



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL
CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN
CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECÁNICA
DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniería en
Electromecánica.

Autores:

Acurio Lara Richard Sachary
Gutierrez Oña Edgar Emmanuel

Tutor:

Ing. Vásquez Carrera Paco Jovanni, MSc

LA MANÁ-ECUADOR

MARZO – 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Acurio Lara Richard Sachary y Gutierrez Oña Edgar Emmanuel, afirmamos ser los creadores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”, siendo el MSc. Vásquez Carrera Paco Jovanni, tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Asimismo, declaramos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son íntegramente de nuestra autoría y responsabilidad.



Acurio Lara Richard Sachary

C.I: 055003287-4



Gutierrez Oña Edgar Emmanuel

CI: 050450422-6

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ” de Acurio Lara Richard Sachary y Gutierrez Oña Edgar Emmanuel, considero que dicho informe investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aporte científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, marzo 2026



Ing. Vásquez Carrera Paco Jovanni MSc.

C.I 0501758767

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, por cuanto el postulante Acurio Lara Richard Sachary y Gutierrez Oña Edgar Emmanuel con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, 17 marzo del 2026

Para constancia firman:


PhD. Morales Tamayo Yoandrys
C.I 1756958797

LECTOR 1 (PRESIDENTE)


Ing. Borja Borja Cristian Darwin, M.Sc.
C.I 1719252585

LECTOR 2 (MIEMBRO)


Ing. Corrales Bonilla Johnatan Israel, M.Sc.
C.I 0503145518

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

"La trayectoria hacia la profesionalización ha sido un recorrido de gran exigencia, marcado por innumerables desafíos que pusieron a prueba nuestra determinación y resiliencia. No obstante, cada obstáculo encontrado en el camino fue superado con éxito gracias al invaluable respaldo y la guía constante de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Extensión La Maná.

Deseo expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todo el cuerpo docente y administrativo, cuya excelencia académica no solo nos brindó las herramientas técnicas necesarias, sino que, a través de su calidad humana, logró transformar esta institución en un auténtico segundo hogar. La formación recibida trasciende las aulas; es el resultado del compromiso inquebrantable de profesionales que ven en la enseñanza una misión de vida. La generosa hospitalidad y el espíritu de servicio son, sin duda, el sello distintivo de esta noble casa de estudios.

Es esa calidez, presente en cada persona que conforma la comunidad universitaria, lo que nos permitió encontrar la motivación necesaria para culminar esta etapa con honor. Nos despedimos con la gratitud de haber formado parte de una institución que no solo forma profesionales competentes, sino seres humanos íntegros y comprometidos con el desarrollo de nuestra sociedad.

Gutierrez

Acurio

DEDICATORIA

Quiero expresar mi agradecimiento primeramente a Dios por darme la vida y la fortaleza para poder cumplir mis metas. Mi familia fue un pilar muy fundamental por su apoyo incondicional, el cual fue de mucha ayuda en esta trayectoria de mi vida, quiero agradecer al Ingeniero Wellington Pincay y al Ingeniero Yoandrys Morales porque sin ellos no pudiera a ver iniciado este gran logro el cual me nombra como Ingeniero Electromecánico de la prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi. De manera especial agradecer a mi familia por siempre estar para mí, darme sus consejos y poder contar con alguien en momentos cruciales, agradecer a mi abuelita Teresita Acurio por haber marcado mi vida con su conocimiento y así impulsarme a ser mejor cada día. Por último, agradecer a mi novia y amigos por haberme brindado su ayuda y su tiempo y sobre todo su paciencia en momentos difíciles. A todos ellos les dedico este título, ya que fueron mi inspiración para poder darles lo mejor de mí.

Acurio

Sachary

DEDICATORIA

El camino que nos ha mostrado este proyecto nos hizo aprender y mirar más allá de todo nuestro entendimiento agradezco a sinceramente a mi familia principalmente a mi madre y mi abuela que fueron las que creyeron principalmente en mi persona y me dieron la fuerza y la inteligencia para salir adelante en esta investigación y poder sacar mi proyecto tesis, un agradecimiento especial también para los ingenieros que a pesar de que no fui uno de sus mejores estudiantes tuvieron la paciencia para enseñarme lo que ellos saben y formarme como un ingeniero en la prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi. Este título es para todas esas personas que creyeron en mí.

*Gutierrez
Emmanuel*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ

Autores:

Acurio Lara Richard Sachary
Gutierrez Oña Edgar Emmanuel

RESUMEN

El manejo inadecuado de residuos plásticos en entornos universitarios demanda soluciones tecnológicas accesibles, por lo que el presente proyecto implementa una máquina inyectora de plástico manual asistida por un cilindro neumático con control automático de temperatura para el laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, diseñada para procesar polietileno de alta densidad y polipropileno reciclado en un rango operativo de 180 °C a 250 °C mediante un sistema PID con sensores tipo termocupla K y resistencias calefactoras tipo abrazadera. La estructura principal fue fabricada en acero AISI 1045, con una capacidad de inyección de 27,42 g por ciclo y hasta 9 inyecciones por carga, operando a 757.500 Pa de presión neumática. Los resultados validaron el correcto desempeño del prototipo, obteniendo piezas de geometría definida sin degradación visible del material, con un costo total de fabricación de \$609,30, generando impacto técnico en el fortalecimiento del laboratorio, impacto social mediante el fomento del reciclaje activo, e impacto económico al sentar las bases de una cadena de valor local orientada a la transformación de residuos plásticos en productos comercializables.

Palabras claves: inyección de plástico, plástico reciclado, control de temperatura PID, termoplásticos, cilindro neumático, polietileno, polipropileno, manufactura sostenible.

ABSTRACT

The inadequate management of plastic waste in university environments demands accessible technological solutions, which is why this project implements a manual plastic injection machine assisted by a pneumatic cylinder with automatic temperature control for the Electromechanical Engineering laboratory at the Technical University of Cotopaxi, La Maná Extension, designed to process recycled high-density polyethylene and polypropylene within an operating range of 180 °C to 250 °C using a PID control system with type K thermocouple sensors and band-type heating resistances. The main structure was built in AISI 1045 steel, achieving an injection capacity of 27.42 g per cycle with up to 9 injections per fill, operating at 757,500 Pa of pneumatic pressure. The results validated the correct performance of the prototype, producing parts with defined geometry and no visible material degradation, at a total manufacturing cost of \$609,30, generating technical impact through laboratory strengthening, social impact by promoting active recycling, and economic impact by laying the foundations for a local value chain focused on transforming plastic waste into marketable products.

Keywords: plastic injection molding, recycled plastic, PID temperature control, thermoplastics, pneumatic cylinder, polyethylene, polypropylene, sustainable manufacturing.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xix
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 JUSTIFICACIÓN	3
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	3
5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
6 OBJETIVOS	4
6.1 Objetivo general.....	4
6.2 Objetivos específicos	4
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	6
8.1 Antecedentes de la investigación.	6
8.2 Mano de obra requerida.	7
8.3 Materias primas investigadas para la producción de piezas	7
8.4 Máquina inyectora.....	8
8.4.1 Tipos de máquinas inyectoras en el mercado.....	8
8.4.2 Funcionamiento de la máquina inyectora.	9
8.4.3 Características principales de una inyectora	10
8.5 Capacidad de producción de la máquina.....	11
8.6 Potencia de inyección, presión para la operación	12

8.6.1	Limpieza de la máquina (cilindro de fundición).....	12
8.7	Manipulación del controlador de temperatura.	12
8.7.1	Compatibilidad con variedad de molde y accesorios.....	12
8.8	Investigación de plásticos que se usaran en los procesos de fundición he inyección.	12
8.8.1	Plásticos usados.....	12
8.8.2	Plásticos usados en la investigación.....	13
8.8.3	Polietileno de Alta densidad (HDPE)	13
8.8.4	Policarbonato (PC).....	14
8.8.5	Poliestireno (PS)	15
8.8.6	Policloruro de vinilo (PVC)	16
8.8.7	Polietileno de baja densidad.....	17
8.8.8	Plástico Polipropileno (PP)	18
8.9	Partes de la inyectora manual de plástico asistida por un cilindro neumático	19
8.9.1	Parte mecánica de la máquina	19
8.9.2	Sistema de fundición	19
8.9.3	Sistema eléctrico de la máquina inyectora	19
8.9.4	Cilindro neumático.....	20
8.9.5	Embolo o pistón.	20
8.9.6	Estructura de soporte metálica.	21
8.9.7	Mini tolva circular soldada al cilindro.....	22
8.9.8	Base del molde o soporte del molde	23
8.10	Sistema de control de temperatura	23
8.10.1	Controlador de temperatura	23
8.11	Selección de equipo de control	25
8.12	Descripción de PLCs siemens	27
8.13	Resistencias eléctricas.....	28

8.13.1	Resistencias tipo cartucho (Cartridge Heaters)	28
8.13.2	Resistencias tipo boquilla (Nozzle Heaters)	29
8.13.3	Resistencia tipo abrazadera	30
8.13.4	Resistencias mini tubulares	32
8.13.5	Sensores de temperatura.....	32
8.13.6	Termopares.....	33
8.13.7	Detectores de temperatura.....	34
8.13.8	Termistores.....	34
8.14	Diagrama de procesos	35
8.14.1	Ciclo de trabajo de la máquina inyectora prototipo.	35
8.15	Tabla de procesos del prototipo.	36
9	METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL.....	37
9.1	Tipos de investigación	37
9.1.1	Investigación Bibliográfica	37
9.1.2	Investigación de Campo.....	37
9.1.3	Lista de plástico en la investigación de campo.	38
9.1.4	Método científico	38
9.2	Hipótesis general.....	38
9.2.1	Pregunta científica.....	38
10	METODOLOGIA	38
10.1	Tipo de investigación	38
10.2	Localización	40
10.3	Variables del proyecto	41
10.3.1	Independiente	41
10.3.2	Variable dependiente.....	41
10.4	Construcción y armado de la máquina	42

10.4.1	Fase de trabajo 1: Inyección del plástico	42
10.4.2	Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección) y cilindro neumático	43
10.4.3	Área del pistón de inyección.....	45
10.4.4	Fase de trabajo 3: fundición del plástico.....	45
10.4.5	Transferencia de calor	46
10.4.6	Transferencia de calor por conducción	46
10.4.7	Cálculo del número de Nusselt	47
10.5	Fase de trabajo 4: Molde.....	48
10.5.1	Control de temperatura criterio	48
10.5.2	Elementos de medición.	50
11	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
11.1	Fases de trabajo	51
11.2	Fase de trabajo 1: inyección del plástico	53
11.3	Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección) y cilindro neumático	53
11.4	Sistema eléctrico máquina inyectora.....	54
11.4.1	Sistema eléctrico general	54
11.4.2	Sistema de accionamiento del cilindro neumático	55
11.4.3	Sistema de control de temperatura PID.....	57
11.5	Circuito del sistema de fundición de la máquina.	58
12	IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS.....	58
12.1	Impacto Técnico.....	58
12.2	Impacto Social.....	59
12.3	Impacto Económico	59
13	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	60
13.1	Costos directos	60
13.2	Costos indirectos	60

13.3	Presupuesto total	61
14	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
14.1	Conclusiones	61
14.2	Recomendaciones.....	62
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS:		66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto	4
Tabla 2. Actividades y sistema de tareas	5
Tabla 3. Tipos de inyectoras en el mercado	8
Tabla 4. Descripción del polietileno (HDPE)	13
Tabla 5. Descripción del policarbonato	14
Tabla 6. Descripción del poliestireno	15
Tabla 7. Descripción del policloruro de Vinilo (PVC)	16
Tabla 8. Descripción del polietileno de baja densidad.....	17
Tabla 9. Descripción del polipropileno.....	18
Tabla 10. Parámetros de selección de equipos.....	26
Tabla 11. PLC y PID selección.....	28
Tabla 12. Ventajas y Desventajas de la resistencia.....	29
Tabla 13. Ventajas y desventajas de la resistencia Nozzle	30
Tabla 14. Ventajas y desventajas de la resistencia.....	31
Tabla 15. Ventajas y desventajas de las resistencias mini tubulares	32
Tabla 16. Propiedades de los termopares.....	33
Tabla 17. Termistores	34
Tabla 18. Ciclo de trabajo del prototipo	35
Tabla 19. Procesos del prototipo.....	36
Tabla 20. Tabla de investigación	39
Tabla 21. Variable independiente	41
Tabla 22. Variable independiente	41
Tabla 23. Descripción del polietileno	46
Tabla 24. Controladores eléctricos.....	49
Tabla 25. Sensores de Temperatura	51

Tabla 26. Fases de trabajo.....	52
Tabla 27. Sistema eléctrico general	54
Tabla 28. Sistema de accionamiento del cilindro neumático.....	55
Tabla 29. Sistema de control de temperatura PID	57
Tabla 30. Costos directos del prototipo	60
Tabla 31. Costos directos del prototipo	61
Tabla 32. Presupuesto final del prototipo	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Máquina inyectora prototipo	8
Figura 2. Producto de la maquina inyectora	11
Figura 3. Tubos de polietileno de alta densidad.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Gafas de policarbonato	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Producto de poliestireno (PS)	15
Figura 6. Producto de policloruro de vinilo (PVC).....	16
Figura 7. Botellas de Polietileno de baja densidad	17
Figura 8. Botellas de polipropileno.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9. Maquina inyectora de plástico	19
Figura 10. Cilindro neumático	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11. Embolo o Pistón.....	21
Figura 12. Base soporte metálico	21
Figura 13. Mini tolva del cilindro neumático plano.....	22
Figura 14. Soporte del molde.....	23
Figura 15. Diagrama de flujo del sistema controlador de temperatura	24
Figura 16. Controlador de temperatura PID o Pirómetro.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17. PLC S7- 1200	27
Figura 18. Resistencias tipo cartucho	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19. Resistencia boquilla Nozzle.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20. Resistencia tipo banda industrial	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21. Resistencia mini tubular	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22. Termopar	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23. Sensor RTDs.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24. Diagrama de proceso	35
Figura 25. Ubicación de donde se realizaron las pruebas	40

