 -
Figura 18. Tipos de sensores que existen.	- 34 -
Figura 19. Tipos de motores AC y DC que existen.	- 35 -
Figura 20. Diagrama de bloques "Funcionamiento de la máquina extrusora". Fuente: Autor.	- 47 -
Figura 21. Diagrama de bloques - Descomposición funcional de sistema eléctrico. Fuente: Autor.	- 47 -
Figura 22. Diagrama de bloques - Descomposición funcional del material PLA. Fuente: Autor.	- 47 -
Figura 23. Diagrama de bloques - Descomposición funcional de señales a sensar. Fuente: Autor.	- 48 -
Figura 24. Diagrama de bloques - Combinación de las diferentes etapas del funcionamiento interno. Fuente: Autor.	- 48 -
Figura 25. Diagrama de interacción de elementos funcionales. [Autor]	- 64 -
Figura 26. Diagrama que conforman la extrusora. [Autor].	- 65 -
Figura 27. Dimensiones del barril o cilindro.	- 65 -
Figura 28. Husillo simple con sus partes. cilindro.	- 67 -
Figura 29. Termocuplas tipo K con sus partes.	- 72 -
Figura 30. Módulo MAX6675 con sus partes.	- 73 -
Figura 31. Microcontrolador Arduino nano con sus partes.	- 74 -
Figura 32. SSR – Relé de estado sólido.	- 74 -
Figura 33 Diagrama en bloques de la prototipada máquina extrusora. [Autor].	- 75 -
Figura 34. Tolla terminada. [Autor].	- 77 -
Figura 35. Barril terminado. [Autor].	- 77 -
Figura 36. Soporte del barril. [Autor].	- 78 -
Figura 37. Boquilla máquina extrusora. [Autor].	- 79 -
Figura 38. Adquisición de datos del sensor de temperatura.	- 80 -
Figura 39. Creación de la PSBR. [Autor].	- 80 -
Figura 40. Adquisición de datos por medio de LabVIEW y Arduino, comunicación Serial. [Autor].	- 81 -
Figura 41. Modelado de la función de transferencia. [Autor].	- 82 -
Figura 42. Ventana identificación del sistema Matlab utilizando la data del segundo método. [Autor].	- 82 -
Figura 43. Importación de datos, entrada y salida del sistema con data del segundo método. [Autor].	- 83 -
Figura 44. Precisión de la planta y función de transferencia con la data del segundo método. [Autor].	- 84 -
Figura 45. Interfaz PID TUNER Matlab, con la función de transferencia importada del segundo método. [Autor].	- 85 -

Figura 46. Ventana identificación del sistema Matlab utilizando la data del primer método. [Autor].....	- 86 -
Figura 47. Importación de datos, entrada y salida del sistema con data del segundo método. [Autor].	- 86 -
Figura 48. Precisión de la planta y función de transferencia con la data del primer método. [Autor].....	- 87 -
Figura 49. Controlador listo para funcionamiento. [Autor].	- 89 -
Figura 50. Inicio del ensamble del prototipo. [Autor].....	- 90 -
Figura 51. Diagrama lógico de programación. [Autor].....	- 90 -
Figura 52. Comunicación serial entre el arduino y el software LabVIEW. [Autor].....	- 91 -
Figura 53. Inicio del ensamble parte mecánica. [Autor].	- 93 -
Figura 54. Prototipo ensamblado. [Autor].	- 94 -
Figura 55. Prototipo ensamblado más motor en su mesa de soporte. [Autor].	- 94 -
Figura 56. Microcontrolador implementado en la máquina extrusora. [Autor].	- 95 -
Figura 57. Termocupla tipo K con módulo Max6675. [Autor].....	- 96 -
Figura 58. Conexiones del sensor de temperatura y arduino. [Autor].....	- 96 -
Figura 59. Conexiones de las resistencias tipo abrazadera con relé de estado sólido "SSR". [Autor].	- 97 -
Figura 60. Relay industrial de 12V. [Autor].	- 97 -
Figura 61. Módulo relé utilizado como protección y activación. [Autor].....	- 98 -
Figura 62. Circuito electrónico listo para conexiones. [Autor].....	- 98 -
Figura 63. Tablero de conexiones y distribución de los componentes con su respectivo nombre. [Autor].	- 99 -
Figura 64. Motor a utilizar parte formal. [Autor].	- 99 -
Figura 65. Motor a utilizar parte trasera. [Autor].	- 100 -
Figura 66. Ensamble e implementación eléctrica y electrónica en la máquina extrusora. [Autor].	- 100 -
Figura 67. Diagrama de bloques del código realizado para el controlador PID. [Autor].....	- 101 -
Figura 68. Declaración de las constantes con su valor para el controlador PID. [Autor].	- 101 -
Figura 69. Comportamiento del primer sensor, aplicando el control PID en PID TUNER. [Autor].....	- 102 -
Figura 70. Comportamiento del segundo sensor, aplicando el control PID en PID TUNER. [Autor].	- 103 -
Figura 71. Controlador PID, realizado con la librería. [Autor].....	- 107 -
Figura 72. Diagrama de bloques del código de la librería PID y modificaciones. [Autor].	- 108 -
Figura 73. Inicialización del PID. [Autor].	- 108 -
Figura 74. Controlador PID en tiempo real, código implementado. [Autor].....	- 109 -
Figura 75. Controlador PID en tiempo real en otro lapso de tiempo, código implementado. [Autor].	- 109 -
Figura 76. Simulación en Simulink de las funciones de transferencia y sus constantes de PID de los 2 sensores de temperatura. [Autor].....	- 110 -
Figura 77. Interfaz para activación de motor y monitoreo de la temperatura. [Autor].....	- 111 -
Figura 78. Programación para la lectura de la temperatura de ambos sensores. [Autor].....	- 111 -
Figura 79. Programación para la escritura y activación del motor de la máquina extrusora. [Autor].	- 112 -
Figura 80. Plano de la boquilla.	- 117 -
Figura 81. Plano del barril o cilindro.	- 118 -
Figura 82. Plano de la tolva.	- 119 -
Figura 83. Plano de soporte.	- 120 -

Lista de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las alternativas de extrusoras. [Autor].	- 39 -
Tabla 2. Ventajas y desventajas de las alternativas de extrusión. [Autor].	- 40 -
Tabla 3. Ponderación de evaluación para los parámetros establecidos. [Autor].	- 41 -
Tabla 4. Ponderación de evaluación "Bajo costo de implementación". [Autor].	- 42 -
Tabla 5. Ponderación de evaluación "Filamento de 1.75mm de diámetro de material PLA". [Autor].	- 42 -
Tabla 6. Ponderación de evaluación "Buena vida útil de los elementos a implementar". [Autor].	- 43 -
Tabla 7. Ponderación de evaluación "Facilidad de uso y mantenimiento". [Autor].	- 43 -
Tabla 8. Ponderación de evaluación de los parámetros de extrusión. [Autor].	- 44 -
Tabla 9. Ponderación de evaluación "Longitud y forma a extruir". [Autor].	- 45 -
Tabla 10. Ponderación de evaluación "Presión ejercida por la extrusora". [Autor].	- 45 -
Tabla 11. Ponderación de evaluación "Fricción realizada por los tornillos sinfín". [Autor].	- 45 -
Tabla 12. Ponderación de evaluación "Temperatura necesaria para la extrusión". [Autor].	- 46 -
Tabla 13. Ventajas y desventajas de las alternativas de transmisión. [Autor].	- 49 -
Tabla 14. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de transmisión. [Autor].	- 51 -
Tabla 15. Ponderación de evaluación "Costo de implementación". [Autor].	- 51 -
Tabla 16. Ponderación de evaluación "Mantenimiento". [Autor].	- 52 -
Tabla 17. Ponderación de evaluación "Velocidad de funcionamiento". [Autor].	- 52 -
Tabla 18. Ponderación de evaluación "Ocupación de espacio". [Autor].	- 53 -
Tabla 19. Ventajas y desventajas de las alternativas del sistema calórico. [Autor].	- 54 -
Tabla 20. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas del sistema calórico. [Autor].	- 55 -
Tabla 21. Ponderación de evaluación "Facilidad de montaje". [Autor].	- 56 -
Tabla 22. Ponderación de evaluación "Bajo costo". [Autor].	- 56 -
Tabla 23. Ponderación de evaluación "Diámetro ajustable". [Autor].	- 57 -
Tabla 24. Ponderación de evaluación "Altas temperaturas". [Autor].	- 57 -
Tabla 25. Ventajas y desventajas de las alternativas de sensores de temperatura. [Autor].	- 58 -
Tabla 26. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de los sensores de temperatura. [Autor].	- 60 -
Tabla 27. Ponderación de evaluación "Facilidad de montaje". [Autor].	- 61 -
Tabla 28. Ponderación de evaluación "Bajo costo". [Autor].	- 61 -
Tabla 29. Ponderación de evaluación "Velocidad de medición". [Autor].	- 61 -
Tabla 30. Ponderación de evaluación "Rangos de temperaturas". [Autor].	- 62 -
Tabla 31. Datos dimensionales del barril. [Autor].	- 66 -
Tabla 32. Parámetros teóricos del husillo a utilizar. [Autor].	- 69 -
Tabla 33. Parámetros y dimensiones del husillo. [Autor].	- 71 -
Tabla 34. Constantes obtenidas sensor 1 de la adquisición del segundo método. [Autor].	- 85 -
Tabla 35. Constantes obtenidas sensor 1 de la adquisición del primer método. [Autor].	- 87 -
Tabla 36. Constantes obtenidas sensor 2 de la adquisición del primer método. [Autor].	- 88 -
Tabla 37. Costos de la implementación del prototipo de máquina extrusora. [Autor].	- 106 -

Prefacio

Prefacio	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTO	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	¡Error! Marcador no definido.

“No sabía cómo hacerlo, así que lo intenté, fallé, fallé, fallé y luego lo
hice bien”
Elon Musk

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por nunca abandonarme, por acompañarme en los momentos más difíciles, por brindarme la sabiduría, inteligencia y confianza para lograr mis objetivos.

En segundo lugar, le agradezco a mis padres Luis Henry Torres y Doris Isabel Rocha por estar siempre ahí, apoyándome en todo, creyendo en mí y por ser tan geniales padres. Dios me los bendiga y me los colme de muchas bendiciones, espero seguir apoyándolos en estos momentos tan difíciles.

Agradezco a mis hermanos Karol, Kelly, Yancy y Juan Miguel, quienes me brindan su apoyo incondicional cada momento de mi vida, que, aunque no estemos siempre unidos, la sangre es primero. A mi primo Jesús David Cardona, por brindarme su ayuda, por estar pendiente de mí, de mi bienestar y a aprender más cada día de esta hermosa profesión.

Agradezco de manera especial a mis amigos Oscar Mogotocoro y Sebastián Nossa, por estar siempre ahí conmigo y por todos los momentos compartidos.

En este proceso de ámbito laboral, agradezco al Ingeniero mecánico José Chamorro, por todos sus consejos y sus enseñanzas. También a Rodrigo, que es una persona empírica pero que tiene mucho conocimiento y a todos los del taller TDM ingeniería de Cali, Valle del Cauca por aguantarme y todas sus enseñanzas.

Por último, agradecerles a los docentes por enseñarnos todos sus conocimientos, para salir a defendernos en la realidad laboral, porque, aunque nos quejáramos de tanto trabajo nos enseñaban a que el trabajo laboral es una gran carga. Gracias y mil gracias por ser como son. Bendiciones.

RESUMEN

En la actualidad, la impresión 3D se ha convertido una de las principales actividades en algunas empresas, personas independientes, estudiantes, entidades, etc. ya que tiene una amplia gama de aplicaciones en sus distintas áreas. Esto conlleva a la producción de muchas impresiones de piezas, modelos específicos y demás, donde por problemas calibración, malos diseños, residuos (cama base), desechos de piezas inutilizables o defectuosas, generan una gran cantidad de desperdicios de materia prima que puede ser reutilizables. Por lo tanto, en este documento se detalla y enfoca en la implementación y automatización de una máquina extrusora con control de temperatura para la reutilización de material de impresión 3D (PLA), con el fin de mitigar los gastos económicos y daños al medio ambiente. Para la implementación y la automatización de la máquina extrusora se inicia con la descripción, el análisis y el estudio de los diferentes tipos de extrusoras y de extrusión que existen. Además, se investigan los componentes y las partes de estas máquinas, como también las propiedades físicas y térmicas de la materia prima PLA para su procesamiento. Luego de haber analizado y estudiado los diferentes tipos, características, componentes, partes de la extrusora y las propiedades físicas y térmicas se busca seleccionar el diseño que nos permita su implementación, automatización y funcionamiento de la máquina extrusora, teniendo en cuenta la selección de materiales de buena calidad, funcionalidad y bajo costo al momento de la realización de las compras.

El tipo de extrusora seleccionada a modelar para su implementación y automatización es la extrusora horizontal, la cual consta de resistencias eléctricas tipo abrazaderas (calentadores eléctricos) y con motores eléctricos para su funcionamiento (servomotor). Se realiza el diseño de las partes de la estructura de la extrusora para la obtención de los planos, con el fin de buscar el material más adecuado y realizar las compras de los componentes electrónicos necesarios. Finalmente, la implementación del prototipo con el ensamble eléctrico y electrónico, se pone en marcha para la realización de las pruebas. Las pruebas se llevan a cabo con el material PLA obtenido y se tienen en cuenta varios aspectos, entre ellos: Temperatura, velocidad del husillo y el material a extruir.

Palabras clave: Extrusora, husillo, filamento, control, PLA, resistencias eléctricas.

ABSTRACT

Currently, 3D printing has become one of the main activities in some companies, independent people, students, entities, etc. since it has a wide range of applications in its different areas. This leads to the production of many prints of parts, specific models and others, where due to calibration problems, bad designs, waste (base bed), waste of unusable or defective parts, they generate a large amount of waste of raw material that can be reusable. Therefore, this document details and focuses on the implementation and automation of an extruder with temperature control for the reuse of 3D printing material (PLA), in order to mitigate economic expenses and damage to the environment. For the implementation and automation of the extruder machine begins with the description, analysis and study of the different types of extruders and extrusion that exist. In addition, the components and parts of these machines are investigated, as well as the physical and thermal properties of the PLA raw material for processing. After having analyzed and studied the different types, characteristics, components, parts of the extruder and the physical and thermal properties, we seek to select the design that allows us to implement, automate and operate the extruder, taking into account the selection of materials. of good quality, functionality and low cost at the time of making purchases.

The type of extruder selected to be modeled for its implementation and automation is the horizontal extruder, which consists of clamp-type electrical resistances (electric heaters) and electric motors for its operation (servomotor). The design of the parts of the extruder structure is carried out to obtain the plans, in order to find the most suitable material and make the purchases of the necessary electronic components. Finally, the implementation of the prototype with the electrical and electronic assembly is started for the tests. The tests are carried out with the PLA material obtained and several aspects are taken into account, including: Temperature, screw speed and the material to be extruded.

Keywords: Extruder, screw, filament, control, PLA, electrical resistance.

Introducción

1.	INTRODUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	¡Error! Marcador no definido.
1.2.	JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	¡Error! Marcador no definido.
1.3.	OBJETIVOS	¡Error! Marcador no definido.
1.3.1.	OBJETIVO GENERAL	¡Error! Marcador no definido.
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	¡Error! Marcador no definido.
1.4.	ACOTACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la impresión 3D es uno de los procesos más importante que existe por su alta gama de aplicaciones en el desarrollo de productos. Por lo tanto, la extrusión es probablemente el proceso más versátil en la industria de la impresión 3D porque de esa forma es que se imprime en 3D y también como se obtiene la materia prima.

El filamento de PLA o materia prima utilizada para las impresiones 3D, por lo general es fabricada en un diámetro de 1.75 mm o 3 mm. Este filamento es uno de los más conocidos como también uno de los más comercializados, también existen otros tipos de filamentos utilizados para la impresión 3D como el ABS y el HDPE.

La impresión 3D hace varios años atrás era un gran avance tecnológico que pocos podían optar, pero hoy en día empresas, entidades, universidades, personas y/o estudiantes pueden acceder o crear una de ellas, lo que conlleva a la generación de grandes cantidades de desperdicios de materia prima, que puede ser producida por modelos descartados, residuos, piezas mal impresas, mala calibración de la impresora, entre otros factores. Por lo tanto, estos desperdicios lo que están generando es una contaminación ambiental y gastos monetarios, que pueden ser innecesarios si se reutiliza esta materia prima.

Debido a esta problemática, se propone la implementación y automatización de una máquina extrusora con control de temperatura para la reutilización de material de impresión 3D (PLA), resultante por malas impresiones, desechos o residuos de piezas, con el propósito de reducir gastos monetarios y la contaminación producida por estos desperdicios para contribuir en la conservación del medio ambiente.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La impresión 3D hoy en día es muy usada en la creación de piezas que se utilizan en componentes electrónicos, engranajes, etc. Por ello, al realizar dichas impresiones generan una gran cantidad de desperdicio de material que puede deberse a una mala calibración de la impresora, un mal diseño, piezas mal impresas, residuos de material de impresión o por el desecho de piezas no utilizables, lo cual genera una pérdida de material de impresión 3D (PLA) que se puede reutilizar. Esto conlleva a que las personas, empresas y demás entidades, tengan que gastar más dinero en la adquisición del material de impresión 3D (PLA). También la no reutilización del plástico PLA, está generando una contaminación en el medio ambiente por sus propiedades físicas, las cuales hacen que tarden muchos años en degradarse.

Debido a este problema, la mala impresión de la pieza ocasiona una pérdida de materia prima, la no entrega oportuna de piezas y un gasto de dinero en la adquisición de más material de impresión 3D. Por esa razón la intención de este proyecto es diseñar un sistema que reutilice material de impresión 3D (PLA), y así también ayudar a la conservación del medio ambiente.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El auge de la impresión 3D es construir físicamente los componentes electrónicos, engranajes y demás piezas enviadas a través de un programa CAD desde una computadora a la impresora 3D. En ocasiones las impresiones en 3D generan piezas deformes, con errores de impresión, entre otras.

En la actualidad las impresoras 3D son más asequibles por su construcción casera generando que una alta población de estudiantes de ingeniería electrónica, mecatrónica y personas interesadas en el tema, manipulen estas máquinas a su merced, tanto en la universidad de Pamplona como en sus casas. Esto conlleva a que muchas de las impresoras 3D que utilizamos se encuentren descalibradas y al momento de una impresión la pieza salga defectuosa y/o también desechen piezas ya inutilizables. En otras palabras, esto genera que haya una gran cantidad de desperdicios de material que puede ser reutilizable para nuevas impresiones de piezas 3D.

Actualmente, en la ciudad de Pamplona no se encuentra una empresa que recicle o reutilice este tipo de material de impresión 3D (PLA), tampoco se encuentran empresas que fabriquen extrusoras, por lo cual comprar una extrusora en el mercado nacional o internacional resulta muy costoso y con unas dimensiones de gran tamaño.

Con base en lo anterior, la intención del proyecto es fabricar una extrusora de material de impresión 3D (PLA), para la reutilización de la materia prima de las impresoras 3D, ya que además nuestro propósito como ingenieros es generar alternativas que inciten la preservación del medio ambiente como por ejemplo eliminando y reduciendo piezas desechadas, piezas mal impresas y residuos que puedan ir a la basura. A su vez el propósito es mostrarles a los estudiantes o personas que utilizan impresoras 3D una alternativa de reutilización de materia prima para mitigar y disminuir los gastos en la adquisición de más material de impresión 3D (PLA) y ayudar a descontaminar el medio ambiente.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Implementar y automatizar una extrusora con control de temperatura para la reutilización de material de impresión 3D (PLA), resultante por malas impresiones, desechos o residuos de piezas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar una configuración de bajo costo que permita la implementación, automatización y funcionamiento de un prototipo de máquina extrusora para la reutilización del material de impresión 3D.
- Establecer los componentes eléctricos y electrónicos más adecuados para el funcionamiento y automatización de la maquina extrusora.
- Diseñar una máquina extrusora automatizada y de bajo costo con control de temperatura para la reutilización del material de impresión 3D teniendo en cuenta la configuración seleccionada.
- Implementar el prototipo de máquina extrusora automatizada para la reutilización del material de impresión 3D.
- Validar el funcionamiento de la máquina extrusora automatizada para la reutilización del material de impresión 3D.

1.4. ACOTACIONES

- El proyecto se realizará solo teniendo en cuenta el filamento de PLA como material a reciclar para impresión 3D.
- El microcontrolador será escogido dependiendo de sus ventajas y desventajas, precio, tamaño y programación.
- Los componentes electrónicos, eléctricos y sensores serán escogidos de acuerdo a lo utilizado a lo largo de la carrera universitaria.
- En la selección de los materiales para la fabricación de la máquina extrusora, se tendrá en cuenta los costos y la reutilización de piezas o materiales que se puedan conseguir en centros de reciclaje.
- La automatización de la máquina extrusora, solo se llevará a cabo, donde genere un cambio significativo en la producción del PLA.
- La validación se hará teniendo en cuenta la cantidad de material que pueda conseguir para reciclar.

Marco Teórico

2. MARCO TEÓRICO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.1. ANTECEDENTES.	¡Error! Marcador no definido.
2.2 MÁQUINA EXTRUSORA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.1 EXTRUSIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2 TIPOS DE EXTRUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.1 EXTRUSIÓN DIRECTA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.2 EXTRUSIÓN INDIRECTA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN CALIENTE.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN FRÍO.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.3 EXTRUSORA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4 TIPOS DE EXTRUSORAS.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.1 EXTRUSORA DE PISTÓN.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2 EXTRUSORA DE TORNILLO.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.1 EXTRUSORA MONO HUSILLO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.4.2.2 EXTRUSORA DOBLE HUSILLO.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5 PARTES PRINCIPALES DE LA EXTRUSORA.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN O TOLVA.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.2 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.3 CILINDRO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.4 TORNILLO O HUSILLO.....	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.5 SISTEMA DE CALEFACCIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.6 CABEZAL Y BOQUILLA.	¡Error! Marcador no definido.
2.2.5.7 PLACA FILTRADORA.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3 FILAMENTO.....	¡Error! Marcador no definido.

2.3.1 TERMOPLÁSTICOS.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3 FILAMENTO PLA.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3.1 CARACTERÍSTICAS.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3.2 PROPIEDADES.	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3.4 APLICACIONES.	¡Error! Marcador no definido.
2.4 MICROCONTROLADOR.	¡Error! Marcador no definido.
2.5 CONTROL DE TEMPERATURA.	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1 SISTEMAS DE CONTROL	¡Error! Marcador no definido.
2.5.1.2 SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO	¡Error! Marcador no definido.
2.5.2 ACCIONES DE CONTROL	¡Error! Marcador no definido.
2.5.2.1 CONTROL PID	¡Error! Marcador no definido.
2.6 RESISTENCIA ELÉCTRICA CALEFACTORA.	¡Error! Marcador no definido.
2.7 SENSORES.	¡Error! Marcador no definido.
2.8 MOTORES ELÉCTRICOS.	¡Error! Marcador no definido.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES.

DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLASTICOS.

Dada la importancia del desplazamiento y la falta de atención al mismo, se ha lanzado una campaña de información, inicialmente entre los estudiantes interesados, y luego extendida a los emprendedores.

Este trabajo será responsable del estudio teórico de conceptos relacionados con la extrusión de termoplásticos (en nuestro caso polipropileno (PP)). Por tanto, se deben sacar conclusiones con información teórica, planos técnicos y una lista de elementos de construcción de la máquina. [1]

DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA EMPRESA PLASTIK DE OCCIDENTE.

Este documento especifica el diseño de la extrusora de PLASTIK de OCCIDENTE para la producción de insumos plásticos. El proyecto se inició con los requerimientos de una empresa, y el diseño debe cubrir las necesidades de los productos que se quieren producir y comercializar a nivel nacional, como los palitos de plástico para dulces, y en el futuro, mosquiteros y un sistema de fácil uso. La máquina será de diseño simple, eficiente y económico para fabricar diversos productos. Con base en el contenido anterior, buscaremos información técnica sobre el diseño y construcción de la extrusora para continuar con el diseño teórico de la extrusora, la generación del plano y la posterior fabricación con la ayuda de la empresa. El propósito del proyecto es brindar a la empresa un proyecto de diseño simple y efectivo para la extrusora, que permita la extrusión de termoplásticos, para este caso especial polipropileno, polietileno y PVC. Este documento cuenta con información teórica, dibujos técnicos y datos técnicos para la construcción de la máquina.[2]

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA FABRICACIÓN DE FILAMENTOS TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESORA 3D.

Este proyecto se llevó a cabo para la fabricación de filamentos de materiales termoplásticos, debido a que el actual proyecto de investigación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Santo Tomas Tunja tiene como objetivo fabricar impresoras 3D y producir objetos plásticos, por lo que es necesario tener una extrusora que produzca la materia prima o los filamentos para poder imprimir.

Debido a que el costo de estos filamentos es muy elevado, este tipo de extrusora permite a las universidades minimizar el costo de experimentación y producción de objetos plásticos impresos, simplificando así la adquisición de filamentos plásticos para impresoras 3D.

El objetivo final fue producir filamentos de materiales termoplásticos, debido a que la investigación buscaba desarrollar una extrusora que pueda producir filamentos plásticos de diferentes diámetros y pueda resolver los problemas que enfrentaba la universidad en ese momento para la obtención de dichos materiales. Por este motivo, se diseñó y fabricó una extrusora para ser implementada en un laboratorio de ingeniería mecánica para practicar la extrusión de materiales y la obtención de los filamentos.

La máquina está diseñada para extruir materiales termoplásticos con propiedades químicas y físicas bien definidas. La máquina cumple con todos los requisitos recomendados, como producir materiales a razón de 10 kg / h, fácil manejo, fabricación de filamentos con diámetros de 1,75 mm y 3 mm, temperatura de trabajo y dimensiones de la máquina.[3]

2.2 MÁQUINA EXTRUSORA

2.2.1 EXTRUSIÓN.

La extrusión es uno de los procesos más importantes en la industria de conversión de plásticos. Este proceso se usa para la formulación y creación de compuestos plásticos y en la producción de materia prima. Los productos que se pueden fabricar incluyen: tubería, manguera, y fibras.

El material utilizado en el proceso de extrusión suele ser un termoplástico. Estos materiales se ablandan y se vuelven líquidos cuando se calientan, y luego se endurecen y se solidifican cuando se enfrían.[4]

El proceso de extrusión se refiere a un proceso de compresión en el que el material fundido se presiona a través de una boquilla para producir un producto con una sección transversal constante y una longitud indefinida.[5]

2.2.2 TIPOS DE EXTRUSIÓN.

2.2.2.1 EXTRUSIÓN DIRECTA.

La extrusión directa también conocida como extrusión hacia adelante, es producida cuando el contenedor de metal se llena de material, ocasionando que el pistón o pistón realice su trabajo de compresión, obligando a que el material fluya a través de una o más aberturas del molde en el extremo opuesto del contenedor y así obtener el material con su forma extruida.

Una de las ventajas de la extrusión directa, es que se pueden hacer en varias formas de sección transversal y huecas.[6]

2.2.2.2 EXTRUSIÓN INDIRECTA.

La extrusión indirecta también conocida como extrusión hacia atrás, es ocasionado porque el molde se encuentra ubicado sobre el pisón o pistón y no en el extremo opuesto del contenedor. El pisón al presionar el material a extruir a que el material fluya a través del espacio del pisón yendo en la dirección opuesta.

Una de las ventajas de la extrusión indirecta es igual a la extrusión directa, la cual permiten la producción de secciones huecas para la elaboración de secciones semi – huecas, tubos, etc.[6]

2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN CALIENTE.

La extrusión en caliente se produce por el calentamiento del contenedor a una temperatura mayor a la de cristalización aumentando su ductilidad y reduciendo las características del material, la fuerza del pisón y el tamaño.[6]

2.2.2.3 EXTRUSIÓN EN FRÍO.

La extrusión en frío en la mayoría de los procesos no es necesario un previo calentamiento del contenedor, además se debe tener en cuenta el tipo del material a extruir como pueden ser el aluminio, cobre, estaño y algunas de aleaciones dependiendo de las magnitudes de deformación durante el proceso.

