



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

EXTENSIÓN LA MANÁ

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS-CIYA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS
PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN “LA MANÁ”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del título de Ingeniero
Electromecánico

AUTORAS:

Gallo Muela Alex Mauricio

Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander

TUTOR:

Ing. Morales Cevallos José Williams

LA MANÁ-ECUADOR

AGOSTO-2022

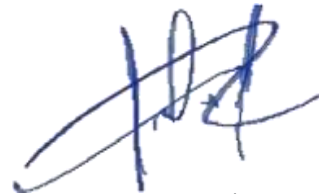
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Gallo Muela Alex Mauricio con cédula de ciudadanía 0550530075 y Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander con cédula de ciudadanía 1250631841, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, siendo el Ing. Morales Cevallos José Williams Mg., tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Gallo Muela Alex Mauricio
C.I. 0550530075



Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander
C.I. 1250631841

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI” de Gallo Muela Alex Mauricio y Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander de la carrera de Ingeniería Electromecánica, 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 Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto del 2022



Ing. Morales Cevallos José Williams Mg.

C.I. 0502675424

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, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas – CIYA por cuanto los postulantes: Gallo Muela Alex Mauricio con cédula de ciudadanía 0550530075 y Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander con cédula de ciudadanía 1250631841 con el título de proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”, 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, agosto del 2022

Para constancia firman:



M.Sc. Paco Jovanni Vásquez Carrera
C.I: 0501758767
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



M.Sc. Johnatan Israel Corrales Bonilla
C.I: 0503145518
LECTOR 2 (MIEMBRO)



M.Sc. Francisco Saul Alcocer Salazar
C.I: 0503066797
LECTOR 3 (SECRETARIO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer Dios, a mi padre Rosendo Antonio Gallo Guaranda una persona que me ha ayudado y apoyado en todo mi proceso de formación académica, a mi tutor de tesis, José Morales, por haberme orientado en todo este proceso. Así mismo, deseo expresar mi agradecimiento a la emblemática UTC y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Alex

AGRADECIMIENTO

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial a mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudo a culminar mi carrera universitaria y me dio el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

Ítalo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, de manera especial a mi padre Rosendo Antonio Gallo Guaranda un pilar muy fundamental dentro de mi formación académica, quien me enseñó que el mejor conocimiento que se puede tener es el que se aprende por uno mismo.

Alex

DEDICATORIA

A mi padre Toaquiza Ugsha Juan Rodrigo quien con su amor, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermano Toaquiza Toaquiza Deivy Johel por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. Y a toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Ítalo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS – CIYA

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN “LA MANÁ”

Autores:

Gallo Muela Alex Mauricio

Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander

RESUMEN

El presente proyecto consistió en la implementación de un prototipo de extrusora de plásticos para la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se utilizó como materia prima el polietileno de baja densidad de $0,94 \text{ gr/cm}^3$ en donde se necesita alcanzar una temperatura de $180 \text{ }^\circ\text{C}$ para su fundición. El diseño de la máquina extrusora inicia con la construcción de una tolva cuadrada de tool galvanizado para una capacidad de 8,27 kg, el tornillo sin fin se fabricó en acero AISI 4140 con 50,8 mm de diámetro y 650 mm de largo, para el cilindro extrusor también se utilizó el acero AISI 4140 con un diámetro interior de 64,2 mm y 675 mm de largo, el molde se fabricó en acero AISI 1018 con las medidas del producto final que es el perfil rectangular de alto y ancho: 7 cm y de largo 25 cm, para el sistema de enfriamiento se construyó una tina de alto y ancho: 15 cm y 35 cm de alto y finalmente una estructura de soporte fabricado en acero estructural cuadrado AISI 1010 de 38 mm de lado y 1,5 mm de espesor. Se implementó un tablero de control para el arranque del motor eléctrico de 2 HP a 220 Vac y para el control de temperatura on/off utilizando el controlador CH-102, dos termocuplas y 5 resistencias de tipo abrazadera de 300 W permitiendo su encendido o apagado de acuerdo a un valor de referencia de $180 \text{ }^\circ\text{C}$. Finalmente se desarrollaron las pruebas de funcionamiento de la extrusora, permitiendo conseguir un perfil rectangular de 7cm x 7 cm x 25 cm con una cantidad de masa de 1,15 kg.

Palabras clave: máquina extrusora, polietileno, perfil rectangular y control de temperatura.

ABSTRACT

The present project consisted in the implementation of a prototype of a plastic extruder for the Electromechanics career of the Technical University of Cotopaxi. The raw material used was low density polyethylene of 0.94 gr/cm³ where it is necessary to reach a temperature of 180 °C for its melting. The design of the extruder machine begins with the construction of a square hopper of galvanized tool for a capacity of 8.27 kg, the worm screw was made of AISI 4140 steel with 50.8 mm in diameter and 650 mm long, for the extruder cylinder was also used AISI 4140 steel with an inner diameter of 64.2 mm and 675 mm long, the mold was made of AISI 1018 steel with the measures of the final product which is the rectangular profile of height and width: 7 cm and length 25 cm, for the cooling system was built a tub of height and width: 15 cm and 35 cm high and finally a support structure manufactured in AISI 1010 square structural steel of 38 mm side and 1.5 mm thick. A control board was implemented for starting the 2 HP electric motor at 220 Vac and for the on/off temperature control using the CH-102 controller, two thermocouples and 5 300 W clamp type resistors allowing its on/off according to a 180 °C reference value. Finally, the extruder operation tests were developed, allowing to obtain a rectangular profile of 7 cm x 7 cm x 25 cm with a mass quantity of 1.15 kg.

Keywords: extruder machine, polyethylene, rectangular profile and temperature control.

ÍNDICE GENERAL

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
3.1. Justificación del proyecto	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5.1. Planteamiento del problema	4
5.2. Delimitación del problema	4
6. OBJETIVOS.....	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos específicos.....	5
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS	6
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1. Antecedentes de la investigación.....	7
8.2. Proceso de extrusión de plásticos	8
8.2.1. Polietileno de baja densidad	9
8.2.2. Polipropileno	9
8.2.3. Policloruro de vinilo (PVC).....	10
8.3. Máquina extrusora	10
8.3.1. Tipos de máquinas extrusoras	11

8.3.2. Aplicaciones de los proceso de extrusión.....	12
8.4. Partes de una máquina extrusora	12
8.4.1. Sistema mecánico	13
8.4.2. Sistema eléctrico.....	17
9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	21
Localización.....	21
9.1. Tipos de investigación	21
9.1.1. Investigación bibliográfica	21
9.2. Métodos de investigación	22
9.2.1. Método científico.....	22
9.2.2. Hipótesis del proyecto	22
9.2.3. Pregunta científica	22
9.3. Declaración de variables.....	22
9.3.1. Variable independiente	22
9.3.2. Variable dependiente	22
9.4. Proceso de construcción	23
9.4.1. Subsistema 1: Alimentación de la máquina.....	23
9.4.2. Subsistema 2: Extrusión del plástico	24
9.4.3. Subsistema 3: potencia (movimiento mecánico).....	29
9.4.4. Subsistema 4: fundición del plástico	30
9.4.5. Subsistema 5: molde	34
9.4.6. Criterio de control de temperatura.....	34
9.4.6. Instrumento de medición	35
10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	36
10.1. Dimensionamiento del subsistema 1: alimentación de la máquina	36
10.1.1. Construcción de la tolva cuadrada.....	37
10.2. Dimensionamiento del subsistema 2: extrusión del plástico	38

10.2.1. Tornillo sin fin	38
10.2.2. Adquisición del tornillo sin fin	39
10.2.3. Cálculo de flujos en el tornillo sin fin	39
10.2.4. Cilindro extrusor.....	40
10.2.5. Construcción del cilindro extrusor	41
10.3. Dimensionamiento del subsistema 3: potencia (movimiento mecánico)	41
10.3.1. Diseño de la potencia del motor	42
10.3.2. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas del motor.....	42
10.4. Dimensionamiento del subsistema 4: fundición del plástico.....	43
10.4.1. Dimensionamiento de las pérdidas de calor	43
10.5. Dimensionamiento del subsistema 5: molde	46
10.5.1. Construcción del molde	47
10.5.2. Diseño del sistema de enfriamiento.....	47
10.5.3. Construcción de la estructura	48
10.6. Ensamblaje de los componentes	49
10.7. Sistema eléctrico de la máquina extrusora	50
10.7.1. Sistema general eléctrico	50
10.7.2. Sistema de encendido y apagado del motor eléctrico.....	50
10.7.3. Sistema de control de temperatura.....	53
10.7.4. Diseño del tablero eléctrico	56
10.7. Calibración de temperatura.....	58
10.7.1. Prueba 1 de calibración de temperatura.....	58
10.7.2. Prueba 2 de calibración de temperatura.....	58
10.8. Representación P&ID	59
10.9. Mapa general del proceso de extrusión	60
11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	61
11.1. Costos directos.....	61

11.2. Costos de mano de obra.....	62
11.3. Presupuesto total.....	62
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
12.1. Conclusiones.....	64
12.2. Recomendaciones:	65
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	66
14. ANEXOS	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso extrusor.....	9
Figura 2. Máquina extrusora.....	11
Figura 3. Partes de una máquina extrusora.....	13
Figura 4. Motor eléctrico	14
Figura 5. Reductor de velocidad.....	14
Figura 6. Poleas	15
Figura 7. Secciones del tornillo sin fin	16
Figura 8. Cilindro extrusor	17
Figura 9. Termopar	18
Figura 10. Tipos de señales de control a) on/off y b) PID.....	20
Figura 11. Ubicación del proyecto	21
Figura 12. Bosquejo del proyecto.....	23
Figura 13. Componentes del tornillo sin fin.....	24
Figura 14. Ancho del filete	25
Figura 15. Bosquejo del proyecto.....	28
Figura 16. Composición de las resistencias en conducción y convección	31
Figura 17. Tolva cuadrada	37
Figura 18. Tolva cuadrada	37
Figura 19. Diseño del tornillo sin fin.....	39
Figura 20. Adquisición del tornillo sin fin	39
Figura 21. Diseño del cilindro extrusor	41
Figura 22. Fabricación del cilindro extrusor	41
Figura 23. Intervalos de velocidad de corte.....	42
Figura 24. Placa de datos del motor.....	43
Figura 25. Medidas de las resistencias de tipo abrazadera	45
Figura 26. Medidas del molde	46
Figura 27. Fabricación del tornillo sin fin	47
Figura 28. Dimensiones de la tina de enfriamiento	47
Figura 29. Fabricación de la tina de enfriamiento	48
Figura 30. Dimensiones de la estructura	48
Figura 31. Construcción de la estructura	48
Figura 32. Máquina extrusora.....	49