Figura 26. Estructura principal de la máquina inyectora	42
Figura 27. Cilindro de fundición.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28. Diagrama de Flujo del cilindro neumático	56

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del volumen del cilindro	43
Ecuación 2. Cálculo de la masa total	44
Ecuación 3. Cálculo de la capacidad de inyección por ciclo	44
Ecuación 4. Cálculo de la presión de aire	44
Ecuación 5. Cálculo del área circular.....	45
Ecuación 6. Cálculo de la fuerza necesaria en el pistón	45
Ecuación 7. Cálculo de la transferencia de calor por conducción	47
Ecuación 8. Cálculo de numero de Ryaleigh	47
Ecuación 9. Cálculo de la fuerza necesaria en el pistón.	47

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO MANUAL CON CONTROL DE TEMPERATURA AUTOMÁTICO ASISTIDO POR UN CILINDRO NEUMÁTICO, PARA EL LABORATORIO DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UTC EXTENSIÓN LA MANÁ”

Fecha de inicio:

Octubre del 2025

Fecha de finalización:

Marzo del 2026

Lugar de ejecución:

Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná

Unidad académica que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia:

Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:**Equipo de trabajo:****Tutor del Proyecto:**

M.Sc. Vásquez Carrera Paco Jovanni

Postulantes:

Sr. Acurio Lara Richard Sachary

Sr. Gutierrez Oña Edgar Emmanuel

Área de conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación:

Diseño, Construcción, mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos

2 INTRODUCCIÓN

La contaminación por materiales plásticos es uno de los temas medioambientales más sobresalientes en el contexto actual; todos los años, millones de toneladas de plásticos terminan en océanos, ríos y vertederos de todo el mundo; esto provoca efectos catastróficos en los ecosistemas y en la salud de las personas. En Ecuador, el problema se hace notar de una manera parecida; el inadecuado manejo de tapas, envases y de materiales termoplásticos de uso cotidiano tiene una importante afectación para la degradación del medio ambiente, sobre todo en lugares urbanos y periurbanos donde coexisten sistemas de residuos deficientes. Frente a esta realidad, se hace necesario, tanto a nivel técnico como a nivel social, buscar soluciones tecnológicas que sean asequibles y que permitan la reutilización de estos residuos a través de productos útiles.

En estos momentos, los métodos de moldeo por inyección representan una alternativa válida para volver a utilizar materias primas termoplásticas recicladas tal como han sido el polipropileno y el polietileno de alta densidad; estas técnicas, las cuales son comúnmente empleadas en la industria, permiten obtener partes deseadas de los desechos plásticos aplicando para ello controladamente presión y calor. Su uso a pequeña escala ha encontrado, sin embargo, bloqueo en el alto coste del equipamiento industrial requerido y en la estrecha dificultad asociada al uso de tal tecnología. Por lo tanto, la fabricación de prototipos económicos orientados a situaciones educativas y productivas locales se puede transformar en un poderoso instrumento de democratización tecnológica.

El presente proyecto es una respuesta también a la necesidad detectada en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, consistente por su parte en la ausencia de maquinaria para transformar plásticos y que hace que no sea posible el aprovechamiento de los residuos generados en el propio campus. El propósito de esta propuesta es implementar una máquina de inyección de plástico manual asistida por un cilindro neumático y que incorpora además un sistema automático de regulación térmica mediante controladores PID. Gracias a este método se consigue mantener la temperatura de forma homogénea a lo largo del proceso de fusión, permitiendo que todo el material se plastifique de una forma uniforme, lo que minimiza sus riesgos de deterioro térmico.

Desde la perspectiva técnica, el proyecto articula conocimientos de neumática, electromecánica, control automático y termodinámica, los cuales confluyen en la formulación y elaboración de un equipo seguro, funcional y económicamente viable. Los resultados hallados sugieren que se pueden

transformar una serie de materiales reciclables como el polipropileno, el polietileno, entre otros, a partir de unas condiciones controladas para obtener piezas de plástico susceptibles de utilización; además, que el equipo formulado es un recurso didáctico insustituible para los estudiantes/as de la carrera de Ingeniería Electromecánica. Al mismo tiempo que abre oportunidades para la formulación de empresas locales que apuestan por la manufactura sostenible y el reciclaje activo.

3 JUSTIFICACIÓN

En el presente proyecto se prevé la puesta en práctica de una inyectora de plásticos para el control mediante un mecanismo automático de regulación de temperatura y así poder tener un control preciso sobre la fusión del material a reciclar. Es una maquinaria tecnológica fácil de acceder y de utilizar para la valorización de residuos plásticos de uso cotidiano tales como botellas de detergentes, tapones de botellas, entre otros materiales similares. Las implicaciones surgen a partir de la idea de frenar ligeramente el problema del aumento de la contaminación por plásticos en las calles de los entornos urbanos y rurales implicando que todos esos residuos derivan en los esteros y ríos que llegan al mar siendo imposible la recogida de esta basura originándose micro plásticos que son perjudiciales tanto para la salud del ser humano como para todos los hábitats naturales. Todo esto es con la finalidad de poder reducir el volumen de los residuos plásticos mediante la transformación de productos útiles como por ejemplo llaveros o pequeñas piezas didácticas con finalidad de conseguir su venta y así poder obtener ingresos.

El impacto que genera el proyecto es reutilizar el plástico dándoles nueva vida útil con en otro tipo de piezas las cuales pueden ser usadas en sistemas de engranajes, también buscamos tener una alternativa más rápida al uso de impresoras 3D que a diferencia de una pieza hecha por impresora las piezas hechas por inyectoras son más resistentes y se realizan en tiempos mucho más cortos. Los principales individuos involucrados incluyen a estudiantes universitarios los cuales podrán usar la máquina de manera segura y rápida debido a la facilidad con la que esta se puede manejar.

El proyecto también permite fortalecer la función de vinculación con la sociedad y comunidad de la Universidad técnica de Cotopaxi integrando conocimientos de termodinámica, neumática y desarrollo sostenible.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la siguiente tabla se presenta a los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios	Descripción	Hombres	Mujeres	Total
Directos	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná	128	23	151
Indirectos	Artesanos y empresas que trabajan con inyectoras de plástico	-	-	-

5 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná el manejo inadecuado de residuos plásticos representa una creciente amenaza ambiental y social. A diario, una gran cantidad de plásticos de un solo uso y materiales termoplásticos de alta durabilidad como tapas de botellas, envases de bebidas y productos domésticos terminan en aulas, espacios verdes o espacios públicos, sin un tratamiento adecuado ni posibilidades reales de reutilización. Esta acumulación contribuye a la contaminación del suelo, obstrucción de sistemas de alcantarillado y la generación de micro plásticos que afectan tanto a la fauna como a la salud humana.

A pesar de que existe una creciente conciencia sobre el reciclaje, muchas comunidades carecen de acceso a tecnología que permita transformar estos residuos en nuevos productos útiles. En especial, la carencia de maquinaria accesible como inyectoras de plástico. El reciclaje por volumen no aprovecha los materiales plásticos pequeños como tapas. En muchos casos, el reciclaje se limita a la recolección y venta por volumen, con bajo valor agregado y escasa rentabilidad. Dejando de lado que en la recolección de estos materiales algunos son desaprovechados y no son depositados en lugares correspondientes para su debido reciclaje.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Implementar de un sistema de inyección de plástico manual con control de temperatura automático asistido por un cilindro neumático, para el laboratorio de electromecánica de la UTC Extensión La Maná

6.2 Objetivos específicos

- Identificar los tipos de plásticos reciclables más adecuados para el proceso de inyección en la inyectora.

- Seleccionar e implementar el sistema eléctrico y de control térmico para el calentamiento del cilindro de la inyectora, garantizando una regulación adecuada de la temperatura
- Diseñar la estructura mecánica de la inyectora considerando criterios de funcionalidad, seguridad y bajo costo.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS DE RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades y sistema de tareas

Objetivo	Actividad	Resultado	Metodología
Implementar un sistema de inyección de plástico manual con control de temperatura automático asistido por un cilindro neumático, para el laboratorio de Electromecánica de la UTC Extensión La Maná	Planificar, construir y validar el prototipo completo de la máquina inyectora integrando los sistemas mecánico, eléctrico y neumático	Prototipo funcional de máquina inyectora operativo en el laboratorio de Electromecánica	Investigación aplicada, diseño de ingeniería, construcción y pruebas experimentales de validación
Identificar los tipos de plásticos reciclables más adecuados para el proceso de inyección en la inyectora	Recolectar, clasificar y someter a pruebas térmicas muestras de polietileno de alta densidad y polipropileno reciclado	Tabla comparativa de viabilidad de materiales según temperatura de fusión y fluidez	Recolección local, clasificación por código de resina y ensayos de inyección con registro de variables de temperatura y viscosidad
Seleccionar e implementar el sistema eléctrico y de control térmico para el calentamiento del cilindro de la inyectora,	Seleccionar y montar el controlador CH702, termocupla tipo K, resistencias tipo	Sistema de control operativo con temperatura estabilizada entre 180 °C y 250 °C	Revisión de fichas técnicas, montaje eléctrico y pruebas de calibración en laboratorio

garantizando una regulación adecuada de la temperatura	abrazadera y componentes eléctricos de protección		
Diseñar la estructura mecánica de la inyectora considerando criterios de funcionalidad, seguridad y bajo costo	Modelar en Autodesk Inventor y fabricar el bastidor, cilindro, émbolo, tolva y soporte del molde en acero AISI 1045	Estructura metálica funcional ensamblada según planos técnicos	Diseño asistido por computadora, trabajo de taller, soldadura y ensamblaje según especificaciones técnicas

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1 Antecedentes de la investigación.

En la actualidad, la gestión de desechos poliméricos ha impulsado una tendencia global en la academia hacia el diseño de herramientas de transformación local y de bajo costo [1]. En el panorama latinoamericano y particularmente en el Ecuador, diversas facultades técnicas han liderado la experimentación con sistemas de procesamiento de plásticos, buscando democratizar el acceso a la tecnología de inyección [2]. Estas iniciativas no solo persiguen a la reducción de la huella ambiental provocada por embalajes de un solo uso, sino que fomentan un modelo de economía circular mediante el aprovechamiento de termoplásticos rígidos [3].

La eficiencia de estos equipos radica en la precisión del manejo térmico. Investigaciones previas en la universidad técnica de Ambato han validado la implementación de algoritmos PID para optimizar la fluidez del material durante el proceso [4]. Por otro lado, estudios realizados en la Escuela Politécnica Nacional han demostrado que los modelos de transferencia de calor por conducción, fundamentales para sistemas de inyección [5]. Asimismo, la viabilidad de fabricar prototipos funcionales mediante componentes asequibles y diseño mecánico simplificado ha sido confirmada por proyectos desarrollados en la Universidad Técnica de Cotopaxi [6]. Este conjunto de evidencias técnicas constituye el punto de partida para la presente propuesta: una inyectora de accionamiento lineal con automatización térmica integral.

Desde una perspectiva físico química, los plásticos se definen como estructuras macromoleculares orgánicas con capacidad de deformación plástico bajo la influencia de gradientes de temperatura presión [7]. El ciclo de vida técnico de estas clases de materiales. Empieza por la polimerización, donde se producen largas cadenas moleculares a partir de monómeros específicos [8]. Al entrar en la fase de la inyección de moldes, el polímero viscoso se empuja para ocupar un molde dado como parámetro, siendo esta una reproducción fidedigna de la geometría deseada [9]. Para aquellos usos de mediana complejidad lo habitual es complementar la inyección de moldes con operaciones de posproceso como el ensamblaje o, bien, un mecanizado final para garantizar la funcionalidad de la pieza terminada.

8.2 Mano de obra requerida.

La puesta en marcha del sistema de inyección por embolo diseñado no demanda una especialización técnica avanzada para su ejecución cotidiana. La arquitectura de la máquina permite que un operario con formación técnica básica supervise las etapas críticas: el precalentamiento del cilindro, la carga del polímero y el accionamiento del pistón. Dado que el diseño integra una automatización térmica mediante lógica PID, la intervención humana se desplaza de la manipulación constante del material hacia una gestión de supervisión de consignas(set-point) de temperatura y protocolos de seguridad operativa [10]. Este enfoque no solo simplifica la formación del personal, sino que garantiza que la eficiencia energética del prototipo no depende del peritaje del usuario, sino de la estabilidad del sistema electrónico implementando.

8.3 Materias primas investigadas para la producción de piezas

Históricamente, la industria de los polímeros ha evolucionado desde el uso de resinas naturales y compuestos orgánicos hacia una producción dominada por derivados petroquímicos. En la actualidad, materiales como el polietileno (PE) y polipropileno (PP) destacan por su versatilidad y propiedades termo mecánicas, siendo los principales insumos para este proyecto de inyección térmica [5]. A diferencia de los procesos de extrusión convencionales analizados en estudios previos [11], este prototipo optimiza el procesamiento de estos polímeros mediante el control de temperatura por lógica PID. Esta implementación técnica no solo permite la reutilización eficiente de desechos plásticos domésticos e industriales, sino que garantiza que el ciclo de inyección se realice bajo condiciones térmicas precisas, reduciendo la degradación del material y validando la sostenibilidad del sistema.