Se obtiene una mayor resistencia gracias al endurecimiento obtenido durante el proceso de deformación, tolerancias, acabados mejorados, disminución de capas de óxido y se alcanzan altas velocidades de producción.[6]

2.2.3 EXTRUSORA.

La extrusora es la máquina responsable de extruir termoplásticos mediante la acción de extrusión, fusión, moldeado, presión y empuje de materiales. El resultado es que según la forma y diseño del husillo utilizado en la máquina se obtendrá un nuevo molde con la forma deseada, agilizando así el proceso de reciclaje industrial y aprovechando al máximo las materias primas.[7]

El funcionamiento de la máquina extrusora inicia cuando el material previamente triturado o pre-pulverizado se deposita en la tolva que alimenta continuamente el cilindro de alta temperatura o "cañón". En su interior hay un eje principal (husillo), que empuja el material a lo largo del cilindro para generar presión y aumentar la temperatura, derritiendo y formando el material.[8]



Figura 1. Máquina extrusora industrial.

Fuente: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html>

2.2.4 TIPOS DE EXTRUSORAS.

2.2.4.1 EXTRUSORA DE PISTÓN.

Estas máquinas constan de un cilindro con elementos calefactores, la materia prima cae de la tolva al cilindro, donde se plastifica. Dicho material plastificado se fuerza a pasar a través de la boquilla, empujándolo con un pistón accionado por presión hidráulica o mecánica. Debido a la discontinuidad del proceso, la longitud de las piezas producidas por la máquina de un solo pistón es limitada.[9]

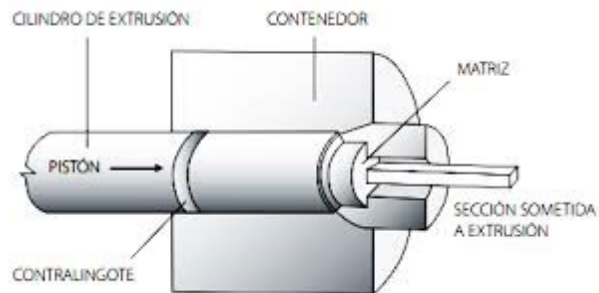


Figura 2. Extrusión por pistón.

Fuente: <https://extrusionn.wordpress.com/extrusion/>

2.2.4.2 EXTRUSORA DE TORNILLO.

El funcionamiento de este tipo de extrusoras, está compuestas por un motor con su respectivo variador de velocidad para adaptar la rotación del eyector, el cual comprende un husillo o tornillo sinfín que se encuentra en el interior del cilindro o cámara contenedora de calor. El cilindro o contenedor se calienta por medio de una camisilla exterior, donde el polímero que se introduce en el cilindro a través de

una tolva y es transportado por un tornillo sinfín para adquirir la mezcla viscosa que llegara hasta el extremo de la boquilla. Este tipo de extrusoras se divide en husillo simple (mono husillo) y husillo doble (doble husillo).[10]

2.2.4.2.1 EXTRUSORA MONO HUSILLO.

Una extrusora mono husillo también conocida como extrusora de un solo tornillo, es el tipo más popular de extrusoras porque proporciona una salida continua.[11]

Este tipo de máquina se emplean para mezclar, plastificar y triturar los materiales que se depositan en la tolva. El tornillo sinfín transporta el material por el cilindro que almacena una temperatura alta.[8]

Las extrusoras mono husillo se diferencian entre sí por sus características y formas de construcción. Este tipo de extrusora se pueden diseñar y construir en diferentes tamaños y precios.

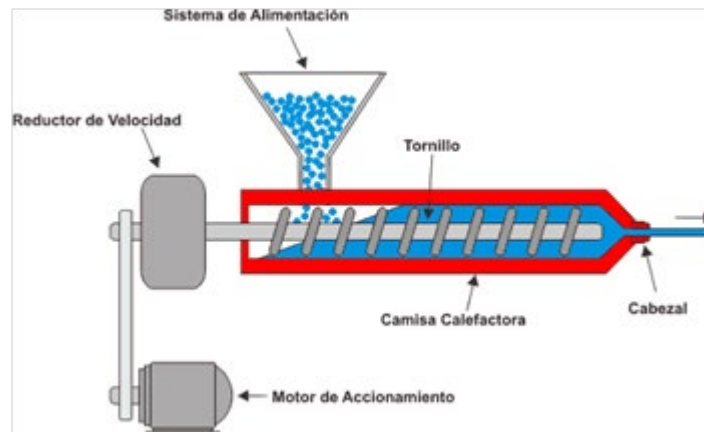


Figura 3. Extrusora mono husillo.

Fuente: <https://app.emaze.com/@aocctfgoq#6>.

2.2.4.2.2 EXTRUSORA DOBLE HUSILLO.

Las extrusoras de doble husillo como lo dice su nombre posee dos tornillos sinfín dentro de las cuales existe gran variedad dependiendo de si el giro es contrario o paralelo.

Las extrusoras de doble husillo presentan a menudo una superación en gran medida a las extrusoras mono husillo. Presentan una serie de ventajas donde una de ellas, es la capacidad de mezclado y degasificación, y controla bien el tiempo de residencia y de su distribución. También presenta una serie de desventajas como lo es el precio, ya que es bastante superior al de las de un solo tornillo, requiere más potencia, gran tamaño, entre otras.[12]

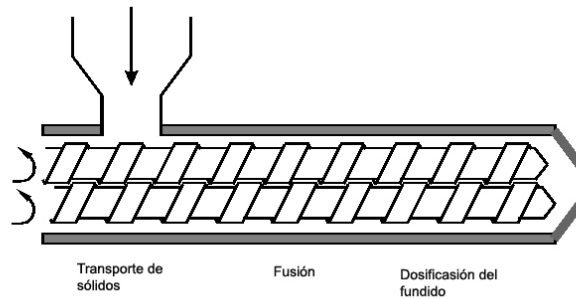


Figura 4. Extrusora doble husillo.

Fuente: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>.

2.2.5 PARTES PRINCIPALES DE LA EXTRUSORA.

2.2.5.1 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN O TOLVA.

El sistema de alimentación o tolva de la máquina extrusora, es la encargada de almacenar gradual o temporalmente la materia prima a extruir. Su diseño puede ser simple como una caja rectangular o cuadra como entrada de alimentación y una forma de pirámide invertida, pero también puede ser un diseño más difícil en forma de cilindro.[13]

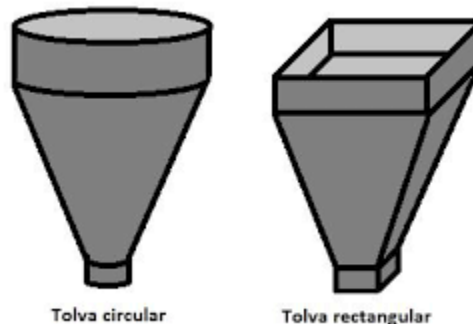


Figura 5. Tipos de tolvas.

Fuente: [14]

2.2.5.2 GARGANTA DE ALIMENTACIÓN.

La garganta de alimentación se encuentra situada generalmente debajo de la tolva, proporcionando un sistema de enfriamiento para que la temperatura en esta zona sea lo suficientemente baja como para que las partículas de plástico no se adhieran a las paredes internas de la extrusora.[15]

2.2.5.3 CILINDRO.

El cilindro es el encargado de adaptarse al tamaño del tornillo sinfín, envolviéndolo y transportando la materia prima contenida hasta que esta se vuelva viscosa. El cilindro debe contener una superficie rugosa para tener una mayor fuerza, además su revestimiento debe ser resistente a la corrupción y a las altas temperaturas. Por ende, se recomienda que al construir el cilindro se realice en aceros resistentes como puede ser uno de ellos el acero inoxidable.[15]

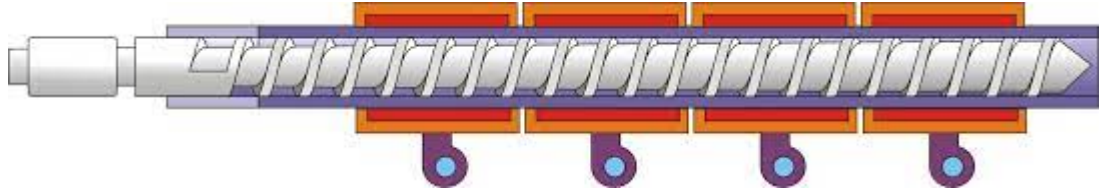


Figura 6. Cilindro o barril máquina extrusora.

Fuente: [13]

2.2.5.4 TORNILLO O HUSILLO.

El tornillo sinfín o husillo, es la parte fundamental de la maquina extrusora, ya que cumple con varias funciones como:

- Cargar el material que toma de la zona de alimentación.
- Transportar el material dentro del cilindro y comienza su etapa de compresión.
- Fundir el material en la zona de calentamiento del cilindro.
- Homogenización de la materia prima para proporcionar el molde deseado.[5]

2.2.5.5 SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

El sistema de calefacción es el encargado de la generación de altas temperaturas para producir el calor necesario de tal manera que llegue al tornillo sinfín y a su vez puede llegar la materia prima a su temperatura de fusión sin ningún inconveniente.

Se recomienda que este sistema de calefacción se realice en varias etapas, con el fin de obtener un mejor control en la temperatura del material.

2.2.5.6 CABEZAL Y BOQUILLA.

El cabezal o también denominado troquel, se encuentra situado en la parte final del cilindro, encargándose de otorgar la forma y las dimensiones deseadas del producto final, pero puede sufrir algunas deformaciones por el cambio de

temperatura. Por lo tanto, se coloca una boquilla para facilitar el flujo del material y poder moldear el plástico que proporcione una menor deformación al producto final.

Las boquillas se pueden clasificar en:

- Anulares que sirven para fabricar tubos o recubrimientos.
- Planas que sirven para fabricar planchas o láminas.
- Circulares que sirven para fabricar fibras y productos cilíndricos.[13]

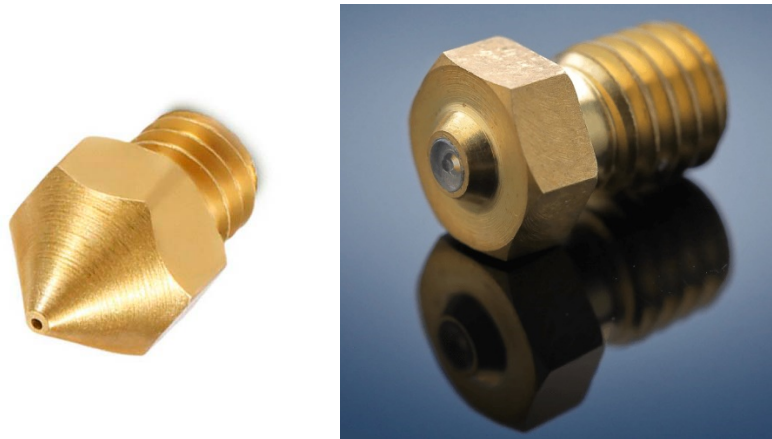


Figura 7. Tipos de boquillas para una máquina extrusora.

Fuente: <https://www.impresion3daily.es/dura-gem-la-boquilla-extrusora-que-no-se-desgasta/>

2.2.5.7 PLACA FILTRADORA.

La placa filtradora o plato rompedor, es un disco de metal con agujeros encargados de servir como un conjunto de filtros cuyo propósito principal es conseguir que los agentes contaminantes no salgan del producto extruido. Estas placas filtradoras mejoran la mezcla y la homogenización de la materia prima fundida, pero como obstruyen el paso de los agentes contaminantes es necesario estarlos sustituyendo evitando una disminución de producción.[15]

2.3 FILAMENTO.

El filamento utilizado para la impresora 3D es un plástico biodegradable o termoplástico, los cuales son extruidos por fusión en caliente en una extrusora mono husillo o doble husillo. Los filamentos de impresión 3D se fabrican mediante la extrusión, el calentamiento y el enfriado del plástico biodegradable, donde hay que tener en cuenta las aplicaciones de las diferentes fuerzas y velocidades que se necesitan para crear el filamento, ya que esto depende del diámetro esperado. Los diámetros más comunes para la impresión 3D están entre los 1,75 mm, 2,85

mm o 3mm con una apariencia a la de un hilo, donde igual que los hilos se almacenan en unas bobinas.[12]



Figura 8. Tipos de filamentos de extrusión.

Fuente: <https://www.3dfils.com/es/content/tipos-filamentos-3d.html>

2.3.1 TERMOPLÁSTICOS.

Este tipo de plástico al introducirlos en temperaturas elevadas se vuelven flexibles para moldear. Lo que sucede es que al introducirse en temperaturas elevadas o al punto de fusión sus enlaces estructurales moleculares se debilitan y pueden someterse a fuerzas externas de moldeo. Cuando plástico se enfría este vuelve a tomar la dureza y resistencia original para su reutilización.

El proceso de los termoplásticos depende de unas varias como lo son su estructura y composición, además de la temperatura y su velocidad de deformación.[16]



Figura 9. Tipos de termoplásticos.

Fuente: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/termoestables-y-termoplasticos-definicion-y-diferencias/>

2.3.2 PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.

Los plásticos biodegradables son aquellos donde las especies microbianas del medio ambiente pueden degradar una parte o incluso su totalidad del material

polímero sin producir residuos tóxicos. Existen tres tipos de plásticos biodegradables, que son:

- Plásticos basados en almidones: Papa, trigo, arroz y maíz.
- Plásticos con base láctea: Fermentación de materias primas.
- Plásticos por fermentación de azúcar: Agregación de ácidos orgánicos a una alimentación de azúcar.[17]



Figura 10. Plásticos biodegradables.

Fuente: <https://www.areaciencias.com/ecologia/plastico-biodegradable/>

2.3.3 FILAMENTO PLA.

Los filamentos de ácido poliláctico o PLA se han convertido en uno de los materiales más prometedores debido a su bajo costo, no toxicidad, excelentes propiedades mecánicas, biodegradabilidad y fácil procesamiento.[18] Este filamento se puede crear a base de recursos renovables como el almidón de maíz, raíces de tapioca o caña de azúcar. Una de las principales desventajas del PLA y otros filamentos disponibles comercialmente es la alta temperatura de procesamiento, esto significa que su viscosidad cambiará según la temperatura a la que esté sometido.[19]



Figura 11. Filamento PLA.

Fuente: <https://artillery3d.cl/tipos-de-filamentos/>

2.3.3.1 CARACTERÍSTICAS.

- Tiene buena resistencia al arrugado.
- El PLA tiene muy buenas propiedades de rizado.
- Excelente resistencia a los aceites y grasas.
- Cuenta con un alto peso molecular dependiendo de la temperatura.
- Tiene un aspecto claro y brillante como semi - cristalino.
- Temperatura de extrusión ~200°C.
- Cuenta con una densidad e inflamabilidad baja.[20]

2.3.3.2 PROPIEDADES.

- Inflamabilidad 2 minutos después de retirar la llama.
- Generación de humo $163 \text{ m}^2 \text{Kg}^{-1}$.
- Índice mínimo de oxígeno 26%.
- Punto de fusión $160 - 180 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Temperatura de vitrificación $56 - 58 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Resistencia a la humedad 0.4 – 0.6%, baja.
- Resistencia a las radiaciones UV.
- Densidad $1.08 - 1.36 \text{ g/cm}^3$. [20]

2.3.3.4 APLICACIONES.

El filamento de PLA, hoy por hoy es uno de los materiales de impresión 3D más usado por su económica inversión. Por lo tanto, también es uno de los materiales con más aplicaciones, entre ellas tenemos:

- Impresiones 3D: juguetes, apoyos, moldes, etc.
- Biomédicas: Diálisis, suturas, dispositivos, etc.
- Artículos variados: Bolsas, envases para alimentos y agua, platos desechables, etc.[20]



Figura 12. Algunas de las aplicaciones en la que se puede utilizar el filamento PLA.

Fuente: <https://www.impresoras3d.com/la-guia-definitiva-sobre-los-distintos-filamentos-para-impresoras-3d/>

2.4 MICROCONTROLADOR.

El microcontrolador es un circuito integrado también conocido como un ordenador pequeño, el cual se puede programar gracias a su procesador, siendo capaz de ejecutar instrucciones, soporte de reloj y reset, memoria y puertos de entradas y salidas.[21]

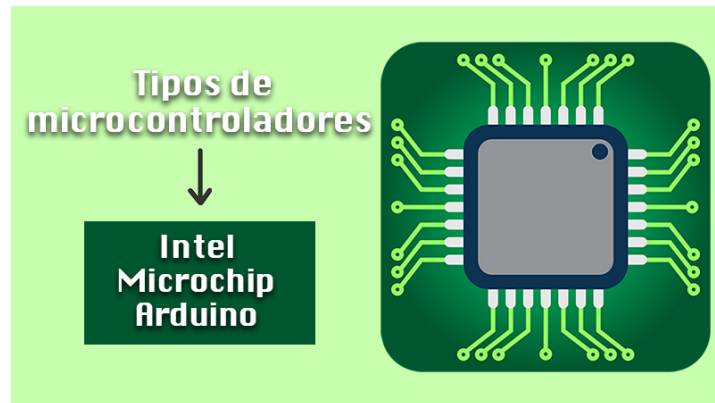


Figura 13. Tipos de microcontroladores más utilizados.
Fuente: <https://internetpasoapaso.com/microcontrolador/>

2.5 CONTROL DE TEMPERATURA.

Uno de los controles a tener en cuenta es la etapa de calentamiento, donde está es una de las etapas más críticas en el proceso de extrusión, porque el polímero debe fundirse dentro de un rango de temperatura específico para que sus propiedades no cambien. Seleccionar la temperatura adecuada para la extrusión debe reducir el consumo de energía del motor a un valor dentro del rango de trabajo, para que así se pueda obtener una viscosidad de polímero adecuada para su procesamiento.[22]

Hay dos procesos que pueden provocar calentamiento en la extrusora. Uno de ellos, es cuando el polímero se calienta primero debido a la fricción entre las partículas de materia prima o se calienta con las paredes de la extrusora durante el proceso de transporte. La segunda es porque el calor proporcionado a la cámara de calentamiento generalmente es producido por el efecto Joule para ayudar a fundir el polímero y mantenerlo a la temperatura deseada. Por último, el enfriamiento puede ser causado por la pérdida de calor del ambiente o por un ventilador para que ayude a enfriar más rápido el filamento y no vaya a deformarse.[22]

2.5.1 SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control están diseñados para que una o más variables se comporten de la forma deseada. Las variables pueden mantenerse de manera constante o variar a medida del tiempo, o en un instante determinado.[23]

2.5.1.2 SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO

Los sistemas de control a lazo cerrado ocurren cuando la salida resulta afectada por la acción de control, esto quiere decir que, se mide la salida y se retroalimenta para compararla con la entrada. Además, el uso de la retroalimentación ocasiona que el sistema se vuelva más sensible a las perturbaciones externas al sistema, también, pueden ocurrir variaciones en los parámetros que se establecen en el sistema.[23]

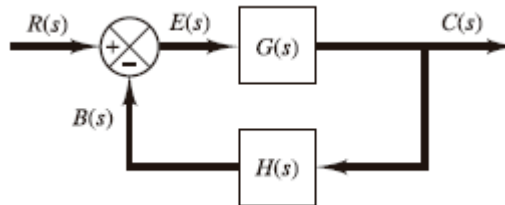


Figura 14. Sistema de lazo cerrado.[23]

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} R(s)$$

Figura 15. Función de transferencia de un sistema de control de lazo cerrado.[23]

2.5.2 ACCIONES DE CONTROL

Las acciones de control son algoritmos, modos o características por el cual un sistema o controlador ejecuta una comparación entre el valor de la salida y el valor establecido o deseado.[24]

2.5.2.1 CONTROL PID

El control PID, es un controlador robusto y de mucha utilidad en la industria. Además, controla un sistema en lazo cerrado para obtener la salida deseada. El controlador PID está conformado por tres acciones: Acción Proporcional, Acción Integral y Acción Derivativa. [25]

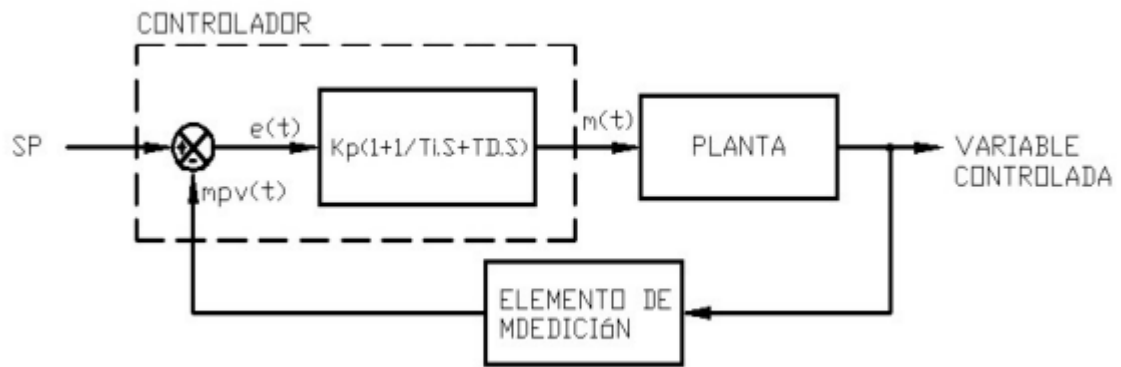


Figura 16. Diagrama en bloques del sistema de control PID.

Fuente: https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2016/04/5_Acciones-de-control_2016.pdf

2.6 RESISTENCIA ELÉCTRICA CALEFACTORA.

Son resistencias capaces de transformar la energía eléctrica en calor. Por lo general se fabrican con aleaciones metálicas resistivas cubiertas de materiales aislantes para soportar las altas temperaturas que se producen. Una de las ventajas de este tipo de resistencias calóricas es la ausencia de gases y fuego (llamas), la facilidad de limpieza y control de funcionamiento.[26]

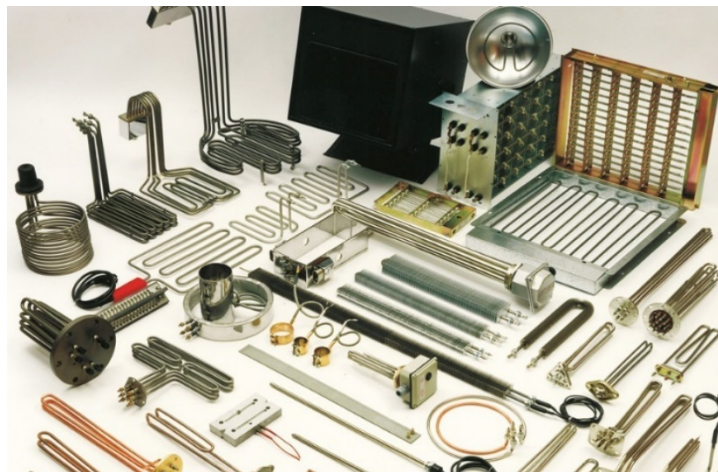


Figura 17. Tipos de resistencias eléctricas calefactoras.

Fuente: <http://atiasesores.com/empresas/electricfor-resistencias-electricas-calefactoras/>

2.7 SENSORES.

Un sensor es un dispositivo electrónico capaz de convertir un tipo de señal física en otro tipo de señal física o digital. Esto sucede porque los sensores generan

voltajes relacionados con las magnitudes físicas a medir aprovechando de esta manera generar una señal de voltaje proporcional a la magnitud física medida.[27]



Figura 18. Tipos de sensores que existen.

Fuente: <https://sites.google.com/a/utecnologica.edu.bo/iot-wearablesensaludutb/sobre/marco-teorico/sensores>

2.8 MOTORES ELÉCTRICOS.

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica debido a que si pasa corriente eléctrica por un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético este tiende a desplazarse. Esto quiere decir que el conductor actuaría como un electroimán debido a la corriente eléctrica y a las propiedades magnéticas, haciendo que los polos ubicados en el estator ejerzan el movimiento circular que se observan en los rotores de los motores.[28]

Los motores son unas de las máquinas eléctricas más utilizadas en la industria por su control de paro, velocidad y posición, por lo tanto, lo han convertido en una de las mejores opciones para aplicaciones de automatización y control de proceso en las industrias.[28]



Figura 19. Tipos de motores AC y DC que existen.

Fuente: <https://coriolisblog.wordpress.com/2008/12/01/motores-industriales-parte-i/>

Metodología.

3. METODOLOGÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2 SELECCIÓN DE DISEÑO.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.1 DIÁMETRO DE FILAMENTO EXTRUIDO.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2 VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.3 SISTEMA DE SUPERFICIE.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.4 MATERIALES RESISTENTES.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.5 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.7 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSORA.	¡Error! Marcador no definido.
3.2.8 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES ENTRADAS Y SALIDAS.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.2.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA CALÓRICO.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.3.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA CALÓRICO.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SENSOR DE TEMPERATURA. ..	¡Error! Marcador no definido.
3.3.4.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.5 SELECCIÓN DE ENFRIAMIENTO.....	¡Error! Marcador no definido.
3.3.6 DIAGRAMA DE ELEMENTOS FUNCIONALES.	¡Error! Marcador no definido.
3.3.7 DIAGRAMA QUE CONFORMAN LA EXTRUSORA.	¡Error! Marcador no definido.

3.4 PARÁMETROS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN.	jError! Marcador no definido.
3.4.1 DIMENSIONES DEL BARRIL	jError! Marcador no definido.
3.4.2 CÁLCULO DEL HUSILLO.	jError! Marcador no definido.
3.4.3 CÁLCULOS DE LA TOLVA	jError! Marcador no definido.
3.4.4 CÁLCULOS DE FUERZAS QUE REALIZARA EL HUSILLO.	jError! Marcador no definido.
3.4.5 BOQUILLA	jError! Marcador no definido.
3.4.6 TERMOCUPLAS	jError! Marcador no definido.
3.4.7 MODULO MAX6675	jError! Marcador no definido.
3.4.8 MICROCONTROLADOR ARDUINO	jError! Marcador no definido.
3.4.9 SSR – RELÉ DE ESTADO SOLIDO	jError! Marcador no definido.
3.5 RESUMEN DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.	jError! Marcador no definido.
3.5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE MAQUINA EXTRUSORA	jError! Marcador no definido.
3.5.2 ADQUISICIÓN	jError! Marcador no definido.
3.5.3 SINTONIZACIÓN	jError! Marcador no definido.
3.5.4 CONTROLADOR	jError! Marcador no definido.
3.5.5 IMPLEMENTACIÓN	jError! Marcador no definido.
3.5.6 COMUNICACIÓN ARDUINO Y LABVIEW	jError! Marcador no definido.

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto en este capítulo se describe paso a paso la metodología utilizada.

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

En primer lugar, se realiza la recopilación de toda la información sobre proyectos de investigación, artículos, libros, etc.

Para desarrollar la recolección de la información, se buscó proyectos de investigación nacionales e internacionales, artículos, libros e información de páginas web. Con el fin, de servir de apoyo en la realización de este proyecto.

3.2 SELECCIÓN DE DISEÑO.

3.2.1 DIÁMETRO DE FILAMENTO EXTRUIDO.

Teniendo en cuenta la información de recolectada, el diámetro del filamento de PLA debe ser de 1.75 mm, según las especificaciones y características del filamento.

3.2.2 VELOCIDAD DE EXTRUSIÓN.

La velocidad de extrusión debe ser idónea para que el proceso no se haga tan largo o se haga muy rápido provocando un cambio en las propiedades del PLA. Por ende, se debe tener un valor aproximado de los RPM dependiendo del motor.

3.2.3 SISTEMA DE SUPERFICIE.

El sistema de superficie es donde se colocará la extrusora, esa superficie debe acaparar el espacio suficiente de la máquina extrusora pero no mucho espacio de lugar (volumen).

3.2.4 MATERIALES RESISTENTES.

El material de construcción de la máquina extrusora debe ser resistente a las altas temperaturas debido a la fundición de la materia prima. Los materiales deben soportar por lo menos 250°C.

3.2.5 PARÁMETROS DE SELECCIÓN.

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta a la hora de elegir la alternativa más adecuada para la implementación de la extrusoras de plástico PLA son:

- Bajo costo de implementación.
- Filamento de 1.75 mm de diámetro de material PLA.
- Buena vida útil de los elementos a implementar.
- Facilidad de uso y mantenimiento.

3.2.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

De acuerdo a las diferentes alternativas de diseño y para determinar en lo posible el diseño a implementar que cumpla con los requerimientos y parámetros establecidos, que garanticen el buen funcionamiento del prototipo a implementar de la máquina extrusora, se estableció un análisis DOFA, con el fin de observar más a detalle, la mejor alternativa a diseñar.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las alternativas de extrusoras. [Autor].