Figura 33. Máquina extrusora en CAD.....	49
Figura 34. Diagrama de flujo del arranque del motor extrusor	52
Figura 35. Diagrama eléctrico del arranque del motor extrusor.....	52
Figura 36. Diagrama de flujo del control de temperatura on/off.....	54
Figura 37. Diagrama eléctrico del control de temperatura	55
Figura 38. Diagrama eléctrico del controlador CH10	55
Figura 39. Zonas de temperatura	56
Figura 40. Diseño del tablero eléctrico parte externa.....	57
Figura 41. Diseño del tablero eléctrico parte interna.....	57
Figura 42. Calibración 1 de la temperatura	58
Figura 43. Calibración 2 de la temperatura	59
Figura 44. Calibración 1 de la temperatura	59
Figura 45. Mapa general del proceso de extrusión.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto	3
Tabla 2. Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos.....	6
Tabla 3. Propiedades del polietileno de baja densidad	9
Tabla 4. Propiedades del polipropileno	10
Tabla 5. Propiedades del PVC	10
Tabla 6. Tipos de máquinas extrusoras	11
Tabla 7. Tipos de productos extruidos.....	12
Tabla 8. Ventajas y desventajas de la tolva redonda cónica.....	15
Tabla 9. Ventajas y desventajas de la tolva cuadrada.....	16
Tabla 10. Ventajas y desventajas de la resistencia mini tubular.....	17
Tabla 11. Ventajas y desventajas de la resistencia tipo de abrazadera	18
Tabla 12. Características y tipos de termopares	19
Tabla 13. Ventajas y desventajas de la RTD	19
Tabla 14. Tipos de termistores	20
Tabla 15. Variable independiente	22
Tabla 16. Variable dependiente	23
Tabla 17. Parámetros geométricos del husillo.....	25
Tabla 18. Características del polietileno de baja densidad	30
Tabla 19. Comparación de equipos de control de temperatura	34
Tabla 20. Comparación entre instrumentos de temperatura	35
Tabla 21. Configuración de la máquina extrusora.....	36
Tabla 22. Propiedades del aire a la temperatura de película.....	44
Tabla 23. Componentes del sistema general eléctrico.....	50
Tabla 24. Componentes del sistema de encendido y apagado del motor	51
Tabla 25. Componentes del sistema de control de temperatura	53
Tabla 26. Calibración de temperatura prueba 1	58
Tabla 27. Calibración de temperatura prueba 2.....	59
Tabla 28. Costos indirectos	61
Tabla 29. Costos directos.....	61
Tabla 30. Costos de mano de obra.....	62
Tabla 31. Presupuesto total.....	63

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EXTENSIÓN LA MANÁ”

Fecha de inicio:	marzo del 2022
Fecha de finalización:	agosto del 2022
Lugar de ejecución:	Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná
Unidad académica que auspicia:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas CIYA
Carrera que auspicia:	Ingeniería Electromecánica
Proyecto de investigación vinculado:	La transferencia tecnológica sustentable como eje fundamental para el desarrollo socio económico y la vinculación social
Equipo de trabajo:	
Tutor del Proyecto:	Ing. Morales Cevallos José Williams
Postulante:	Sr. Gallo Muela Alex Mauricio Sr. Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander
Área de conocimiento:	Ingeniería, Industria y Construcción
Línea de investigación:	Procesos Industriales
Sub líneas de investigación de la carrera:	Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos
Núcleo Disciplinar:	Desarrollo de tecnología y procesos de fabricación

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto consistió en la implementación de un prototipo de extrusora de plásticos para la carrera de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se utilizó como materia prima el polietileno de baja densidad de $0,94 \text{ gr/cm}^3$ en donde se necesita alcanzar una temperatura de 180°C para su fundición. El diseño de la maquina extrusora inicia con la construcción de una tolva cuadrada de tool galvanizado para una capacidad de 8,27kg, el tornillo sin fin se adquirió en acero AISI 4140 con 50,8mm de diámetro y 650mm de largo, para el cilindro extrusor también se utilizó el acero AISI 4140 con un diámetro interior de 64,2mm y 675mm de largo, el molde se fabricó en acero AISI 1018 con las medidas del producto final que es el perfil rectangular de alto y ancho: 7cm y de largo 25cm, para el sistema de enfriamiento se construyó una tina de alto y ancho: 15cm y 35cm de alto y finalmente una estructura de soporte fabricado en acero estructural cuadrado AISI 1010 de 38mm de lado y 1,5mm de espesor. Se implementó un tablero de control para el arranque del motor eléctrico de 2HP a 220Vac y para el control de temperatura on/off utilizando el controlador CH-102, dos termocuplas y 5 resistencias de tipo abrazadera de 300W permitiendo su encendido o apagado de acuerdo a un valor de referencia de 180°C . finalmente se desarrollaron las pruebas de funcionamiento de la extrusora, permitiendo conseguir un perfil rectangular de 7cm x 7cm x 25cm con una cantidad de masa de 1,15kg.

3. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Justificación del proyecto

Actualmente las investigaciones radican en el estudio del uso de los tipos de plásticos reciclados para la obtención de un producto final mediante la aplicación de procesos industriales con la finalidad de reducir la gran cantidad de desechos plásticos que se entierran en los rellenos sanitarios o que son arrojados en el océano, por lo tanto, el proyecto de titulación busca el diseño y la construcción de una máquina industrial para la elaboración de perfiles rectangulares con materiales reciclado utilizando el proceso de extrusión de plásticos.

Dentro del marco legal, el proyecto tiene relevancia en el vigente Plan Nacional de Desarrollo “Creando Oportunidades” precisamente en el objetivo 3 que dice: “Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular” y en la Constitución Nacional de la República del Ecuador en el Título VII “Régimen del buen vivir” capítulo primero “Inclusión y equidad” sección octava denominada “Ciencia y tecnología, innovación y saberes ancestrales”, en el artículo 385 y 386 manifiesta que la participación de instituciones del Estado, universidades y escuelas politécnicas en el ámbito tecnológico e innovación deben impulsar la producción nacional, elevando la eficiencia y productividad para mejorar la calidad de vida contribuyendo al buen vivir.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

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

Tabla 1 Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
Empresas que se dedican al proceso de extrusión	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná”

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Planteamiento del problema

Los plásticos son los materiales de mayor consumo en todo el mundo superando incluso a los metales, según los datos de la Asociación “Plastics Europe” en el año 2019 la producción de plásticos a nivel mundial alcanzó los 368 millones de toneladas y el 4% de este valor corresponde a América Latina. (Mena Roa, 2021)

Ecuador produce alrededor de 13 000 toneladas diarias de desechos plásticos según un estudio desarrollado de la Alianza Basura Cero Ecuador y la Universidad Andina Simón Bolívar, estos desperdicios generan dos grandes problemas, el primero es que un 5% de la cifra mencionada es utilizada para la elaboración de envases, empaques, fundas y otros productos de un solo uso que ya no corresponden a las tendencias actuales generando más problemas ambientales, mientras que el segundo problema es que el 95% de lo generado se entierra directamente en los rellenos sanitarios del país sin realizar ningún tipo de tratamiento. (Machado, 2022)

Por lo antes mencionado, es necesario desarrollar maquinarias con tecnología actual para aprovechar los desechos plásticos existentes y generar un producto final a través de un proceso industrial en base a estudios de los diferentes tipos de plásticos. Uno de los procesos más utilizados es el proceso de extrusión que se encarga de fundir y moldear al plástico dándole una forma deseada.

5.2. Delimitación del problema

La construcción de una máquina industrial que permita generar perfiles plásticos mediante el proceso de extrusión utilizando material reciclado para la Universidad Técnica de Cotopaxi, extensión La Maná.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

Implementar un prototipo de extrusor de plástico mediante la construcción de componentes mecánicos y selección de equipos eléctricos para la obtención de perfiles rectangulares plásticos en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná”

6.2. Objetivos específicos

- Examinar el principio de funcionamiento de una máquina extrusora mediante una recopilación de información determinando los parámetros de operación.
- Establecer la metodología de diseño mecánico y eléctrico utilizando las variables y ecuaciones involucradas en la máquina extrusora.
- Desarrollar las pruebas de funcionamiento para la obtención de perfiles rectangulares mediante material plástico reciclado.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.

Tabla 2 Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos

Objetivos	Actividades	Resultados de las actividades	Descripción (técnicas e instrumentos)
<p>Examinar el principio de funcionamiento de una máquina extrusora mediante una recopilación de información determinando los parámetros de operación.</p>	<p>Recopilación de información técnica de libros, proyectos de titulación, artículos científicos, entre otros.</p> <p>Desarrollo de la documentación técnica (estado del arte) del proceso de extrusión de plásticos.</p>	<p>Obtención de datos técnicos y de diseño en máquinas extrusoras.</p> <p>Verificación de los componentes mecánicos y eléctricos de una máquina extrusora.</p>	<p>Investigación bibliográfica</p>
<p>Establecer la metodología de diseño mecánico y eléctrico utilizando las variables y ecuaciones involucradas en la máquina extrusora.</p>	<p>Procedimiento de selección de parámetros para el diseño de la maquinaria.</p> <p>Utilización de un software para diseño mecánico y eléctrico.</p> <p>Fabricación de los componentes mecánicos y adquisición de los materiales eléctricos.</p>	<p>Ejecución de una memoria de cálculo para el diseño mecánico y eléctrico.</p> <p>Diseño de los planos mecánicos y eléctricos de la máquina extrusora.</p> <p>Construcción de la máquina extrusora y la implementación del tablero de control.</p>	<p>Investigación bibliográfica</p> <p>Investigación de campo</p> <p>Ecuaciones</p> <p>Software</p>
<p>Desarrollar las pruebas de funcionamiento para la obtención de perfiles rectangulares mediante material plástico reciclado.</p>	<p>Calibración del sistema de control de temperatura.</p> <p>Ejecución del proceso de extrusión utilizando plástico reciclado</p>	<p>Determinación de la temperatura adecuada para la fundición del plástico.</p> <p>Obtención de perfiles rectangulares plásticos.</p>	<p>Investigación de campo.</p>

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

8.1. Antecedentes de la investigación

En los diferentes estudios bibliográficos que se relacionan con la fabricación de una máquina extrusora se tienen los siguientes antecedentes de la investigación.