8.4 Máquina inyectora

La palabra inyección proviene del latín injectio-onis que significa introducir o impulsar un material dentro de un cuerpo cerrado. Este proceso consiste en fundir un material termoplástico dentro de un cilindro calefaccionado para, mediante la aplicación de presión, inyectarlo en el interior de un molde cuya cavidad posee la forma específica de la pieza a fabricar [7]. De esta manera el polímero fundido adopta la geometría del molde y, tras un proceso de enfriamiento controlado solidificación adquiriendo su forma final [9].



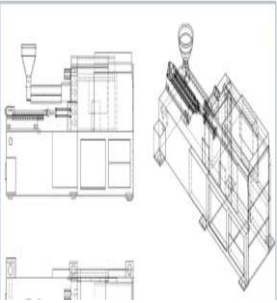
Figura 1. Máquina inyectora prototipo

8.4.1 Tipos de máquinas inyectoras en el mercado

En la investigación que se hizo sobre inyectoras se tomaron 3 modelos como referencias estos no solamente se tomaron por ser modelos de grado industrial si no más por sus procesos de trabajo.

Tabla 3. Tipos de inyectoras en el mercado

Inyectora hidráulica	Utiliza sistemas hidráulicos para generar la fuerza de cierre e inyección, destacándose por su alta potencia, robustez y capacidad para trabajar con moldes de gran tamaño [7].	A schematic diagram of a hydraulic injection molding machine. It shows a hydraulic pump (represented by a circle with a triangle) connected to a 3/2-way directional control valve. The valve has two solenoid coils (represented by rectangles with 'A' and 'B' labels). The valve is connected to a double-acting hydraulic cylinder (represented by a cylinder with two chambers). The diagram also includes a pressure gauge and a check valve.
-----------------------------	---	---

Inyectora eléctrica	Emplea servomotores eléctricos para accionar todos sus movimientos, lo que permite mayor precisión, menor consumo energético y ciclos de trabajo más rápidos. [10]	
Inyectora manual	Opera mediante la acción directa del usuario, generalmente por palanca o tornillo, siendo adecuada para pequeña producción, bajo costo de inversión y uso didáctico o artesanal.	

8.4.2 Funcionamiento de la máquina inyectora.

La inyección de plásticos reciclados es un proceso cíclico; el material termoplástico es fundido en el interior de un cilindro calentado para, a continuación, forzarlo a entrar, mediante una presión determinada, en el interior de un molde cerrado que define la geometría de la pieza final. La inyectora manual asistida por un cilindro neumático permite extraer el plástico a partir de la acción combinada del proceso de calentamiento mediante resistencias eléctricas y de la fuerza del empuje generada por el actuador neumático que desplaza el embolo en el interior del cilindro para forzar el material hacia el molde, garantizando con ello un determinado y constante valor de presión de inyección [12].

El funcionamiento interno de una máquina inyectora manual sigue un principio similar al de las extrusoras, dividiéndose en zonas funcionales cuya finalidad es preparar progresivamente el material hasta dejarlo en condiciones óptimas para la fase de inyección. Estas zonas permiten controlar la transferencia de calor, la presión interna y el estado reológico del polímero durante el proceso [5].

Zona de Alimentación: corresponde a la sección inicial del sistema, conformada por la mini tolva ubicada sobre el cilindro calefactor. En esta zona, el plástico reciclado en forma de gránulos ingresa al cilindro, donde comienza a recibir calor de manera indirecta a través de las resistencias eléctricas

externas. Durante esa etapa, el material permanece dentro del cilindro un tiempo aproximado de 8 a 10 minutos, permitiendo un calentamiento progresivo la función principal de esta zona es preparar el material sólido, reduciendo gradualmente su rigidez antes de la etapa de fusión [11]. Zona de Compresión o Transición: a medida que la temperatura del material aumenta, el plástico es empujado axialmente por el cilindro neumático, generando un incremento progresivo de la presión interna.

En esta zona se intensifica la transferencia de calor y la acción mecánica del embolo, produciendo la fusión del polímero. La combinación de presión neumática controlada calor externo y confinamiento del material permite obtener una más viscosa homogénea, adecuada para la inyección [9]. Zona de presión: En esta etapa final el material fundido es inyectado directamente en el molde cerrado donde fluye hasta ocupar completamente la cavidad, adoptando la forma y el acabado superficial de la pieza. La calidad del producto final depende del control adecuado de la presión de inyección, la temperatura del material y el tiempo de llenado del molde [10].

Todo este método necesita la puesta en marcha de un controlador de temperatura automático, que se encarga de regular la temperatura de cada zona del cilindro, ya que es necesario un control para limitar la degradación del polímero y la formación de burbujas, o evitar que el material se pueda llegar a solidificar. Para ello se usa resistencias calefactoras, sensores de temperatura termocupla tipo K y controladores PID, que van dentro del sistema de control de la máquina [4].

El presente proyecto contempla el diseño de un prototipo de inyectora manual asistida por un cilindro neumático, orientado al procesamiento de plásticos reciclados como polietileno (PE) y polipropileno (PP), promoviendo un sistema de transformación térmica eficiente, seguro y sostenible, aplicable a entornos académicos, productivos y de emprendimiento [6].

8.4.3 Características principales de una inyectora

Las máquinas inyectoras utilizadas para el procesamiento de plásticos reciclados presentan diversas características técnicas que influyen directamente en su desempeño eficiencia y versatilidad operativa [1].

Las cuales sus principales piezas son las siguientes:

- Cilindro fundidor

- Embolo de inyección
- Cilindro neumático

Estos aspectos son especialmente relevantes en inyectoras manuales asistidas por cilindros neumáticos, donde se busca su equilibrio entre simplicidad mecánica, control del proceso y bajo costo de implementación [2]. En el diseño y operación de una inyectora como la desarrollada en este proyecto, es fundamental considerar elementos como el sistema de calentamiento, el mecanismo de inyección, el control de presión, la regularización de la temperatura y la compatibilidad con materiales reciclados, con el fin de garantizar una correcta plastificación del material y una adecuada calidad de las piezas obtenidas. [22]

8.5 Capacidad de producción de la máquina

La capacidad productiva del proceso está determinada por factores como el volumen de la cavidad del molde [21], la duración del ciclo de trabajo que comprende las etapas de inyección, enfriamiento y expulsión [10], así como por el tipo de material termoplástico reciclado empleando. Un menor tiempo ciclo junto con una mayor capacidad de la cavidad, permite incrementar la productividad del sistema [5], [9].



Figura 2. Producto de la maquina inyectora

8.6 Potencia de inyección, presión para la operación

El éxito en el llenado de las cavidades del molde, particularmente en equipos de dimensiones reducidas, depende directamente de la capacidad de empuje que entrega el actuador neumático [8]. Si bien el aire comprimido opera en rangos de presión moderados, la configuración mecánica del conjunto embolo-cilindro actúa como un multiplicador de fuerza, elevando significativamente la presión transmitida al polímero en estado fundido [12]. Dependiendo de las variables de diseño y del tipo de resina reciclada, estas máquinas de baja escala pueden generar presiones de inyección efectivas que alcanzan el orden de las decenas de megapascals [2].

8.6.1 Limpieza de la máquina (cilindro de fundición).

El diseño del cilindro de plastificación debe facilitar una extracción y purgado eficiente del polímero fundido, especialmente realizar cambios de material o tareas de mantenimiento programado. En el caso de procesar plásticos reciclados esas maniobras de limpieza son críticas debido a la alta probabilidad de encontrar impurezas o contaminantes que generan obstrucciones y degradación térmica del material [9]. Un flujo de purga deficiente puede comprometer la homogeneidad de la mezcla y derivar en fallas estructurales durante el ciclo de inyección [13].

8.7 Manipulación del controlador de temperatura.

La incorporación de un sistema de control digital con interfaz de operación sencilla junto con sensores de temperatura y controladores automáticos tipo PID, permite operar la inyectora de manera eficiente y segura manteniendo condiciones térmicas estables y reduciendo significativamente el margen de error humano durante el proceso de inyección [4]

8.7.1 Compatibilidad con variedad de molde y accesorios

Una máquina inyectora debe ser compatible con diferentes tipos de moldes, boquillas y sistemas de acople, lo que permite la fabricación de una amplia variedad de productos varios o en sí mismo elementos decorativos. Esta versatilidad incrementa el campo de aplicación del equipo y amplía las posibilidades de uso para el usuario final [9].

8.8 Investigación de plásticos que se usaran en los procesos de fundición he inyección.

8.8.1 Plásticos usados.

En esta sección se enfocará en el estudio de dos plásticos en específicos que son los que más se acercan a lo que necesitamos para nuestra inyectora debido a que estos plásticos tienen una gran

maleabilidad durante su proceso de fundición y no terminan por deshacerse a grandes temperaturas mayores a 200 °C [13].

8.8.2 Plásticos usados en la investigación

Los plásticos que se investigaron son una lista la cual con los que las empresas suelen trabajar comumentente, esta lista de selección nos dio una vista más amplia de todos los plásticos que usaremos durante las pruebas de la maquina inyectora.

8.8.3 Polietileno de Alta densidad (HDPE)

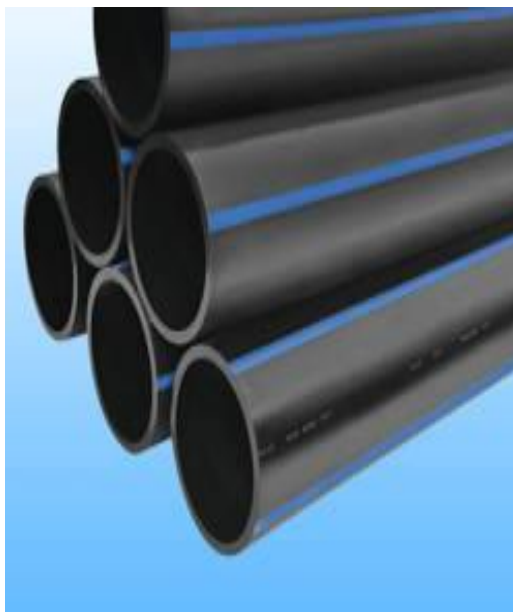


Figura 3. Tubos de polietileno de alta densidad [14]

Es uno de los termoplásticos más versátiles debido a su excelente relación resistencia-densidad. Se caracteriza por ser rígido, resistente a los impactos y con una excelente resistencia química. En extrusión se usa para tuberías y en inyección suele ser más para envases industriales y juguetes. Su temperatura de procesamiento suele oscilar entre los 190 °C y 260 °C.

Tabla 4. Descripción del polietileno (HDPE) [15]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	0,94-0,97 gr/cm ³
Calor específico	C_p	2,0-2,3 kJ/kg·K
Conductividad térmica	k	0,42-0,51 W/m·K

Intervalo de temperatura fusión	T_{fus}	130 a 137 °C
Viscosidad cinemática	n	900-1200 s/m ²

8.8.4 Policarbonato (PC)



Figura 4. Gafas de policarbonato [16]

Es un polímero termoplástico extremadamente robusto. En inyección se usa para lentes de gafas componentes electrónicos y faros de automóviles. En extrusión, es muy común en laminas para techos alveolares. Debido a su alta viscosidad y temperatura de procesamiento (280 a 320) requiere resistencias de alta potencia y un control térmico muy estricto para evitar que el material se amarillee o pierda propiedades. [16].

Tabla 5. Descripción del policarbonato [17]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	1,20-1,22 gr/cm ³
Calor específico	C_p	1,2-1,3 kJ/kg·K
Conductividad térmica	k	0,19-0,22 W/m·K
Intervalo de temperatura fusión	T_{fus}	220 a 250 °C

Viscosidad cinemática	n	2000-3500 s/m^2
-----------------------	-----	-------------------

8.8.5 Poliestireno (PS)



Figura 5. Producto de poliestireno (PS) [18]

Puede ser cristal (rígido y transparente) o de alto impacto (HIPS). Es muy fácil de moldear porque fluye muy bien, pero es más frágil que el polipropileno. Muy común en vasos desechables y cascaras de electrodomésticos

Tabla 6. Descripción del poliestireno [19]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	1,04-1,06 gr/cm^3
Calor específico	C_p	1,2-1,4 $kJ/kg \cdot K$
Conductividad térmica	k	0,10-0,14 $W/m \cdot K$
Intervalo de temperatura fusión	T_{fus}	210 - 250 $^{\circ}C$

Viscosidad cinemática	n	1200-1800 s/m^2
-----------------------	-----	-------------------

8.8.6 Policloruro de vinilo (PVC)



Figura 6. Producto de policloruro de vinilo (PVC) [20]

Utilizado mayormente en procesos como la extrusión de perfiles y tuberías rígidas. Es un material térmicamente sensible; si las resistencias de banda se pasan de temperatura, el PVC se degrada liberando gases corrosivos que dañan el proceso de inyección

Tabla 7. Descripción del policloruro de Vinilo (PVC) [14]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	1,30 -1,45 gr/cm^3
Calor específico	C_p	0,9-1,2 $kJ/kg \cdot K$
Conductividad térmica	k	0,14-0,28 $W/m \cdot K$
Intervalo de temperatura fusión	T_{fus}	160 a 210 $^{\circ}C$
Viscosidad cinemática	n	1500-2500 s/m^2

8.8.7 Polietileno de baja densidad



Figura 7. Botellas de Polietileno de baja densidad [21]

Desde una perspectiva técnica el polietileno se obtiene a partir de la polimerización térmica de etileno bajo condiciones de baja presión y agentes oxidantes su versatilidad radica en su naturaleza termoplástica, permitiendo una transición entre estados de alta flexibilidad y estructuras de mayor rigidez mecánica, dependiendo de los parámetros de fusión aplicados durante el procesamiento. Esta estabilidad, sumada a su inercia frente a la corrosión y agentes químicos, justifica su implementación en sectores que van desde la protección agrícola hasta aplicaciones industriales de inyección. [22].