Selección de alternativas	Ventajas	Desventajas
Extrusora mono husillo	Bajo costo de implementación. Extrusión de materiales de impresión 3D. Costo de mantenimiento bajo. Facilidad de acceso a los componentes de la máquina. Buena capacidad de extrusión. Facilidad en el proceso de operación.	Ocupación de espacio dependiendo de su tamaño. Puede presentar baja transparencia en el producto final.
Extrusora doble husillo	Mayor capacidad de extrusión. Mejor control de los procesos.	Costos de mantenimientos muy elevados. Costos de

	Mejor facilidad en los procesos de operación. Mayor producción de material extruido.	implementación altos. Mayor cantidad de material para extruir. Tiene un mayor consumo de potencia por los dos husillos.
--	--	--

Tabla 2. Ventajas y desventajas de las alternativas de extrusión. [Autor].

Selección de alternativas	Ventajas	Desventajas
Extrusión directa	Contiene una mayor capacidad de presión. Tiene una bastante variedad de formas en la sección transversal y huecas.	Tiene una mayor fricción al momento de salir el material extruido. Requiere una mayor cantidad de potencia para la realización del proceso.
Extrusión indirecta	Se pueden realizar secciones huecas. Tiene una baja formación de grietas.	Tiene una baja presión al momento del producto final. Mayor deformación del producto al momento de salir de la extrusión.
Extrusión en frío	Mayor resistencia al momento del endurecimiento por la deformación. Mejores acabados superficiales. Altas velocidades producción.	Mayor cantidad de desperdicio de material. Limitación de materiales, tamaños y formas.
Extrusión en caliente	Baja resistencia para una mejor ductilidad del material. Secciones longitudinales	Formación de capas de oxido. Deformaciones del producto al momento de

	más bajas. Mayores velocidades del pistón.	salir de la extrusión. Baja capacidad de presión y rigidez del pistón.
--	---	---

3.2.7 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSORA.

El análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente, se llevará a cabo mediante el método de criterios ponderados, considerando las ventajas y desventajas de cada alternativa. De esta manera, se considera un valor correspondiente a cada una de la siguiente manera:

1 - Si la alternativa de las filas es mayor que el de las columnas.

0.5 - Si la alternativa de las filas es igual al de las columnas.

0 - Si la alternativa de las filas es menor que le de las columnas.

- **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Extrusora mono husillo.

ALTERNATIVA 2: Extrusora doble husillo.

- **PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:**

- Bajo costo de implementación.
- Filamento de 1.75 mm de diámetro de material PLA.
- Buena vida útil de los elementos a implementar.
- Facilidad de uso y mantenimiento.

Tabla 3. Ponderación de evaluación para los parámetros establecidos. [Autor].

Parámetros	Bajo costo de imp	Filamento de 1.75 mm	Buena vida útil	Facilidad de u/m	$\Sigma + 1$	Ponderación
Bajo costo de imp.	---	0	1	1	3	0.3

Filamento de 1.75 mm	1	---	1	1	4	0.4
Buena vida útil	0	0	---	1	2	0.2
Facilidad de u/m	0	0	0	---	1	0.1
Total					10	1

Teniendo en cuenta la ponderación de evaluación para los parámetros establecidos, se evalúa en las siguientes tablas cada uno de los parámetros con el tipo de extrusora, para la obtención del diseño a implementar.

Tabla 4. Ponderación de evaluación "Bajo costo de implementación". [Autor].

Bajo costo de implementación	Extrusora mono husillo	Extrusora doble husillo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Extrusora mono husillo	---	1	2	0.667
Extrusora doble husillo	0	---	1	0.333
Total			3	1

Tabla 5. Ponderación de evaluación "Filamento de 1.75mm de diámetro de material PLA". [Autor].

Filamento de 1.75 mm de diámetro de material PLA	Extrusora mono husillo	Extrusora doble husillo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Extrusora mono husillo	---	0.5	1.5	0.5
Extrusora doble husillo	0.5	---	1.5	0.5
Total			3	1

Tabla 6. Ponderación de evaluación "Buena vida útil de los elementos a implementar". [Autor].

Buena vida útil de los elementos a implementar	Extrusora mono husillo	Extrusora doble husillo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Extrusora mono husillo	---	0.5	1.5	0.5
Extrusora doble husillo	0.5	---	1.5	0.5
Total			3	1

Tabla 7. Ponderación de evaluación "Facilidad de uso y mantenimiento". [Autor].

Facilidad de uso y mantenimiento	Extrusora mono husillo	Extrusora doble husillo	$\Sigma + 1$	Ponderación
Extrusora mono husillo	---	1	2	0.667
Extrusora doble husillo	0	---	1	0.333
Total			3	1

De acuerdo con las tablas de ponderación de evaluación, se analizó que la mejor alternativa para la realización de su implementación es la **Extrusora mono husillo**.

3.2.8 EVALUACIÓN DE LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL TIPO DE EXTRUSIÓN.

El análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente, se llevará a cabo mediante el método de criterios ponderados, considerando las ventajas y desventajas de cada alternativa. De esta manera, se considera un valor correspondiente a cada una de la siguiente manera:

- 1 - Si la alternativa de las filas es mayor que el de las columnas.
- 0.5 - Si la alternativa de las filas es igual al de las columnas.
- 0 - Si la alternativa de las filas es menor que le de las columnas.

- **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Extrusión directa.

ALTERNATIVA 2: Extrusión indirecta.

ALTERNATIVA 3: Extrusión en frío.

ALTERNATIVA 4: Extrusión en caliente.

- **PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:**

- Longitud y forma a extruir.
- Presión.
- Fricción.
- Temperatura de extrusión.

Tabla 8. Ponderación de evaluación de los parámetros de extrusión. [Autor].

Parámetros	Longitud y forma a extruir	Presión	Fricción	Temperatura de extrusión	$\Sigma + 1$	Ponderación
Longitud y forma a extruir	---	1	1	1	4	0.4
Presión	0	---	1	0.5	2.5	0.25
Fricción	0	0	---	0.5	1.5	0.15
Temperatura de extrusión	0	0.5	0.5	---	2	0.2
Total					10	1

Teniendo en cuenta la ponderación de evaluación para los parámetros establecidos, se evalúa en las siguientes tablas cada uno de los parámetros con el tipo de extrusora, para la obtención del diseño a implementar.

Tabla 9. Ponderación de evaluación "Longitud y forma a extruir". [Autor].

Longitud y forma a extruir	Extrusión directa	Extrusión indirecta	Extrusión en frío	Extrusión en caliente	$\sum + 1$	Ponderación
Extrusión directa	---	1	1	1	4	0.445
Extrusión indirecta	0	---	1	1	3	0.333
Extrusión en frío	0	0	---	0	1	0.111
Extrusión en caliente	0	0	0	---	1	0.111
Total					9	1

Tabla 10. Ponderación de evaluación "Presión ejercida por la extrusora". [Autor].

Presión	Extrusión directa	Extrusión indirecta	Extrusión en frío	Extrusión en caliente	$\sum + 1$	Ponderación
Extrusión directa	---	1	1	1	4	0.445
Extrusión indirecta	0	---	1	1	3	0.333
Extrusión en frío	0	0	---	0	1	0.111
Extrusión en caliente	0	0	0	---	1	0.111
Total					9	1

Tabla 11. Ponderación de evaluación "Fricción realizada por los tornillos sinfín". [Autor].

Fricción	Extrusión directa	Extrusión indirecta	Extrusión en frío	Extrusión en caliente	$\sum + 1$	Ponderación
Extrusión directa	---	0	0.5	0.5	2	0.2
Extrusión indirecta	1	---	0.5	0.5	3	0.3
Extrusión	0.5	0.5	---	0.5	2.5	0.25

en frio						
Extrusión en caliente	0.5	0.5	0.5	---	2.5	0.25
Total					10	1

Tabla 12. Ponderación de evaluación "Temperatura necesaria para la extrusión". [Autor].

Temperatura de extrusión	Extrusión directa	Extrusión indirecta	Extrusión en frio	Extrusión en caliente	$\Sigma + 1$	Ponderación
Extrusión directa	---	0.5	1	0.5	3	0.3
Extrusión indirecta	0.5	---	1	0.5	3	0.3
Extrusión en frio	0	0	---	0.5	1.5	0.15
Extrusión en caliente	0.5	0.5	0.5	---	2.5	0.25
Total					10	1

De acuerdo con las tablas de ponderación de evaluación, se analizó que la mejor alternativa de extrusión para la realización de su implementación de la extrusora mono husillo es la **Extrusión directa**.

3.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES.

En esta parte, se identifican las funciones de manera general con el fin de tener un mejor enfoque sobre los componentes a utilizar. Teniendo en cuenta el aprovechamiento de los componentes empleados a lo largo de la carrera universitaria.

3.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONAL.

En esta etapa se analiza el funcionamiento de la maquina extrusora, con el fin de tener una mayor claridad sobre los componentes que se utilizaran en la implementación. Para ello, se deben identificar las entradas y salidas que tendrá la extrusora, ofreciendo un mayor conocimiento para realizar un análisis más detallado sobre su funcionamiento interno.

3.3.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES ENTRADAS Y SALIDAS.

En esta etapa se tiene en cuenta, la entrada y salida principal, de acuerdo al funcionamiento de la máquina extrusora. De esta manera se parte para la realización de su descomposición funcional interna.



Figura 20. Diagrama de bloques "Funcionamiento de la máquina extrusora". Fuente: Autor.

En la figura, se observa que su entrada principal es el material PLA, al cual se le realizara su extrusión para poder reutilizar, obteniendo a su salida un nuevo filamento PLA. Por lo tanto, partimos de este diagrama para brindarnos una idea general de su funcionamiento interno.

3.3.1.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL.

Este diagrama nos permite tener una visualización del funcionamiento interno por etapas, con el fin de brindarnos un mejor conocimiento general, para garantizar el cumplimiento de los procesos de la máquina extrusora.

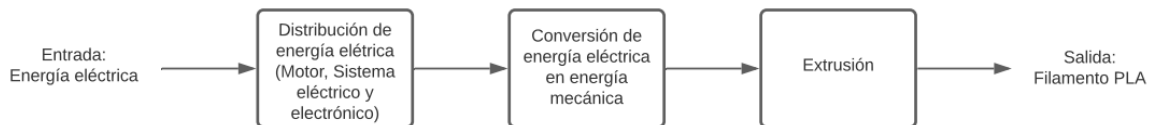


Figura 21. Diagrama de bloques - Descomposición funcional de sistema eléctrico. Fuente: Autor.

En la figura, se visualiza la descomposición funcional del sistema eléctrico, que permite la distribución energética para el funcionamiento de la máquina extrusora, teniendo en cuenta la conversión de energía eléctrica a mecánica por parte del motor seleccionado y el tornillo sinfín. Así mismo, su distribución eléctrica a los componentes electrónicos para que puedan funcionar y llevar a cabo el proceso de extrusión, permitiendo a su salida un nuevo filamento PLA totalmente reciclado.



Figura 22. Diagrama de bloques - Descomposición funcional del material PLA. Fuente: Autor.

En la figura, se visualiza la descomposición funcional del material residual PLA. Este material residual se introducirá a la máquina extrusora por medio de su sistema de alimentación “Tolva”, y será recepcionado por el contenedor o cámara y también por el tornillo sinfín, donde este realizará el proceso de llevado y fundición para su extrusión, obteniendo a su salida un nuevo filamento PLA.

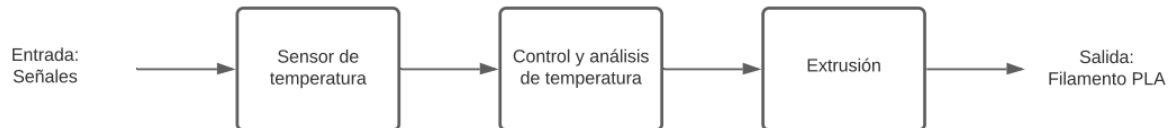


Figura 23. Diagrama de bloques - Descomposición funcional de señales a sensor. Fuente: Autor.

En la figura, se visualiza la descomposición funcional de la señal a sensor. La señal a sensor es la temperatura, donde esto se llevará a cabo, por el sensor de temperatura escogido permitiéndonos tener un control y análisis de la temperatura idónea para poder realizar la fundición y extrusión del material residual PLA, para que finalmente nos entregue a su salida el filamento PLA reciclado.

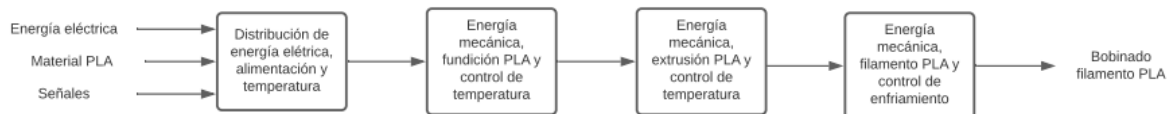


Figura 24. Diagrama de bloques - Combinación de las diferentes etapas del funcionamiento interno. Fuente: Autor.

En la figura, se observa cómo se combinan las diferentes etapas para tener una idea general del funcionamiento interno total cuando ya se introduzca el material a extruir. En primer lugar, tenemos que las entradas principales son la energía eléctrica, el material a reutilizar PLA y la señal a sensor. De esta manera se realiza la distribución de la energía eléctrica para el funcionamiento del motor, tornillo sinfín y sensores para medir su temperatura. Una vez se alimente la extrusora, se tenga el control de temperatura idóneo y se ejecute el proceso de conversión de energía eléctrica a mecánica se pueda llevar a cabo la fundición del material PLA para su extrusión. Por último, se debe tener en cuenta un control de enfriamiento para cuando empieza el filamento de PLA a salir no se vaya a deformar, por el contrario, tenga un proceso de endurecimiento más rápido para posteriormente embobinarlo.

3.3.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.

Esta etapa es la encargada de la generación del movimiento del tornillo sinfín para la ejecución del proceso de extrusión. Las alternativas de transmisión planteadas son las siguientes:

- Motor + reductor.
- Motorreductor.
- Servomotor.

- Motor + cadena.
- Motor + banda.

Tabla 13. Ventajas y desventajas de las alternativas de transmisión. [Autor].

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Motor + reductor	Se puede elegir cualquier reductor dependiendo del tipo de uso. Alta velocidad.	Costos elevados al buscar el mejor acople. Si el reductor no se acopla bien con el motor puede generar deficiencias.
Motorreductor	Tiene una buena eficiencia de velocidad como de potencia transmitida. Reducción de los costos en el mantenimiento. Ocupación de espacio mínima.	Tiene un alto costo. Hace bastante ruido.
Servomotor	Altos torques. Es más económico que el motorreductor. Menos calentamiento.	Alto costo de adquisición. Dificultad en la calibración. Baja potencia.
Motor + cadena	Puede mover cargas a larga y corta distancia. Alta eficiencia. Alta ampliación de acoples dependiendo de la necesidad.	Frecuente mantenimiento y lubricación. Generación de mucho ruido por las cadenas. Muchas vibraciones.
Motor + banda	Absorben choques debido a la elasticidad de la correa. Es más silencioso que la transmisión por cadena.	Mantenimientos continuos por el desgaste de las bandas. Se pueden generar deslizamientos y afectar el sistema.

	Sencillo y bajo costo de implementación.	Realizan bastante esfuerzo para precisar el funcionamiento. Ocupación de mucho espacio.
--	--	--

3.3.2.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRANSMISIÓN.

El análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente, se llevará a cabo mediante el método de criterios ponderados, considerando las ventajas y desventajas de cada alternativa. De esta manera, se considera un valor correspondiente a cada una de la siguiente manera:

1 - Si la alternativa de las filas es mayor que el de las columnas.

0.5 - Si la alternativa de las filas es igual al de las columnas.

0 - Si la alternativa de las filas es menor que le de las columnas.

- **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Motor + reductor.

ALTERNATIVA 2: Motorreductor.

ALTERNATIVA 3: Servomotor.

ALTERNATIVA 4: Motor + cadena.

ALTERNATIVA 5: Motor + banda.

- **PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:**

- Costo.
- Mantenimiento.
- Velocidad.
- Espacio.

Tabla 14. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de transmisión. [Autor].

Parámetros	Costo	Mantenimiento	Velocidad	Espacio	$\sum_{+1}$	Ponderación
Costo	---	0.5	0	0	1.5	0.15
Mantenimiento	0	---	1	0.5	2.5	0.25
Velocidad	1	1	---	1	4	0.4
Espacio	0	0.5	0.5	---	2	0.2
Total					10	1

La ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de transmisión nos dice el valor de las demás tablas y como se evaluarán para la selección.

Velocidad de funcionamiento > mantenimiento > espacio de ocupación > costo de adquisición.

Teniendo en cuenta la ponderación de evaluación para los parámetros establecidos, se evalúa en las siguientes tablas cada uno de los parámetros con las alternativas de transmisión, para la obtención del primer componente a implementar.

Tabla 15. Ponderación de evaluación "Costo de implementación". [Autor].

Costo	Motor + reductor	Motorreductor	Servomotor	Motor + cadena	Motor + banda	$\sum_{+1}$	Ponderación
Motor + reductor	---	0	1	1	1	4	0.266
Motorreductor	1	---	1	1	1	5	0.334
Servomotor	0	0	---	1	1	3	0.2
Motor + cadena	0	0	0	---	1	2	0.133

Motor + banda	0	0	0	0	---	1	0.067
Total						15	1

Motorreductor > motor + reductor > servomotor > motor + cadena > motor + banda.

Tabla 16. Ponderación de evaluación "Mantenimiento". [Autor].

Mantenimiento	Motor + reductor	Motorreductor	Servomotor	Motor + cadena	Motor + banda	$\sum + 1$	Ponderación
Motor + reductor	---	0	0.5	0	0	1.5	0.12
Motorreductor	1	---	0.5	1	1	4.5	0.36
Servomotor	1	0	---	0	0	2	0.16
Motor + cadena	1	0	0	---	0	2	0.16
Motor + banda	1	0	0	0.5	---	2.5	0.2
Total						12.5	1

Motorreductor > motor + banda > servomotor = motor + cadena > motor + reductor.

Tabla 17. Ponderación de evaluación "Velocidad de funcionamiento". [Autor].

Velocidad	Motor + reductor	Motorreductor	Servomotor	Motor + cadena	Motor + banda	$\sum + 1$	Ponderación
Motor + reductor	---	0	0	0	0	1	0.072
Motorreductor	1	---	0.5	1	1	4.5	0.322
Servomotor	0	0.5	---	1	1	3.5	0.25
Motor + cadena	1	0	0	---	0.5	2.5	0.178
Motor + banda	1	0	0	0.5	---	2.5	0.178

Total		14	1
--------------	--	----	---

Motorreductor > servomotor > motor + banda = motor + cadena > motor + reductor.

Tabla 18. Ponderación de evaluación "Ocupación de espacio". [Autor].

Espacio	Motor + reductor	Motorreductor	Servomotor	Motor + cadena	Motor + banda	$\sum + 1$	Ponderación
Motor + reductor	---	0	0	1	1	3	0.2
Motorreductor	1	---	1	1	1	5	0.333
Servomotor	1	0	---	1	1	4	0.267
Motor + cadena	0	0	0	---	0.5	1.5	0.1
Motor + banda	0	0	0	0.5	---	1.5	0.1
Total						15	1

Motorreductor > servomotor > motor + reductor > motor + banda = motor + cadena.

De acuerdo con las tablas de ponderación de evaluación de las alternativas de transmisión, se analizó que la mejor alternativa de transmisión para su implementación en la extrusora mono husillo es la **transmisión por motorreductor**.

3.3.3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SISTEMA CALÓRICO.

Esta etapa es la encargada de generar el calor por medio de la transformación de energía eléctrica en calor, esto es necesario para la ejecución del proceso de extrusión. Las alternativas del sistema calórico planteadas son las siguientes:

- Cintas calefactoras.
- Resistencia tipo abrazadera.
- Resistencia tipo cartucho.
- Resistencia tubulares.

Tabla 19. Ventajas y desventajas de las alternativas del sistema calórico. [Autor].

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Cintas calefactoras	Amplio rango de temperaturas. Sencilla instalación. Alta durabilidad.	Alto costo. La temperatura se mantiene a lo largo de la superficie.
Resistencia tipo abrazadera	Óptima propagación del calor en el cilindro. Excelente durabilidad. Sencillez en la instalación. Alta resistencia mecánica.	Si no tiene contacto con la superficie a calentar, no proporciona calor.
Resistencia tipo cartucho	alta densidad. Alta vida útil si se instala bien. Menos calentamiento.	Instalación compleja por su calibración. Afectaciones por la humedad e impurezas. Disipación de potencia.
Resistencia tubulares	Ajuste del diámetro. Facilidad de compra porque es muy comercial. Alta flexibilidad.	Se utilizan más para aplicaciones de inmersión y no de recubrimiento.

3.3.3.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA CALÓRICO.

El análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente, se llevará a cabo mediante el método de criterios ponderados, considerando las ventajas y desventajas de cada alternativa. De esta manera, se considera un valor correspondiente a cada una de la siguiente manera:

1 - Si la alternativa de las filas es mayor que el de las columnas.

0.5 - Si la alternativa de las filas es igual al de las columnas.

0 - Si la alternativa de las filas es menor que le de las columnas.

- **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Cintas calefactoras.

ALTERNATIVA 2: Resistencia tipo abrazadera.

ALTERNATIVA 3: Resistencia tipo cartucho.

ALTERNATIVA 4: Resistencia tubulares.

• **PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:**

- Facilidad de montaje.
- Bajo costo.
- Diámetro ajustable.
- Altas temperaturas.

Tabla 20. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas del sistema calórico. [Autor].

Parámetros	Facilidad de montaje	Bajo costo	Diámetro ajustable	Altas temperaturas	$\Sigma + 1$	Ponderación
Facilidad de montaje	---	1	1	0	3	0.28
Bajo costo	0	---	0	0.5	1.5	0.13
Diámetro ajustable	1	1	---	1	4	0.37
Altas temperaturas	0.5	1	0	---	2.5	0.22
Total					11	1

La ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas del sistema calórico nos dice el valor de las demás tablas y como se evaluarán para la selección.

Diámetro ajustable > Facilidad de montaje > Altas temperaturas > Bajo costo.

Teniendo en cuenta la ponderación de evaluación para los parámetros establecidos, se evalúa en las siguientes tablas cada uno de los parámetros con las alternativas del sistema calórico, para la obtención del componente a implementar.

Tabla 21. Ponderación de evaluación "Facilidad de montaje". [Autor].

Facilidad de montaje	Cinta calefactora	Resistencia tipo abrazadera	Resistencia tipo cartucho	Resistencia tubulares	$\sum + 1$	Ponderación
Cinta calefactora	---	0.5	1	1	3.5	0.333
Resistencia tipo abrazadera	1	---	1	1	4	0.381
Resistencia tipo cartucho	0	0	---	0.5	1.5	0.143
Resistencia tubular	0	0	0.5	---	1.5	0.143
Total					10.5	1

Resistencia tipo abrazadera > Cinta calefactora > Resistencia tipo cartucho = Resistencia tubular.

Tabla 22. Ponderación de evaluación "Bajo costo". [Autor].

Bajo costo	Cinta calefactora	Resistencia tipo abrazadera	Resistencia tipo cartucho	Resistencia tubulares	$\sum + 1$	Ponderación
Cinta calefactora	---	0	0	0	1	0.1
Resistencia tipo abrazadera	1	---	1	1	4	0.4
Resistencia tipo cartucho	1	0	---	0.5	2.5	0.25
Resistencia tubular	1	0	0.5	---	2.5	0.25

Total	10	1
--------------	----	---

Resistencia tipo abrazadera > Resistencia tipo cartucho = Resistencia tubular > Cinta calefactora.

Tabla 23. Ponderación de evaluación "Diámetro ajustable". [Autor].

Diámetro ajustable	Cinta calefactora	Resistencia tipo abrazadera	Resistencia tipo cartucho	Resistencia tubulares	$\sum + 1$	Ponderación
Cinta calefactora	---	1	1	0.5	3.5	0.333
Resistencia tipo abrazadera	1	---	1	1	4	0.381
Resistencia tipo cartucho	0	0	---	0	1	0.096
Resistencia tubular	0	0	1	---	2	0.190
Total					10.5	1

Resistencia tipo abrazadera > Cinta calefactora > Resistencia tubular > Resistencia tipo cartucho.

Tabla 24. Ponderación de evaluación "Altas temperaturas". [Autor].

Altas temperaturas	Cinta calefactora	Resistencia tipo abrazadera	Resistencia tipo cartucho	Resistencia tubulares	$\sum + 1$	Ponderación
Cinta calefactora	---	1	1	1	4	0.364
Resistencia tipo abrazadera	1	---	1	1	4	0.364
Resistencia tipo cartucho	0	0	---	0.5	1.5	0.136
Resistencia tubular	0	0	0.5	---	1.5	0.136

Total	11	1
--------------	-----------	----------

Resistencia tipo abrazadera = Cinta calefactora > Resistencia tipo cartucho = Resistencia tubular.

De acuerdo con las tablas de ponderación de evaluación de las alternativas del sistema calórico, se analizó que la mejor alternativa para el sistema calórico en la implementación de la extrusora mono husillo es el **sistema calórico por resistencia tipo abrazadera**.

3.3.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SENSOR DE TEMPERATURA.

Esta etapa es la encargada de sensar la temperatura entregada por el sistema de calórico, esto es necesario para la ejecución del proceso de extrusión, pero también es muy importante para controlar la temperatura de la extrusora y esta no vaya a afectar la extrusión, de igual manera le permite al operario o persona evidenciar su estado. Las alternativas planteadas para el sensor de temperatura son las siguientes:

- Termocupla tipo K.
- Termistor.
- RTD.
- LM 35.

Tabla 25. Ventajas y desventajas de las alternativas de sensores de temperatura. [Autor].

Alternativas	Ventajas	Desventajas
Termocupla	construcción adaptada a una aplicación específica. Respuesta más rápida. Instalación sencilla. Costo de adquisición bajo. Soporta altas temperaturas. Buen acoplamiento con las resistencias tipo abrazadera.	No es lineal. No consume mucha tensión. Menos estable a no ser que tenga un adaptador.
Termistor	Medición de ohmios de dos cables. Económicamente barato.	Se necesita una fuente externa de corriente para su funcionamiento.

	Detección de temperatura en solo un punto.	Se calienta. No es lineal. Tiene un rango limitado de temperatura. Es frágil y se puede romper.
RTD	Resistente a la contaminación. Más lineal que la termocupla. Detección de temperatura del área.	Se necesita una fuente externa para su funcionamiento. Se calienta. Tiempo de respuesta lento.
LM 35	Facilidad de uso. Salida lineal. Barato.	Se aconseja realizar un filtro. Se recomienda hacer filtro digital. Es necesario amplificar la señal.

3.3.4.1 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA.

El análisis de cada una de las alternativas expuestas anteriormente, se llevará a cabo mediante el método de criterios ponderados, considerando las ventajas y desventajas de cada alternativa. De esta manera, se considera un valor correspondiente a cada una de la siguiente manera:

1 - Si la alternativa de las filas es mayor que el de las columnas.

0.5 - Si la alternativa de las filas es igual al de las columnas.

0 - Si la alternativa de las filas es menor que le de las columnas.

- **ALTERNATIVAS:**

ALTERNATIVA 1: Termocupla.

ALTERNATIVA 2: Termistor.

ALTERNATIVA 3: RTD.

ALTERNATIVA 4: LM 35.

- **PONDERACIÓN DE LOS PARÁMETROS:**

- Facilidad de montaje.
- Bajo costo.
- Velocidad de medición.
- Rango de temperatura.

Tabla 26. Ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de los sensores de temperatura. [Autor].

Parámetros	Facilidad de montaje	Bajo costo	Velocidad de medición	Rango de temperaturas	$\sum + 1$	Ponderación
Facilidad de montaje	---	0	0	0	1	0.083
Bajo costo	1	---	1	1	4	0.333
Velocidad de medición	1	1	---	0.5	3.5	0.292
Rango de temperaturas	1	1	0.5	---	3.5	0.292
Total					12	1

La ponderación de evaluación de los parámetros de las alternativas de los sensores de temperatura nos dice el valor de las demás tablas y como se evaluarán para la selección.

Bajo costo > Velocidad de medición = Rango de temperaturas > Facilidad de montaje.

Teniendo en cuenta la ponderación de evaluación para los parámetros establecidos, se evalúa en las siguientes tablas cada uno de los parámetros con las alternativas de los sensores de temperatura, para la obtención del componente a implementar.