Según (Castañeda Canchón & Chacón Moreno, 2021) en su proyecto de titulación denominado “Construcción prototipo de una máquina extrusora y caracterización del plástico PP reciclado”, realizado en la Universidad de la Salle – Colombia manifiesta lo siguiente:

- Se realizó el diseño de una máquina extrusora tomando en consideración las especificaciones técnicas de una página web (Precious Plastic) dedicada a la fabricación de este tipo de maquinarias; el tornillo sin fin y el cilindro extrusor fueron construidos en acero reforzado resistente a la fricción y al calor, la tolva se diseñó de tipo trapecio utilizando una plancha de acero.
- Para el movimiento mecánico se utilizó un motor de ½ HP con un motorreductor a 65 RPM, para la parte de temperatura se utilizaron resistencias eléctricas como fuente de calor y su control se dio por medio de pirómetros con termocuplas, adicional se colocó dos amperímetros para verificar el amperaje de cada zona dividida en el cilindro.

Según (Noratto Rozo & Ruiz Fajardo, 2021) en su proyecto de titulación denominado “Diseño de una máquina extrusora para laboratorio de 40 kg/h de plástico reciclado reforzado con residuos de madera para la Fundación Universidad de América”, realizado en Colombia manifiesta lo siguiente:

- Se realizó el dimensionamiento de la maquina extrusora, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los diferentes materiales de fabricación y las necesidades del material a extruir, como temperatura, presión, velocidad de extrusión, acabado superficial, entre otros.
- Se utilizó un motor de 3 HP con un motorreductor a 140 RPM, adicional se implementó un variador de frecuencia con la finalidad de obtener una velocidad de salida deseada, el control de temperatura se lo realizó por medio de un PLC con termocuplas como sensores y se utilizaron luces indicadoras para visualizar el inicio/fin del control.

Según (Prado Espinoza, 2019) en su artículo científico denominado “Diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora de termoplásticos para la fabricación de un poste de cerca a

escala en San Juan de Pasto”, realizado en la Universidad Autónoma de Nariño – Colombia manifiesta lo siguiente:

- La construcción de una máquina extrusora permite diseñar y elaborar nuevos productos a base de material reciclado, el tipo de extrusora que se fabricó es de husillo simple, utilizando fórmulas de construcción para el tornillo fin sin, cilindro extrusor, motor eléctrico y el sistema de calentamiento del plástico.
- Se utilizó un motor de 2,4 HP con un sistema de reducción de velocidad con poleas a 13 RPM, la maquina presenta una capacidad de 20 kg/h para fabricar perfiles rectangulares utilizados como postes de cerca, las resistencias se seleccionaron de tipo abrazadera controladas por medio de un pirómetro permitiendo regular la temperatura interna del cilindro dependiendo del tipo de plástico a extruirse.

Según (Shingón Collaguazo & Uvillus Tipan , 2019) en su propuesta tecnológica denominada “Construcción de una máquina extrusora para plástico”, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi – Ecuador manifiesta lo siguiente:

- Se realizó una construcción de un prototipo de máquina extrusora para plásticos previamente triturados de 6 mm aproximadamente, la máquina está constituida por un tornillo extrusor de Arquímedes, el mismo que se ajusta con precisión dentro de un cilindro con el espacio suficiente para girar a una velocidad de 70 rpm.
- El material polímero es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje, fluye y se mezcla en el cilindro obteniendo por el otro extremo un perfil geométrico preestablecido.
- Se diseñó e implementó un control on/off, en dos zonas que regulan la temperatura del calefactor, permitiendo su encendido o apagado de acuerdo a un valor de referencia generalmente de 250 °C este tipo de control es suficiente para el sistema extrusor.

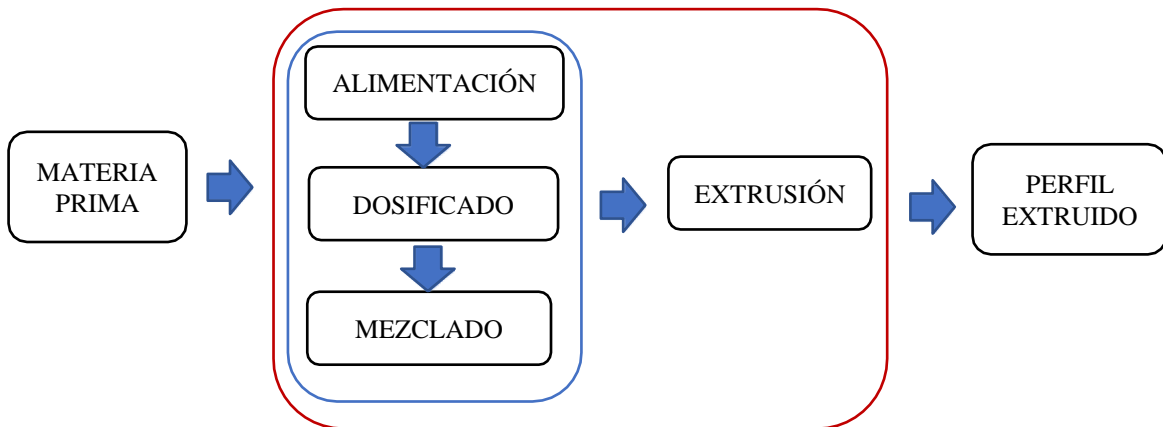
8.2. Proceso de extrusión de plásticos

La extrusión es un proceso industrial utilizado para crear objetos con un perfil de sección transversal, sólo se utiliza con materiales plásticos como: el polietileno, PVC, polipropileno, entre otros; la materia plástica en forma de gránulos ingresa por medio de la tolva de alimentación, en donde un cilindro que alberga un tornillo sin fin para transportarlo y fundirlo a lo largo de todo el cilindro para obtener una forma final deseada y finalmente enfriarla para su solidificación. Las ventajas principales de este proceso son su capacidad de crear secciones

transversales muy complejas y trabajar con materiales frágiles (quebradizos) ya que el material sólo se somete a esfuerzos de compresión y de fricción. (Acuña Ruiz & Plasencia Alvarez, 2020)

En la figura 1 se detalla el diagrama del proceso de extrusión.

Figura 1 Diagrama del proceso extrusor



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.2.1. Polietileno de baja densidad

Es obtenido al calentar etileno con oxígeno a bajas presiones, se caracterizan por ser elásticos, flexibles y termoplásticos, según su grado de fusión pueden ser duros, rígidos o poco elásticos y resistentes a agentes químicos. Sus principales aplicaciones son en la manufactura de planchas, materiales aislantes, recubrimiento contra la corrosión, protección de cultivos entre otros. (Campos Moscoso & Caraguay Pullaguari, 2021)

Tabla 3 Propiedades del polietileno de baja densidad

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	η	800 s/m ²




Fuente: (Acuña Ruiz & Plasencia Alvarez, 2020)

8.2.2. Polipropileno

Se forma mediante la polimerización del propileno, pero la orientación de sus moléculas provoca un mayor grado de cristalinidad, siendo más rígido que el polietileno; se emplean

principalmente en la fabricación de tubos, fibras para cuerdas, artículos textiles y películas para empaque de alimentos. (Gutiérrez Paredes & Vargas Ayala, 2017)

Tabla 4 Propiedades del polipropileno


Descripción	Símbolo	Valor	
Densidad	ρ	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	η	750 s/m ²	

Fuente: (Gutiérrez Paredes & Vargas Ayala, 2017)

8.2.3. Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo. Es el polímero modificable por lo cual sus usos abarcan desde la construcción de casa hasta prendas de vestir. Se emplea para la fabricación de tubos, depósitos de uso médico, entre otros. (Conto Albán & Cruz Wilches, 2018)

Tabla 5 Propiedades del PVC

Descripción	Símbolo	Valor	
Densidad	ρ	0,89 gr/cm ³	
Calor específico	C _p	1,5 kJ/kg·K	
Conductividad térmica	K	0,12 – 0,25 W/m·K	
Intervalo de temperatura fusión	T _{fus}	212 °C	
Viscosidad cinemática	η	263 s/m ²	

Fuente: (Conto Albán & Cruz Wilches, 2018)

8.3. Máquina extrusora

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa forzar un material a través de un orificio. La extrusión consiste en hacer pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con forma más o menos compleja y continua, de manera tal, que el material adquiera una sección transversal igual a la del orificio.

En la extrusión de termoplásticos el proceso no es tan simple, ya que, durante el mismo, el polímero se funde dentro de un cilindro y posteriormente, es enfriado. Este proceso de extrusión

tiene por objetivo, usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, etc.

Figura 2 Máquina extrusora

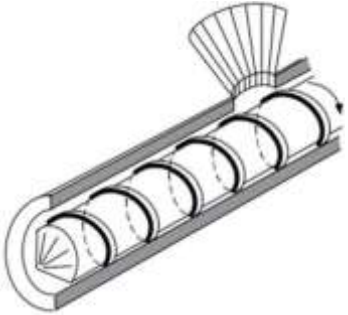
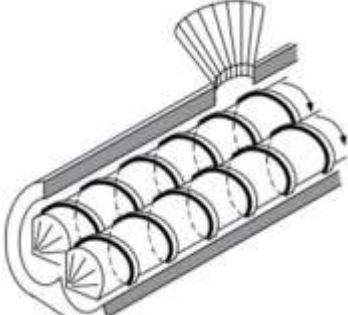
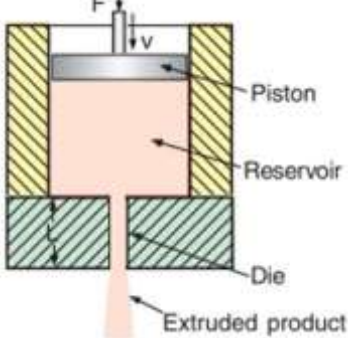


Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.3.1. Tipos de máquinas extrusoras

Existen tres tipos de extrusoras según la casuística usada para lograr el proceso de extrusión, en la tabla 6 se puede observar sus características principales.