Tabla 8. Descripción del polietileno de baja densidad [23]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	ρ	0,91-0,94 gr/cm ³
Calor específico	C_p	1,9 kJ/kg·K
Conductividad térmica	k	0,33 W/m·K
Intervalo de temperatura fusión	T_{fus}	70 a 130 °C
Viscosidad cinemática	n	800 s/m ²

8.8.8 Plástico Polipropileno (PP)



Figura 8. Botellas de polipropileno [24]

El polipropileno (PP) se obtiene mediante la polimerización del propileno diferenciándose del polietileno por la organización espacial de sus cadenas moleculares. Esta estructura favorece un nivel de cristalinidad superior, otorgándole una mayor rigidez y resistencia mecánica, características que lo hacen ideal para la producción de fibras técnicas, tuberías y envases de alta durabilidad [24].

Tabla 9. Descripción del polipropileno [24]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	P	0,9 gr/cm ³
Calor específico	C _p	1,7 kJ/kg·K
Conductividad térmica	K	0,22 W/m·K
Intervalo de temperatura fusión	T _{fus}	130 a 168 °C
Viscosidad cinemática	n	750 s/m ²

Estas tablas mostraron que los tipos de plásticos que se van a probar en la maquina estas siendo las mejores opciones para la inyectora de plástico esto mostrado en sus tablas de datos.

8.9 Partes de la inyectora manual de plástico asistida por un cilindro neumático

8.9.1 Parte mecánica de la máquina

En la siguiente Figura 3 se puede observar una máquina inyectora en de la cual se nombrará sus partes principales en la parte mecánica las cuales son:

- Cilindro neumático.
- Embolo o pistón.
- Estructura base de la máquina.
- Mini tolva circular.
- Base del molde.

8.9.2 Sistema de fundición

El sistema de fundición de la máquina inyectora se conforma de 3 partes estas siendo:

- Cilindro de fundición
- Resistencia industrial tipo banda
- Controlador PID.

8.9.3 Sistema eléctrico de la máquina inyectora

- Selector ON/OFF
- Luces de aviso de encendido de la máquina (rojo y verde)
- Contactor



Figura 99. Máquina inyectora de plástico

8.9.4 Cilindro neumático

En la Figura 49 se visualiza una representación de un cilindro neumático es utilizado para empujar el embolo que se encarga de inyectar el plástico fundido en el molde de manera rápida y eficiente. Nuestro cilindro neumático es un dispositivo mecánico que utiliza la energía del aire comprimido para generar un movimiento lineal de fuerza, es uno de los elementos principales en nuestro prototipo de inyectora es un actuador [25].

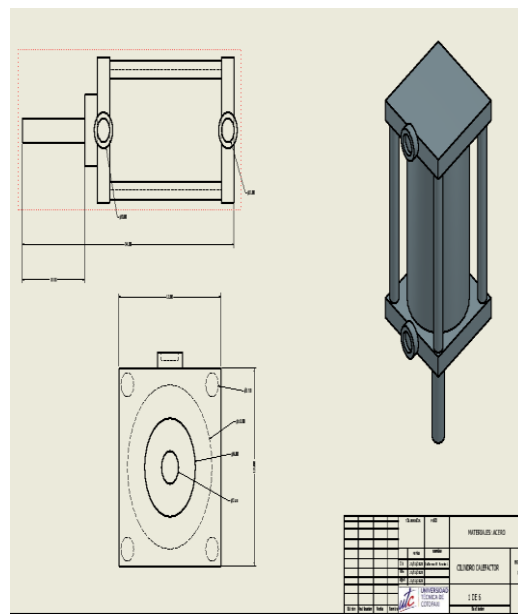


Figura 10. Cilindro neumático

8.9.5 Embolo o pistón.

El embolo o pistón es una pieza cilíndrica alojada en el interior del cilindro que se desplaza de forma lineal gracias a la presión del aire comprimido. Su función es actuar como una barrera móvil que transforma la energía neumática en trabajo mecánico, transmitiendo dicha fuerza hacia el exterior mediante un vástago. Para garantizar la eficiencia del sistema, este componente incorpora sellos o juntas que evitan fugas de presión entre las cámaras del actuador del prototipo de la inyectora [26].

componentes térmico [12]. Además, cuentan con una base inferior sólida que permite fijar la máquina al suelo o a una mesa de trabajo evitando desplazamientos durante su funcionamiento.

8.9.7 Mini tolva circular soldada al cilindro.

La tolva es un embudo metálico, generalmente de acero inoxidable, ubicado en la parte superior del cilindro calefacto. Su función es recibir el plástico en forma de granza o pellets y alimentarlo por gravedad hacia el interior del cilindro, evitando pérdidas y asegurando un ingreso adecuado del material [11]. Como se observa en la Figura 14, es un elemento fundamental, ya que por aquí ingresa el material seleccionado para iniciar el proceso de fundición.



Figura 11. Mini tolva del cilindro neumático plano

8.9.8 Base del molde o soporte del molde

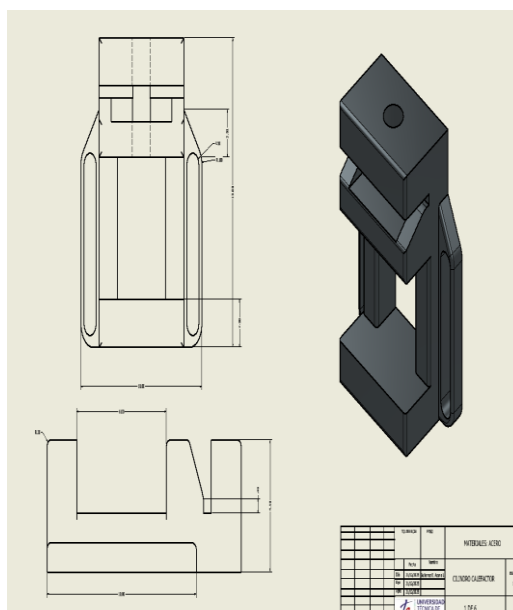


Figura 14. Soporte del molde

El molde está conformado por dos placas de acero que encajan entre sí para encajar la cavidad en la que se da forma a la pieza plástica, como observan en la ilustración 8 este conjunto se instala sobre una base inferior fija la cual está diseñada para resistir la presión generada por el cilindro neumático durante el proceso de inyección [15]. La estructura de soporte debe ser firme y estable, además de permitir una apertura practica para facilitar la extracción de la pieza moldeada [13]. Así mismo, es fundamental que asegure un cierre completamente hermético, con el fin de evitar la formación de rebabas o imperfecciones en el producto final [12].

8.10 Sistema de control de temperatura

8.10.1 Controlador de temperatura

Un control deficiente puede ocasionar problemas como sobrefusión, degradación del polímero, fallas en el llenado del molde o defectos superficiales en la pieza final. En la inyectora desarrollada en este proyecto se implementa un sistema de control basado en sensores permiten medir con precisión la temperatura del entorno metálico donde se funde el plástico reciclado.

El funcionamiento del sistema es automático simplemente porque las resistencias eléctricas de que se sirve el controlador proporcional-integral-derivativo (PID) funcionan mediante el control de

temperatura dentro del rango de funcionamiento adecuado; esto hace que ajuste los ciclos de encendido y apagado en función de la diferencia que se produce entre la variable de proceso, para ello es necesario tener en cuenta siempre la diferencia que se produce entre la variable de proceso (valor medido) y, por tanto, el setpoint que ha sido previamente programado. Es necesario enfatizar que no es un controlador que compense situaciones de pérdida de calor severo, por lo que definitivamente ha de contar un óptimo aislamiento térmico y una fuente de calor asegurada [4]. Explicamos el funcionamiento del sistema setpoint mediante un diagrama de flujo en la siguiente ilustración.

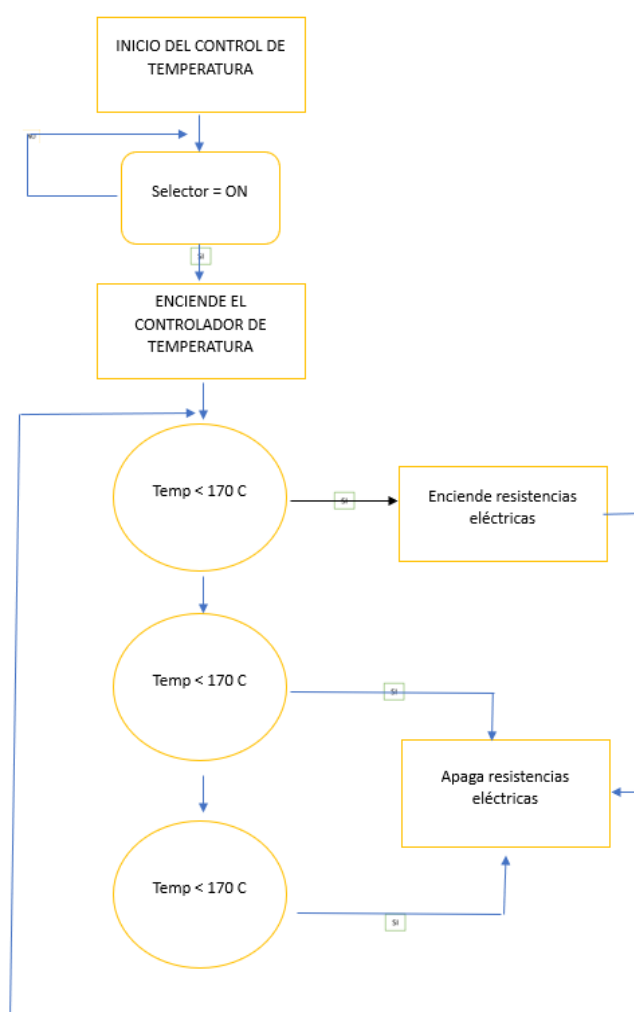


Figura 15. Diagrama de flujo del sistema controlador de temperatura [40]

Bajo este esquema, el control actúa exclusivamente sobre variaciones mínimas garantizando un proceso térmico uniforme, constante y reproducible. Este enfoque no solo contribuye a prolongar la

vida útil de los componentes eléctricos, sino que también optimiza el consumo energético y asegura una fusión homogénea del polímero, factor determinante para la obtención de piezas con altos estándares de calidad [4]., [10].

8.11 Selección de equipo de control

Los equipos usados fueron PID y un PLC siemens estos equipos cuentan con diferencias las cuales hacen que sean más útiles o eficientes dependiendo que maquina o equipo lo vaya a usar en maquina inyectoras o extrusoras.

El controlador PID se encarga de gestionar de forma autónoma el lazo de control térmico mediante la toma constante de datos constante desde termopares o RTDs, aplicando en máquinas de lógica difusa autosintoniza que estabilizan la temperatura con una precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ en maquina inyectoras neumáticas pequeñas y extrusoras, esta especialización de hardware elimina la latencia que introduce el tiempo de ciclo de un PLC Siemens (Scan Time), el cual debe procesar simultáneamente la lógica de movimientos, las seguridades y la comunicación. Al descentralizar el control de temperatura, se garantiza que el proceso de fundido del polímero no sufra degradación térmica ante posibles no sufra de degradación térmica ante posibles fallos en la unidad central del procesamiento (CPU) del PLC. La implementación de controladores dedicados reduce la complejidad del cableado hacia módulos de expansión de entradas analógicas costosos y simplifica el mantenimiento, permitiendo el reemplazo individual de unidades sin afectar la programación global del sistema.

Los controladores PID dedicados ofrecen una respuesta transitoria más rápida y un menos sobre impulso térmico en comparación con los bloques de función PID integrados en PLCs de propósito general [27].



Figura 16. Controlador de temperatura PID o Pirómetro

El siguiente cuadro muestra una comparación explica la razón de la selección del selector.

Tabla 10.Parámetros de selección de equipos

Parámetros técnicos	Controlador pid industrial	Plc siemens s7-1200+modulo sm
Arquitectura de control	Hardware dedicado (ASIC/Microcontrolador)	Software basado en ciclo Scan
Resolución de Entrada	Generalmente 16 bits	Depende del módulo analógico (13-16 bits)
Sintonización (Tuning)	Auto-tuning adaptacion instantaneo	Configuración manual en TIA Portal
Tiempo de respuesta	< 100 ms Lazo Cerrado directo	Variables (Ciclo de programa + Tiempo de bus)
Manejo de errores	Alarma de ruptura de sensor independiente.	Requiere programación de OB de diagnostico
Costo por zona	\$45- \$110 USD	\$280- \$450 USD

La independencia operativa de los controladores de temperatura en procesos de inyección previene paradas de producción críticas al mantener el estado térmico del cañón incluso durante fallos de red o de lógica de control central [28]

8.12 Descripción de PLCs siemens

Para comprender la arquitectura de automatización de la inyectora manual, es necesario definir al PLC (Controlador lógico programable) como un sistema computarizado industrial diseñado para gestionar procesos electromecánicos complejos mediante una lógica secuencial programable. Su uso principal en la industria del plástico radica en la coordinación total de la maquina gestiona los tiempos de cierre del molde, controla las secuencias de seguridad, activa las electroválvulas de los pistones neumáticos y supervisa alarmas del sistema.