Tabla 27. Ponderación de evaluación "Facilidad de montaje". [Autor].

Facilidad de montaje	Termocupla	Termistor	RTD	LM 35	$\Sigma + 1$	Ponderación
Termocupla	---	1	1	1	4	0.4
Termistor	0	---	1	1	3	0.3
RTD	0	0	---	1	2	0.2
LM 35	0	0	0	---	1	0.1
Total					10	1

Termocupla > Termistor > RTD > LM 35.

Tabla 28. Ponderación de evaluación "Bajo costo". [Autor].

Bajo costo	Termocupla	Termistor	RTD	LM 35	$\Sigma + 1$	Ponderación
Termocupla	---	1	1	0	3	0.3
Termistor	0	---	1	1	3	0.3
RTD	0	0	---	0	1	0.1
LM 35	1	0	1	---	3	0.3
Total					10	1

Termocupla = Termistor = LM 35 > RTD.

Tabla 29. Ponderación de evaluación "Velocidad de medición". [Autor].

Velocidad de medición	Termocupla	Termistor	RTD	LM 35	$\Sigma + 1$	Ponderación
Termocupla	---	1	1	1	4	0.4

Termistor	0	---	1	1	3	0.3
RTD	0	0	---	1	2	0.2
LM 35	0	0	0	---	1	0.1
Total					10	1

Termocupla > Termistor > RTD > LM 35.

Tabla 30. Ponderación de evaluación "Rangos de temperaturas". [Autor].

Rangos de temperatura	Termocupla	Termistor	RTD	LM 35	$\Sigma + 1$	Ponderación
Termocupla	---	1	1	1	4	0.4
Termistor	0	---	0	1	2	0.2
RTD	0	1	---	1	3	0.3
LM 35	0	0	0	---	1	0.1
Total					10	1

Termocupla > RTD > Termistor > LM 35.

De acuerdo con las tablas de ponderación de evaluación de las alternativas de sensores de temperatura, se analizó que la mejor alternativa de sensores de temperatura para su implementación en la extrusora mono husillo es el **Sensor de temperatura Termocupla**.

3.3.5 SELECCIÓN DE ENFRIAMIENTO.

Esta etapa es la encargada de otorgar el enfriamiento al filamento PLA extruido que va saliendo por la boquilla para ayudar a endurecer más rápido el filamento, si esto no se llevara a cabo obtendríamos perdidas por deformación. Es decir, si se ocasionara dicha deformación tocaría volver a extruir el material obteniendo perdidas en las propiedades físicas y moleculares.

El sistema de enfriamiento entregado por el ventilador no debe tener mucha velocidad de funcionamiento porque lo que ocasionaría sería un endurecimiento,

pero con deformación al nuevo filamento de PLA y esto provocaría volver a realizar la extrusión. Aunque este procedimiento es un proceso externo esto es necesario para la obtención del filamento PLA sin tantas deformaciones, pero con un endurecimiento más rápido que actúa a su vez con el medio ambiente. Esta etapa es muy importante para poder embobinar el filamento PLA y poder volver a utilizarlo.

El componente encargado de brindar el enfriamiento oportuno al nuevo filamento de PLA saliente es el ventilador, ya que es el encargado de enviar el aire al material saliente recién extruido, otorgando una ayuda para el endurecimiento sin deformaciones. Estos componentes electrónicos se utilizan mucho en circuitos de menor tamaño porque vienen en diferentes dimensiones, siendo a su vez muy fáciles de acoplar e instalar ya que no ocupan demasiado espacio y no provocan daños debido a su liviano peso. Hay que tener en cuenta que este componente electrónico puede operar con corriente y voltaje DC, donde su consumo es muy óptimo y no requiere de factores externos para su funcionamiento.

3.3.6 DIAGRAMA DE ELEMENTOS FUNCIONALES.

En esta etapa se optó por mostrar la interacción que tienen los elementos a implementar con las etapas, aunque no se evidencia en su totalidad todos los elementos a utilizar si forman parte de la extrusora.

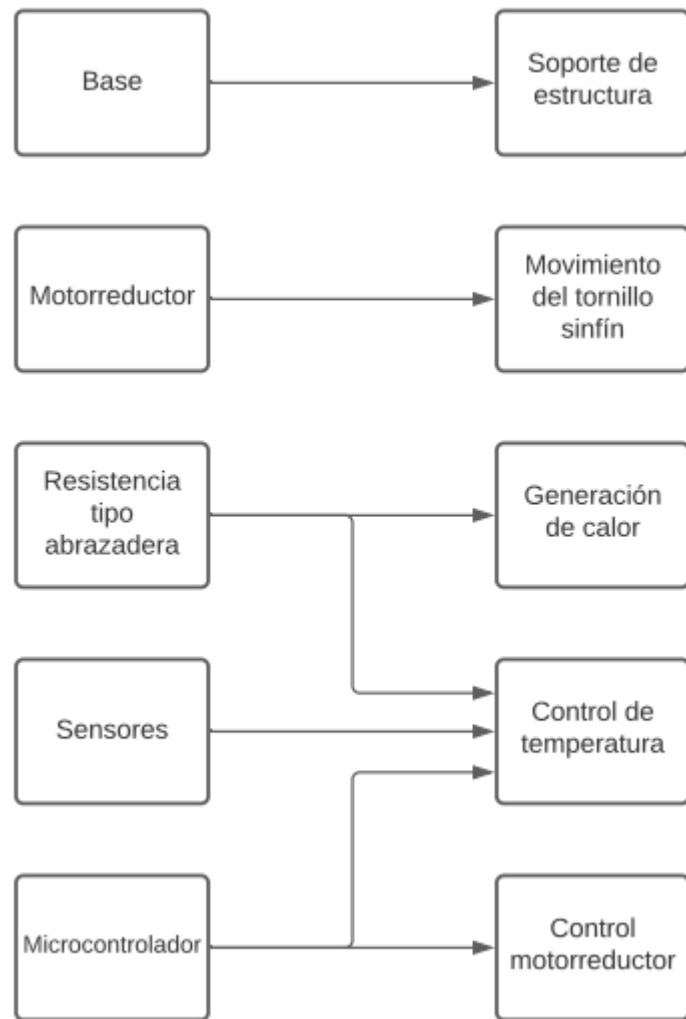


Figura 25. Diagrama de interacción de elementos funcionales. [Autor].

3.3.7 DIAGRAMA QUE CONFORMAN LA EXTRUSORA.

En esta sección se presenta una idea general donde se evidencia los diferentes módulos que conforman la máquina extrusora.

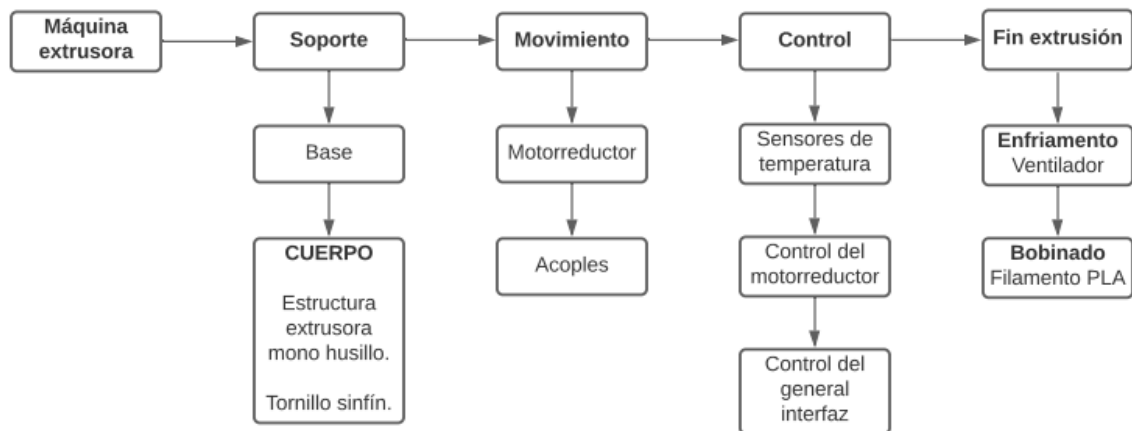


Figura 26. Diagrama que conforman la extrusora. [Autor].

3.4 PARÁMETROS Y DISEÑO DE CONSTRUCCIÓN.

Para obtener los parámetros o dimensiones de diseño del prototipado de la maquina extrusora a implementar, primero se realizaron una serie de cálculos basádonos en las dimensiones de los diferentes materiales encontrados en perfecto estado en las chatarrerías.

3.4.1 DIMENSIONES DEL BARRIL.

Las dimensiones del barril obtenido son las siguientes:

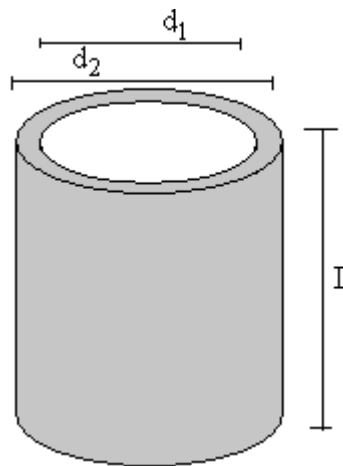


Figura 27. Dimensiones del barril o cilindro.

Fuente: <https://goo.gl/FfuWxH>

Las dimensiones del barril pueden variar dependiendo del tamaño. El rango del diámetro en el cual el barril es óptimo, se encuentra entre los 25 a 150 mm. Por lo tanto, se escogió un tubo con medidas 34 x 27.5 mm, como barril basádonos en lo anterior descrito. Las medidas de los diámetros y espesor, son las siguientes:

$$\text{Diámetro exterior} = 34 \text{ mm}$$

$$\text{Diámetro interior} = 27.5 \text{ mm}$$

$$\text{espesor} = 3,8 \text{ mm}$$

De acuerdo a las dimensiones descritas anteriormente, se puede obtener su longitud, utilizando la relación Longitud – diámetro, más conocida como relación L/D, en nuestro caso dicha relación es 20/1. Por lo tanto, para poder hallar la longitud de barril, tenemos la siguiente ecuación (1):

$$L_B = 20 \times D_{int} \quad (1)$$

Donde:

- L_B = Longitud del barril.
- D_{int} = Diámetro interno del barril.

$$L_B = 20 \times 27,5 \text{ mm}$$

$$L_B = 550 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta la ecuación (1), la longitud del barril obtenida es de 550 mm. Por consiguiente, los datos obtenidos del barril son los siguientes:

Parámetro	Dimensión (mm)
Diámetro exterior	34
Diámetro interior	27,5
Espesor	3,8
Longitud de barril	550
Longitud de barril + tolerancia	555

Tabla 31. Datos dimensionales del barril. [Autor].

Finalmente, si se desea se puede agregar una tolerancia a la longitud del barril, teniendo en cuenta alguna anomalía que se pueda presentar al momento de realizar el corte u otro procedimiento en el tubo.

3.4.2 CÁLCULO DEL HUSILLO.

Para la obtención de las dimensiones del husillo, tenemos que realizar una serie de cálculos para poder determinar el husillo más idóneo a utilizar en el prototipado de la maquina extrusora a implementar. No obstante, debemos tener en cuenta las dimensiones del tubo a utilizar como barril.

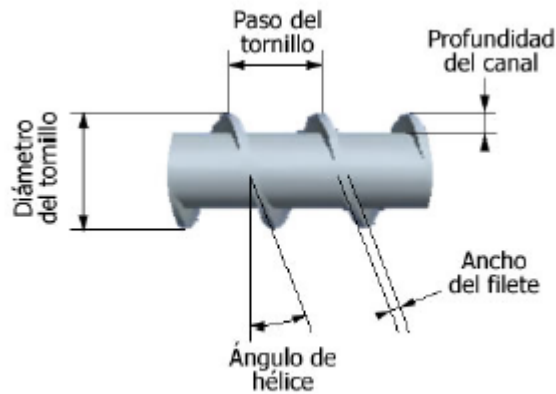


Figura 28. Husillo simple con sus partes. cilindro.
Fuente: [13]

Teniendo en cuenta las partes del husillo que se evidencian en la figura anterior, se realizan los cálculos de las dimensiones del tornillo:

$$\text{Diámetro husillo} = 27 \text{ mm}$$

Longitud del husillo (L_{tor}): Con el diámetro del husillo, se considera una relación L/D de 20/1, por lo cual, con la siguiente ecuación (2), se hallará la longitud del husillo:

$$L_{tor} = 20 \times D_{tor} \quad (2)$$

Donde:

- L_{tor} = Longitud del tornillo sinfín o husillo.
- D_{tor} = Diámetro del tornillo sinfín o husillo.

$$L_{tor} = 20 \times 27 \text{ mm}$$

$$L_{tor} = 540 \text{ mm}$$

Paso (t): Para calcular el paso del husillo, se debe considerar la ecuación (3), la cual, nos permite hallar el paso por medio del diámetro del mismo.

$$t = 0.4 \times D_{tor} \quad (3)$$

Donde:

- t = Paso del tornillo sinfín o husillo.
- D_{tor} = Diámetro del tornillo sinfín o husillo.

El paso del tornillo, se calcula por medio de una constante y el diámetro del tornillo. Dicha constante tiene un valor que varía entre los 0.2 a 1. Este valor de la constante es decidido por el fabricante.

$$t = 0.4 \times 27 \text{ mm}$$

$$t = 10,8 \text{ mm}$$

Anchura de la cresta del filete: Se calcula mediante la ecuación (4):

$$e = 0.08 \times D_{tor} \quad (4)$$

Donde:

- e = Anchura de la cresta del tornillo sinfín o husillo.
- D_{tor} = Diámetro del tornillo sinfín o husillo.

$$e = 0.08 \times 27 \text{ mm}$$

$$e = 2,16 \text{ mm}$$

Profundidad del canal: Para la profundidad del canal, se considera la ecuación (5):

$$h = 0.16 \times D_{tor} \quad (5)$$

Donde:

- h = Profundidad del canal del tornillo sinfín o husillo.
- D_{tor} = Diámetro del tornillo sinfín o husillo.

$$h = 0.16 \times 27 \text{ mm}$$

$$h = 4,32 \text{ mm}$$

Huelgo radial (): Para el huelgo radial que hay entre la cresta del husillo y el barril, se considera la ecuación (6):

$$\delta = 0.003 \times D_{tor} \quad (6)$$

Donde:

- δ = Huelgo radial del tornillo sinfín o husillo.
- D_{tor} = Diámetro del tornillo sinfín o husillo.

$$\delta = 0.003 \times 27 \text{ mm}$$

$$\delta = 0,081 \text{ mm}$$

Parámetro	Símbolo	Dimensión (mm)
Diámetro	D	27
Longitud de trabajo	L _{tra}	540
Paso	T	10,8

Número de canales	N.º	1
Anchura de la cresta	E	2,16
Profundidad del canal	H	4,32
Holgura radial	δ	0,081

Tabla 32. Parámetros teóricos del husillo a utilizar. [Autor].

3.4.3 CÁLCULOS DE LA TOLVA.

La tolva de alimentación varía su tamaño según exigencia de producción, para nuestro prototipado de máquina extrusora, anteriormente se hizo un proceso de selección, en el cual, la tolva a diseñar es rectangular por su economía, su funcionalidad y diseño sencillo. En cambio, la tolva circular es muy compleja de realizar y con un mayor costo de fabricación. Teniendo esto en cuenta, se considera la ecuación (7), la cual nos permite hallar el volumen que puede permitir la tolva:

$$V = \frac{h_{tol}}{3} (A1 + A2 + \sqrt{A1 * A2}) \quad (7)$$

Donde:

- V = Volumen de la tolva.
- h_{tol} = Altura de la tolva.
- $A1$ = Área de la parte superior de la tolva.
- $A2$ = Área de la parte inferior de la tolva.

$$A1 = 263 \text{ mm} \times 236 \text{ mm}$$

$$A1 = 62068 \text{ mm}^2 \text{ o } 620,68 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 91 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$$

$$A2 = 2912 \text{ mm}^2 \text{ o } 29,12 \text{ cm}^2$$

$$h_{tol} = 231 \text{ mm o } 23,1 \text{ cm}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (7), tenemos:

$$V = \frac{23,1}{3} (620,68 + 29,12 + \sqrt{620,68 * 29,12})$$

$$V = 6038,65 \text{ cm}^3 \text{ o } 6.038 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para la entrada de alimentación del prototipado de máquina extrusora, se toma a consideración la siguiente ecuación (8):

$$\text{Longitud de abertura} = 1.5 \times D_{long}$$

$$\text{Longitud de abertura} = 1.5 \times 60 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud de abertura} = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
\text{Ancho de apertura} &= 0.7 \times D_{anchura} \\
\text{Ancho de apertura} &= 0.7 \times 45 \text{ mm} \\
\text{Ancho de apertura} &= 31,5 \text{ mm} \approx 32 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Se le adiciona una tolerancia de 2 mm en caso de que suceda alguna anomalía que puedan dañar las piezas.

$$\text{Longitud de abertura} + \text{tolerancia} = 92 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho de apertura} + \text{tolerancia} = 34 \text{ mm}$$

3.4.4 CÁLCULOS DE FUERZAS QUE REALIZARA EL HUSILLO.

Los cálculos de fuerzas que realizara el husillo, son fundamentales como consideración principal para escoger el motor o motorreductor a utilizar. Así mismo son importantes a la hora de considerar una potencia máxima del motor. Para ello, consideramos un rango de revoluciones por minutos (rpm), de entre 5 – 30 rpm que pueden ser utilizadas por el husillo. Este estudio se realiza, con el fin de evaluar los caballos de fuerza (HP), para escoger el motor.

Momento de giro: El análisis del momento de giro en el husillo, se determina con el propósito de revisar las dimensiones previamente calculadas y a su vez, los posibles máximos esfuerzos admisibles del prototipo de la maquina extrusora.

Para calcular el momento de giro del husillo fácilmente, se determina de acuerdo a la siguiente ecuación (9):

$$M_g = 9550 * N/n \text{ [N * m]} \text{ (9)}$$

Donde:

- M_g = Momento de giro.
- N = Potencia del motor a utilizar.
- n = Número de rpm del husillo.
- $[N * m]$ = Newton por metros.

Como no se conoce ni la potencia del motor (N), ni los rpm (n), se considera un rango de rpm de 20 – 40 rpm, de acuerdo a la producción que podría realizar.

De lo anteriormente mencionado, se estima 30 rpm para una producción de 2 Kg/h, como la máxima producción y las máximas revoluciones por minuto (rpm) del motor.

Para la potencia requerida, utilizamos la ecuación (10):

$$n = \frac{K^2 * N}{\pi * D^3} \text{ (10)}$$

Donde:

- n = Numero de rpm.
- N = Potencia del motor.
- K = Factor de proporcionalidad = 66,7.
- D = Diámetro del tornillo.

Despejando N , tenemos:

$$N = \frac{n * \pi * D^3}{K^2}$$

$$N = \frac{30 \text{ rpm} * \pi * (27 \text{ mm})^3}{(66,7)^2}$$

$$N = 416,975 \text{ w}$$

$$N = 0,416975 \text{ Kw}$$

$$N = 0,416975 \text{ Kw} * \frac{1,34102 \text{ HP}}{1 \text{ Kw}}$$

$$N = \mathbf{0.559 \text{ HP}}$$

Redondeando los caballos de fuerza (1 HP), se considera la selección de un motor de un 1 HP.

Con los datos obtenidos anteriormente, se calcula el momento de giro. Reemplazando en la ecuación (9), tenemos:

$$M_g = 9550 * N/n \text{ [N * m]} \text{ (9)}$$

$$M_g = 9550 * 1 \text{ HP}/30 \text{ rpm} \text{ [N * m]}$$

$$M_g = \mathbf{318,33 \text{ [N * m]}}$$

Parámetro	Símbolo	Dimensión (mm)
Diámetro	D	27
Longitud de trabajo	L _{tra}	550
Longitud total	L _t	750
Paso	t	11,5
Número de canales	N.º	1
Anchura de la cresta	e	4,20
Profundidad del canal	h	4,20
Holgura radial	δ	0,081

Tabla 33. Parámetros y dimensiones del husillo. [Autor].

3.4.5 BOQUILLA

Se considera un elemento importante en la creación de una maquina extrusora, ya que tiene como función la obtención del filamento en sus diferentes dimensiones, formas y geometría. Se tiene en cuenta que el filamento obtención por la extrusión casera, puede llegar a tener algunas deformaciones al momento de la salir de boquilla. Esto ocurre por los cambios repentinos y a su vez bruscos de temperatura.

Existen diferentes presentaciones de las boquillas, esto depende del tamaño del espesor del filamento que se necesite. La boquilla más fácil de encontrar en el diario vivir, es la boquilla de una impresora 3D.

3.4.6 TERMOCUPLAS

El sensor de temperatura termocupla, es un sensor de los más comunes para el estudiantado como tambien en la industria por su economia y su rango de temperatura. Su presentación habitual es que viene encapsuladas adentro de un tubo, este tubo normalmente es de acero inoxidable. Uno de sus extremos tiene una particularidad, su cabezal tiene una presentacion tipo tornillo, donde su material de fabricación es de aluminio y en su otro extremo, lo que obtenemos es la unión.[29]

La selección de la termocupla se llevo a cabo, por su economia, precisión y por su confiabilidad en el amplio rango de temperatura. La termocupla escogida es la tipo K, por su satisfactoria implementación en atmosferas neutras y su continuidad de lectura.

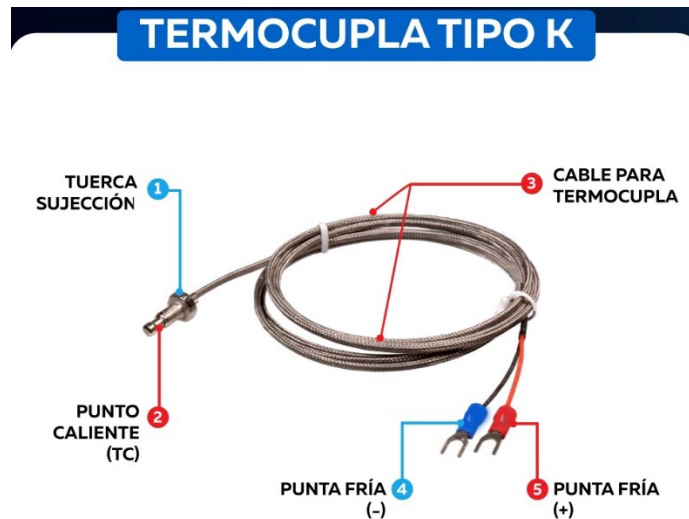


Figura 29. Termocuplas tipo K con sus partes.

Fuente: <https://pt-br.facebook.com/SuilerAltamirano.CONTROLMAS/posts/565974244782810/>

3.4.7 MODULO MAX6675

El módulo Max6675, es un componente electrónico que se basa en la conversión análoga a digital. Este módulo se utiliza más que todo en termocuplas tipo K, por su alta eficiencia al medir la temperatura, ya que facilita la amplificación y la conversión del voltaje de la termocupla a datos digitales. Además, se debe tener en cuenta su comunicación SPI bidireccional, que permite una comunicación muy fácil entre la termocupla y cualquier microcontrolador al que se le conecte.[30]

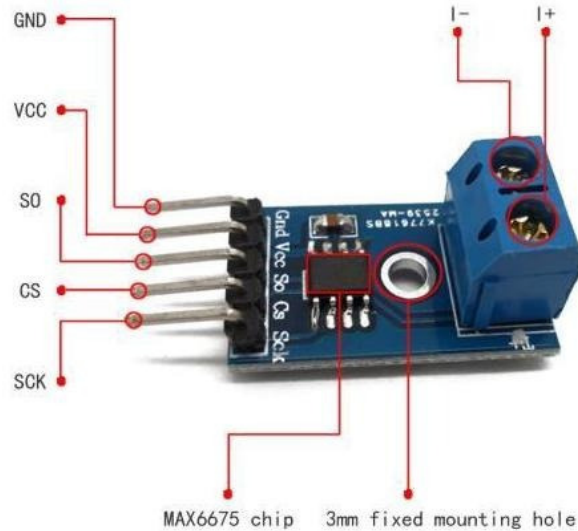


Figura 30. Módulo MAX6675 con sus partes.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-862765636-modulo-max6675-para-termocupla-tipo-k_JM

3.4.8 MICROCONTROLADOR ARDUINO

El microcontrolador seleccionado “ARDUINO”, es una tarjeta de desarrollo embebido, que ofrece a la comunidad el uso de la electrónica de forma más sencilla, además, su lenguaje de programación facilita la construcción, interacción, detección, adquisición y control de ambientes reales. Esta tarjeta cuenta con pines de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

Su programación se lleva a cabo en su propio software llamado ARDUINO.IDE, ofreciendo un lenguaje de programación fácil, sencillo y entendible. Por lo tanto, es un microcontrolador muy completo, económico y de fácil acceso.

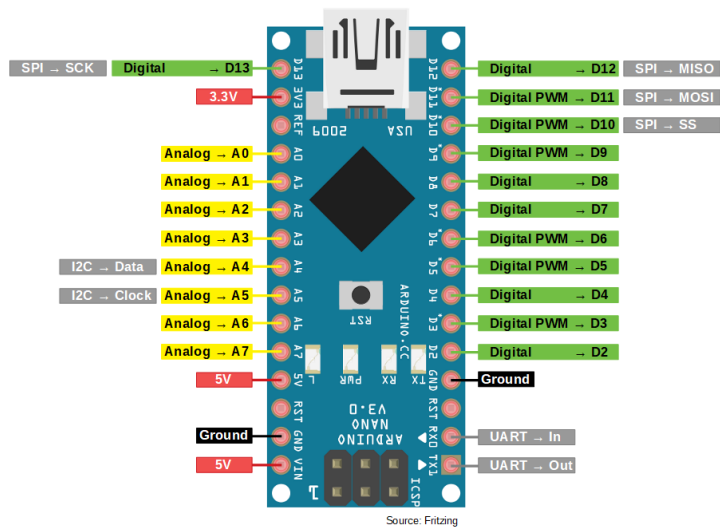


Figura 31. Microcontrolador Arduino nano con sus partes.

Fuente: <https://roboteach.education/taller-1-robotica-y-programacion-diversificado-arduino-nano/>

3.4.9 SSR – RELÉ DE ESTADO SOLIDO

El SSR o relé de estado sólido, es un componente electrónico de conmutación. Los SSR son sensores que conmutan cuando se les aplica una corriente pequeña en sus terminales de control. En otras palabras, los SSR actúan por medio de una señal de control. Además, estos relés realizan su conmutación sin partes mecánicas “cero ruidos”. Su conmutación suele ser a velocidades muy altas, dichas velocidades rondan entre los milisegundos. También, se tiene en cuenta, porque son utilizados para trabajar con corriente directa o alterna, permitiendo alimentar cargas mecánicas como las resistencias abrazaderas.



Figura 32. SSR – Relé de estado sólido.

Fuente: <https://www.sigmaelectronica.net/producto/ssr-25da/>

3.5 RESUMEN DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.

En la figura 33, se observa el diagrama en bloques del desarrollo de la implementación del prototipado de maquina extrusora. El prototipado está constituido en cinco etapas básicamente, las cuales se explicarán a continuación.

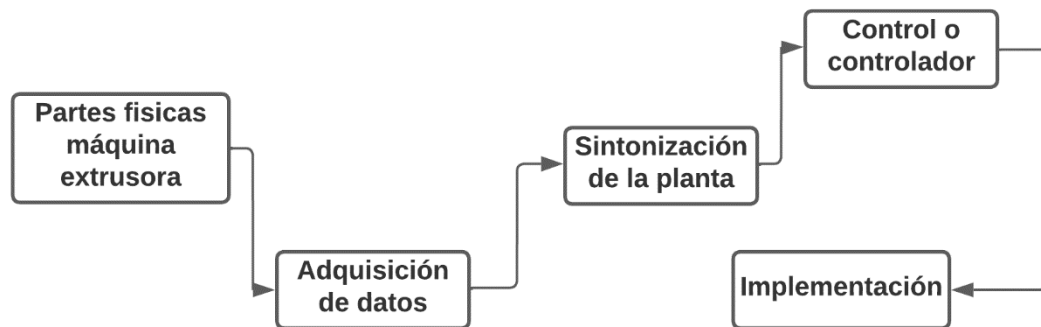


Figura 33 Diagrama en bloques de la prototipada máquina extrusora. [Autor].