Tabla 6 Tipos de máquinas extrusoras





Extrusora mono husillo	Extrusora doble husillo	Extrusora de RAM
Constan de un tornillo sin fin para el proceso de extrusión, son más utilizadas en la industria plástica	Constan de dos tornillos sin fin para el proceso de extrusión	En lugar de un tornillo sin fin, utiliza un pistón que cuenta con la misma dirección y sentido que el flujo de plástico fundido
		

Fuente: (González Lopez, 2021)

8.3.2. Aplicaciones del proceso de extrusión

A continuación, se enlistan productos que encuentran en el mercado, transformados por el proceso de extrusión:

Tabla 7 Tipos de productos extruidos

Película Tubular	Bolsa (comercial, supermercado)	
	Película plástica para uso diverso	
	Película para arropado de cultivos	
	Bolsa para envase de alimentos y productos de alto consumos	
Tubería	Tubería para condición de agua y drenaje	
	Manguera para jardín	
	Manguera para uso médico	
	Alambre para uso eléctrico y telefónico	
Perfiles	Hojas para persiana	
	Ventanera	
	Canales de flujo de Agua	
	Postes plásticos	
Filamentos	Alfombra (Filamento de las alfombras)	
	Materia prima para impresoras 3D	

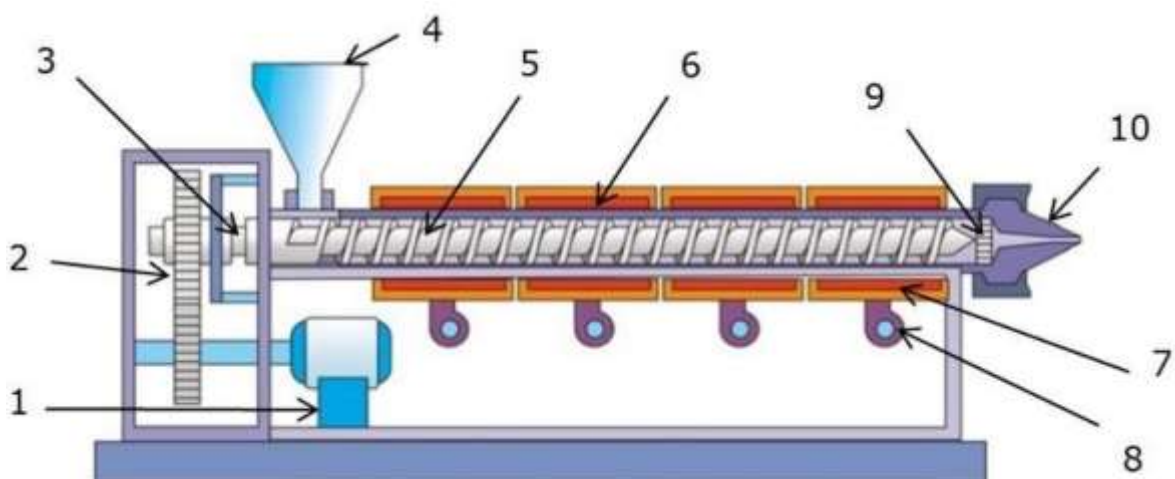
Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.4. Partes de una máquina extrusora

En la figura 3 se muestran las partes principales de forma esquemática de una máquina extrusora de un husillo (tornillo sin fin).

1. Motor eléctrico
2. Etapa de reducción de velocidad
3. Acople entre reducción de velocidad y tornillo sin fin
4. Tolva de alimentación
5. Tornillo sin fin
6. Cilindro extrusor
7. Resistencias eléctricas
8. Ventiladores para enfriamiento
9. Filtro
10. Cabezal

Figura 3 Partes de una máquina extrusora



Fuente: (Camacho Roldán, 2017)

8.4.1. Sistema mecánico

8.4.1.1. Motor extrusor

El motor es una máquina eléctrica rotatoria que transforma la energía eléctrica en energía mecánica, esta energía eléctrica puede ser corriente continua o corriente alterna. Para el proceso de extrusión, el motor eléctrico tiene como función, realizar la rotación del husillo o tornillo sin fin en un rango de velocidad adecuado. Existen varias formas de reducir la velocidad de un motor, puede ser mediante engranajes, bandas de transmisión, cadenas o de manera electrónica con un variador de velocidad. (Pachacama Campaña, 2019)

Figura 4 Motor eléctrico



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.4.1.2. Reductor de velocidad

Son sistemas de engranajes que permiten variar la velocidad de un motor según las necesidades, siendo indispensables en la industria actual. El motor se considera el “corazón de la industria” el cual funciona a diferentes velocidades de acuerdo a los requerimientos. Está compuesto por una corona dentada en cuyo centro se encuentra un eje de acero el cual tiene un contacto con un tornillo sin fin, reduciendo la velocidad de salida ya que una vuelta del tornillo produce el avance de un diente de la corona. (Gutiérrez Paredes & Vargas Ayala, 2017)

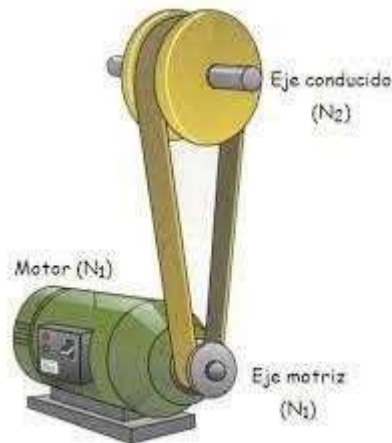
Figura 5 Reductor de velocidad



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.4.1.3. Sistema de poleas

Es un dispositivo diseñado para transmitir una fuerza, consiste en una rueda que tiene un canal en su contorno sobre el cual se coloca una banda y que gira sobre un eje. Se pueden formar “polipastos” que son conjuntos de poleas mediante los cuales se reduce la fuerza requerida para mover un peso. (Gutiérrez Paredes & Vargas Ayala, 2017)

Figura 6 Poleas

Fuente: (Huelin, 2010)

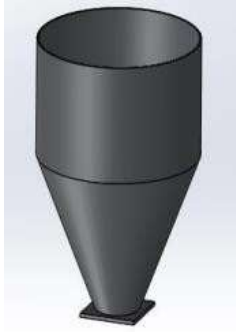
8.4.1.4. Tolva de alimentación

La tolva es el depósito de materia prima en donde se colocan los gránulos plásticos para una alimentación continua de la extrusora. Debe tener dimensiones adecuadas para ser completamente funcional; los diseños mal planeados, principalmente en los ángulos de bajada de material, pueden provocar estancamientos de material y paros en la producción.

- **Tolva redonda cónica**

Usualmente se utiliza para el almacenamiento de líquidos, debido a que su configuración cilíndrica permite un paso continuo de fluido evitando que este se quede obstruido en algún cambio de sección de la tolva, en la tabla 8 se observan sus ventajas y desventajas. (Campos Moscoso & Caraguay Pullaguari, 2021)

Tabla 8 Ventajas y desventajas de la tolva redonda cónica

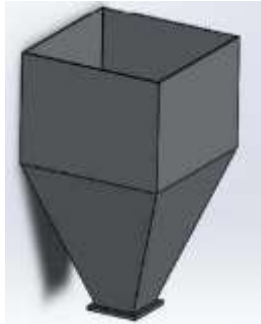
Ventajas	Desventajas	
No posee cambios de secciones internos	Su construcción es compleja	
No se quedan residuos de partículas de materia prima en bordes	Se necesita una mayor precisión para la unión de sus partes	
Menor cantidad de material para ser elaboradas		

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- **Tolva cuadrada**

Está constituida por una parte cuadrada superior a la cual se la une con una parte inferior en forma de pirámide truncada, comúnmente se la utiliza para la descarga de materia prima sólida, en la tabla 9 se observan sus ventajas y desventajas. (Campos Moscoso & Caraguay Pullaguari, 2021)

Tabla 9 Ventajas y desventajas de la tolva cuadrada

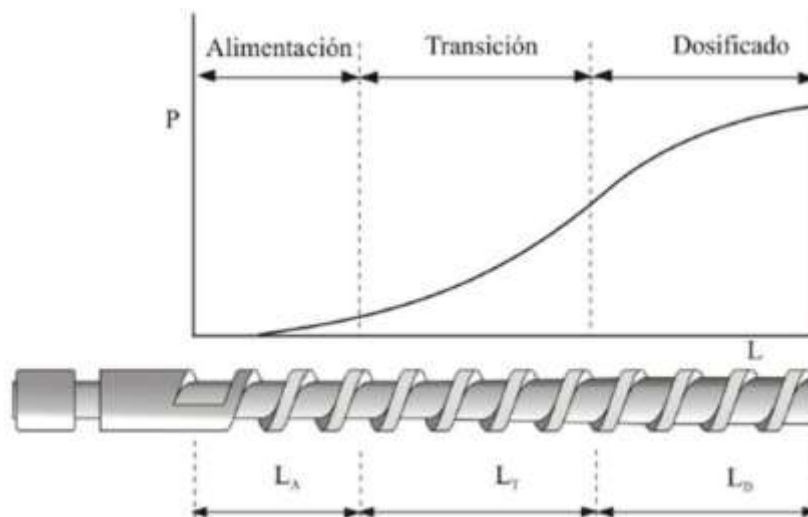
Ventajas	Desventajas	
Construcción más sencilla	Mayor acumulación de producto	
Mantenimiento más simplificado	Se requiere mayor cantidad de soldadura	
Capacidad de carga mayor		

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.4.1.5. Tornillo sin fin

El tornillo sin fin (husillo) se divide en tres secciones: zona de alimentación, zona de transición y zona de dosificación, como se muestra en la figura 7.