Sin embargo, para el prototipo de maquina inyectora el PLC no fue seleccionado debido a que esta sobredimensionado debido a que las operaciones de la inyectora dependen de intervención humana y donde el control de temperatura es la única variable critica que requiere precisión milimétrica. Implementar un PLC implicaría una inversión elevada en licencias de software (TIA Portal) y módulos de expansión de termopar que no justifican el retorno de inversión en un prototipo neumático. [29].



Figura 17. PLC S7- 1200 [29].

El PLC es un sistema de control robustos para secuencias lógicas, pero su rendimiento en el control de temperatura de precisión en sistema de pequeña escala se ve limitado por la resolución de sus módulos analógicos y el tiempo de respuesta del ciclo de programa [30].

Para tener una descripción más amplia del PLC en la siguiente tabla se revisará algunas de las desventajas del PLC.

Tabla 11. PLC y PID selección

Criterio de comparación	Plc siemens (s7-1200/1500)	Desventajas frente al pid
Complejidad de configuración	Requiere programación en lenguaje Ladder, SCL O AWL y carga de software	El PID se configura en segundos desde el panel frontal (Plug y Play)
Estabilidad térmica	Sensibles a ruidos eléctricos en el rack y retardos por el tiempo de ciclo	El PID posee un procesador exclusivo para el lazo térmico con mayor inmunidad al ruido
Visualización	Requiere una pantalla HMI adicional para ver la temperatura en tiempo real	Poseer displays duales (PV Y SV) integrados y visibles permanentemente

Se ha determinado que el PLC es una herramienta de coordinación secuencial, pero para un prototipo como la maquina inyectora manual esta sobredimensionado introduciendo una barrera de complejidad técnica y economía. El controlador PID garantiza que el 100% de los recursos de procesamiento se dediquen a la calidad de fundido. Evitando que la maquina tuviese que pararse completamente si algún otro proceso fallara.

8.13 Resistencias eléctricas.

8.13.1 Resistencias tipo cartucho (Cartridge Heaters)

Las resistencias de cartucho son elementos de calefacción industrial principalmente para ser insertados en orificios mecanizados y platinas[31], su construcción interna consiste en un alambre de

aleación de níquel-cromo (NICR) enrollado sobre un núcleo cerámico y rodeado de óxido de magnesio (MgO) altamente compactado para optimizar la transferencia de calor dieléctrico [32], en la industria del plástico, estas resistencias son fundamentales en los sistemas de colada caliente (hot runners), donde estos deben mantener una temperatura uniforme para evitar la degradación térmica del polímero o su solidificación prematura dentro de los canales del molde [33].



Figura 18. Resistencias tipo cartucho [34]

En el siguiente cuadro se muestra las ventajas y desventajas de las resistencias tipo cartucho.

Tabla 12. Ventajas y Desventajas de la resistencia

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Permite concentrar gran energía en espacios estrechos	El uso excesivo puede provocar una soldadura al molde evitando su extracción
Fácil instalación por su forma cilíndrica	
Su diseño compacto protege el filamento contra vibraciones mecánicas	

8.13.2 Resistencias tipo boquilla (Nozzle Heaters)

Las resistencias para boquillas son un tipo de resistencia de banda dedicada, fabricadas con menor tamaño y adaptadas para la alta densidad de potencia al ser situadas en la salida exterior de la unidad

de inyección [35]. Su papel fundamental es garantizar compensar las pérdidas térmicas en modo de conducción en la zona de contacto entre la boquilla de la máquina y el buje del molde [36]. Debido a que son propensas a fugas de material fundido, estas resistencias suelen fabricarse con recubrimientos de acero inoxidable o bronce, y están selladas en forma de hermético para evitar interrupciones por la entrada de plástico o de contaminantes [37].



Figura 19. Resistencia boquilla Nozzle [37].

Tabla 13. Ventajas y desventajas de la resistencia Nozzle [7]

Ventajas	Desventajas
Distribución de calor uniforme	Costo de reemplazo elevado por la precisión del barrenado
Baja inercia térmica que permite un control rápido	
Larga vida útil si se opera bajo el voltaje adecuado	

8.13.3 Resistencia tipo abrazadera.

Las resistencias tipo abrazaderas o de banda son componentes calefactores diseñados para suministrar el calor externo necesario al cilindro de plastificación en procesos de inyección. Estos dispositivos se fabrican comúnmente con aleaciones de níquel-cromo, materiales que destacan por su alta resistividad eléctrica y estabilidad en condiciones térmicas extremas [14], [43]. Su principio operativo se basa en

el efecto joule, donde la energía eléctrica se transforma en calor al circular a través del conductor; este fenómeno permite cuantificar la potencia térmica en función de la intensidad de corriente y la resistencia intrínseca del elemento [38].

Dicha configuración permite una gestión precisa del flujo calórico entregado al sistema, factor determinante para alcanzar la temperatura de fusión específica del polímero. Gracias a este control, se garantiza una plastificación homogénea y eficiente del material reciclado antes de su ingreso al molde [10], [12].



Figura 20. Resistencia tipo banda industrial

Tabla 14. Ventajas y desventajas de la resistencia

Ventajas	Desventajas
Son muy utilizadas en el calentamiento de tuberías	El área de calentamiento depende el área de contacto
Ligeramente livianas	
Su acople es mediante pernos	

8.13.4 Resistencias mini tubulares

este tipo de resistencias están diseñadas para el calentamiento uniforme de boquillas y colectores, siendo ampliamente utilizadas en los procesos de inyección de plásticos para garantizar una adecuada fusión y control térmico del material polimérico.

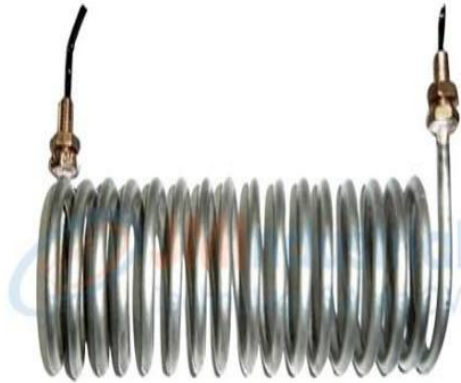


Figura 12. Resistencia mini tubular

Tabla 15. Ventajas y desventajas de las resistencias mini tubulares

Ventajas	Desventajas
Se adapta fácilmente al diámetro y a la longitud requerida según la aplicación.	Su uso principal se realiza mediante procesos de inmersión, más que como recubrimiento superficial directo
Presenta amplia disponibilidad en el mercado, lo que facilita su adquisición	
Posee alta flexibilidad, permitiendo ajustarse a diferentes formas geométricas	

8.13.5 Sensores de temperatura

La temperatura se utiliza frecuentemente para inferir otras variables del proceso, en esta causa múltiples efectos, por lo cual se han desarrollado dispositivos para medir la temperatura. Como, por ejemplo: detectores de temperatura por resistencia. Termistores y termopares.

8.13.6 Termopares.

El termopar es un sensor de temperatura, construido con dos metales diferentes, su principio de funcionamiento se basa en la lectura e interpretación de una corriente eléctrica, la cual se genera uniendo dos hilos de diferentes materiales, formando un circuito cerrado y sometiendo posteriormente una de las uniones de esta unión a una fuente de calor [38].

Son relativamente económicos, son resistentes a la oxidación a temperaturas altas en comparación con otros tipos de sensores, tiene una limitación que es la precisión, pero que en varios procesos es bastante aceptable [4].



Figura 22. Termopar [39]

Tabla 12. Propiedades de los termopares [40]

Tipo	Termopar	Intervalo	Error
B	Platino 30% (+) Platino6% Rodio (-)	600 a 1700 °C	± 1,5 °C
E	Cromel (+) Constantan (-)	-40 a 800 °C	± 2,5 °C
J	Hierro (+) Constantan (-)	-40 a 750 °C	± 2,5 °C
K	Cromerl (+) Alumel (-)	-40 a 1200 °C	± 2,5 °C
R	Platino 13% Rodio (+) Platino (-)	0 a 1600 °C	± 1,5 °C
S	Platino 10% Rodio (+) Platino (-)	0 a 1600 °C	± 1,5 °C
T	Cobre (+) Constantan (-)	-200 a 350 °C	± 1 °C

8.13.7 Detectores de temperatura

El monitoreo térmico en sistema industriales a menudo se apoya en dispositivos RTD cuya operación se fundamenta en la fluctuación de la resistencia eléctrica ante cambios de temperatura. Estos sensores, fabricados habitualmente con platino debido a su estabilidad tienen en el modelo Pt100 su exponente más representativo, operando con una impedancia nominal de 100 homios.



Figura 23. Sensor RTDs [42]

8.13.8 Termistores

Un termistor es un semiconductor resistivo de temperatura. El funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El termino termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. Existen dos tipos de termistor presentados en la Tabla 18 [41].

Tabla 13. Termistores [40]

NTC (coeficiente de temperatura negativo) La resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura	
---	---

PTC (coeficiente de temperatura positivo) La resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura	
--	---

8.14 Diagrama de procesos

Aquí se presenta un diagrama sencillo que ilustra el funcionamiento general de la inyectora. A continuación, en la Figura se explica de forma breve como desarrolla el proceso y la secuencia de operación del sistema.

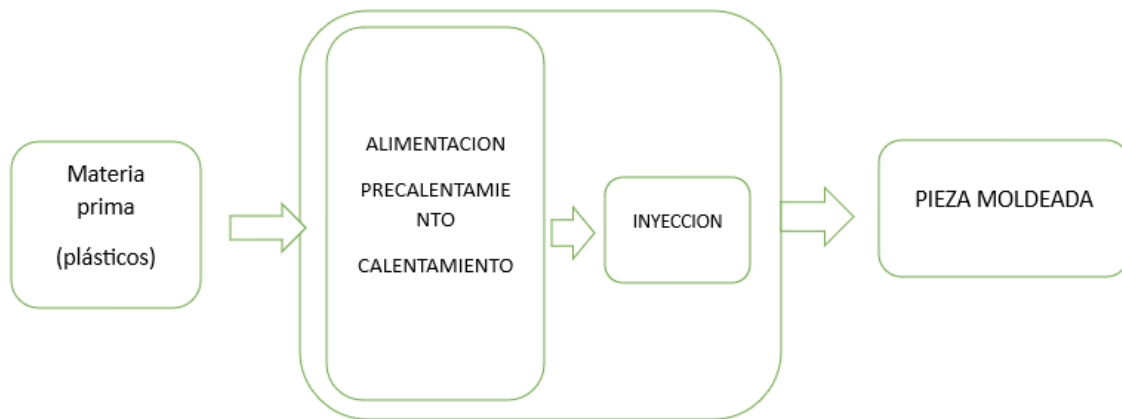


Figura 24. Diagrama de proceso [40]

8.14.1 Ciclo de trabajo de la máquina inyectora prototipo.

Tabla 14. Ciclo de trabajo del prototipo

Proceso.	Descripción.
Alimentación	La materia prima reciclada introducimos en la tolva
precalentamiento	Calentamos previamente el cilindro hasta alcanzar las temperaturas deseadas tanto en el molde como en el cilindro

Calentamiento	El material alcanza su temperatura de moldeado para ser inyectado
Calentamiento en inyección en el molde	Con el molde y el material listo procedemos a inyectarlo a presión dando así la transformación del material reciclado a una pieza reciclada final

8.15 Tabla de procesos del prototipo.

En la siguiente tabla se observa cómo se lleva el proceso de función del prototipo.

Tabla 15. Procesos del prototipo

Etapas del proceso	Descripción técnica	Variables involucradas	Aplicación al prototipo
1. Plastificación	El plástico reciclado en forma de granza se introduce en el cilindro calefactor, donde se funde mediante el calor generado por las resistencias eléctricas	Temperatura °C tiempo de calentamiento y viscosidad del polímero	El controlador PID mantiene la temperatura en un rango de 180 a 250 °C, asegurando una fusión adecuada y uniforme del material.
2. Inyección	El material fundido es impulsado hacia el interior del molde mediante la presión ejercida manualmente por el operador, utilizando un mecanismo de accionamiento	Fuerza manual o neumática (N), tiempo de inyección y velocidad de llenado	El operario acciona la manivela permitiendo un control directo del desplazamiento del material gracias al diseño vertical del sistema

3. Compactación	Se mantiene la presión durante unos segundos después del llenado del molde, con el fin de evitar la formación de vacíos causados por las contracciones del material	Tiempo de enfriamiento conductividad térmica del molde y temperatura ambiente	El operario mantiene la presión manual entre 5 y 10 segundos para garantizar una compactación adecuada del material dentro del molde
4. El tiempo de Enfriamiento	El material permanece dentro del molde hasta que se enfría y adquiere la rigidez suficiente para conservar su forma	Tiempo de enfriamiento conductividad térmica del molde y temperatura ambiente	El tiempo de enfriamiento estimado es de 30 a 60 segundos, dependiendo del tipo de polímero utilizado, como HDPE O PP

9 METODOLOGÍA Y DISEÑOS EXPERIMENTAL

9.1 Tipos de investigación

9.1.1 Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación proporciona una definición y características principales de los componentes utilizando la construcción de la máquina inyectora de plástico en fuente de información relevante como: Libros, artículo de revistas técnicas y proyectos de titulación que tengan relación con el objeto de estudio desarrollando la fundamentación teórica.

9.1.2 Investigación de Campo

Se desarrolla una investigación la cual está centrada en el primer objetivo el cual fue el estudio de diversos plásticos siendo esta la siguiente lista de plásticos estudiados.