La primera etapa de la implementación del prototipo de maquina extrusora, encargada de todo lo relacionado con el tipo de materia a utilizar, la asesoría con un ingeniero mecánico y personal sobre la creación de las partes de la máquina.

La segunda etapa consiste en la adquisición y lectura de los datos obtenidos por medio del sensor de temperatura, modulo MAX6675 y el microcontrolador Arduino, donde se determina la temperatura máxima de operación.

La tercera etapa consiste en la sintonización de la planta, realizando la adquisición de los datos en el entorno de Simulink MATLAB y LabVIEW. Es Aquí donde adquirimos los datos provenientes del sensor para encontrar el control más funcional a utilizar.

La cuarta etapa del controlador, se desarrolla su diagrama en bloques de control, en el cual, se tiene en cuenta la variación de las medidas de temperatura para determinar su control PID. En este caso se considera su set point para que cada resistencia abrazadera trabaje en óptimas condiciones y favorezca a la extrusión del material PLA.

La quinta y última etapa es la implementación del prototipado de maquina extrusora. Es donde se lleva a cabo el ensamble de todas las partes físicas y electrónicas, además de las conexiones de los elementos del lazo cerrado y modelado de la planta.

3.5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE MAQUINA EXTRUSORA

Mediante la asesoría del ingeniero mecánico y su personal de trabajo, se llevó a cabo la selección de material a utilizar para la creación de cada una de las piezas del prototipo. Se seleccionó como material el acero inoxidable, esto se debe a sus características físicas y estética, ya que soporta altas temperaturas, resistencia a la corrosión, soldadura por argón, apariencia, higiene y mantenimiento. También se habló del acero galvanizado, pero como una principal desventaja es su apariencia y no es utilizado en máquinas industriales, si no estructuras industriales.

Para la creación o fabricación de cada una de las partes que conforman el prototipo a implementar de máquina extrusora, se tuvo en cuenta los cálculos realizados (tolva, barril y husillo) y unos planos encontrados que se ajustaban perfectamente al diseño establecido, pero se realizaron los cambios en las medidas calculadas (tamaño).

Primero, en la asesoría con el ingeniero mecánico José Chamorro y su personal (Rodrigo, Capera y Jesús David), inicialmente fue una explicación de cómo usar cada una de las máquinas, tales como: Torno, Fresadora, Pulidoras (pulir y cortar), soldador, etc. Después, fue una explicación de cómo realizar las medidas en pulgadas y milímetros con el pie de rey.

Segundo, el material que se utilizó en la tolva, barril, soporte y boquilla, se llevó a cabo en acero inoxidable. La mesa y soporte de agarre se realizó en acero, por cuestiones de economía.

Tercero, el husillo no se encontró en ningún centro de reciclaje por sus dimensiones, económicamente no se podía mandar a fabricar, entonces se realizó con una barra de acero y un resorte. Estos materiales sí se encontraron en los centros de reciclaje.

Cuarto, Se inició con el corte de cada una de las partes:

Tolva: Se realizó las medidas en una lámina de acero inoxidable, sus cortes se realizaron con pulidoras y se lijaron los bordes para evitar laceraciones físicas. Por último, se pusieron puntos de soldaduras en algunos bordes de la tolva, ya que se iba a soldar en todo el cordón de soldadura y se pulió donde se pudo, como se muestra en la figura 34.



Figura 34. Tolva terminada. [Autor].

Barril: Se busco el tubo de acero inoxidable a las medidas previamente calculadas y se cortó usando una pulidora con disco de corte. Después, en uno de sus extremos se le realizo una horquilla (esto si lo realizo un profesional), en el otro extremo se realizó un corte rectangular, todo esto de acuerdo a los planos. Por último, se lijaron los bordes para evitar laceraciones físicas y se pulió como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Barril terminado. [Autor].

Soporte: Para el soporte de altura en acero inoxidable, se buscó el material a las medidas del plano, esto entre los sobrantes en un taller de ornamentación como en los centros de reciclaje. Luego, se realizaron algunos pequeños cortes con pulidora que también sirvieron de soporte. También, se buscó el material acero para los soportes de agarre los cuales fueron sacados de unos ángulos. Por último, se lijaron cada uno de los soportes y se pulieron, como se observa en la figura 36.



Figura 36. Soporte del barril. [Autor].

Husillo: Se buscó broca, tornillo extrusor y tornillo sinfín, pero por sus dimensiones no fue posible, por lo tanto, se realizó con una barra de acero y un resorte, se le pusieron puntos de soldadura y quedo conformado nuestro husillo. Advirtieron que por las altas temperaturas puede que el husillo se deforme y porque se encontraba expuesta la barra a la intemperie.

Boquilla: Se realizo como se encuentra en los planos porque se puede aumentar o disminuir su caudal de plástico y en caso tal se le puede cambiar la boquilla para que salga más material. Se usaron 2 tornillos inoxidables, uno para regular el caudal y el otro por donde va a salir el filamento, este se le abrió el diámetro del filamento PLA por medio de la maquina fresadora. El cuerpo de la boquilla este hecho de acero inoxidable, donde su cuerpo está hecho con un conector y una barrita ambos de acero inoxidable, la barra se pasó por la fresadora y el torno para abrirle paso al caudal, como se observa en la figura 37.



Figura 37. Boquilla máquina extrusora. [Autor].

3.5.2 ADQUISICIÓN

La adquisición de datos del sensor de temperatura, se realizó de dos formas: La primera forma de adquisición se realizó mediante código de arduino y se implementó en el Simulink del software de MATLAB como se observa en la figura 38, donde lo primero que se hace es la lectura de la temperatura que está siendo medida por la termocupla tipo K y el módulo MAX6675 para luego guardar estos datos en las variables *te* y *out*.

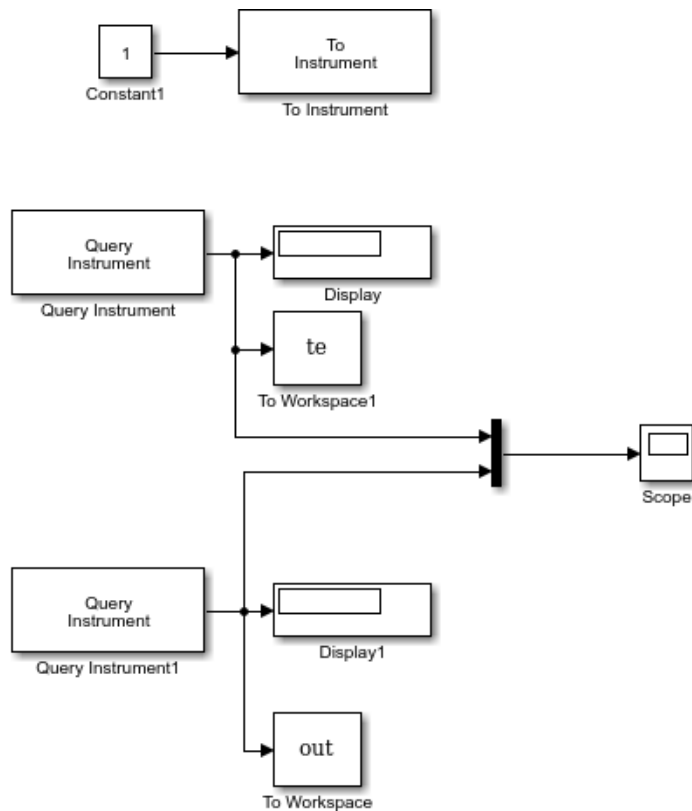


Figura 38. Adquisición de datos del sensor de temperatura.

La segunda forma de adquisición de datos, se llevó a cabo por medio del software de LabVIEW, donde lo primero que se realizó fue crear una variable llamada *psbr* en Matlab para obtener de manera aleatoria obtener datos con valores de 0 o 5. Luego se comenzó la adquisición de datos en LabVIEW como se muestra en la figura 39 y figura 40, obteniendo los datos en un Excel para posteriormente realizar su sintonización.

```
clc;
clear all;
P = idinput (800, 'PRBS', [], [0,5]);
```

Figura 39. Creación de la PSBR. [Autor].

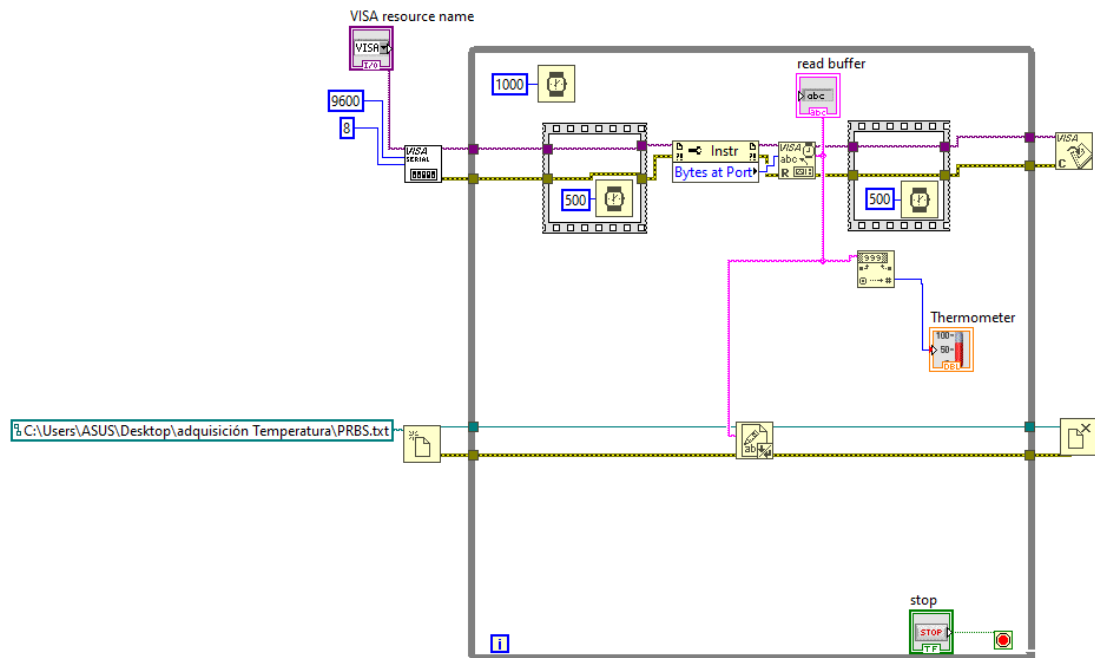


Figura 40. Adquisición de datos por medio de LabVIEW y Arduino, comunicación Serial. [Autor].

3.5.3 SINTONIZACIÓN

La sintonización de la planta se llevó a cabo luego de la adquisición de los datos por medio del sensor de temperatura y su modulo Max6675. Se guardaron los datos de la variable de temperatura y los datos de salida de la planta, para conocer la función de transferencia del sistema como se observa en la ecuación 10 y el modelado del sistema en la figura 38. Cabe mencionar que, para obtener la función de transferencia del sistema, previamente teníamos que tener cargadas las variables con sus datos en Matlab y utilizar en el *command Windows* de Matlab la función *ident* o también se puede yendo a la pestaña APP de Matlab y dar click en la opción *Systems Identification*, la cual, genera una nueva ventana como se observa en la figura 340. En esta ventana lo primero que importaremos son las variables de entrada y salida en el dominio del tiempo como se muestra en la figura 41. Por consiguiente, el identificador de sistema nos estima la función de transferencia, donde tenemos que asignar la cantidad de polos y ceros, teniendo en cuenta que su precisión de identificación sea mayor al 90%, como se observa en la figura 42. Por último, se exporto su función de transferencia para obtener su control PID, esto se llevó a cabo por medio del *PID TUNER* del software de Matlab, donde importamos nuestra función de transferencia y establecemos el control que queremos, que puede ser P, I, PI, PD o PID, como se observa en la figura 43. Ya para acabar, ajusta la gráfica de la planta en el tiempo de respuesta y obtenemos nuestras constantes K_p , K_i y K_d , que utilizaremos en nuestro control PID a realizar.

$$\frac{0.002123 s + 5.407e - 05}{s^2 + 0.003307 s + 2.141e - 05} \quad (10)$$

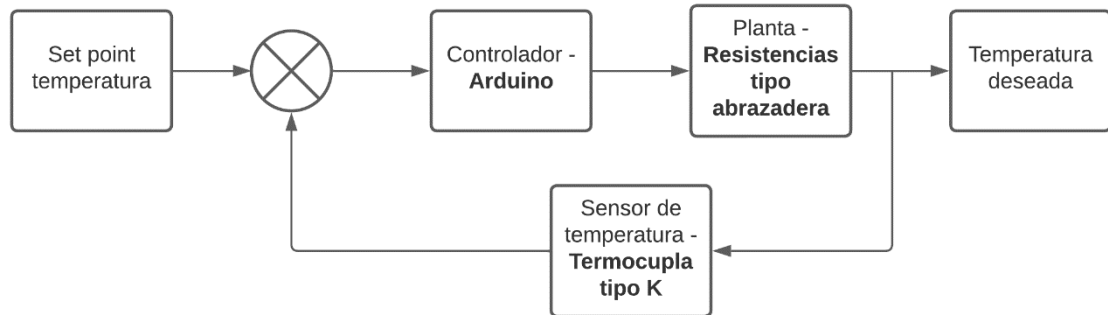


Figura 41. Modelado de la función de transferencia. [Autor].

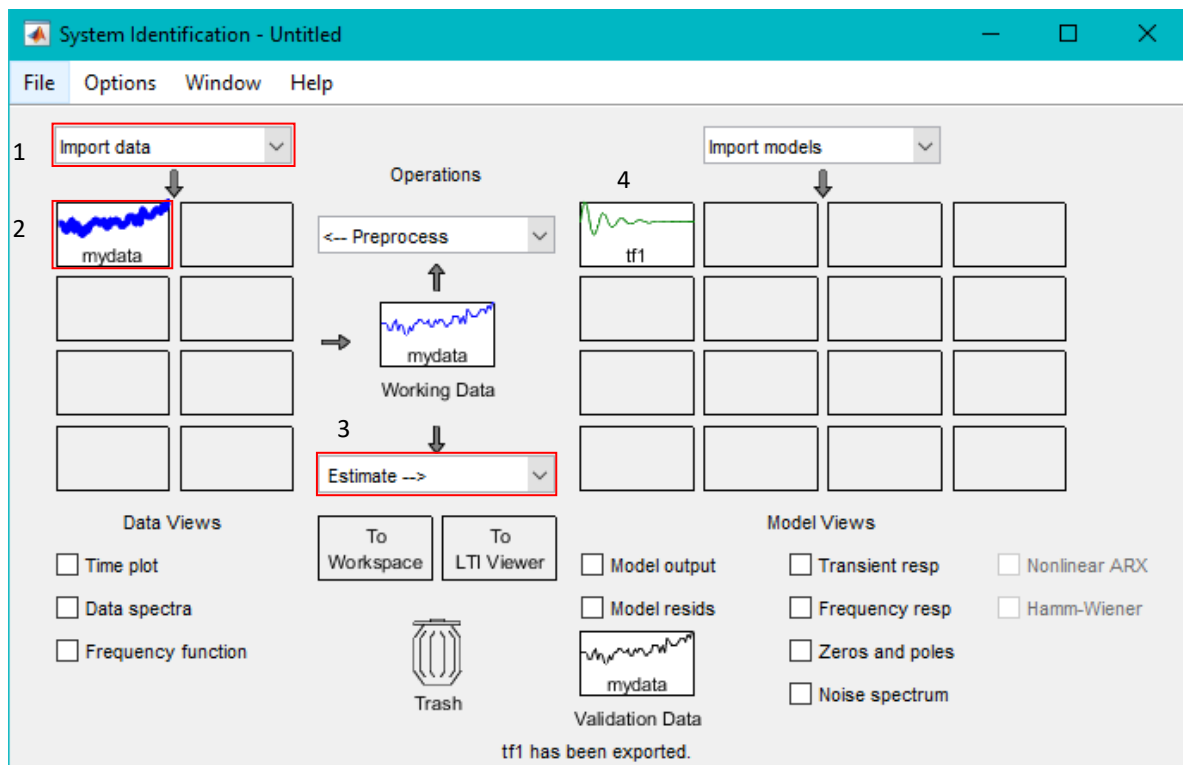


Figura 42. Ventana identificación del sistema Matlab utilizando la data del segundo método. [Autor].

En la figura 42, se observa cómo se llevó a cabo el procedimiento en el identificador de sistema para obtener las funciones de transferencias del segundo método que fue la adquisición de datos por medio de LabVIEW y la prbs. Donde como primer paso importamos la data en el dominio del tiempo, el segundo paso consta de la visualización de la data, el tercer paso lo que se realiza es la asignación de función a utilizar en este caso la función de transferencia y, por último, en el cuarto paso se visualiza la gráfica de la función de transferencia.

Import Data

Data Format for Signals

Time-Domain Signals

Workspace Variable

Input: prbs

Output: t

Data Information

Data name: mydata

Starting time: 1

Sample time: 1

More

Import Reset

Close Help

Figura 43. Importación de datos, entrada y salida del sistema con data del segundo método. [Autor].

En la figura 43, se muestra cómo se realiza la importación de los datos en el dominio del tiempo, donde tenemos que asignar la variable de entrada y la variable de salida, para poder obtener la visualización del comportamiento en el tiempo.

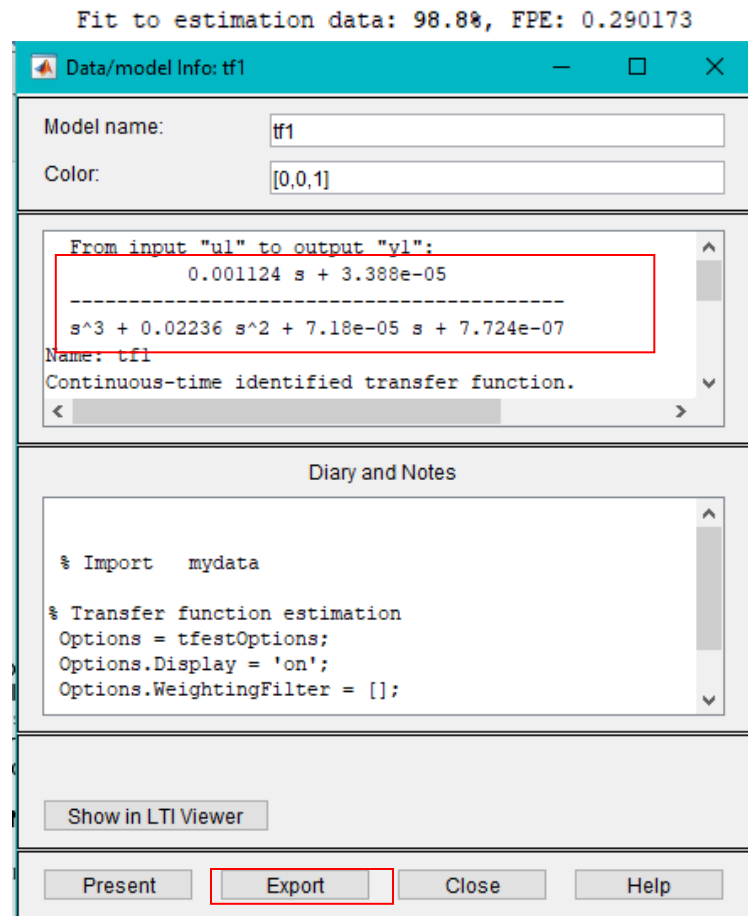


Figura 44. Precisión de la planta y función de transferencia con la data del segundo método. [Autor].

En la figura 44, se observa la obtención de la función de transferencia, la precisión estimada y como se exporta la función de transferencia por el segundo método de adquisición.

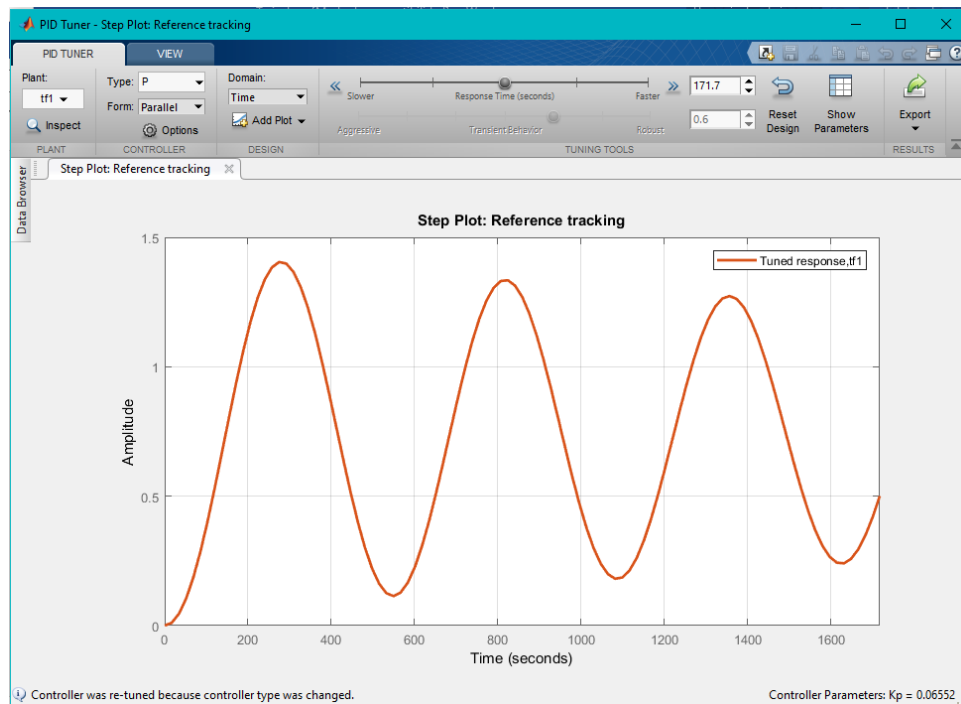


Figura 45. Interfaz PID TUNER Matlab, con la función de transferencia importada del segundo método. [Autor].

En la figura 45, se muestra el comportamiento de la función de transferencia obtenida por el segundo método de adquisición y solo con un control proporcional.

Constante	Valor
Kp	2.9028
Ki	0.02105
Kd	100.07

Tabla 34. Constantes obtenidas sensor 1 de la adquisición del segundo método. [Autor].

Por otra parte, se realizó la adquisición de datos desde arduino y Matlab como se menciona en el primer método y estos fueron los resultados obtenidos. Observar las siguientes figuras 46, 47, 48 y la tabla 35.

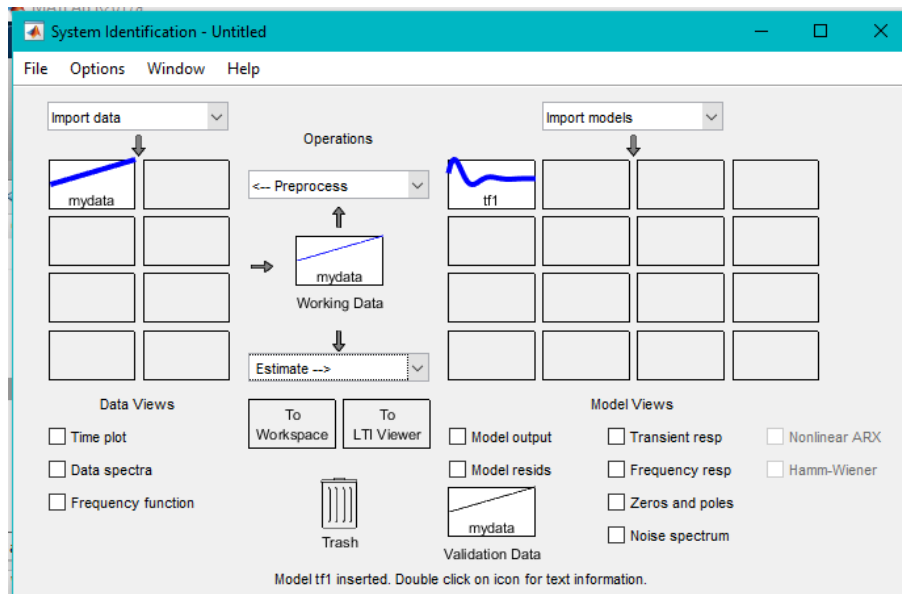


Figura 46. Ventana identificación del sistema Matlab utilizando la data del primer método. [Autor].

En la figura 46, se observa cómo se llevó a cabo el procedimiento en el identificador de sistema para obtener las funciones de transferencias del primer método donde se adquiere la data por medio de Simulink. De igual manera como se explicó previamente se realizan los mismos pasos para obtener la función de transferencia para poder implementarla en el PID tuner.

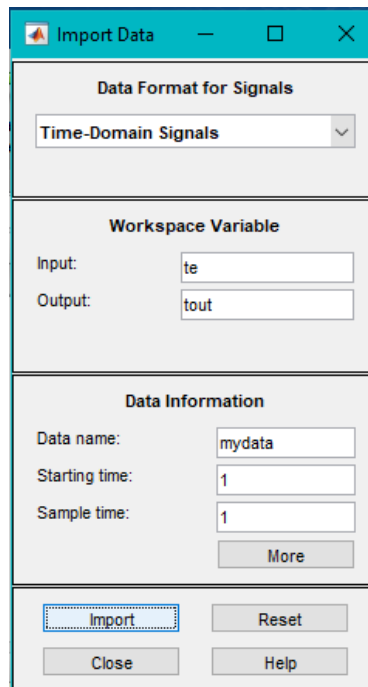


Figura 47. Importación de datos, entrada y salida del sistema con data del segundo método. [Autor].

En la figura 47, se observa la importación de datos de las variables de entrada y salida en el dominio del tiempo.

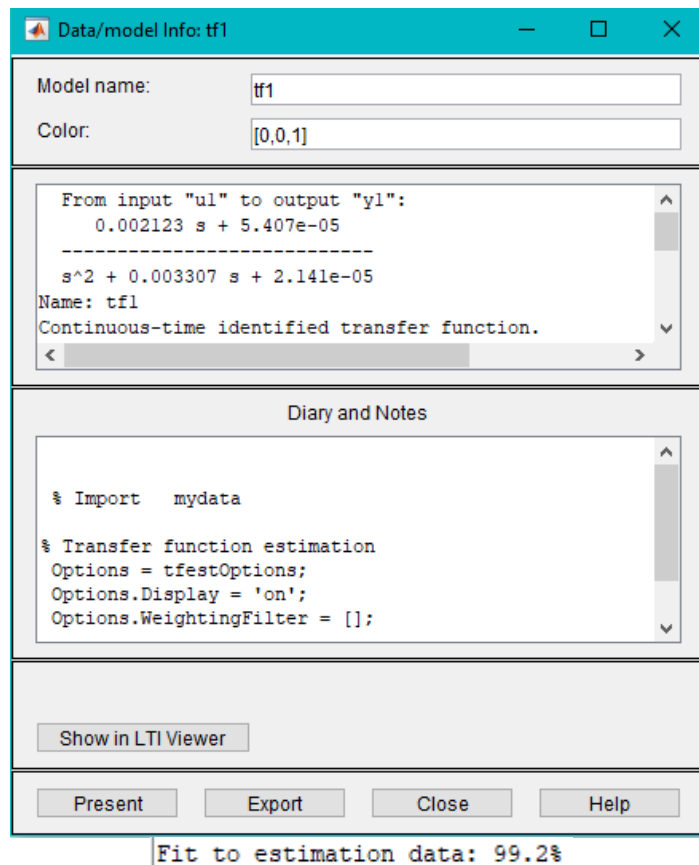


Figura 48. Precisión de la planta y función de transferencia con la data del primer método. [Autor].

En la figura 48, se observa la obtención de la función de transferencia y la precisión que se obtiene al importar la data por medio del primer método, usando Simulink.

Constante	Valor
Kp	28.47
Ki	0.184
Kd	63.42

Tabla 35. Constantes obtenidas sensor 1 de la adquisición del primer método. [Autor].

Asimismo, para la sintonización de nuestro segundo sensor de temperatura se realizó el mismo procedimiento, pero teniendo en cuenta, que los datos del segundo sensor varían respectivamente, por lo tanto, se obtiene una función de transferencia diferente y al igual que sus constantes del control PID (K_p , K_i y K_d) como se observa en la ecuación 11 y en la tabla 36.

$$\frac{0.001978 s + 5.214e - 05}{s^2 + 0.003128 s + 2.086e - 05} \quad (11)$$

Constante	Valor
Kp	29.09
Ki	0.1785
Kd	76.97

Tabla 36. Constantes obtenidas sensor 2 de la adquisición del primer método. [Autor].