Figura 7 Secciones del tornillo sin fin



Fuente: (González Lopez, 2021)

En la zona de alimentación los gránulos plásticos ingresan en su estado sólido para ser transportados y calentados parcialmente. En la zona de transición el material plástico tiende a ser fundido, pero aun contiene varios gránulos en estado sólido. Al llegar a la zona de

dosificación todo el material plástico se encuentra fundido presentándose una temperatura elevada, así como la presión que se ejerce al fluido. (Duarte Heredia, 2020)

8.4.1.6. Cilindro extrusor

El cilindro externo, o barril, está equipado con un revestimiento ocasionalmente metálico, con alta resistencia al desgaste. Dicho material debe ser rugoso, para lograr la máxima fricción entre el plástico fundido y el barril, debido al calor de generación viscoso favorable que produce dicha fricción. (González Lopez, 2021)

Figura 8 Cilindro extrusor



Fuente: (Stebo, 2010)

8.4.2. Sistema eléctrico


8.4.2.1. Resistencias eléctricas

Las resistencias son elementos que son fabricados a base de níquel, en las cuales la energía eléctrica se transforma en calor; mediante la ley de Joule se puede determinar la cantidad de calor que es capaz de entregar una resistencia. (Morales Iles, 2018)

- **Resistencias mini tubulares**

Este tipo de resistencias están diseñadas para el calentamiento de boquillas y colectores, se utilizan con mayor frecuencia para proceso de inyección del plástico.

Tabla 10 Ventajas y desventajas de la resistencia mini tubular


Ventajas	Desventajas	
Se ajusta al diámetro y longitud deseada	Su mayor aplicación se lo realiza mediante inmersión y no recubrimiento	
Fácil adquisición en el mercado		
Sumamente flexibles dando una forma deseada		

Fuente: (Morales Iles, 2018)

- **Resistencias tipo abrazaderas**

Son resistencias que se pueden fabricar a medida, en acero inoxidable o una aleación de acero con zinc.

Tabla 11 Ventajas y desventajas de la resistencia tipo de abrazadera

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

Fuente: (Morales Iles, 2018)

8.4.2.2. Sensores de temperatura

La temperatura se utiliza frecuentemente para inferir otras variables del proceso, esta causa múltiples efectos, por lo cual se han desarrollado numerosos dispositivos para medirla, por ejemplo: termopares, detectores de temperatura por resistencia y termistores.

- **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. (Chuquilin Zoto, 2021)

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. (Chuquilin Zoto, 2021)

Figura 9 Termopar



Fuente: (Geek, 2018)

Tabla 12 Características y tipos de termopares


Tipo	Termopar	Intervalo	Error
B	Platino 30% Rodio (+) Platino 6% 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	Cromel (+) 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

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- **Detectores de temperatura por resistencia**

Conocidas por sus siglas RTD, utilizan sondas de resistencia que depende de la variación de la resistencia en función de la temperatura. Los materiales empleados para la construcción de sensores RTD suelen ser conductores tales como el cobre, el níquel o el platino. Un sensor muy común es el Pt100 (RTD de platino con resistencia 100 equivalente a 0 °C). En la tabla 13 se muestran las ventajas y desventajas de este tipo de sensor de temperatura. (Pachacama Campaña, 2019)

Tabla 13 Ventajas y desventajas de la RTD



Ventajas	Desventajas	
Proporciona las medidas de temperatura con mayor exactitud y repetitividad.	No son tan durables como los termopares ante vibraciones, golpes, entre otros.	
La relación entre la temperatura y la resistencia es la más lineal.	Es relativamente grande por lo que limita su velocidad de reacción.	
Mayor sensibilidad que los termopares	Es mayormente costoso.	

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- **Termistores**

Un termistor es un semiconductor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. Existen dos tipos de termistor presentados en la tabla 14. (Pachacama Campaña, 2019)

Tabla 14 Tipos de termistores

<p>NTC (coeficiente de temperatura negativo) La resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura.</p>	
<p>PTC (coeficiente de temperatura positivo) La resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura</p>	

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

8.4.2.3. Control de temperatura

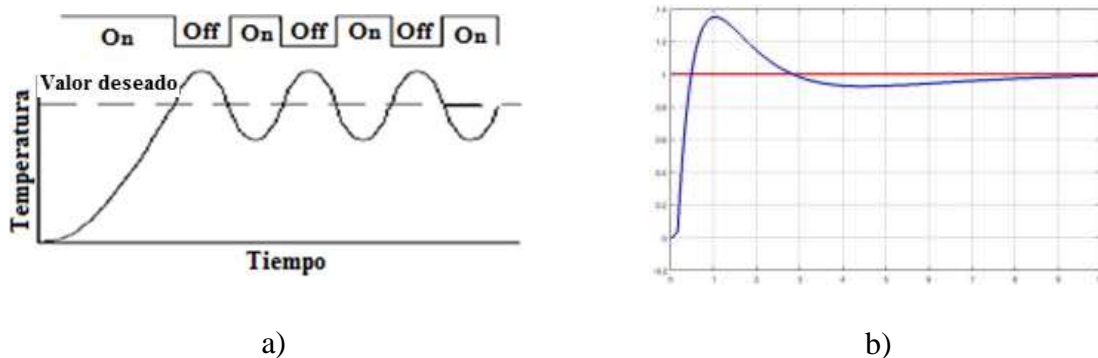
- **Control On/Off**

Es un tipo de control sencillo ya que no cuentan con un punto medio, es decir, su salida está encendida o apagada. En el caso de un control de calentamiento, la salida se apaga cuando la temperatura supera el valor ajustado y se enciende cuando la temperatura está por debajo del valor ajustado.

- **Control PID**

Es un tipo de control que combina el control proporcional con dos ajustes adicionales, el integral y derivativo, con lo que se logra compensar los cambios de temperatura del sistema automáticamente. Proporciona el control más estable y preciso de los tres tipos de controladores y se emplea en sistemas que utilizan masas pequeñas o que sufren variaciones a menudo.

Figura 10 Tipos de señales de control a) on/off y b) PID



Fuente: (Stebo, 2010)

9. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Localización

El proyecto tiene lugar en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión “La Maná”, en la provincia de Cotopaxi, cantón La Maná.

Figura 11 Ubicación del proyecto



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

9.1. Tipos de investigación

9.1.1. Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación proporciona las definiciones y características principales de los componentes utilizados para la construcción de una máquina extrusora en fuentes de información relevantes como: libros, artículos de revistas técnicas y proyectos de titulación que tienen relación con el objeto de estudio desarrollando la fundamentación teórica.

9.1.2. Investigación de campo

Se desarrolló una investigación de campo en la que se constató el proceso de extrusión de plásticos, los tipos de materiales utilizados para la construcción de la máquina, el tablero de control de temperaturas, preparación de la materia prima, entre otros.

9.2. Métodos de investigación

9.2.1. Método científico

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

9.2.2. Hipótesis del proyecto

La construcción de la máquina extrusora permitirá apreciar uno de los procesos de producción industrial utilizando material plástico reciclado, para la valoración de los parámetros de operación y funcionamiento de la maquinaria

9.2.3. Pregunta científica

¿Cuáles son los tipos de materiales plásticos que pueden extruirse y cuál es su temperatura de operación?

9.3. Declaración de variables

9.3.1. Variable independiente

En la tabla 15 se presenta la variable independiente con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos utilizados en el presente proyecto.

Tabla 15 Variable independiente

Variable indeper diente: Máquina extrusora de plástico				
Definición	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Máquina que procesa el plástico cambiando su estado de sólido a líquido para darle una forma definida.	Capacidad de producción	kg/h	Cálculo	Ecuación
	Temperatura de extrusión	°C	Medición	Termocupla
	Velocidad de extrusión	RPM	Ecuación	Ecuación

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

9.3.2. Variable dependiente

En la tabla 16 se presenta la variable dependiente del proyecto con su definición, indicadores, ítems, técnicas e instrumentos.

Tabla 16 Variable dependiente

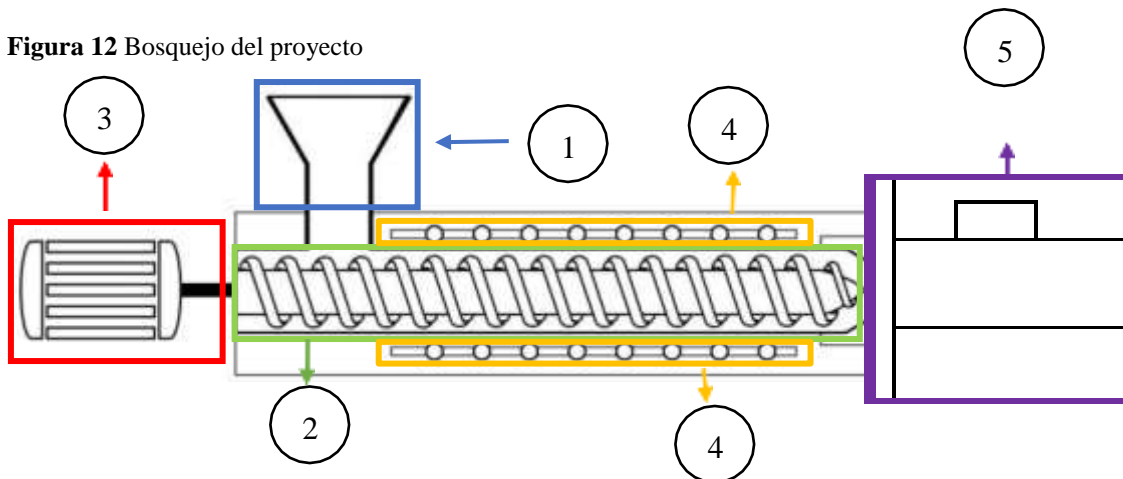
Variable dependiente: Perfil plástico				
Definición	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Producto plástico con una forma definida rectangular.	Temperatura de fusión	°C	Medición	Termocupla
	Dimensiones	cm	Medición	Flexómetro
	Cantidad de materia	kg	Medición	Balanza

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

9.4. Proceso de construcción

El proceso de construcción da inicio con el diseño de un bosquejo de la máquina dividiéndola en 5 subsistemas presentadas en la siguiente figura.