9.1.3 Lista de plástico en la investigación de campo.

- Polietileno de alta densidad (HDPE)
- Polietileno de baja densidad (LDPE)
- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)
- Policloruro de vinilo (PVC)
- Policarbonato (PC)

Cada uno de estos plásticos ya fue analizado y estudiado textualmente en proyectos de tesis anteriores y bibliografías los cuales se encuentran en los métodos de investigación.

9.1.4 Método científico

Este método permite seguir de una manera ordenada los criterios técnicos para la construcción de la máquina inyectora, así como la selección de los materiales mecánicos, dimensionamiento de protecciones eléctricas, selección de sensores y entre otros tipos de equipos.

9.2 Hipótesis general

La implementación de una inyectora de plástico reciclado con control de temperatura contribuirá significativamente a la reducción de residuos plásticos en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, mediante el aprovechamiento eficiente del material y la reutilización de desechos plásticos generados internamente.

9.2.1 Pregunta científica.

¿Qué tipos de materiales plásticos se pueden inyectar y cuál es la temperatura de la operación?

10 METODOLOGIA

El enfoque de este proyecto es cuantitativo aplicado ya que se parte del análisis y control de variables físicas como la temperatura mediante el diseño y desarrollo de una máquina funcional aplicando los principios de ingeniería y electromecánica.

10.1 Tipo de investigación

Este proyecto corresponde a una investigación experimental ya que se busca diseñar, construir y probar un prototipo de máquina inyectora de plástico manual implementando un sistema de control de temperatura por medio de un controlador PID también es de tipo descriptivo al documentar el comportamiento térmico del sistema y su eficiencia en el proceso de inyección manual.

Tabla 16. Tabla de investigación

Parte o componente	Descripción	Disponibilidad	Comprobación
1. Bastidor (estructura metálica)	Perfilería de acero soldada	Por fabricar	Todas las piezas serán simuladas en el software Autodesk Inventor para posteriormente realizar sus pruebas y análisis necesarios para corroborar que los materiales seleccionados y elaborados sean adecuados para el funcionamiento de la inyectora.
2. Cilindro de inyección	Tubo de acero de ½ pulgada (resistente al calor)	Empresa	
3. Pistón o émbolo	Barra de acero torneada para compresión del plástico	Por fabricar	
4. Tolva de alimentación	Embudo metálico o impreso en 3D para carga del material	Por fabricar	
5. Boquilla de inyección	Perno de acero con mecanizado para acoplar al molde.	Por fabricar	
6. Sistema de calefacción (resistencias)	Resistencias tipo abrazadera para fundir el plástico	Empresa	
7. Controlador de temperatura PID	Control electrónico con sensor tipo termocupla	Empresa	
8. Palanca manual o gato hidráulico	Sistema para aplicar presión manual	Por fabricar	
9. Moldes básicos	Moldes simples para prueba (pueden ser intercambiables)	Empresa	

(aluminio o acero)			
10. Aislante térmico (opcional)	Lana de cerámica o mica para evitar pérdida de calor	Empresa	
11. Componentes eléctricos menores	Cableado, interruptor, fusibles	Empresa	

10.2 Localización

El proyecto tiene lugar de elaboración en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná.

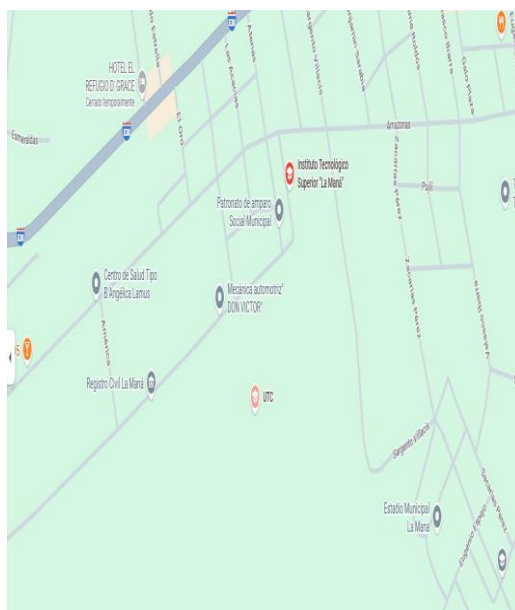


Figura 25. Ubicación de donde se realizaron las pruebas

10.3 Variables del proyecto

10.3.1 Independiente

En la Tabla 13 se representa la variable independiente con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos utilizados en el presente proyecto.

Tabla 17. Variable independiente [40]

Variable independiente: Máquina Inyectora de plástico manual				
Definición	Indicadores	Magnitudes	Técnicas	Instrumentos
Máquina que procesa el plástico cambiando su estado sólido a líquido para darle forma a través de moldes de acero	Capacidad de la producción	kg/h	Cálculo	Ecuación
	Temperatura de inyección	°C	Medición	Termocupla
	Velocidad de inyección	RPM	Ecuación	Ecuación

10.3.2 Variable dependiente.

En la Tabla 14 se observa la variable dependiente del proyecto con la definición, indicadores, ítems técnicas e instrumentos.

Tabla 18. Variable independiente [40]

Variable dependiente: Perfil del plástico				
Definición	Indicadores	Magnitudes	Técnicas	Instrumentos
Producto plástico con una forma definida dependiendo el molde	Temperatura de fusión	°C	Medición	Ecuación
	dimensiones	cm	Medición	Flexómetro
	Cantidad de materia	Kg	Medición	Balanza

10.4 Construcción y armado de la máquina

El proceso de construcción da inicio con el diseño previamente hecho de la máquina dividiéndola en 4 partes como se muestra en la siguiente



Figura 26. Estructura principal de la máquina inyectora

- Fase de trabajo 1: Inyección del plástico
- Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección) y cilindro neumático
- Fase de trabajo 3: fundición de plástico
- Fase de trabajo 4: Molde

10.4.1 Fase de trabajo 1: Inyección del plástico

En la inyección de plástico son dos procesos los que se llevan a cabo en la máquina los cuales son: cilindro de fundición y el pistón o embolo de inyección estas dos etapas en las cuales la primera etapa se encarga de fundir dentro del cilindro todo el plástico a una temperatura de 200 grados centígrados ya que según el estudio hecho previamente sobre el polietileno indica que este es maleable desde los 130 grados en adelante pero a los 200 grados este tiene mejor maleabilidad y facilidad de inyección como se ve indicado en la tabla número 3.

10.4.2 Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección) y cilindro neumático

El cilindro de fundición es uno de los elementos más importantes en la máquina. Ya que en este es donde el material plástico se transforma de sólido a líquido para después ser vaciado en el molde, en la siguiente Figura se representa su parámetros y diseño.

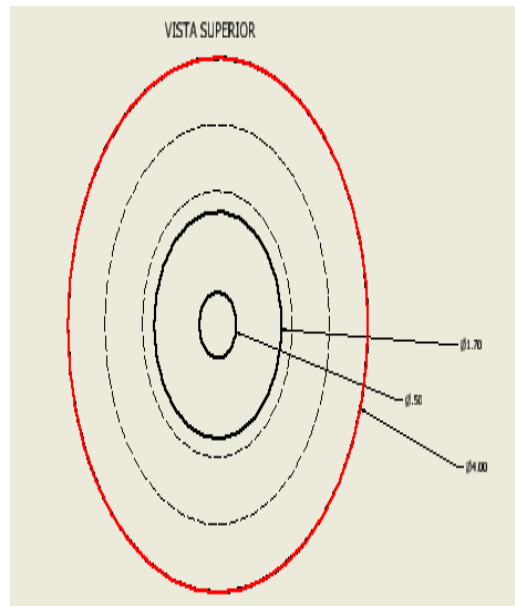


Figura 2713. Cilindro de fundición

La capacidad del cilindro de fundición se definió en 21g de polietileno, valor obtenido mediante pruebas experimentales el cual permitió realizar múltiples ciclos de inyección considerando que cada molde requiere aproximadamente 3 g de material experimental.

Para lo cual se calculó el volumen del cilindro para saber cuánto espacio tiene dentro del cilindro lo cual se muestra con la ecuación 1.

Ecuación 1. Cálculo del volumen del cilindro

$$V_c = \pi * r^2 * L \quad (1)$$

Donde:

V_c : volumen del cilindro

π : Pi

r^2 : radio interno

L: longitud de carga

Después de obtener el volumen usando esa ecuación se procedió a obtener la masa total usando la ecuación 2.

Ecuación 2. Cálculo de la masa total

$$M_t = v_c \cdot p \quad (2)$$

Donde:

M_t = masa total del cilindro

v_c = volumen del cilindro previamente ya obtenido

p = densidad del polietileno de alta densidad

Con esto ya se puede saber el volumen interno el cual ayudara saber cuántos ciclos de inyección tiene nuestra máquina.

Después de establecer la longitud y el diámetro para que la capacidad sea de 50 g se procedió a calcular la capacidad de la inyección por ciclo.

Ecuación 3. Cálculo de la capacidad de inyección por ciclo

$$N = \frac{M_t}{M_i} \quad (3)$$

Donde:

N = Numero de ciclos de inyección.

M_t = masa total de material disponible en el cilindro

M_i = masa utilizada en cada inyección.

Para determinar la presión de aire necesaria que necesita la inyectora al momento de usarla se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación 4. Cálculo de la presión de aire

$$P = \frac{F_p}{A_p} \quad (4)$$

Donde:

P = Presión de inyección

F_p = Fuerza aplicada sobre el pistón

A_p = área transversal del pistón

10.4.3 Área del pistón de inyección

Se calculará el área circular la cual se usará la siguiente fórmula:

Ecuación 5. Cálculo del área circular

$$A_p = \pi r_p^2 \quad (5)$$

Donde:

r_p = Radio del pistón

Ecuación 6. Cálculo de la fuerza necesaria en el pistón

$$F = P A_p \quad (6)$$

Donde:

A_p = Área del pistón

P = presión de inyección necesaria

10.4.4 Fase de trabajo 3: fundición del plástico

Para el dimensionamiento térmico de la máquina inyectora es indispensable investigar previamente el tipo de material plástico a procesar. En este caso, se seleccionó el polietileno de baja densidad, debido a que presenta propiedades adecuadas y un comportamiento favorable para su aplicación en procesos de inyección.

Tabla 23. Descripción del polietileno [6]

Descripción	Símbolo	Valor
Densidad	P	0,94-0,97gr/cm ³
Calor específico	Cp	2,0-2,3 kJ/kg·K
Conductividad térmica	K	0,42-0,51 W/m·K
Intervalo de temperatura fusión	Tfus	130 a 137 °C
Viscosidad cinemática	n	900-1200 s/m ²

En la zona de fundición de plástico de la máquina inyectora consideramos que una cantidad mínima de calor puede cumplir con el proceso entonces aplicamos la siguiente ecuación.

10.4.5 Transferencia de calor

El diseño del sistema de calefacción se fundamenta en el flujo de energía térmica derivado del gradiente de temperatura entre las resistencias y el polímero en el prototipo construido la energía se transmite desde las bandas calefactoras hacia la superficie externa del cilindro mediante conducción, para luego transferirse al material plástico en su interior.

Para el cálculo de dimensiones y potencia necesaria, analizamos el intercambio de calor bajo una geometría de pared cilíndrica, considerando tanto las pérdidas hacia el ambiente por convección como la eficiencia del aislamiento térmico instalado. La ubicación estratégica de las resistencias, permite una distribución de calor controlada, mitigando fugas térmicas que podrían afectar la fluidez del material durante la fase de inyección.

TR = temperatura de la resistencia

TP = temperatura del cilindro

TI = temperatura interna del cilindro

10.4.6 Transferencia de calor por conducción

Se pierde calor durante la transferencia a través de la conducción en paredes cilíndricas tal y como muestra la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Cálculo de la transferencia de calor por conducción

$$Q_{p\text{cond}} = 2\pi * L * K \frac{\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad (7)$$

Donde:

$Q_p \text{ cond}$: Perdida de calor (W)

L: Espesor de cilindro(m)

K: conductividad térmica (W/m * C)

ΔT : Variación de temperatura UN

R1: Radio menor de cilindro (m)

R2: radio mayor del cilindro(m)

Ecuación 8. Cálculo de numero de Ryaleigh

$$R_a = \frac{g \cdot \beta_1 \cdot (T_c - T_{in}) \cdot D^3}{\nu} \quad (8)$$

Donde:

R_a : número de Rayleigh

g: Gravedad (m/s²)

T_c: Temperatura del cilindro (K)

T_{in} : Temperatura interna del cilindro (K)

D: Diámetro del cilindro (m)

ν : Viscosidad cinemática (m/S²)

β_1 : 1/ T_p

10.4.7 Cálculo del número de Nusselt

Ecuación 9. Cálculo de la fuerza necesaria en el pistón.

$$N_u = 0.825 + \frac{0.3787 * Ra^{\frac{1}{6}}}{(1 + \frac{0.492^{\frac{9}{16}}}{Pr})^{\frac{8}{27}}} \quad (9)$$

Donde:

Nu: Numero de Nusselt

Ra: número de Rayleigh

Pr: número de Prandtl

10.5 Fase de trabajo 4: Molde

En el molde se trató de una manera especial ya que se usó un método conocido como electrodo en el cual el molde es sometido a grandes cantidades de corriente lo cual hace que el metal comience a ceder y fragmentarse poco a poco dejando un molde mucho mejor que con una máquina CNC.

10.5.1 Control de temperatura criterio

Para la implementación del control de temperatura en la máquina inyectora es necesario incorporar un sistema electrónico de control capaz de adquirir señales analógicas provenientes de sensores de temperatura, procesarlas mediante algoritmos de control y generar señales de salida que permitan actuar sobre los elementos calefactores del sistema. Dicho sistema debe garantizar la estabilidad térmica del proceso, asegurando que el material plástico alcance y mantenga el rango de temperatura requerido para su correcta plastificación.