Cabe aclarar que se muestran los dos métodos, pero se tiene en cuenta el primer método en la realización de la adquisición, porque se obtienen mejores valores de constantes y a su vez, un mejor funcionamiento en el control PID.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, para la obtención del controlador lo realizamos por el segundo método de Ziegler y Nichols conocido como el método de oscilación o método de respuesta en frecuencia. Este método se lleva a cabo, cuando tenemos un sistema a lazo cerrado y no conocemos la función de transferencia. Por lo tanto, cuando se realizó la adquisición de datos el sistema se encontraba ensamblado, permitiendo tomar los datos y que el software de Matlab realizara todos los cálculos internamente con su sistema de identificación para obtener la función de transferencia y por consiguiente las constantes del controlador PID.

3.5.4 CONTROLADOR

Con controlador nos referimos a la composición de nuestro microcontrolador en conjunto con la planta, como se observa en la figura 49. Esto quiere decir que cuando la temperatura este por debajo o por encima de su set point, el control PID enviará pulsos a las salidas *pwm* para posteriormente la activación o desactivación del SSR que permitirá la activación de las resistencias abrazaderas y de esta manera la temperatura subirá hasta el punto requerido. Todo esto se realizará por código en arduino.



Figura 49. Controlador listo para funcionamiento. [Autor].

3.5.5 IMPLEMENTACIÓN

Con respecto a la implementación, se llevó a cabo el inicio del ensamble del prototipado de la maquina extrusora como se observa en la figura 50. Por consiguiente, se llevó el ensamble de cada elemento de nuestro lazo cerrado para la comprobación de pruebas y errores. Además, de su programación como se indica en la figura 51.



Figura 50. Inicio del ensamble del prototipo. [Autor].

En la figura 50, se observa el inicio del ensamble de la maquina extrusora, teniendo cada una de las partes como lo son: la tolva, El barril con unión de la boquilla y el soporte que sostendrá el barril y la tolva. Dicho soporte en ese instante estaba previamente cortado.

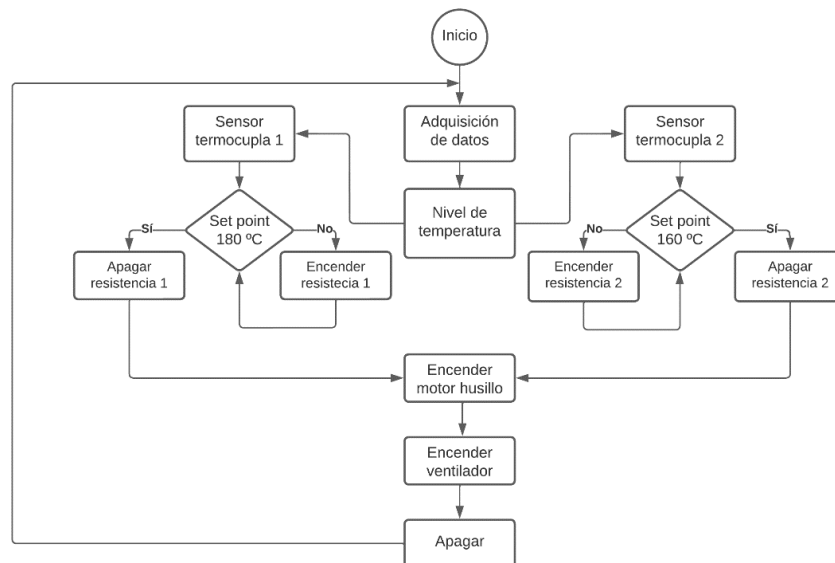


Figura 51. Diagrama lógico de programación. [Autor].

La figura 51, muestra el diagrama lógico de programación que se implementó para el controlador PID, teniendo en cuenta, cada uno de los sensores de temperatura y su setpoint para poder tener cada zona de calor a su nivel requerido y a su vez llevar a cabo la encendida de motorreductor.

3.5.6 COMUNICACIÓN ARDUINO Y LABVIEW

LabVIEW es un software que nos permite desarrollar entornos gráficos, la adquisición de datos, etc. Por lo mismo se utilizó para la adquisición del sensor de temperatura y como interfaz, que nos permita observar los niveles de temperatura y demás. Su comunicación con arduino se llevó a cabo por medio de VISA o comunicación serial, como se indica en la figura 52.

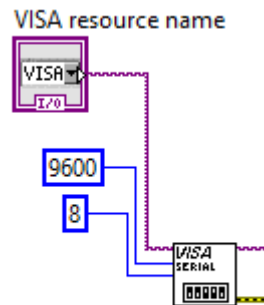


Figura 52. Comunicación serial entre el arduino y el software LabVIEW. [Autor].

También se intentó la comunicación por LINX, pero por problemas en las lecturas de las temperaturas no se tuvo en cuenta, ya que la comunicación SPI que maneja el módulo Max6675 y la comunicación SPI de LINX, decepcionaba los datos de una forma muy lenta y por este motivo no se tuvo en cuenta.

Resultados.

4. RESULTADOS	- 93 -
4.1 ENSAMBLE DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.....	- 93 -
4.1.1 ENSAMBLE PARTE MECANICA.....	- 93 -
4.1.2 ENSAMBLE DE PARTE ELECTRONICA	- 95 -
4.2 SISTEMA DE CONTROL PID	- 101 -
4.3 MANUAL DE OPERACIÓN.....	- 103 -
4.4 MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA	- 104 -
4.5 LIMITACIONES DE LA MÁQUINA.....	- 104 -
4.6 COSTOS	- 105 -
4.7 VALIDEZ CONTROLADOR PID.....	- 107 -
4.8 INTERFAZ	- 110 -

4. RESULTADOS

4.1 ENSAMBLE DEL PROTOTIPO MAQUINA EXTRUSORA.

A continuación, se muestran los resultados del ensamble de cada una de piezas del prototipo de maquina extrusora a implementar, teniendo en cuenta las partes mecánicas como electrónicas.

4.1.1 ENSAMBLE PARTE MECANICA

En la figura 53, se muestra el inicio del ensamble las partes mecánicas de nuestro prototipo a implementar de máquina extrusora, como tolva, barril, boquilla, soporte y mesa.



Figura 53. Inicio del ensamble parte mecánica. [Autor].

En la figura 54 y figura 55, se observa el ensamble total de las partes mecánicas de nuestro prototipo de máquina extrusora en su mesa de soporte.

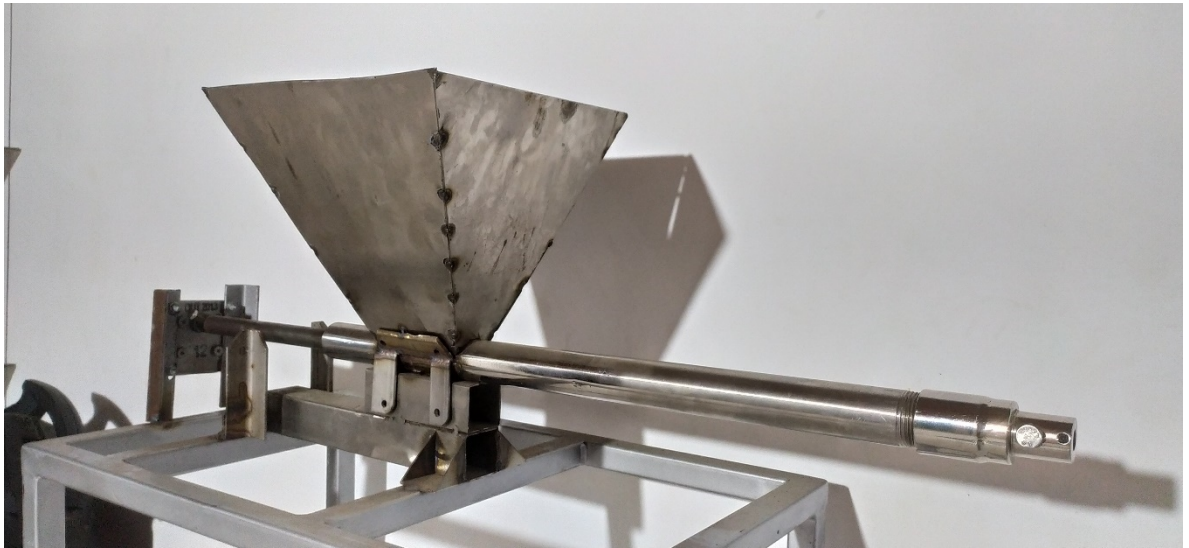


Figura 54. Prototipo ensamblado. [Autor].



Figura 55. Prototipo ensamblado más motor en su mesa de soporte. [Autor].

4.1.2 ENSAMBLE DE PARTE ELECTRONICA

El ensamble de la parte eléctrica y electrónica de la maquina extrusora, se inició de la siguiente manera:

En la figura 56, se observa el microcontrolador implementado tanto para adquisición de los datos de temperatura, como en el control.



Figura 56. Microcontrolador implementado en la máquina extrusora. [Autor].

En la figura 57, se observa el sensor de temperatura utilizado, en este caso, la termocupla tipo K con su modulo Max6675.

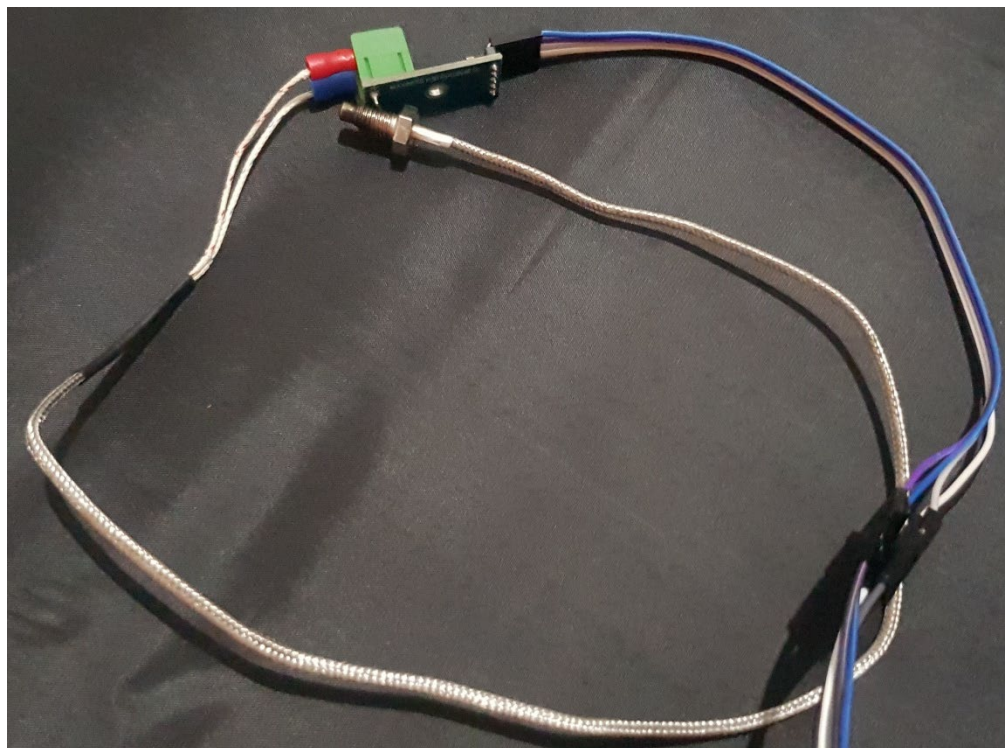


Figura 57. Termocupla tipo K con módulo Max6675. [Autor].

En la figura 58, se muestra las conexiones realizadas para el funcionamiento de circuito de adquisición de temperatura.

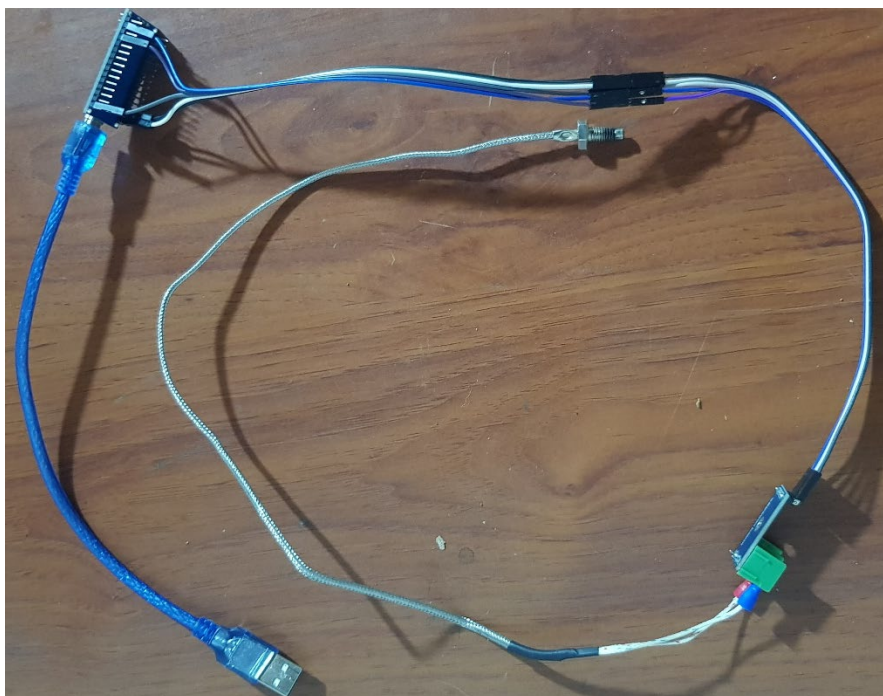


Figura 58. Conexiones del sensor de temperatura y arduino. [Autor].

En la figura 59, se muestra las conexiones realizadas para el funcionamiento óptimo de las resistencias de calor eléctricas, teniendo en cuenta que trabajan a 220V.



Figura 59. Conexiones de las resistencias tipo abrazadera con relé de estado sólido "SSR". [Autor].

En la figura 60 y 61, se observan el Relay industrial de 12V, que se utiliza para el funcionamiento del motor y el módulo relé para la activación y protección del microcontrolador o elemento de control.

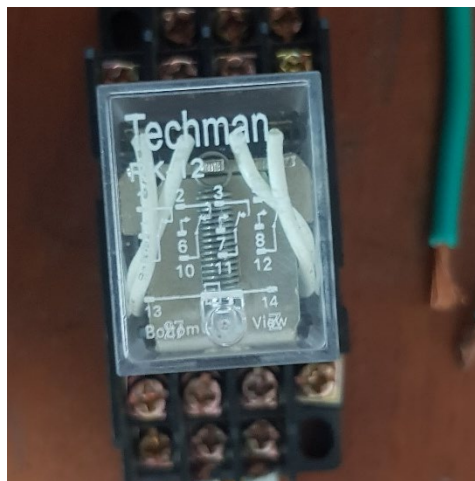


Figura 60. Relay industrial de 12V. [Autor].

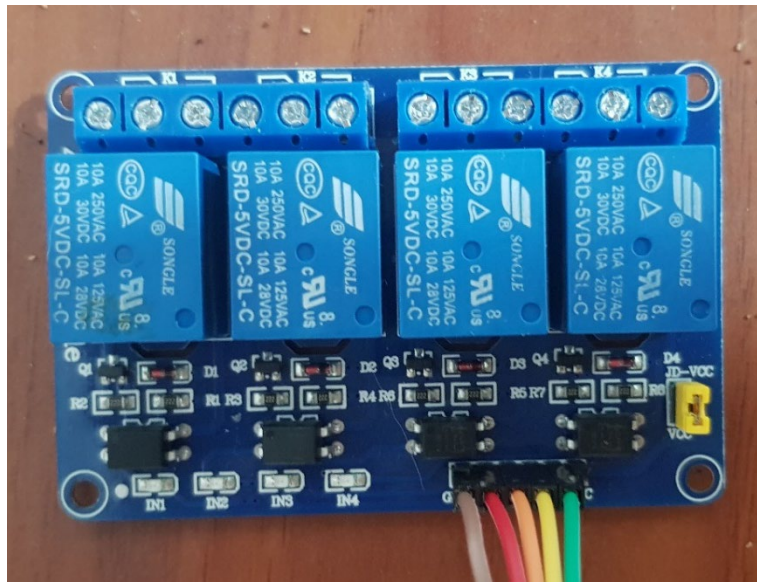


Figura 61. Módulo relé utilizado como protección y activación. [Autor].

En la figura 62, se muestra la distribución de las conexiones superficiales de las resistencias tipo abrazadera con los circuitos de control, activación y protección.



Figura 62. Circuito electrónico listo para conexiones. [Autor].

En la figura 63, se evidencia el tablero de distribución y conexión de todos los componentes eléctricos y electrónicos con su respectivo nombre.

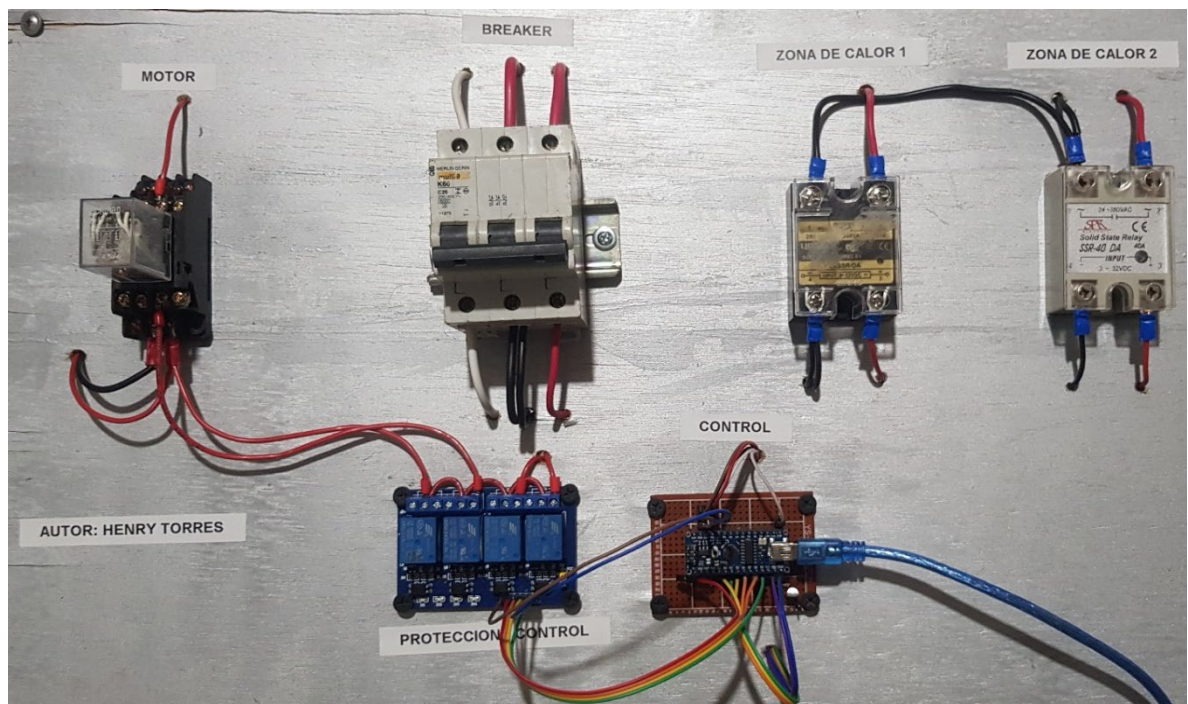


Figura 63. Tablero de conexiones y distribución de los componentes con su respectivo nombre. [Autor].

En la figura 64 y figura 65, se observa el motor que se utilizó.



Figura 64. Motor a utilizar parte formal. [Autor].



Figura 65. Motor a utilizar parte trasera. [Autor].

En la figura 66, se muestra el ensamble completo de la parte electrónica del prototipo implementado de máquina extrusora.

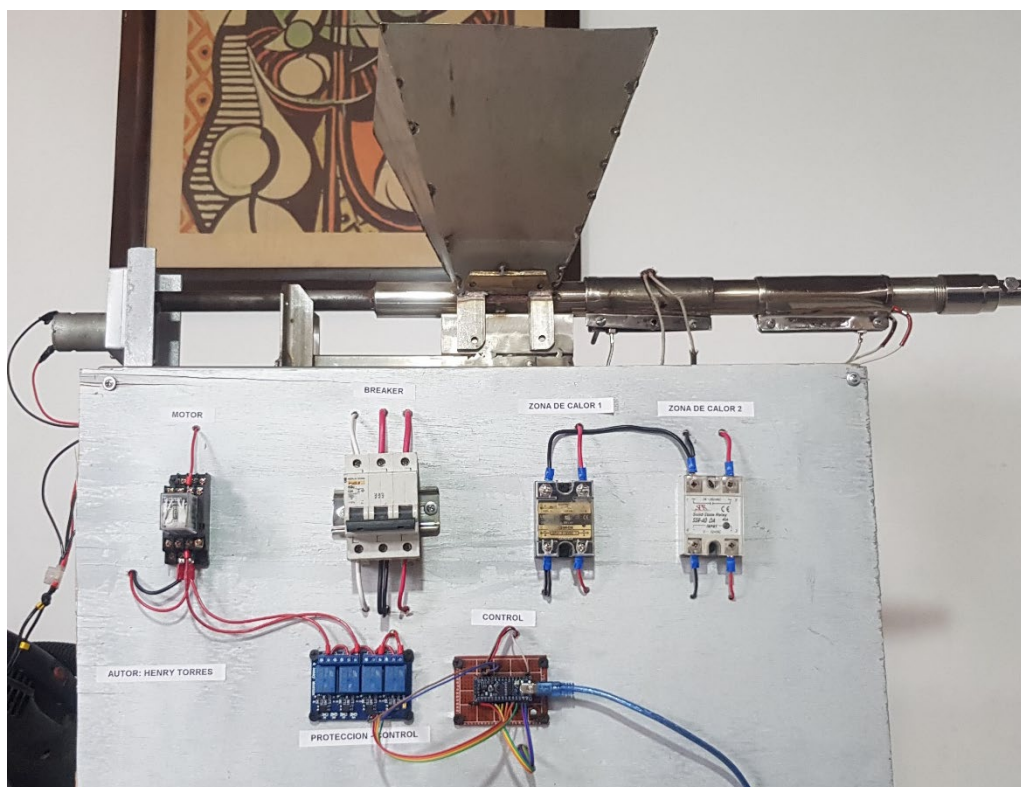


Figura 66. Ensamble e implementación eléctrica y electrónica en la máquina extrusora. [Autor].

4.2 SISTEMA DE CONTROL PID

Se sabe que el control PID permite controlar las variables de un sistema cerrado y que este alcance su salida deseada, donde **P** depende del error actual, **I** depende de los errores pasados y **D** es la predicción de los posibles errores futuros. Para ello se, se tuvo que realizar un código que nos permitiera que el controlador trabajase de una forma óptima.

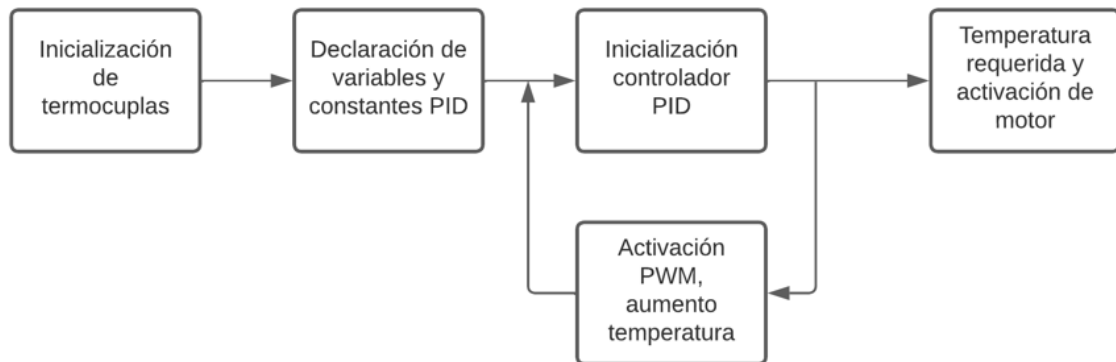


Figura 67. Diagrama de bloques del código realizado para el controlador PID. [Autor].