Figura 12 Bosquejo del proyecto



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- Subsistema 1: Alimentación de la máquina
- Subsistema 2: Extrusión del plástico
- Subsistema 3: Potencia (movimiento mecánico)
- Subsistema 4: Fundición del plástico
- Subsistema 5: Molde

9.4.1. Subsistema 1: Alimentación de la máquina

En la alimentación de la máquina extrusora se tiene como componente único denominado “tolva”, este elemento permite generar un flujo másico del material, por lo tanto, con la siguiente ecuación se determina el volumen.

$$V_T = (l_1 \cdot a_1 \cdot h_1) + (A_b \cdot h_2) \quad \text{Ecuación (1)}$$

En donde:

- V_T : volumen de la tolva (cm^3)
- l_1 : longitud de la parte rectangular (cm)
- a_1 : ancho de la parte rectangular (cm)
- h_1 : altura de la parte rectangular (cm)
- A_b : área de la base del prisma rectangular (cm^2)
- h_2 : altura del prisma rectangular (cm)

Con el volumen de la tolva se procede a determinar la cantidad de material que puede almacenar la tolva, considerando la densidad del plástico que se proceda a extruir.

$$m_T = V_T \cdot \rho_p \quad \text{Ecuación (2)}$$

En donde:

- m_T : cantidad de material plástico (kg)
- ρ_p : densidad del tipo de plástico (kg/cm^3)

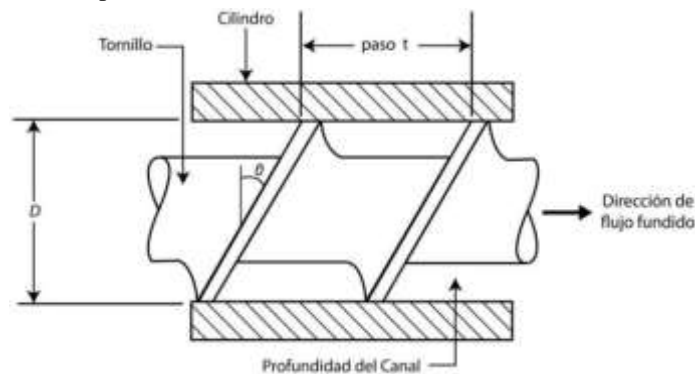
9.4.2. Subsistema 2: Extrusión del plástico

En la extrusión del plástico están presentes dos elementos principales de la máquina que son: tornillo sin fin y cilindro extrusor.

9.4.2.1. Proceso de diseño del tornillo sin fin

El tornillo sin fin tiene la función de transportar el material plástico mediante el movimiento mecánico, en la siguiente figura se presentan sus principales parámetros de diseño.

Figura 13 Componentes del tornillo sin fin



Fuente: (Parra Brito, 2017)

Para el diseño del tornillo sin fin es necesario considerar el diámetro como primer parámetro, generalmente este tipo de maquinarias tienen un diámetro comprendido entre 9 a 580 mm. Para determinar la longitud del tornillo sin fin se utiliza la siguiente ecuación.

$$L_T = 12,8 \cdot D \quad \text{Ecuación (3)}$$

En donde:

- L_T : longitud del tornillo sin fin (mm)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)

Según la tabla 17 se puede determinar el paso del tornillo sin fin en función del diámetro y de otros parámetros adicionales.

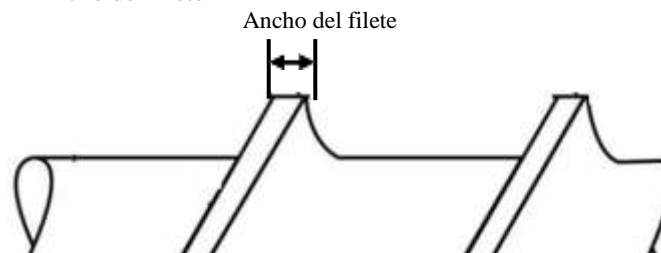
Tabla 17 Parámetros geométricos del husillo

Diámetro "D" (mm)	Paso "t" (mm)	Profundidad del canal (mm)	Ancho de los filetes "e" (mm)
32	32	6	3,8
45	45	8	5
63	63	9,6	6,3
90	90	11,2	9
125	125	13,5	12
160	160	15	15

Fuente: (Shingón Collaguazo & Uvillus Tipan , 2019)

En la figura 14 se puede observar el ancho del filete (hélice) de un tornillo sin fin y se lo determina por medio de la siguiente ecuación.

Figura 14 Ancho del filete



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

$$e = 0,12 \cdot D \quad \text{Ecuación (4)}$$

En donde:

- e : ancho del filete (mm)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)

El ángulo de la hélice representado en la figura 13 se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{t}{\pi \cdot D} \quad \text{Ecuación (5)}$$

En donde:

- θ : ángulo de hélice ($^{\circ}$)
- L_T : longitud del tornillo sin fin (mm)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)
- t : paso del tornillo sin fin (mm)

El número de filetes (hélice) se determina por medio de la siguiente ecuación.

$$\#f = \frac{L_T}{D} \quad \text{Ecuación (6)}$$

En donde:

- $\#f$: número de filetes
- L_T : longitud del tornillo sin fin (mm)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)

9.4.2.2. Caudal de producción del tornillo sin fin

El caudal de producción se determina mediante la ecuación del flujo volumétrico.

$$Q = \left(\frac{a \cdot k}{k + \beta + \gamma} \right) \cdot n \quad \text{Ecuación (7)}$$

En donde:

- Q : caudal de producción (cm^3/s)
- a : flujo de arrastre (cm^3)
- k : constante de forma geométrica
- β : flujo de presión (cm^3)
- γ : flujo de filtración (cm^3)
- n : velocidad de cortadura (rpm)

El flujo de arrastre es la fuerza que impide que el material se adhiera al tornillo sin fin y permita el desplazamiento a lo largo de la máquina, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$a = \frac{\pi \cdot m \cdot D \cdot h \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \cos^2(\theta)}{2} \quad \text{Ecuación (8)}$$

En donde:

- a : flujo de arrastre (cm^3)
- m : número de canales del tornillo sin fin
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)
- h : Profundidad del canal (mm)
- e : ancho del filete (mm)
- t : paso del tornillo sin fin (mm)
- θ : ángulo de hélice ($^\circ$)

La constante de forma geométrica depende del diseño del tornillo extrusor, generalmente se determina mediante la siguiente ecuación.

$$k = \frac{\pi \cdot d^2}{640} \quad \text{Ecuación (9)}$$

En donde:

- k : constante de forma geométrica
- d : diámetro del canal (mm)

9.4.2.3. Flujos del tornillo sin fin

El flujo de presión es el que se opone al flujo del sistema y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\beta = \frac{m \cdot h^3 \cdot \left(\frac{t}{m} - e\right) \cdot \sen \theta \cdot \cos \theta}{12 \cdot L} \quad \text{Ecuación (10)}$$

En donde:

- β : flujo de presión (mm^3)
- m : número de canales del tornillo sin fin
- L : longitud del tornillo sin fin (mm)
- h : Profundidad del canal (mm)
- e : ancho del filete (mm)

- t : paso del tornillo sin fin (mm)
- θ : ángulo de hélice ($^{\circ}$)

El flujo de filtración permite determinar el desgaste que presentan las hélices del tornillo sin fin y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta \cdot h^3 \cdot \tan \theta}{10 \cdot e \cdot L} \quad \text{Ecuación (11)}$$

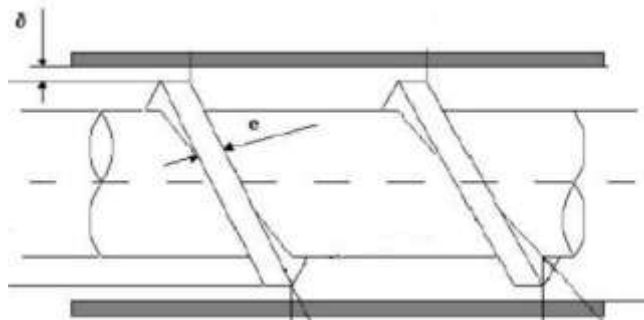
En donde:

- γ : flujo de filtración (mm^3)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)
- L : longitud del tornillo sin fin (mm)
- h : Profundidad del canal (mm)
- e : ancho del filete (mm)
- δ : holgura de la hélice (mm)
- θ : ángulo de hélice ($^{\circ}$)

9.4.2.3. Proceso de diseño del cilindro extrusor

Para el diseño del cilindro extrusor es necesario considerar los parámetros de diseño del tornillo sin fin. Debe existir un espacio que comprenda el diámetro interior del cilindro y el diámetro del tornillo incluido las hélices como se presenta en la figura 15 y para determinar este espacio se aplica la siguiente ecuación.