En este contexto, la selección del equipo de control constituye un aspecto fundamental del diseño, ya que de ello depende la precisión, confiabilidad y flexibilidad del sistema. Entre las alternativas más utilizadas para las aplicaciones industriales se consideran el controlador de temperatura y el controlador lógico programable (PLC). Cada uno de estos dispositivos presentan características técnicas específicas en cuanto a capacidad de procesamiento, manejo de señales analógicas, estrategias de control, facilidad de programación y posibilidad de expansión.

En la tabla correspondiente se presentan las principales características técnicas de ambos equipos, lo cual permite realizar una comparación objetiva y seleccionar la opción más adecuada en función de los requerimientos operativos, el nivel de automatización deseado y la complejidad del proceso de inyección.

Tabla 24. Controladores eléctricos [40]

Equipo electrónico		
	Controlador de temperatura	PLC
Tensión de alimentación	115- 230 Vac	115-230 Vac
Software	Sin software	Programación con software
Visualización de temperatura	Mediante display incorporado	Adquiriendo una pantalla HMI
Tipo de sensores de temperatura compatibles	Termocupla y PT100 compatibles directamente	Termocupla y PT100 Compatibles solamente utilizando un módulo de acondicionamiento de señal
Tipo de control de temperatura	On/Off y PID	On/Off y PID
Proceso de inyección	Adecuado	sobredimensionado
Dimensión	72x90x55 mm	90x100x75 mm
Peso	120	435g

De acuerdo con el análisis comparativo de las características técnicas de los equipos electrónicos evaluados, se selecciona el controlador de temperatura CH702, considerando que el proceso corresponde a una aplicación de inyección de pequeña escala para la fabricación de perfiles rectangulares. Este controlador resulta la alternativa más adecuada, ya que ofrece mayores ventajas tanto desde el punto de vista técnico como económico, ajustándose de manera eficiente a los requerimientos del sistema propuesto.

10.5.2 Elementos de medición.

En la actualidad existe una amplia variedad de métodos y tecnologías para la medición de temperatura, los cuales emplean distintos tipos de sensores diseñados para adaptarse a las condiciones específicas de cada proceso industrial. En la industria del plástico, donde el control térmico es un factor crítico para garantizar la correcta plastificación y calidad del producto, destacan principalmente dos tipos de sensores por su confiabilidad y uso extendido en procesos térmicos: los detectores de temperatura por resistencia (RTD) y los termopares.

Ambos sensores presentan características particulares en cuanto a principio de funcionamiento, rango de medición, precisión, tiempo de respuesta y resistencia a condiciones ambientales adversas. Los RTD se caracterizan por ofrecer una alta exactitud y estabilidad a largo plazo, lo que los hace adecuados para aplicaciones que requieren un control preciso de la temperatura. Por su parte, los termopares destacan por su amplio rango de operación, robustez mecánica y capacidad de trabajar en ambientes de altas temperaturas, lo cual los convierte en una opción común en equipos de calentamiento industrial como algunos son:

- **Termopares (tipo K, J):** ampliamente utilizados en el cilindro de inyección por su resistencia a altas temperaturas.
- **Detectores de temperatura por su resistencia (RTD):** empleados cuando se requiere mayor precisión y estabilidad térmica.
- **Sensor PT100:** tipo específico de RTD, común en sistemas de control de temperatura de inyectoras.
- **Termistores:** Usando en aplicaciones de baja temperatura o como protección térmica.
- **Controlador de temperatura:** dispositivo que recibe la señal del sensor y gestiona el calentamiento

En la siguiente tabla se presentan las principales características técnicas de dos tipos de sensores de temperatura, lo que permite realizar una comparación objetiva y seleccionar el dispositivo más adecuado de acuerdo con los requerimientos del proceso de inyección de plástico.

Tabla 25. Sensores de Temperatura [40]

Tipo de sensor de temperatura		
	RTD	Termopar
Tipos	Pt100 y Ptr 1000	K, J, E, T
Variable eléctrica de salida	Resistencia eléctrica (Ω)	Tensión (mV)
Rango general de temperatura	-100 a 600 C	-200 a 1500 C
linealidad	Excelente	Buena
Exactitud típica	$\pm 0,1$ C a 0 C hasta $\pm 1,3$ Ca 600 C	$\pm 2,2$ C a 0 C hasta ± 10 C a 600 C
Velocidad de respuesta	Mas lenta	Mas rápida
ventajas	Mejor exactitud y estabilidad	Mayor rango de medida
Sensibilidad	Moderada	Baja
Alimentación	Requerida	No requerida

11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se detallarán las fórmulas que previamente fueron presentadas en la metodología, las cuales permitirán determinar si la inyectora cumple con sus funciones bajo los parámetros establecidos.

11.1 Fases de trabajo

- Fase de trabajo 1: Inyección del plástico

- Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección)
- Fase de trabajo 3: fundición de plástico
- Fase de trabajo 4: Molde

En la siguiente tabla se elabora tomando referencia estructural por adaptar a las características de nuestra inyectora de plástico

Tabla 26. Fases de trabajo

Subsistema	Configuración	Ilustración
Inyección del plástico	Pistón de presión manual asistido por cilindro neumático	
Potencia (presión de inyección)	Presión de inyección manual con palanca	
Fundición de plástico	Resistencia tipo abrazadera	

Molde	Cuadrado y circular de acero, Figura de la mascota de la universidad	
---------------------	---	---

11.2 Fase de trabajo 1: inyección del plástico

Ahora se procederá a resolver primero el volumen interno del cilindro usando la primera ecuación la cual vimos en la metodología en el primer subsistema:

$$V_c = 3.1416 * 1\text{cm}^2 * 9\text{cm}$$

$$V_c = 28,27\text{cm}^3$$

Con la cantidad de volumen que se sabe que cabe en el cilindro de fundición se logrará pasar al siguiente punto el cálculo de la masa total

En donde:

$$M_t = 28,27\text{cm}^3 \cdot 0,97\text{gr/cm}^3$$

$$M_t = 27,42\text{g}$$

Luego de conocer la masa total que cabe dentro del cilindro, se puede determinar cuántos ciclos de inyección puede realizar la máquina:

$$N = \frac{27,42\text{g}}{3\text{g}}$$

$$N = 9,14$$

11.3 Fase de trabajo 2: potencia (presión de inyección) y cilindro neumático

Para determinar la presión del aire, se utilizó la ecuación vista anteriormente en la metodología, reemplazando los valores con los datos disponibles, resultando en:

$$P = \frac{238 \text{ N}}{3.1416 \text{ cm}^2}$$

$$P = 757500 \text{ Pa}$$

11.4 Sistema eléctrico máquina inyectora

El sistema de moldeo por inyección en una inyectora manual asistida por un cilindro neumático usa tres sistemas eléctricos principales para su funcionamiento adecuado:

- Sistema eléctrico general
- Sistema de accionamiento del cilindro neumático
- Sistema de control de temperatura

11.4.1 Sistema eléctrico general

En la siguiente tabla se muestran los elementos que integran el sistema eléctrico general de la inyectora de plástico manual asistida por un cilindro neumático, presentando para cada componente su descripción funcional y la imagen correspondiente para su identificación

Tabla 27. Sistema eléctrico general

N.	Componente	Descripción	Figura
1	Selector on/off	Interruptor manual que permite habilitar o deshabilitar el suministro de energía	
2	Luces de encendido	Instrumento para visualizar el estado de la quina inyectora	
3	Relay	Dispositivo electromecánico o electrónico que actúa como interruptor	

4	Contactor	Dispositivo electromecánico de maniobra diseñado para conectar o desconectar circuitos	
---	------------------	--	---

11.4.2 Sistema de accionamiento del cilindro neumático

En la siguiente tabla se describen los elementos que conforman el sistema de accionamiento del cilindro neumático de la inyectora de plástico, incluyendo la descripción de cada componente y su respectiva representación gráfica.

Tabla 28. Sistema de accionamiento del cilindro neumático

N	Componente	Descripción	Fotografía
5	Selector de dos vías	Interruptor de accionamiento manual que permite el paso de aire	
6	Electroválvula 3/2 W de una vía	Válvula controlada eléctricamente	
7	Manguera neumática de 6 mm	Conducto flexible que transporta aire comprimido	

8	Cilindro neumático	Actuador que transforma la energía del aire comprimido en movimiento lineal	
9	FRL unidad de mantenimiento neumático	Conjunto compuesto por filtro, regulador y lubricador encargado de acondicionar el aire comprimido	
10	Fuente de 24 voltios	Encargada de transportar y convertir la energía de 110v a 24 v	

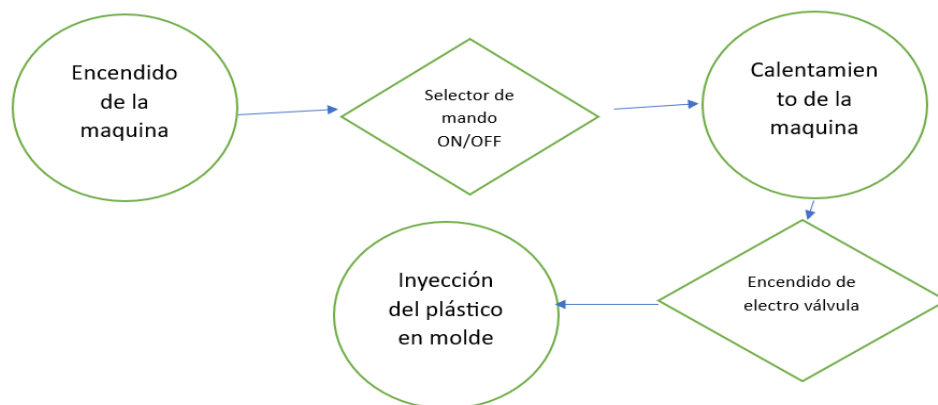


Figura 19. Diagrama de Flujo del cilindro neumático

En la siguiente Figura mostraré un diagrama de flujo que representa la secuencia de operación para el accionamiento del cilindro neumático en la inyectora de plástico manual, indicando el inicio del ciclo, las decisiones de control durante la inyección y la finalización del mismo.

11.4.3 Sistema de control de temperatura PID.

En la siguiente tabla se mostrará los elementos electrónicos que componen el sistema de control de temperatura PID con su respectiva descripción y su fotografía. Tanto en su programación del controlador CH102 se selecciona el control on/off para el proceso de fundición de plástico previo a su respectiva inyección, este tipo de controlador es el más recomendado en este tipo de máquinas debido a su facilidad de instalación y programación lo cual lo hace eficiente y rápido.

Tabla 2920. Sistema de control de temperatura PID

N.	Componente	Descripción	Fotografía
11	Controlador de temperatura	Elemento eléctrico encargado de que el encender la resistencia para fundir el plástico he inyectarlo en el molde después.	
12	Selector de dos posiciones ON/OFF	Selector eléctrico que enciende y apaga el controlador de temperatura	
13	Bombilla de encendido de la máquina verde o roja	Bombilla que enciende cuando la resistencia comienza a calentarse o apagarse	
14	Termocupla	Sensor que se usa para medir la temperatura convirtiendo la variable física en una variable eléctrica	

15	Resistencia	Encargada de calentar el cilindro calefactor para fundir el plástico	
----	--------------------	--	---

11.5 Circuito del sistema de fundición de la máquina.

Para la simulación del circuito en la zona de fundición de plástico se usó el programa de cade simu esto debido a que es rápido y eficiente en las simulaciones de circuitos como en la siguiente ilustración. Este siendo mostrado en los anexos del trabajo para mayor comodidad.

12 IMPACTOS TANTO TÉCNICOS, SOCIALES y ECONÓMICOS

12.1 Impacto Técnico

La implementación de la máquina inyectora de plástico manual con control automático de temperatura representa un aporte técnico concreto para el laboratorio de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná. El equipo desarrollado integra un sistema de control PID con sensores tipo termocupla K, resistencias calefactoras tipo abrazadera y un cilindro neumático de accionamiento lineal, configuración que permite mantener rangos de temperatura estables entre 180 °C y 250 °C durante el proceso de fusión del material. Esta precisión térmica reduce significativamente la degradación del polímero y garantiza la repetibilidad del proceso en cada ciclo de inyección.

Desde la perspectiva del diseño mecánico, el prototipo demuestra que es posible fabricar un equipo funcional con materiales accesibles en el mercado nacional, como acero estructural AISI 1045 y componentes eléctricos de uso industrial, alcanzando una capacidad de inyección de 27,42 g por carga con hasta 9 ciclos por llenado del cilindro. Además, la incorporación del cilindro neumático operando a una presión de trabajo de 757.500 Pa elimina la dependencia de la fuerza manual continua del operario, mejorando la consistencia de la presión aplicada sobre el material fundido. El equipo constituye un recurso de laboratorio replicable, lo que abre la posibilidad de incorporarlo como módulo de prácticas para las asignaturas de manufactura, automatización y control térmico dentro de la carrera.

12.2 Impacto Social

El proyecto tiene un alcance social relevante al proponer una solución tecnológica de bajo costo orientada a la reducción de residuos plásticos en el entorno universitario y comunitario. La máquina permite transformar plásticos de descarte como tapas de botellas, envases domésticos y fragmentos de polietileno o polipropileno en piezas funcionales como llaveros, engranajes pequeños y elementos didácticos, dotando de valor agregado a materiales que de otro modo terminarían en vertederos o espacios públicos. Esta capacidad de transformación local contribuye directamente a la concientización ambiental dentro del campus y puede extenderse a talleres comunitarios, asociaciones de reciclaje y grupos de emprendimiento en el cantón La Maná.