En la figura 67, se muestra el diagrama de bloques del código que se realizó, para el controlador PID, donde inicialmente se inicializa el código con la librería del max6675 para poder que se inicialice la medición de temperatura por medio de los sensores termocuplas tipo K, luego se declaran las variables a usar y las constantes del controlador PID. Se inicializa el controlador donde se tendrá en cuenta el setpoint y así poder activar el pwm para aumento de la temperatura en cada zona de calor, por último, se obtiene la temperatura requerida y por consiguiente se activa el motor.

```
//PID constants
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float kp = 28.47;   float ki = 0.1841;   float kd = 63.41;
float PID_p = 0;   float PID_i = 0;   float PID_d = 0;
/////////////////////////////////////////////////////////////////

//PID 2 constants
/////////////////////////////////////////////////////////////////
float kp2 = 29.49;   float ki2 = 0.1784;   float kd2 = 76.99;
float PID_p2 = 0;   float PID_i2 = 0;   float PID_d2 = 0;
/////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Figura 68. Declaración de las constantes con su valor para el controlador PID. [Autor].

En la figura 68, se observa la declaración de las constantes con su respectivo valor que se utilizó para la planta.

Ahora en la figura 69 y figura 70, observamos el comportamiento de cada PID en simulación.

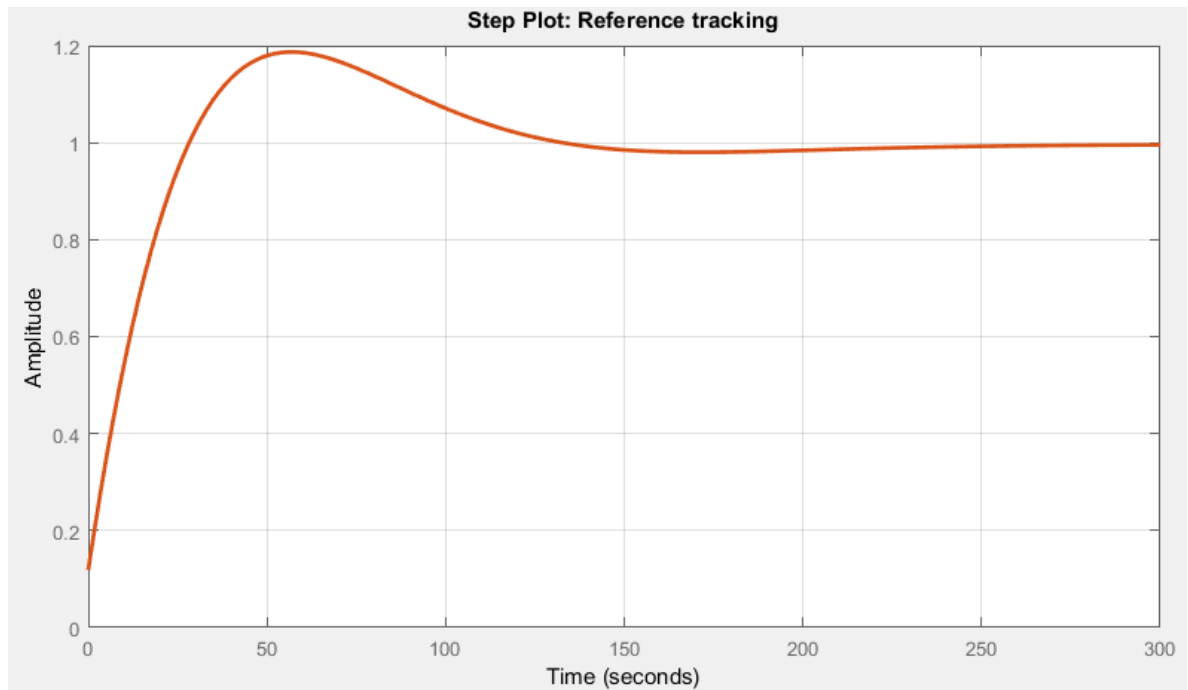


Figura 69. Comportamiento del primer sensor, aplicando el control PID en PID TUNER. [Autor].

En la figura 69, se muestra el comportamiento del primer sensor establecido en la zona de calor 1. Este comportamiento simulado se desarrolló por la inclusión de la función de transferencia en el PID tuner y asignando el tipo de controlador a utilizar.

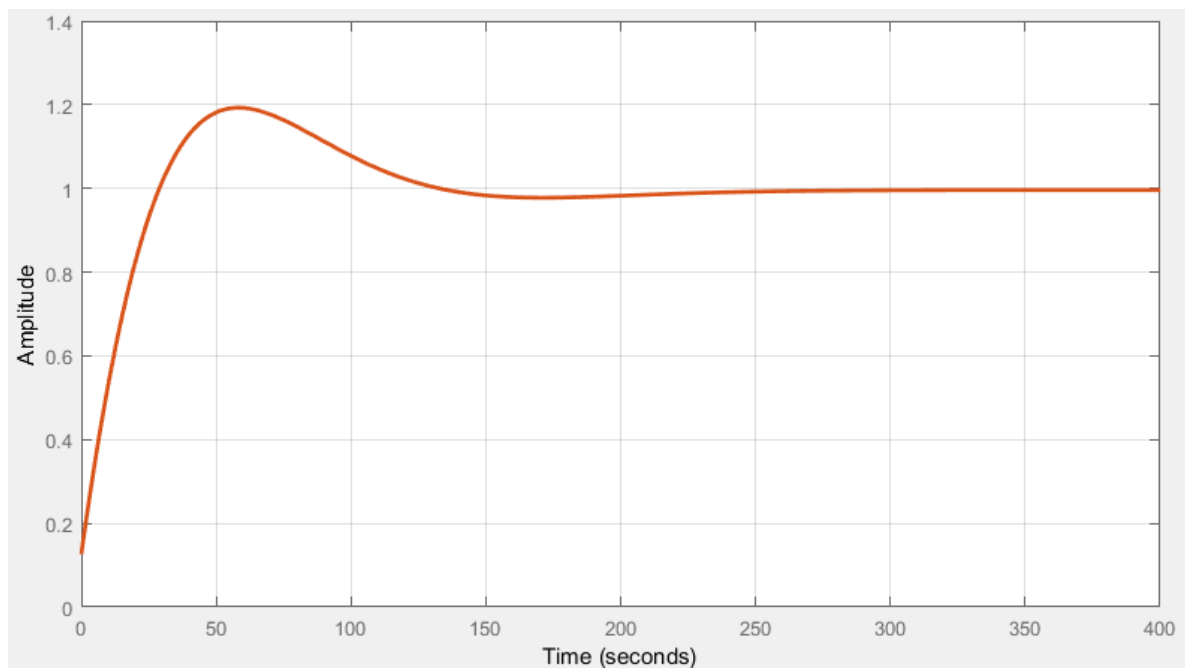


Figura 70. Comportamiento del segundo sensor, aplicando el control PID en PID TUNER. [Autor].

En la figura 70, se observa el comportamiento del segundo sensor establecido en la zona de calor 2. El comportamiento simulado del segundo sensor se llevó a cabo por la importación de la función de transferencia en el PID tuner y asignando el tipo de controlador a utilizar.

Las simulaciones muestran el comportamiento ideal que debería tener el controlador PID en cada sensor.

4.3 MANUAL DE OPERACIÓN

Antes de iniciar a operar la máquina extrusora se debe verificar las conexiones eléctricas y tener suficiente materia prima. Luego se dé esto si se inicia con el proceso de operación de la máquina. Para la operación se tiene en cuenta los siguientes ítems:

- Conectar a la fuente de poder las resistencias y el motor del husillo.
- Esperar a que el sistema alcance aproximadamente la temperatura requerida.
- Cuando la temperatura este aproximadamente en su punto, activar el motor del husillo y esperar a que se estabilice la temperatura.
- Insertar la materia prima en la tolva de alimentación.
- Al iniciar la salida del cordón extruido, acoplarlo al rodete de enrollar el material y esperar para activar el motor acoplado al rodete.
- Por último, cuando se termine de extruir se debe apagar los equipos en este orden: Motor del rodete – Desconexión de resistencias – Motor husillo.

En caso de que le quede materia prima en la tolva de alimentación, retírela para posteriormente realizarle la limpieza a la máquina extrusora.

4.4 MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA MÁQUINA EXTRUSORA

Teniendo en cuenta que la máquina operara bajo condiciones extremas por su temperatura, los componentes pueden llegar a presentar fallas. Para ello, se tiene lo siguiente:

- Si el husillo por las altas temperaturas se llega a dañar (doblar), se recomienda cambiar para no dañar o alterar el barril y los cordones extruidos.
- Si el motor no es de alta potencia, se recomienda bajarlo para realizarle mantenimiento cada final de extrusión.
- En caso que las conexiones eléctricas o electrónicas presenten fallas, cambiarlas antes de que se queme algún componente.

Para la limpieza de la máquina se tiene:

- Si queda material pegado al barril y husillo, se recomienda volver a encender las resistencias y por consiguiente el motor.
- Para una limpieza más profunda, se recomienda desensamblar la parte electrónica que está conectada a la máquina.
- Desensamblar cada pieza que componga la máquina extrusora.
- Para la tolva, se recomienda limpiarla y pulirla en caso de que se pierda sus brillantes.
- Para el barril y boquilla, se recomienda limpiarla con una esponja de brillo para quitar los residuos que queden en él.
- Para el husillo, se recomienda pulirla para que las aspas no pierdan filo y permite quitar los residuos de material que quedan.

4.5 LIMITACIONES DE LA MÁQUINA.

Es importante, saber que limitaciones presenta nuestra maquina extrusora, por ello, se describen a continuación algunas de las limitaciones más importantes. Entre ellas:

- No se puede extruir materiales metálicos.
- No se recomienda extruir material ABS, por su emanación de compuestos tóxicos, que pueden ser algo nocivos para la salud.
- La máquina no debe trabajar a temperaturas más altas de lo requerido porque puede ocasionar un daño al husillo.
- No dejar la máquina en lugares corrosivos o sitios donde se pueda mojar.

- Se debe dejar enfriar la máquina después de una extrusión para evitar sobrecalentamientos en el motor.
- No conectar la máquina a energías superiores a 110V.
- Evitar el acercamiento de las mascotas, niños o personas que no sepan el funcionamiento de la máquina.

4.6 COSTOS

Cuando se realizan proyectos, se debe tener en cuenta los costos de inversión. Estos costos nos dicen que tan viable o no es nuestro proyecto para fabricación y ventas, aunque este es un prototipo personal, se deben describir el costo de fabricación del prototipo. A continuación, se describen en:

Descripción	Material y/o Componente	Cantidad	Reciclado Comprado	Lugar – sitio o pertenencia	Costo (COP)
Tolva	Lamina acero inoxidable	1	Reciclado	Centro de reciclaje	\$15.000
Barril	Tubo acero inoxidable	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$10.000
Soporte	Tubo cuadrado acero inoxidable	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$0.0
	Ángulos acero inoxidable	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$0.0
	Tornillos acero	4	Reciclado	Taller ornamentación	\$0.0
	Ángulos acero	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$0.0
Husillo	Tubo acero	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$5.000
	Resorte acero inoxidable	1	Reciclado	Centro de reciclaje	\$20.000
Mesa	Tubo cuadrado acero	1	Reciclado - Comprado	Taller de ornamentación	\$10.000
Boquilla	Tornillos acero inoxidable	2	Comprado	Ferretería	\$6.000
	Conector acero inoxidable	1	Comprado	Ferretería	\$4.000
	Barra acero inoxidable	1	Reciclado	Taller ornamentación	\$0.0
Sensor y control temperatura	Termocupla tipo K y	2	1 reciclada – 1 Comprada	Mia - Mercado libre	\$20.000

	Max6675				
	Resistencias tipo abrazadera	2	1 reciclada – 1 comprada	Regalada – Tienda industrial (POTENCIA)	\$80.000
	SSR – Relé estado sólido	2	1 reciclada – 1 comprada	Regalado – Tienda industrial (POTENCIA)	\$80.000
Microcontrolador	Arduinos	2	Reciclados	Mio	\$0.0
Protección microcontrolador	Modulo relé	1	Reciclado	Mio	\$0.0
	Relay con soporte	1	Reciclado	Mio	\$0.0
Enfriamiento	Ventilador	1	Reciclado	Mio	\$0.0
Funcionamiento husillo	Motor con caja reductora	2	Reciclados	Mio – prestado	\$0.0
Conexiones eléctricas	Pack cables jumper	1 x 40	Comprado	Mercado libre	\$8.000
	Cable 3mts	1	Comprado	Ferretería	\$3.000 1mts \$9.000
	Extensiones eléctricas	3	Reciclado	Mio	\$0.0
	Cable dúplex	1	Reciclado	Mio	\$0.0
Corte y pulida	Pack Disco de corte	10	Comprado	Ferretería	\$20.000
	Disco flap	2	Comprado	Ferretería	\$5.000 u \$10.000
	Disco de pulir	2	Comprado	Ferretería	\$5.000 u \$10.000
Soldadura	Electrodos	3	Comprado	Taller ornamentación	\$2.000
Mano de obra	Mano de obra personal	-	-	Taller ornamentación	\$0.0
Adicionales	Transporte Mio	-	-	-	\$20.000
	Refrigerio	-	-	-	\$20.000
	Extras	-	-	-	\$50.000
Total					\$400.000

Tabla 37. Costos de la implementación del prototipo de máquina extrusora. [Autor].

En la Tabla 34, se describen los costos de los materiales, componentes, mano de obra o adicionales “imprevistos”, que surgieron. El total que nos dio fue de \$400.000 COP o pesos colombianos, pero se estimó un total de \$500.000 COP/pesos colombianos, por la subida de los precios en todos los artículos.

Cabe mencionar que los artículos que dice Mio, es porque ya los tenía por la utilización en otros proyectos, también algunos han sido regalados o simplemente se han conseguido al reparar máquinas industriales.

4.7 VALIDEZ CONTROLADOR PID

La validez del controlador se llevó a cabo por medio de una comparación entre el código realizado y la librería PID que tiene el Arduino IDE, teniendo en cuenta que cada código cumple la misma función, pero su estructura es bastante diferente.

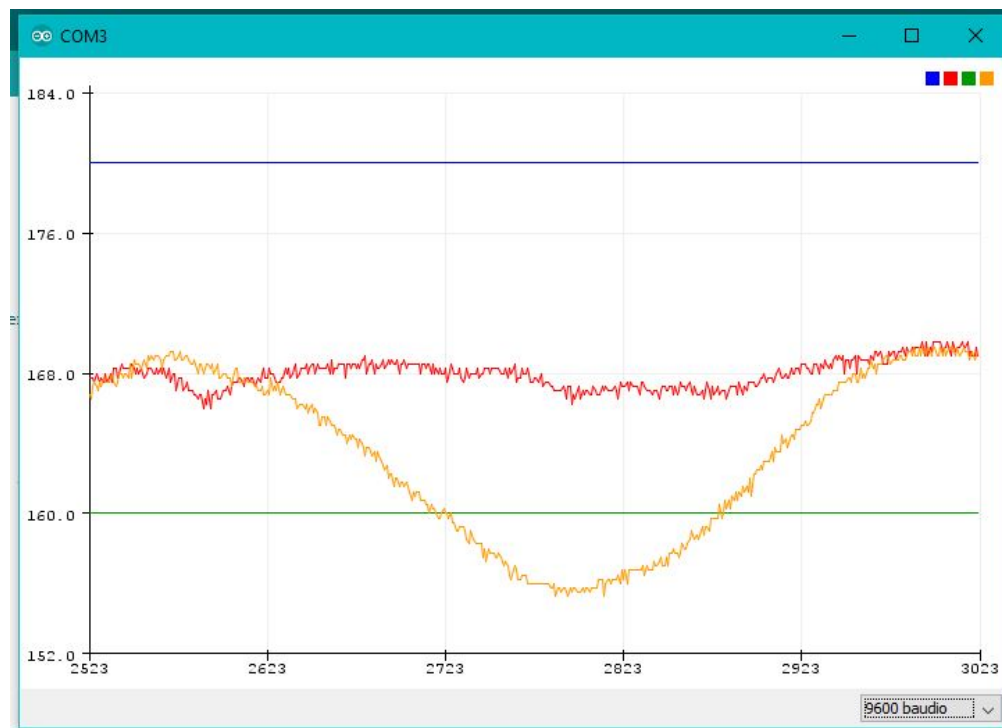


Figura 71. Controlador PID, realizado con la librería. [Autor].

En la figura 71, se observa el controlador PID implementado por medio de la librería PID que nos otorga Arduino IDE. Evidenciamos los dos Setpoint's y las señales de temperatura, donde, la señal de color amarillo es censada por el segundo sensor y la roja es censada por el primer sensor. La librería implementa unos parámetros de subida y de bajada al setpoint de los cuales no se puede salir. Para poder implementar esta librería toco realizarle unos ajustes al código que nos entrega, porque la activación del pwm lo realiza de 0 o 5 y de esa forma no funciona óptimamente la máquina extrusora.

La librería de PID en arduino IDE que se utilizó, toco realizarle modificaciones para poder ajustarla lo más próximo al funcionamiento de la máquina extrusora, en cuanto a el funcionamiento del pwm.

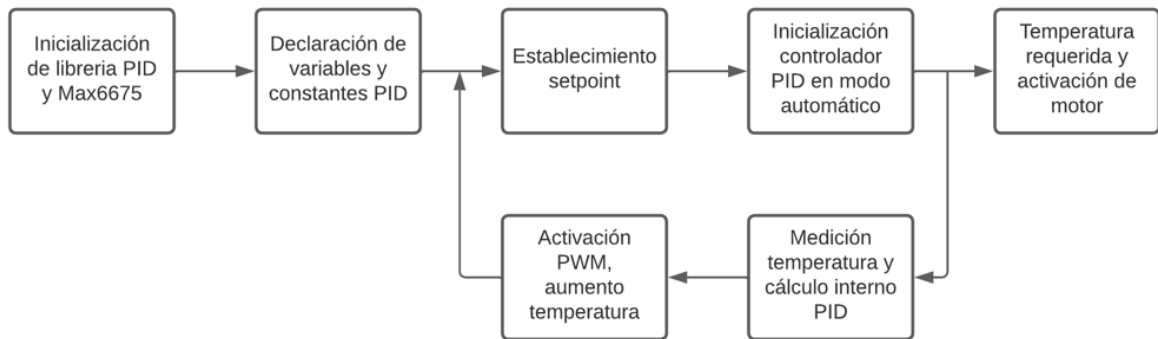


Figura 72. Diagrama de bloques del código de la librería PID y modificaciones. [Autor].

La figura 72, muestra el diagrama de bloques que implementa el controlador PID de la librería PID de arduino, donde lo primero es la inicialización de las librerías del PID y del max6675, luego se declaran las variables y las constantes del controlador, dichas variables se declaran en double y se asignan las variables al controlador PID. Posteriormente se establece el setpoint y se inicializa el controlador en modo automático donde este realiza la medición de temperatura para que el PID ejecute los cálculos internos y determinar si está en el setpoint y si no, activara el pwm para poder aumentarla la temperatura y llegar a lo último a la temperatura deseada y poder activar el motor.