Figura 15 Bosquejo del proyecto



Fuente: (Bernal Sierra, 2005)

$$\delta = 0,005 \cdot D_T \quad \text{Ecuación (12)}$$

En donde:

- δ : holgura de la hélice (mm)
- D_T : diámetro total del tornillo sin fin (mm)

El diámetro interno del cilindro extrusor se determina mediante la siguiente ecuación.

$$D_i = D_T + 2 \cdot \delta \quad \text{Ecuación (13)}$$

En donde:

- D_i : diámetro interno del cilindro extrusor (mm)
- δ : holgura de la hélice (mm)
- D_T : diámetro total del tornillo sin fin (mm)

9.4.3. Subsistema 3: potencia (movimiento mecánico)

9.4.3.1. Revoluciones del tornillo sin fin

Para determinar el cálculo de la velocidad del tornillo sin fin, se aplica la siguiente fórmula.

$$n = \frac{h \cdot 1s}{\pi \cdot D} \quad \text{Ecuación (14)}$$

En donde:

- n : velocidad (rpm)
- h : Profundidad del canal (mm)
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)

9.4.3.2. Potencia del motor

Es necesario determinar la potencia que requiere el tornillo sin fin para la selección del motor, según (Shingón Collaguazo & Uvillus Tipan , 2019) consideran un factor de proporcionalidad de ($k = 66,7$) para lo cual se aplica la siguiente fórmula.

$$P = \frac{n \cdot \pi \cdot D^3}{k^2} \cdot \frac{e + an}{t} \quad \text{Ecuación (15)}$$

En donde:

- n : velocidad (rpm)
- k : factor de proporcionalidad
- D : diámetro del tornillo sin fin (mm)
- e : ancho del filete (mm)

- an : alto del filete (mm)
- t : paso del tornillo sin fin (mm)

9.4.3.3. Protecciones del motor

Una vez conocida la potencia del motor, se determina la cantidad de corriente de consumo para la selección de las protecciones eléctricas dependiendo si el sistema es monofásico o trifásico.

$$I_{1\phi} = \frac{P}{V \cdot fp} \cdot fs \quad \text{Ecuación (16)}$$

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot fp} \cdot fs \quad \text{Ecuación (17)}$$

En donde:

- $I_{1\phi}$: corriente eléctrica monofásica (A)
- $I_{3\phi}$: corriente eléctrica trifásica (A)
- P : potencia del motor canal (kW)
- V : voltaje del motor (V)
- fp : factor de potencia
- fs : factor de seguridad (1,25)

9.4.4. Subsistema 4: fundición del plástico

Para desarrollar el dimensionamiento térmico de la máquina extrusora, es necesario conocer el tipo de material plástico a utilizar. Para realizar el perfil de extrusión se considera la utilidad del polietileno de baja densidad por ser un material apto para procesos de extrusión.

Tabla 18 Características del polietileno de baja densidad

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	η	800 s/m ²

Fuente: (Acuña Ruiz & Plasencia Alvarez, 2020)

En la zona de fundición del plástico de la máquina extrusora se tiene que considerar una cantidad de calor mínima para cumplir con su proceso, para lo cual se aplica la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{m \cdot C_p \cdot (T_f - T_o)}{t} \quad \text{Ecuación (18)}$$

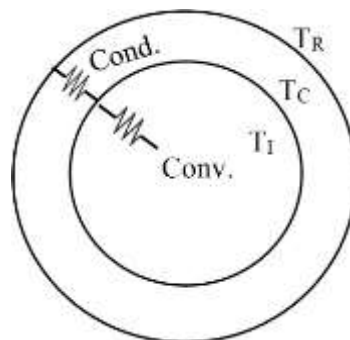
En donde:

- P : potencia del motor (kW)
- Q : Cantidad de calor (kW)
- m : masa de la carga (kg)
- C_p : Calor específico (J/kg °K)
- T_f : Temperatura final (°K)
- T_o : Temperatura inicial (°K)
- t : Tiempo (s)

9.4.4.1. Transferencia de calor

La transferencia de calor se presenta cuando existe una diferencia de temperatura entre dos elementos. Generalmente en máquinas extrusoras la transferencia de calor en el cilindro se da mediante la conducción y la convección; estas pérdidas pueden generarse por diversos factores y su cálculo debe determinar para paredes cilíndricas, en la figura 16 se puede observar la composición de sus resistencias.

Figura 16 Composición de las resistencias en conducción y convección



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- T_R = Temperatura de la resistencia
- T_P = Temperatura del cilindro
- T_I = Temperatura interior del cilindro

9.4.4.2. Transferencia de calor por conducción

Las pérdidas por transferencia de calor a través de la conducción en paredes cilíndricas se determinan por la siguiente ecuación.

$$Q_{p\ cond} = 2\pi \cdot L \cdot k \cdot \frac{\Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

- $Q_{p\ cond}$: Pérdida de calor (W)
- L: espesor del cilindro (m)
- k: Conductividad térmica (W/m · °C)
- ΔT : Variación de temperatura (°C)
- r_1 : radio menor del cilindro (m)
- r_2 : radio mayor del cilindro (m)

9.4.4.3. Transferencia de calor por convección

Es necesario determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección para cilindros, por lo cual primero se determina la temperatura de película con la siguiente expresión matemática.

$$T_p = \frac{T_c + T_o}{2} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Donde:

- T_p : temperatura de película (K)
- T_o : temperatura inicial (K)
- T_c : temperatura del cilindro (K)

- Cálculo del número de Rayleigh

$$Ra = \frac{g \cdot \beta_1 \cdot (T_c - T_{in}) \cdot D^3}{\nu} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

- Ra : 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 (m²/s)
- β_1 : 1/T_p

- **Cálculo del número de Nusselt**

$$Nu = 0,825 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right)^{\frac{1}{4}}} \quad \text{Ecuación (22)}$$

Donde:

- Nu : número de Nusselt
- Ra : número de Rayleigh
- Pr : número de Prandtl

- **Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección**

$$h_{conv} = \frac{Nu \cdot k_t}{D} \quad \text{Ecuación (23)}$$

Donde:

- h_{conv} : coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K)
- k_t : conductividad térmica (W/m·K)
- D : diámetro del cilindro (m)

- **Pérdidas por convección**

$$Q_{p\ conv} = A \cdot h_{conv} \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

- $Q_{p\ conv}$: pérdida de calor por convección (W)
- A : área (m²)
- h_{conv} : coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K)
- ΔT : variación de temperatura (K)

9.4.5. Subsistema 5: molde

Las dimensiones del molde van a depender del tipo de perfil rectangular deseado, para lo cual es necesario determinar la cantidad de masa en función del volumen y la densidad utilizando la siguiente ecuación.

$$m_{perfil} = V_p \cdot \rho \quad \text{Ecuación (25)}$$



Donde:

- m_{perfil} : cantidad de masa del perfil rectangular (kg)
- V_p : volumen del perfil rectangular (m³)
- ρ : densidad del material plástico (kg/m³)

9.4.6. Criterio de control de temperatura

Para realizar el control de temperatura en la máquina extrusora es necesario la implementación de un equipo electrónico que reciba las señales analógicas de temperatura generando una orden lógica para determinar un control específico. Para la selección del equipo de control se consideran los siguientes: PLC y Controlador de Temperatura. En la siguiente tabla se pueden observar las características técnicas principales de cada uno.

Tabla 19 Comparación de equipos de control de temperatura

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 extrusión	Adecuado	Sobredimensionado
Dimensión	72 x 90 x 55 mm	90 x 100 x 75 mm
Peso	120 gr	435 gr

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

De acuerdo con la tabla comparativa de los equipos electrónicos, se selecciona el “Controlador de Temperatura CH702”, al presentarse un proceso pequeño de extrusión de perfiles rectangulares, este controlador presenta mayor cantidad de ventajas técnicas y económicas.

9.4.6. Instrumento de medición

En la actualidad hay una gran cantidad de formas para realizar la medición de temperatura con diferentes tipos de sensores, en la industria del plástico se puede considerar dos tipos de sensores de mayor utilización en procesos térmicos estos son: detector de temperatura por resistencia y los termopares. En la siguiente tabla se presentan las características de estos dos tipos de sensores de temperatura.

Tabla 20 Comparación entre instrumentos de temperatura

Tipo de sensor de temperatura	 RTD	 Termopar
Tipos	Pt100 y Pt1000	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 $\pm 1,3$ °C a 600 °C	$\pm 2,2$ °C a 0 °C hasta ± 10 °C a 1200 °C
Velocidad de respuesta	Más lenta	Más rápida
Ventajas	Mejor exactitud y estabilidad	Mayor rango de medida
Sensibilidad	Moderada	Baja
Alimentación	Requerida	No requerida






Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Dadas las características de cada uno de los sensores de temperatura, se selecciona el termopar tipo “K” por tener un rango de medida mayor, por tener una velocidad rápida de respuesta y ser de bajo costo en su adquisición e implementación.

10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

El presente capítulo detalla los resultados obtenidos de la propuesta tecnológica realizando el dimensionamiento de cada uno de los subsistemas mencionados en el capítulo anterior, para lo cual, se establece la siguiente configuración detallada en la tabla 21.

Tabla 21 Configuración de la máquina extrusora

Subsistema	Configuración	Ilustración
Alimentación de la máquina	Tolva cuadrada	
Extrusión del plástico	Monohusillo (un solo tornillo sin fin)	
Potencia (movimiento mecánico)	Motor eléctrico con reductor de velocidad	
Fundición del plástico	Resistencias de tipo abrazadera	
Molde	Rectangular	

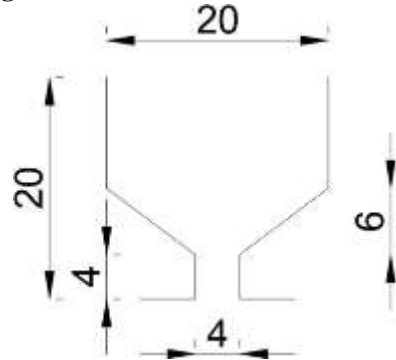
Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.1. Dimensionamiento del subsistema 1: alimentación de la máquina

En la figura 17 se puede observar las dimensiones en (centímetros) de la tolva cuadrada para lo cual se aplica la ecuación 1 obteniendo el volumen de la alimentación de la máquina extrusora.

En donde:

- l_1 : longitud de la parte rectangular (20 cm)
- a_1 : ancho de la parte rectangular (20 cm)
- h_1 : altura de la parte rectangular (10 cm)
- A_b : área de la base del prisma rectangular (240 cm²)
- h_2 : altura del prisma rectangular (20 cm)

Figura 17 Tolva cuadrada

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

$$V_T = (20 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}) + (240 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm})$$

$$V_T = 8800 \text{ cm}^3$$

La cantidad de material plástico que puede almacenar la tolva se determinada utilizando la ecuación 2. En donde:

- ρ_p : densidad del tipo de plástico ($0,94 \text{ g/cm}^3$)

$$m_T = 8800 \text{ cm}^3 \cdot 0,94 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_T = 8272 \text{ g} = 8,27 \text{ kg}$$

10.1.1. Construcción de la tolva cuadrada

Para la fabricación de la tolva de alimentación se utilizó un tool galvanizado de 0,9 mm de espesor como se observa en la figura 18, brindando la facilidad de desplazamiento de la materia prima y un almacenamiento adecuado del material.