Por otro lado, la sencillez operativa del equipo permite que personas con formación técnica básica puedan manejarlo con seguridad, lo que amplía su potencial de transferencia a sectores vulnerables de la población. En particular, familias dedicadas al reciclaje informal podrían incorporar este tipo de tecnología para escalar su actividad hacia la producción de pequeñas piezas plásticas comercializables, generando ingresos con una inversión inicial accesible. En el ámbito educativo, el prototipo fortalece el vínculo entre la universidad y la sociedad, alineándose con las líneas de investigación institucionales orientadas a la transferencia de tecnología sostenible y el desarrollo socioeconómico local.

12.3 Impacto Económico

El costo total de fabricación del prototipo asciende a \$609,30, distribuyendo \$569,30 en costos directos correspondientes a materiales mecánicos, eléctricos y componentes de control, y \$40,00 en costos indirectos de transporte. Esta inversión resulta significativamente inferior a la de una inyectora eléctrica o hidráulica de escala similar disponible en el mercado, cuyo precio puede superar los \$3.000,00, lo que posiciona al equipo como una alternativa económicamente viable para instituciones educativas, microemprendimientos y talleres de baja producción.

Desde el punto de vista productivo, la máquina tiene capacidad para realizar múltiples ciclos de inyección por jornada, lo que permite estimar una producción de piezas pequeñas con un costo de manufactura reducido, considerando que la materia prima es plástico reciclado de obtención gratuita o de muy bajo costo. A mediano plazo, la réplica de este modelo en escala comunitaria podría generar una cadena de valor local en torno al reciclaje de plásticos, reduciendo paralelamente los costos asociados a la gestión de residuos sólidos en el cantón. De esta manera, el proyecto no solo representa

un ahorro en términos de equipamiento para la universidad, sino que también sienta las bases para iniciativas de economía circular replicables en contextos de recursos limitados.

13 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

13.1 Costos directos

En la siguiente tabla la numero describimos un listado de elementos tanto mecánicos y eléctricos los cuales usamos en la fabricación de la máquina

Tabla 21. Costos directos del prototipo

Detalles	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Estructura metálica	2	40,00	190.00
Cilindro de inyección	1	50,00	50.00
Pistón o embolo	1	30,00	30,00
Mini tolva de alimentación	1	10,00	10,00
Boquilla de inyección	1	5,00	5,00
Sistema de calefacción (resistencias)	1	40,00	40,00
Controlador de temperatura PID	1	Donado por la universidad	0,00
Palanca manual o tubo neumático	1	Donado por la universidad	0,00
Moldes básicos (aluminio o madera)	2	280	280.00
Aislante térmico	1	10,00	10,00
Componentes eléctricos menores	4	Donado por la universidad	0,00
TOTAL.			569,30

13.2 Costos indirectos

El presupuesto que se tenía era limitado principalmente porque se buscaron opciones económicas que incluso pudiera ser replicable para los estudiantes de ingeniería electromecánica y se tomó en cuenta

la consideración los costos de materiales tanto indirectos, directos y mano de obra. En la siguiente tabla se dará los detalles de los costos indirectos.

Tabla 22. Costos directos del prototipo

Costos indirectos			
Detalles	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Transporte	40	1.00	40
Alimentación	21	0	0
TOTAL			40

13.3 Presupuesto total

En la siguiente tabla se visualizará el presupuesto total del proyecto considerando tantos costos indirectos, directos.

Tabla 23. Presupuesto final del prototipo

Detalle	Valor total
Costos indirectos	40,00
Costos directos	569,30
Total	609,30

14 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1 Conclusiones

La implementación del prototipo de máquina inyectora manual con control automático de temperatura demostró ser técnicamente viable para el procesamiento de plásticos reciclados en entornos académicos de bajos recursos. El diseño estructural desarrollado en acero AISI 1045, combinado con el sistema de accionamiento neumático operando a 757.500 Pa, proporcionó la rigidez mecánica y la presión de inyección necesarias para obtener piezas de geometría definida en cada ciclo de trabajo. La integración del cilindro neumático al sistema manual eliminó la dependencia de la fuerza continua del operario, mejorando la consistencia del proceso y reduciendo la variabilidad entre ciclos

consecutivos, lo que valida el cumplimiento del primer objetivo específico referido al diseño y construcción de la estructura mecánica.

El sistema de control térmico basado en el controlador PID CH702 con sensor tipo termocupla K demostró una capacidad efectiva de regulación dentro del rango operativo de 180 °C a 250 °C, manteniendo condiciones térmicas estables y reproducibles durante todas las pruebas realizadas. Esta estabilidad garantizó una plastificación homogénea del polietileno de alta densidad y del polipropileno reciclado, minimizando los riesgos de degradación del material y los defectos superficiales en las piezas obtenidas. Estos resultados confirman el cumplimiento del segundo objetivo específico, demostrando que la automatización térmica mediante lógica PID es una solución eficiente y accesible para equipos de inyección de pequeña escala.

El análisis comparativo de los materiales termoplásticos reciclados evidenció que tanto el polietileno de alta densidad como el polipropileno presentan propiedades térmicas y reológicas compatibles con el proceso de inyección del prototipo, con temperaturas de fusión de 130 a 137 °C y 130 a 168 °C respectivamente, y una capacidad de carga de 27,42 g por ciclo con hasta 9 inyecciones por llenado. Estos parámetros, sumados a un costo total de fabricación de \$535,00, confirman el cumplimiento del tercer objetivo específico y posicionan al equipo como una herramienta replicable con alto potencial de aplicación en emprendimientos locales, talleres comunitarios y procesos formativos orientados a la manufactura sostenible.

14.2 Recomendaciones.

Para garantizar un funcionamiento adecuado y prolongar la vida útil de la máquina inyectora manual, es fundamental asegurar que, al finalizar cada ciclo de inyección, el cilindro de inyección se encuentre libre de material plástico. La permanencia de plástico fundido o parcialmente en el interior del cilindro puede generar adherencias en las paredes internas, dificultando el flujo del material en ciclos posteriores y aumentando el esfuerzo mecánico durante la operación manual. Una correcta purga del sistema contribuye a mantener condiciones estables de operación y reduce el riesgo de fallos mecánicos.

Debido a que los plásticos reciclados presentan diferentes comportamientos térmicos y reológicos, se recomienda realizar pruebas preliminares al trabajar con distintos materiales, tales como polietileno de baja densidad (PEBD), con polipropileno (PP) u otros termoplásticos reciclables. Estas pruebas

permiten determinar con mayor precisión la temperatura de referencia, los tiempos de calentamiento y las condiciones óptimas de inyección. El uso de un sistema de control automático de temperatura de una temperatura estable durante la etapa de fusión, mejorando la calidad del material inyectando y la repetitividad del proceso

Como línea de mejora futura, se recomienda continuar con la automatización de funciones críticas de la inyectora, tales como el cierre del molde o el monitoreo de la presión de inyección. La incorporación de estos sistemas permitirá optimizar el rendimiento del equipo, reducir errores operativos u aumentar la seguridad del operador, manteniendo la simplicidad propia de una máquina de operación manual o semiautomática.

Finalmente, este proyecto representa una alternativa técnica viable para la transformación de residuos plásticos en productos reutilizables, con un impacto positivo a nivel ambiental social y educativo. la inyectora manual, al ser de bajo costo

Para finalizar, en este proyecto representa una alternativa técnica viable para la transformación de residuos plásticos en productos reutilizables, con un impacto positivo a nivel ambiental social y educativo. La inyectora manual, al ser de bajo costo y fácil operación puede integrarse en talleres educativos, centros de reciclaje comunitarios o microemprendimientos locales, promoviendo el reciclaje activo y el desarrollo de capacidades técnicas en procesos de manufactura sostenible.

15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Machado, J. (2022): Contexto de desechos plásticos en Ecuador.
- [2] Acuña Ruiz, A., & Plasencia Alvarez, M. (2020): Antecedentes de máquinas en facultades técnicas.
- [3] Ambientum (2019): Contaminación y economía circular.
- [4] Paz Delgado, V. (2019): Algoritmos PID y control térmico.
- [5] Incropera (2002): Transferencia de calor y derivados petroquímicos.
- [6] Shingón Collaguazo, O., & Uvillus Tipan, G. (2019): Proyectos previos de la UTC.
- [7] Perez Porto, J., & Gardey, A. (2015): Definición química de plásticos.
- [8] Hermida, E. (2011): Procesos de polimerización.
- [9] Innove Group (2017): Calidad y geometría en moldeo por inyección.
- [10] Burbano Sotomayor, J. E., & Con Sánchez, J. E. (2013): Mano de obra y automatización.
- [11] Gallo Muela, A. M., & Toaquiza Montaguano, I. A. (2022): Comparativa con extrusoras de La Maná.
- [12] Campos Moscoso, D., & Caraguay Pullagari, E. (2021): Propiedades técnicas y aplicaciones del Polietileno.
- [13] Gutiérrez Paredes, C., & Vargas Ayala, L. (2017): Procesamiento y rigidez del Polipropileno (PP) reciclado.
- [14] Omnexus (2024): *Thermophysical Properties of Commodity Polymers: SpecialChem Database*. [En línea].
- [15] Burbano Sotomayor, J. E., & Con Sánchez, J. E. (2013): *Mano de obra y automatización*.
- [16] Covestro AG (2024): "Makrolon® Polycarbonate: Material Properties and Processing Guide," *Covestro Technical Data Center*, 2024.
- [17] Plastics Industry Association (2023): "Engineering Thermoplastics: Polycarbonate (PC)," *Plastics Material Data Sheets*, 2023.
- [18] British Plastics Federation (BPF), "Polystyrene (PS) Material Properties and Products," BPF Knowledge Base, 2024.
- [19] J. M. McKelvey, *Polymer Processing*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 1962.
- [20] PVC Forum, "Vinyl Applications in Modern Construction and Infrastructure," *PVC Industry News*, 2023.
- [21] PlasticsEurope, "Polypropylene (PP): A Versatile Polymer for Sustainable Solutions," *PlasticsEurope Material Information*, 2023.

- [22] Campos Moscoso, D., & Caraguay Pullaguari, E. (09 de agosto de 2021). Diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora para fundir plástico PET reciclable con capacidad de 5kg/h. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20768>
- [23] Acuña Ruiz, A., & Plasencia Alvarez, M. (14 de septiembre de 2020). Diseño de una máquina extrusora - inyectora de plásticos para pruebas en materiales de baja densidad. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8046>.
- [24] Gutiérrez Paredes, C., & Vargas Ayala, L. (15 de noviembre de 2017). Diseño y fabricación de una máquina extrusora para crear el filamento de la impresora 3D a partir de material plástico. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7922>
- [25] Amaya Giraldo, A. I., & Lamilla Cabrera, A. M. (2018). Planta de transformación de plástico recuperado PET, PEAD y PEBD. Universidad Distrital.
- [26] Ucha, F. (2012). Definición de Máquina. Definición ABC.
- [27] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna, 5.^a ed. Madrid: Pearson, 2010.
- [28] F. P. Incropera y D. P. DeWitt, Fundamentos de transferencia de calor, 6.^a ed. México: Limusa Wiley, 2007.
- [29] S. P. Tubbs, Programmable Logic Controller (PLC) Tutorial, Siemens Simatic S7-1200, 1.^a ed. s.l.: Stephen P. Tubbs, 2016
- [30] W. Bolton, Programmable Logic Controllers, 6.^a ed. Oxford, Reino Unido: Newnes, 2015, pp. 15-22 y 320-322.
- [31] Watlow Electric Manufacturing Company, "Heater Selection Guide," en Heating Solutions for Plastics Processing, St. Louis, MO, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.watlow.com>
- [32] Tempco Electric Heater Corporation, "Cartridge and Nozzle Heaters Technical Data," en Electric Heating Elements and Controls Catalog 15, Wood Dale, IL, 2022. [En línea].
- [33] R. P. Whelan, Polymer Technology Dictionary, 1ra ed. Londres, Reino Unido: Chapman & Hall, 1994, pp. 184-187.
- [34] Comercializadora CEIV, "Resistencia tipo cartucho - Alta y Baja Concentración, Terminales Flexibles," CEIV Knowledge Base, 2024.
- [35] Watlow Electric Manufacturing Company (2023): *Heater Selection Guide: Heating Solutions for Plastics Processing*, St. Louis, MO.
- [36] Tempco Electric Heater Corporation (2022): *Cartridge and Nozzle Heaters Technical Data: Electric Heating Elements and Controls Catalog 15*, Wood Dale, IL.

- [37]] Whelan, R. P. (1994): *Polymer Technology Dictionary*, 1ra ed. Londres, Reino Unido: Chapman & Hall, pp. 184-187
- [38] Geek. (2018). Termopares: Medición de temperatura con Arduino y MAX6675. (Sustento técnico de la electrónica).
- [39] OMEGA Engineering, “Thermocouples: High Temperature Mineral Insulated Probes with Threaded Fittings,” OMEGA Technical Products, 2024.
- [40] A. M. Gallo Muela e Í. A. Toaquiza Montaguano, “Implementación de un prototipo de Extrusora de plásticos para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi,” Proyecto de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador, 2022.
- [41] I. Pachacama Campaña, “Automatización de una máquina extrusora de plástico para incrementar la capacidad de producción de manguera de uso eléctrico,” Proyecto de grado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, 2019.
- [42] Sensotec Group, “Sonda de temperatura RTD Pt100 con cabezal de conexión industrial y racor de rosca fija,” Sensotec Industrial Catalogue, 202