```

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
PID myPID2(&Input2, &Output2, &Setpoint2, Kp2, Ki2, Kd2, DIRECT);

```

Figura 73. Inicialización del PID. [Autor].

En la figura 73, se observa como se inicializa el controlador PID, asignándole las variables previamente usadas y de forma directa. Las variables setpoint, Kp, Ki y Kd ya tienen su valor de constantes y han sido declaradas en double.

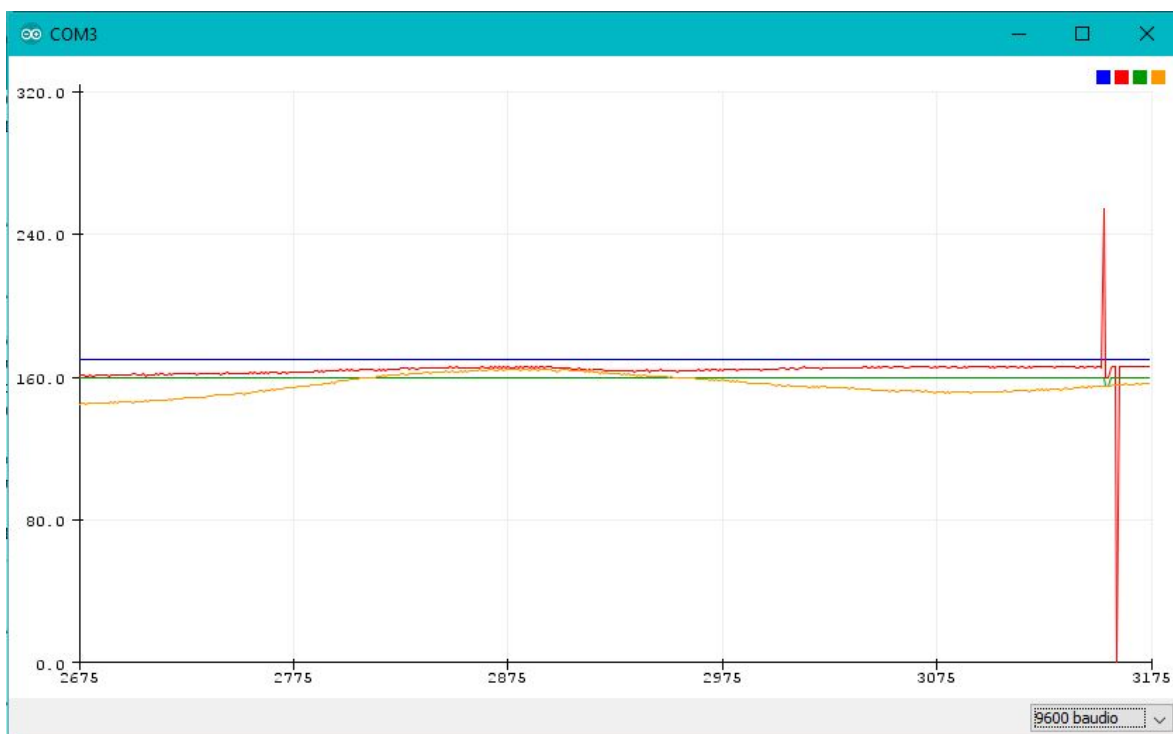


Figura 74. Controlador PID en tiempo real, código implementado. [Autor].

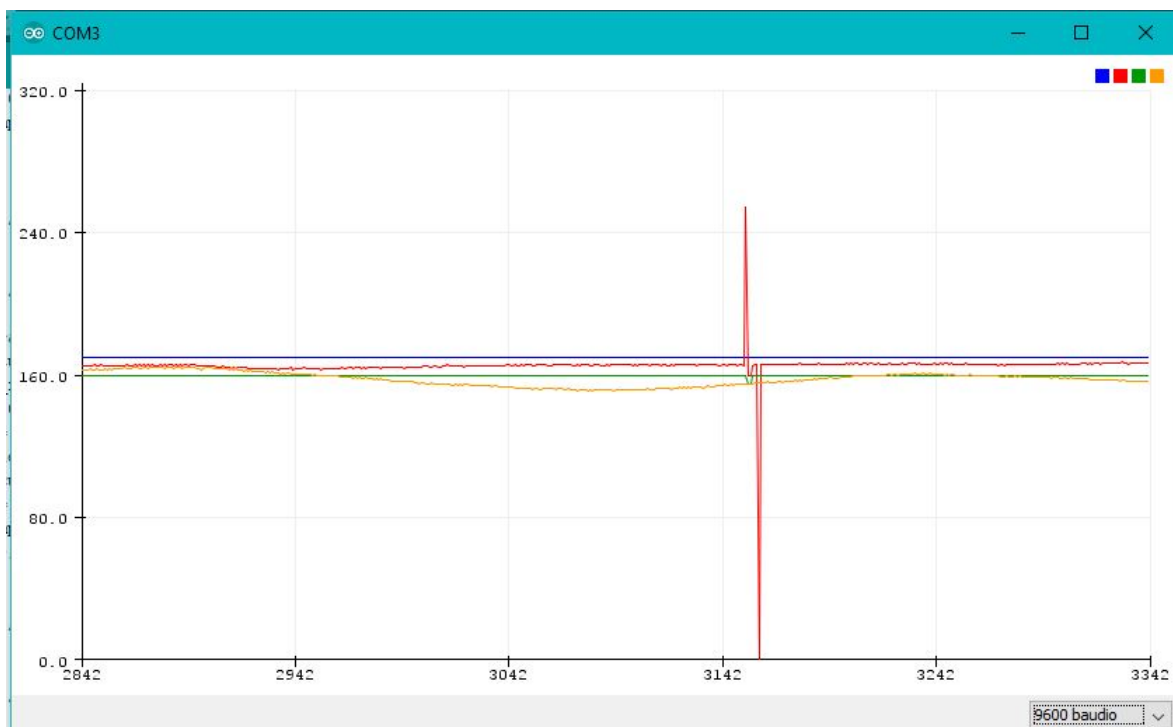


Figura 75. Controlador PID en tiempo real en otro lapso de tiempo, código implementado. [Autor].

En la figura 74 y 75, se observa la validación del código implementado sin la librería PID. Unas de las principales comparaciones son su tamaño de líneas de código, por otro lado, los sobre picos que se crean, esto ocurre por la desactivación y activación de los SSR tan rápida, cosa que no ocurre con el código de la librería PID.

En la figura 76, se evidencia una simulación realizada con ambas funciones de transferencias y sus valores de constante del PID, esto con el fin de validar el controlador PID realizado.

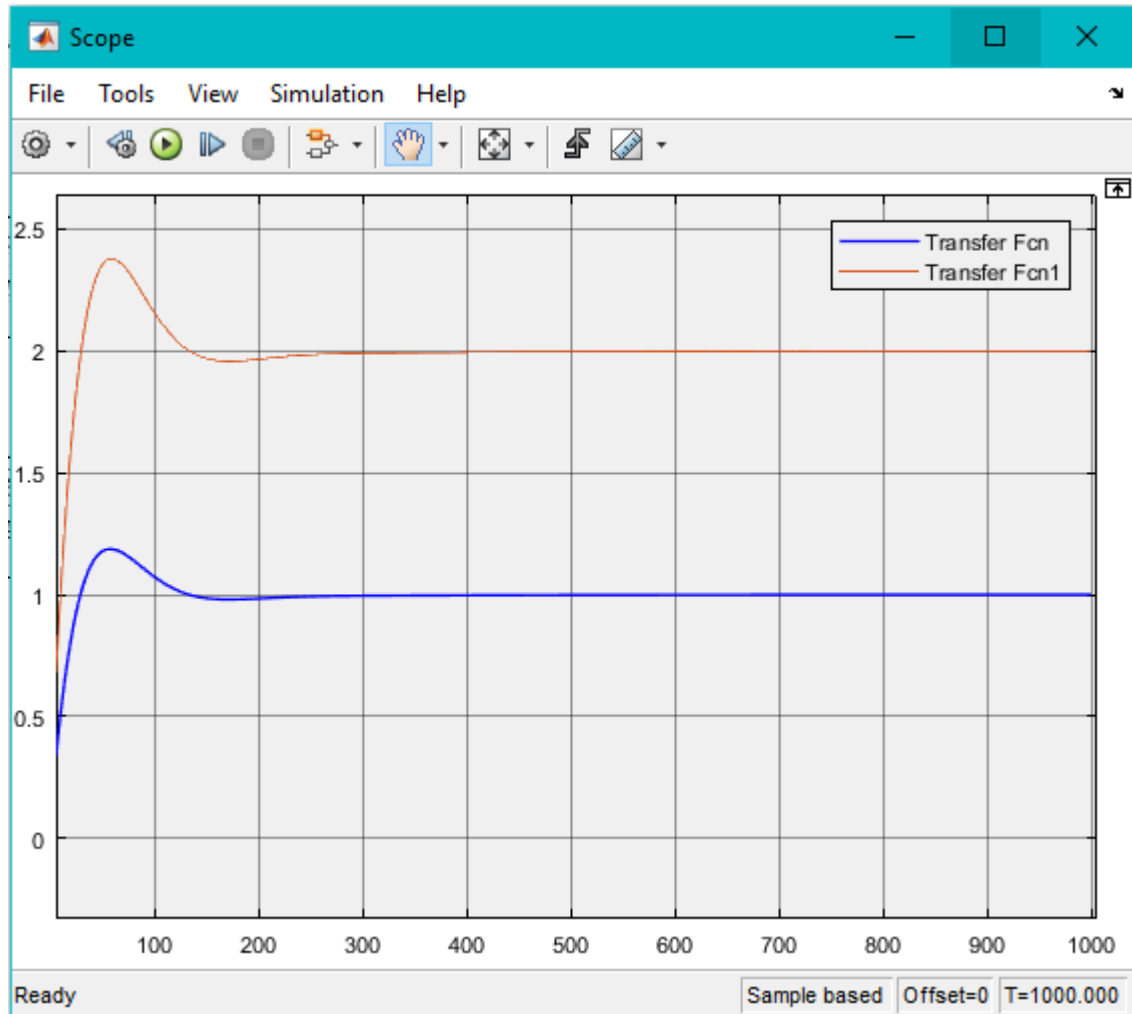


Figura 76. Simulación en Simulink de las funciones de transferencia y sus constantes de PID de los 2 sensores de temperatura. [Autor].

4.8 INTERFAZ

Se desarrollo una pequeña interfaz en el software de LabVIEW, para la activación de inicio del motor de la máquina extrusora. También, para observar el censado de la temperatura. En la figura 77, se puede observar la interfaz realizada. En la

figura 78, se evidencia como se realiza la lectura temperatura. Por último, en la figura 79, se muestra como realizamos la escritura para la activación del motor.

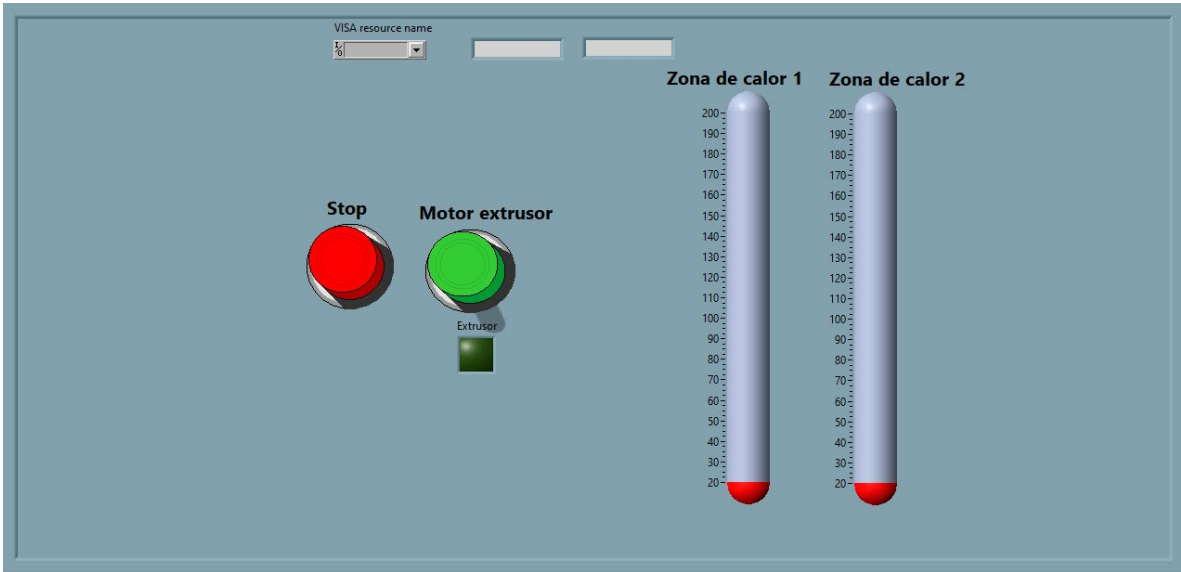


Figura 77. Interfaz para activación de motor y monitoreo de la temperatura. [Autor].

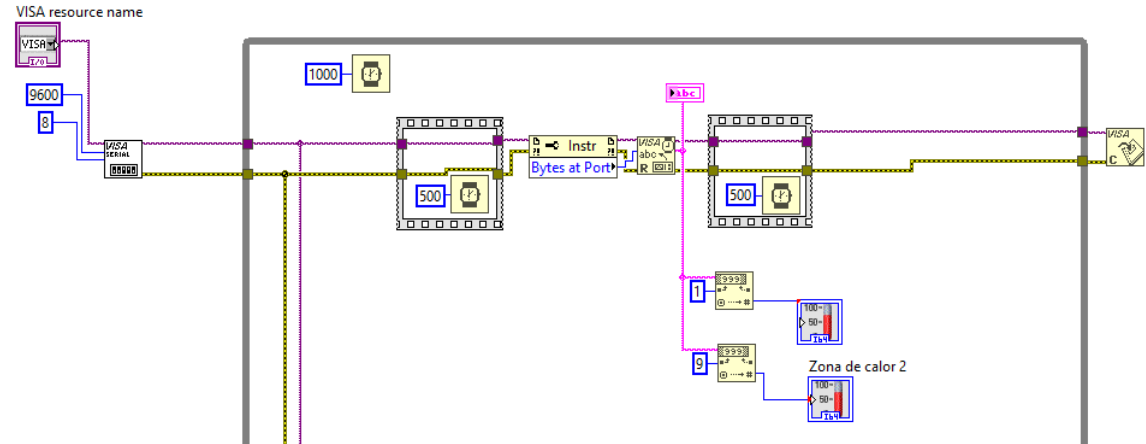


Figura 78. Programación para la lectura de la temperatura de ambos sensores. [Autor].

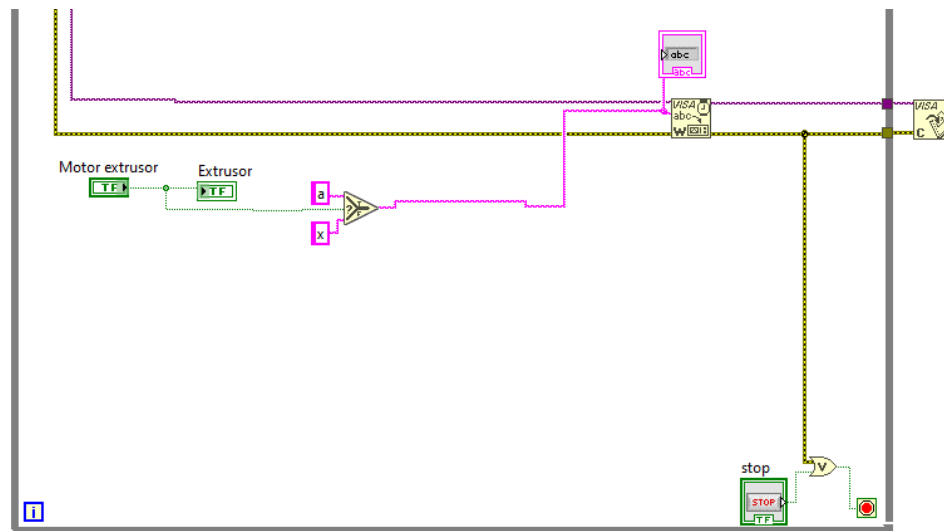


Figura 79. Programación para la escritura y activación del motor de la máquina extrusora. [Autor].

Toda esta comunicación entre el software de LabVIEW y el microcontrolador arduino se realiza por medio de comunicación serial.

5. CONCLUSIONES

La implementación de un prototipo de máquina extrusora, es bastante satisfactorio porque ayuda a la descontaminación del medio ambiente, por todo el material que se puede perder al tener malos diseños, etc. Además, se pierde el capital invertido en la compra del filamento. Con este prototipo de máquina se puede reutilizar este material para volverlo a usar en nuevas impresiones teniendo en cuenta que también se pueden extruir otros tipos de plásticos para generar nuevos filamentos.

Se considera que la automatización en las máquinas industriales es muy necesario para evitar laceraciones físicas, por lo mismo, la implementación de un control PID nos ayuda a que nuestra máquina llegue a su temperatura desea sin que la persona tenga que intervenir, facilitando el trabajo.

Se realizó el manual de operación, limpieza y mantenimiento del prototipo de máquina extrusora, para facilitarle a las personas que no tengan muchos conocimientos en el tema, lo entienda y eviten alguna laceración o daño a la misma máquina.

Se recomienda este tipo de proyecto por su ayuda al medio ambiente, además, de una forma de ingresos adicionales si la utilizan para producir bastante material de filamento PLA o de otro tipo de plástico. Por otro lado, si se trabaja en conjunto le pueden agregar mucha más tecnología para un mejor funcionamiento y trabajo de la máquina.

La validación de la maquina solo se pudo realizar una vez por falta de materia prima y por precauciones con el husillo, ya que no fue fabricado con los mejores materiales. Igualmente falto realizar más validaciones de funcionamiento, pero por problemas familiares no se pudo. Por consiguiente, la realización de esta máquina extrusora si resulto ser bajo costo como se había estimado, gracias a las idas a los centros de reciclaje y a los residuos restantes en talleres de ornamentación.

La validación del controlador de temperatura se realizó con el motor encendido para comprobar que no hubiera variaciones en la temperatura. También cabe mencionar que no la temperatura del sensor uno, zona de calefacción uno no llego a su setpoint porque la resistencia de calor eléctrica tipo abrazadera ya se encuentra bastante deteriorada y esto puede influir en su funcionamiento. Además, se encuentra optimo utilizar la librería PID que nos ofrece arduino IDE y nos evita tener demasiadas líneas de código.

6. TRABAJOS A FUTUROS

Son muchos los beneficios que se pueden obtener al implementar un prototipado de máquina extrusora para filamento de PLA, sino que también para los diferentes tipos de plástico hablando en general. Ya que nos permite reducir la contaminación ambiental que el plástico genera, además nos aporta beneficios si podemos ampliar nuestras ideas al momento de extruir todo ese plástico como, por ejemplo, la creación de nuevas bolsas, marcos para gafas, pulsos, pulseras, nuevos filamentos para impresión, etc. Todo esto se puede obtener de la extruir de cualquier plástico hasta se pueden mezclar y añadiéndolo a los moldes que tengan. Se puede mejorar la salida de caudal de la boquilla, también cambiar el microcontrolador por un PLC, al igual que el sensor de temperatura para tener el control PID muchísimo mejor, etc.

Se recomienda que, al momento de realizar otro trabajo de este tipo, se pueda realizar con un estudiante de ingeniería mecánica y así cada uno trabajar en su ámbito estudiantil, porque resulta muy pesado una sola persona hacerse cargo de todo el proyecto económicamente y no poder agregarse mejores actualizaciones tecnologías e industriales.

7. REFERENCIAS

- [1] JIMMY JOANE GÓMEZ GÓMEZ y JORGE EDWIN GUTIÉRREZ BEDOYA, «DISEÑO DE UNA EXTRUSORA PARA PLASTICOS», *NOVIEMBRE*, 2007.
- [2] ROOSEVELTH CIFUENTES, «DISEÑO DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA EMPRESA PLASTIK DE OCCIDENTE», 2011.
- [3] GEIBER HERNANDO ACUÑA FONSECA MIGUEL EDREY SALAMANCA VANEGAS, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA EXTRUSORA PARA LA FABRICACIÓN DE FILAMENTOS TERMOPLÁSTICOS PARA IMPRESORA 3D», n.º June, 2016.
- [4] Luis Francisco Ramos, «Extrusión de plásticos», Limusa, Ed. 1993, p. 69.
- [5] LEONEL ISMAEL FLORES SALAZAR, *Máquina Extrusora Para Reciclaje De Plástico*. 2013.
- [6] I. C. Rodelo, «Proceso de extrusión».
- [7] L. Chaunier, G. Della Valle, D. Lourdin, A.-L. Réguerre, K. Cochet, y E. Leroy, «Viscous sintering kinetics of biopolymer filaments extruded for 3D printing», *Polym. Test.*, vol. 77, p. 105873, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.04.020>.
- [8] L. Viidik *et al.*, «Preparation and characterization of hot-melt extruded polycaprolactone-based filaments intended for 3D-printing of tablets», *Eur. J. Pharm. Sci.*, vol. 158, n.º May 2020, 2021, doi: 10.1016/j.ejps.2020.105619.
- [9] D. de I. M. y de M. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, «La extrusión de materiales polímeros», 2012.
<https://www.upv.es/bin2/caches/miw/visfit?id=510532&idioma=C>.
- [10] C. A. GARCÍA ACEVEDO, «Diseño de una extrusora para filamento de impresión 3D», *Univ. Chile*, p. 77, 2015, [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/135054/Diseno-de-una-extrusora-para-filamento-de-impresion-3D.pdf;sequence=1>.
- [11] H. Wang, «Construction and discrete processing of screw extruder based on three-dimensional spiral model», *Microprocess. Microsyst.*, vol. 82, p. 103946, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103946>.
- [12] P. Geng *et al.*, «Effects of extrusion speed and printing speed on the 3D printing stability of extruded PEEK filament», *J. Manuf. Process.*, vol. 37, n.º April 2018, pp. 266-273, 2019, doi: 10.1016/j.jmapro.2018.11.023.
- [13] A. Marcilla y M. Beltrán, «Tecnología de Polímeros», *Tecnol. Polímeros*, p. 281, 2012, [En línea]. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16897/1/TEMA_4_extrusion.pdf.
- [14] G. Moya, «Estudio, diseño, simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico», p. 57, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72723/MOYA - Estudio%2C diseño%2C simulación y optimización de una matriz de extrusión de plástico..pdf?sequence=1>.
- [15] M. B. Rico y A. Marcilla, «Tecnología de polímeros», p. 103, 2012, [En línea]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=jxilUUn4_QAC&lpg=PA4&pg=PA4&hl=es#v=onepage&q&f=false.
- [16] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. 2008.
- [17] S. Kalpakjian, «Manufactura, ingeniería y tecnología», vol. Quinta Edi, p. 212, 2008, [En línea]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/63289687/manufactura-ingenieria-y-tecnologia-5ed-kalpakjian>.
- [18] E. Azizoğlu y Ö. Özer, «Fabrication of Montelukast sodium loaded filaments and 3D printing transdermal patches onto packaging material», *Int. J. Pharm.*, vol. 587, n.º June, p. 119588, 2020, doi: 10.1016/j.ijpharm.2020.119588.
- [19] P. Byrley, M. A. Geer Wallace, W. K. Boyes, y K. Rogers, «Particle and volatile organic compound emissions from a 3D printer filament extruder», *Sci. Total Environ.*, vol. 736, p. 139604, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139604.
- [20] L. A. Montero Palacios, «Métodos físico-químicos de caracterización de las fibras de

- polilactida», *TDX (Tesis Dr. en Xarxa)*, oct. 2012, Accedido: may 22, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://tdx.cat/handle/10803/96986>.
- [21] HETPRO/TUTORIALES, «Microcontrolador». <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>.
 - [22] R. Vargas, R. Santiago, y M. Patiño, «Diseño y Construcción de un Controlador de Temperatura Programable para una Máquina Extrusora», *Rev. Colomb. Física*, vol. 40, n.º 2, 2008, [En línea]. Disponible en: www.venezuelaenplastico.Com/extrusion.
 - [23] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*. 2013.
 - [24] E. Usuales, «Acciones de Control», *Control*, n.º Plan 2004, pp. 1-19, 2001.
 - [25] G. H. M. De Arruda, «Controladores PID Industriais», pp. 1-24, 2000.
 - [26] J. industrial technology S.A, «RESISTENCIAS CALEFACTORAS». <https://www.jmi.com.mx/resistencias-calefactoras>.
 - [27] DEWESoft, «¿Qué es un Sensor y Qué Hace?», 2020. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>.
 - [28] TRANSELEC, «QUÉ ES UN MOTOR ELÉCTRICO Y CÓMO FUNCIONA». <https://www.transelec.com.ar/soporte/18450/que-es-un-motor-electrico-y-como-funciona/>.
 - [29] TC.SA, «Termocupla tipo K». https://www.tc-sa.es/acerca_tc.html.
 - [30] GEEK Factory, «Módulo MAX6675». <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/max6675-modulo-interfaz-termopar/>.

8. ANEXOS

Planos extrusora.

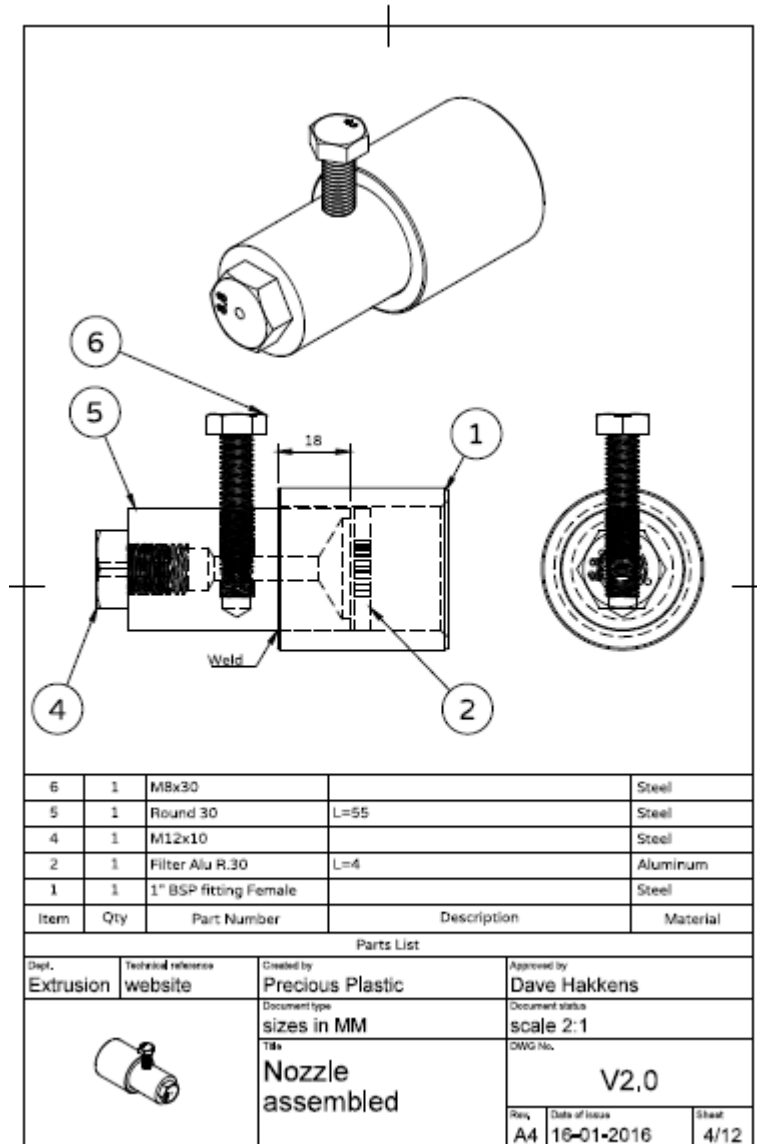


Figura 80. Plano de la boquilla.

Fuente: <https://community.preciousplastic.com/academy/download>

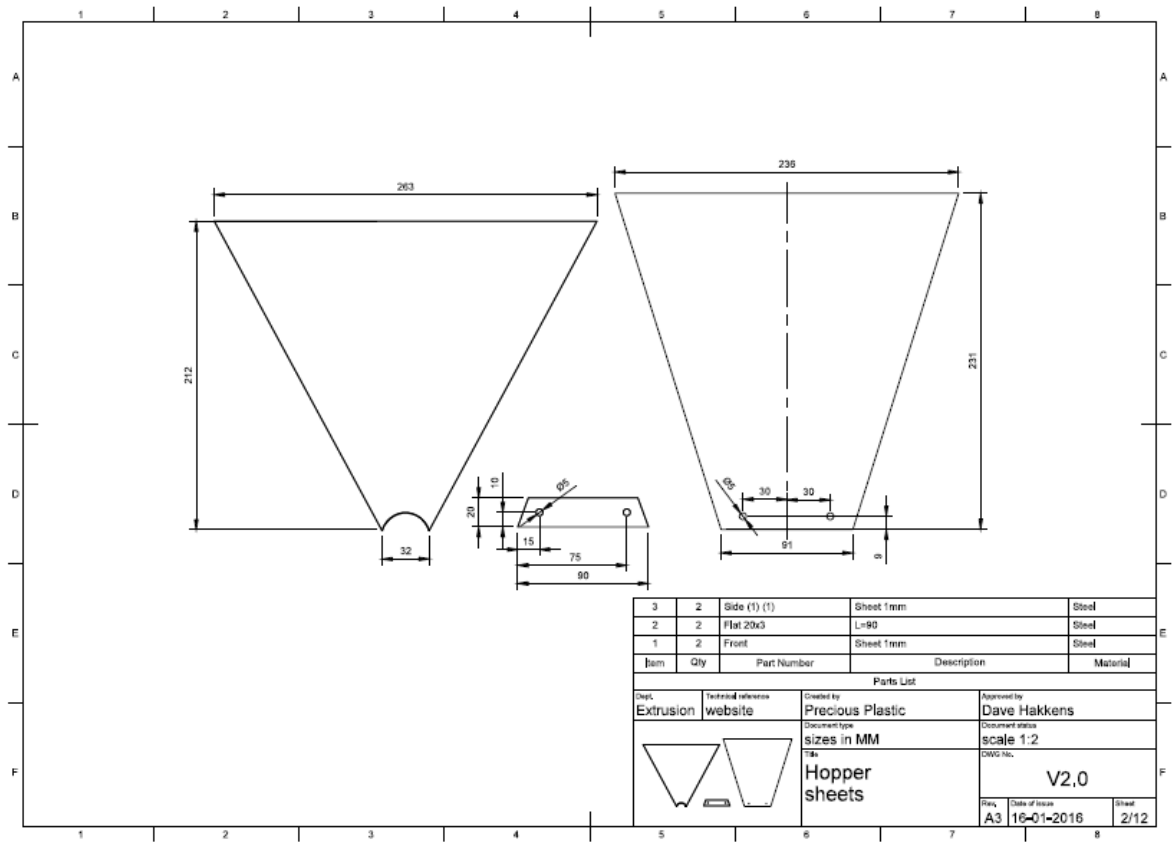


Figura 82. Plano de la tolva.

Fuente: <https://community.preciousplastic.com/academy/download>

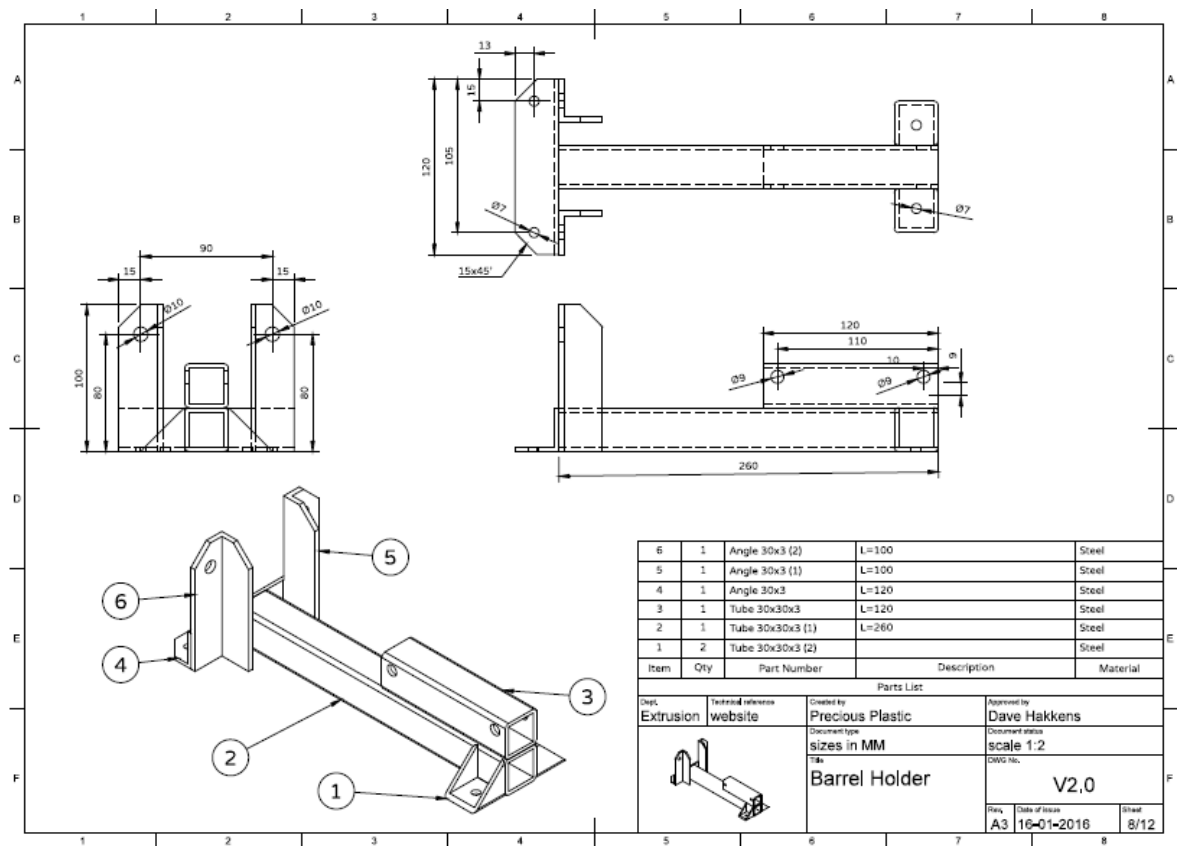


Figura 83. Plano de soporte.

Fuente: <https://community.preciousplastic.com/academy/download>

Código Implementado.

```
#include "max6675.h"

//Termocupla 1
int thermoDO = 11;
int thermoCS = 12;
int thermoCLK = 13;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

//Termocupla 2
int thermoDO2 = 4;
int thermoCS2 = 5;
int thermoCLK2 = 6;

MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);

int SSR = 3;
int SSR2 = 9;

//Variables Temperatura 1
float set_temperature = 170;
float temperature_read = 0.0;
float tem_read = 0;
float PID_error = 0;
float error_Anterior = 0;
float tiempoTranscurrido, Tiempo, tiempoAnterior;
float PID_valor = 0;
float last_set_temperature = 0;
float pwm_SSR = 0;

//PID constants
////////////////////////////////////
float kp = 28.47; float ki = 0.1841; float kd = 63.41;
float PID_p = 0; float PID_i = 0; float PID_d = 0;
////////////////////////////////////

//Variables Temperatura 2
float set_temperature2 = 160;
float temperature_read2 = 0.0;
float tem_read2 = 0;
float PID_error2 = 0;
float error_Anterior2 = 0;
float tiempoTranscurrido2, Tiempo2, tiempoAnterior2;
float PID_valor2 = 0;
float last_set_temperature2 = 0;
float pwm_SSR2 = 0;

//PID 2 constants
////////////////////////////////////
int kp2 = 29.49; int ki2 = 0.1784; int kd2 = 76.99;
int PID_p2 = 0; int PID_i2 = 0; int PID_d2 = 0;
////////////////////////////////////

//Variable motor.
char var;
String var1;
int motor=8;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(SSR,OUTPUT);
  TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | 0x03; // pin 3 and 11 PWM frequency of 928.5 Hz
  Tiempo = millis();
  pinMode(SSR2,OUTPUT);
```

```

pinMode(motor,OUTPUT);

}

void loop() {
  if(Serial.available())
  {
    var = Serial.read();
    if(var=='a') //Motor
    {digitalWrite(motor,LOW);}
    else{digitalWrite(motor,HIGH);}
  }

  tem_read = thermocouple.readCelsius();
  tem_read2 = thermocouple2.readCelsius();
  Serial.print(set_temperature);
  Serial.print(" , ");
  Serial.print(tem_read);
  Serial.print(" , ");
  Serial.print(set_temperature2);
  Serial.print(" , ");
  Serial.println(tem_read2);

  //Para la derivada necesitamos tiempo real para calcular la tasa de cambio de velocidad
  tiempoAnterior = Tiempo; // la hora anterior se almacena antes de la lectura de la hora real
  Tiempo = millis(); // lectura en tiempo real
  tiempoTranscurrido = (Tiempo - tiempoAnterior) / 1000;

  temperature_read = thermocouple.readCelsius();// Primero se lee el valor real de la temperatura.
  tem_read = 1000 + thermocouple.readCelsius();
  PID_error = set_temperature - temperature_read;//Luego calculamos el error entre el set point y la temperatura real.
  PID_p = kp * PID_error;//Calcular el valor de P
  PID_i = PID_i + (ki * PID_error);//Calcular el valor de I
  PID_d = kd*((PID_error - error_Anterior)/tiempoTranscurrido);//Ahora podemos calcular el valor D
  PID_valor = PID_p + PID_i + PID_d;//El valor PID total final es la suma de P + I + D
  PID_valor = map(PID_valor, 0, 100, 0, 255);

  //Definimos rango de PWM entre 0 y 255
  if(PID_valor < 0)
  { PID_valor = 0; }
  if(PID_valor > 255)
  { PID_valor = 255; }

  pwm_SSR = 255 - PID_valor;

  analogWrite(pwm_SSR,255-PID_valor);
  error_Anterior = PID_error;

  tiempoAnterior2 = Tiempo2; // la hora anterior se almacena antes de la lectura de la hora real
  Tiempo2 = millis(); // lectura en tiempo real
  tiempoTranscurrido2 = (Tiempo2 - tiempoAnterior2) / 1000;

  temperature_read2 = thermocouple2.readCelsius();// Primero se lee el valor real de la temperatura.
  tem_read2 = 1000 + thermocouple2.readCelsius();
  PID_error2 = set_temperature2 - temperature_read2;//Luego calculamos el error entre el set point y la temperatura real.
  PID_p2 = kp2 * PID_error2;//Calcular el valor de P
  PID_i2 = PID_i2 + (ki2 * PID_error2);//Calcular el valor de I
  PID_d2 = kd2*((PID_error2 - error_Anterior2)/tiempoTranscurrido2);//Ahora podemos calcular el valor D
  PID_valor2 = PID_p2 + PID_i2 + PID_d2;//El valor PID total final es la suma de P + I + D

  //Definimos rango de PWM entre 0 y 255
  if(PID_valor2 < 0)
  { PID_valor2 = 0; }
  if(PID_valor2 > 255)

```

```
{  PID_valor2 = 255; }  
  
pwm_SSR2 = 255 - PID_valor2;  
  
analogWrite(SSR2,pwm_SSR2);  
error_Anterior2 = PID_error2;  
  
delay(1000);  
}
```

Código de librería implementado.

```
#include <PID_v1.h>
#include "max6675.h"

#define tiempoCiclo 1000

//Termocupla 1
int thermoDO = 11;
int thermoCS = 12;
int thermoCLK = 13;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

//Termocupla 2
int thermoDO2 = 4;
int thermoCS2 = 5;
int thermoCLK2 = 6;

MAX6675 thermocouple2(thermoCLK2, thermoCS2, thermoDO2);

//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint, Input, Output;
double Setpoint2, Input2, Output2;
double Kp=28.47, Ki=0.1841, Kd=63.411;
double Kp2=29.49, Ki2=0.1784, Kd2=76.99;

int SSR1 = 3;
int SSR2 = 9;

float temp = 0;
float temp2 = 0;

unsigned long respuestaUltimaTemperatura = 0;
unsigned long lastPIDCalculation = 0;
float prevTemperature = -9999.0;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
PID myPID2(&Input2, &Output2, &Setpoint2, Kp2, Ki2, Kd2, DIRECT);

void setup()
{
  Setpoint = 180.0;
  Setpoint2 = 160.0;
  myPID.SetOutputLimits(0, tiempoCiclo);
  myPID.SetSampleTime(tiempoCiclo);
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);

  myPID2.SetOutputLimits(0, tiempoCiclo);
  myPID2.SetSampleTime(tiempoCiclo);
  myPID2.SetMode(AUTOMATIC);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setpoint, temp, Setpoint2, temp2");
  pinMode(SSR1, OUTPUT);
  pinMode(SSR2, OUTPUT);
}

void loop()
{
  if (millis() - respuestaUltimaTemperatura >= tiempoCiclo)
  {
    temp = thermocouple.readCelsius();
    Input = (double)temp;

    temp2 = thermocouple2.readCelsius();
```

```

Input2 = (double)temp2;

myPID.Compute();
myPID2.Compute();
lastPIDCalculation = millis();
Serial.print(Setpoint);
Serial.print(" , ");
Serial.print(temp);
Serial.print(" , ");
Serial.print(Setpoint2);
Serial.print(" , ");
Serial.println(temp2);
respuestaUltimaTemperatura = millis();

}
control();
}

void control()
{
  Output = map(Output, 0, 100, 0, 255);
  Output2 = map(Output2, 0, 100, 0, 255);

  //Definimos rango de PWM entre 0 y 255
  if(Output < 0)
  {  Output = 0;  }
  if(Output > 255)
  {  Output = 255; }

  if(Output2 < 0)
  {  Output2 = 0;  }
  if(Output2 > 255)
  {  Output2 = 255; }

  analogWrite(SSR1,255-Output);
  analogWrite(SSR2, 255 - Output2);

}

```