Figura 18 Tolva cuadrada

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.2. Dimensionamiento del subsistema 2: extrusión del plástico

10.2.1. Tornillo sin fin

Según la norma NTN INEN-ISO 294-1, recomienda que para prototipos el tornillo apropiado para moldeo del plástico debe tener un diámetro comprendido entre 18 – 50 mm. Se utilizará un diámetro de 2 pulgadas o 50,8 mm.

Para determinar la longitud del tornillo sin se aplica la ecuación 3.

$$L_T = 12,8 \cdot 50,8 \text{ mm}$$

$$L_T = 650 \text{ mm}$$

Según la tabla 17 que menciona los parámetros geométricos del husillo, determina que el diámetro es de igual valor que el paso, por lo tanto:

$$t = 50,8 \text{ mm}$$

Para conocer el ancho del filete (hélice) se aplica la ecuación 4.

$$e = 0,12 \cdot 50,8 \text{ mm}$$

$$e = 6,1 \text{ mm}$$

El ángulo de la hélice se determina aplicando la ecuación 5.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{50,8 \text{ mm}}{\pi \cdot 50,8 \text{ mm}}$$

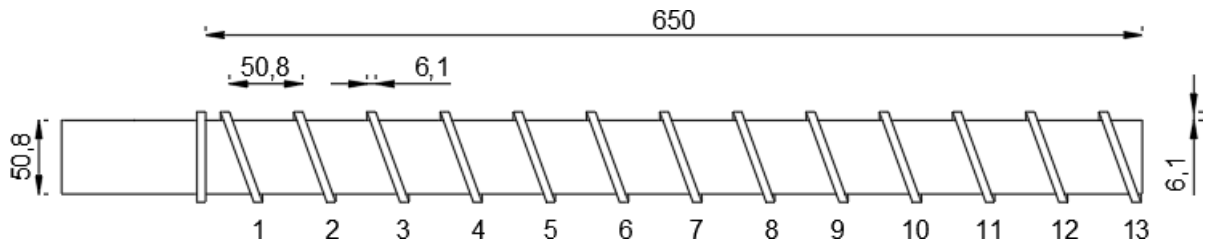
$$\theta = 17,65^\circ \approx 18^\circ$$

Para conocer la cantidad de filetes (hélices) del tornillo sin fin, se aplica la ecuación 6.

$$\#f = \frac{650 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$\#f = 12,79 \approx 13$$

En la figura 19 se puede observar el diseño del tornillo sin fin (husillo) con sus dimensiones en unidades milimétricas.

Figura 19 Diseño del tornillo sin fin

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.2.2. Adquisición del tornillo sin fin

Se adquirió un husillo o tornillo sin fin fabricado en acero AISI 4140 con propiedades resistentes a presiones de hasta 60 ksi, elemento elaborado mediante el proceso mecánico de torneado como se muestra en la figura 20. Existen otras opciones de mecanizado como: aplicación de máquinas CNC y la importación, pero para estas opciones radica la parte económica y el tiempo.

Figura 20 Adquisición del tornillo sin fin

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.2.3. Cálculo de flujos en el tornillo sin fin

El flujo de arrastre se determinada mediante la aplicación de la ecuación 8. En donde:

$$a = \frac{\pi \cdot 1 \cdot 50,8 \text{ mm} \cdot 6,1 \text{ mm} \left(\frac{50,8 \text{ mm}}{1} - 6,1 \text{ mm} \right) \cdot \cos^2(18^\circ)}{2}$$

$$a = 8801,15 \text{ mm}^3 = 8,801 \text{ cm}^3$$

El flujo de presión se determinada mediante la aplicación de la ecuación 10. En donde:

$$\beta = \frac{1 \cdot (6,1 \text{ mm})^3 \cdot \left(\frac{50,8 \text{ mm}}{6,1} - 6,1 \text{ mm} \right) \cdot \sin 18^\circ \cdot \cos 18^\circ}{12 \cdot 650 \text{ mm}}$$

$$\beta = 0,3822 \text{ mm}^3 = 0,00038 \text{ cm}^3$$

El flujo de filtración se determinada mediante la aplicación de la ecuación 11. En donde:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot (50,8 \text{ mm})^2 \cdot 0,28 \text{ mm} \cdot (6,1 \text{ mm})^3 \cdot \tan 18^\circ}{10 \cdot 6,1 \text{ mm} \cdot 650 \text{ mm}}$$

$$\gamma = 13,26 \text{ mm}^3 = 0,01326 \text{ cm}^3$$

La constante de forma geométrica se determina aplicando la ecuación 9.

$$k = \frac{\pi \cdot (5,08 \text{ cm})^2}{640}$$

$$k = 0,1266$$

Aplicando la ecuación 7 se determina el flujo volumétrico del tornillo sin fin. En donde:

$$Q = \left(\frac{8,801 \text{ cm}^3 \cdot 0,1266}{0,1266 + 0,00038 \text{ cm}^3 + 0,01326 \text{ cm}^3} \right) \cdot 60 \text{ rpm}$$

$$Q = 257,54 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Siendo la densidad del polietileno de baja densidad de $0,94 \text{ gr/cm}^3$, entonces:

$$Q = 1065,95 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} \cdot 0,94 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$Q = 14525,28 \frac{\text{gr}}{\text{h}} = 14,52 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

10.2.4. Cilindro extrusor

La holgura que se debe considerar para realizar el diseño del cilindro extrusor se determina aplicando la ecuación 12.

$$\delta = 0,009 \cdot (50,8 \text{ mm} + 6,1 \text{ mm} + 6,1 \text{ mm})$$

$$\delta = 0,567 \text{ mm} \approx 0,6 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro interno del cilindro extrusor se determina aplicando la ecuación 13.

$$D_i = (50,8 \text{ mm} + 6,1 \text{ mm} + 6,1 \text{ mm}) + 2 \cdot 0,6 \text{ mm}$$

$$D_i = 64,2 \text{ mm}$$

En la figura 21 se puede observar el diseño del cilindro extrusor con sus dimensiones en unidades milimétricas.



Figura 21 Diseño del cilindro extrusor

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.2.5. Construcción del cilindro extrusor

Para la fabricación del cilindro extrusor se utilizó el mismo acero utilizado para el tornillo AISI 4140, este elemento fue elaborado mediante el proceso mecánico de torneado como se muestra en la figura 22.

Figura 22 Fabricación del cilindro extrusor



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

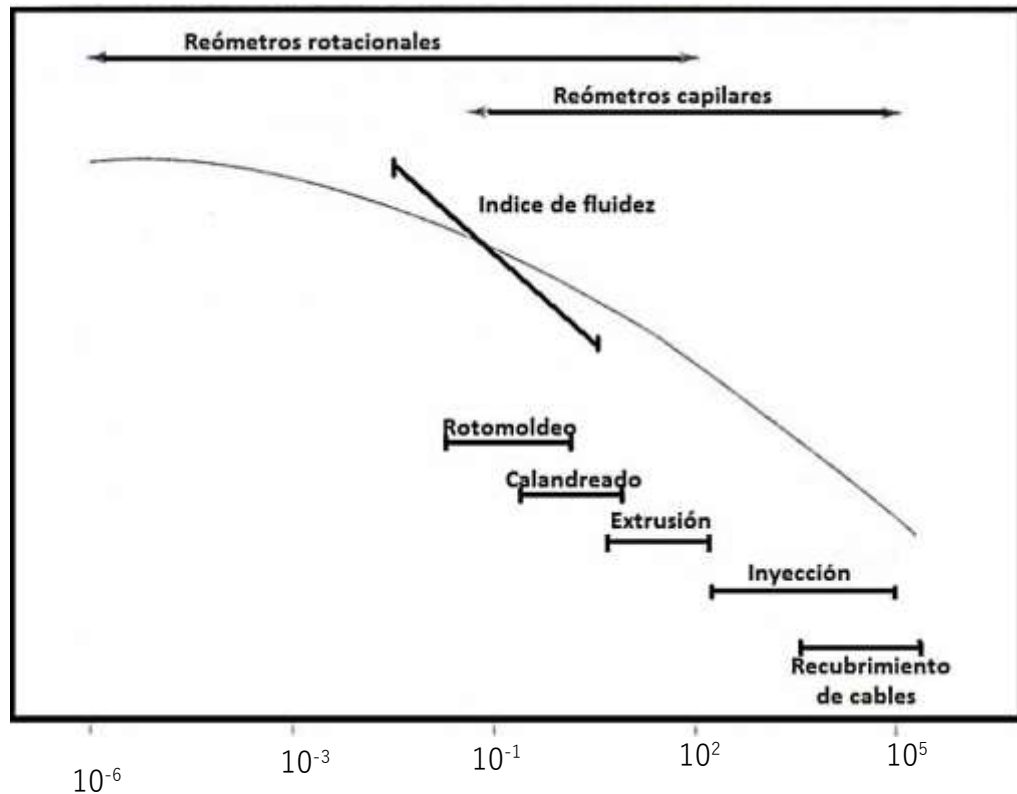
10.3. Dimensionamiento del subsistema 3: potencia (movimiento mecánico)

Para determinar la velocidad del tornillo sin fin se aplica la ecuación 14, en donde menciona un parámetro denominado “velocidad de corte” según la figura 23 la velocidad de corte para procesos de extrusión oscila entre los 10 hasta los 100 s^{-1} . Considerando que la máquina es solamente un prototipo para la elaboración de perfiles rectangulares para estudio, se utilizará el valor de 25 s^{-1} .

$$n = \frac{6,1 \text{ mm} \cdot 1 \text{ s} \cdot 25 \text{ s}^{-1}}{\pi \cdot 50,8 \text{ mm}} = 0,955 \frac{\text{rev}}{\text{seg}} \cdot \frac{60 \text{ seg}}{\text{min}}$$

$$n = 57,33 \approx 60 \text{ rpm}$$

Figura 23 Intervalos de velocidad de corte



Fuente: (Naranjo Izurieta, 2015)

10.3.1. Diseño de la potencia del motor

Para determinar la potencia requerida para cumplir el proceso de extrusión se aplica la ecuación 15.

$$P = \frac{60 \text{ rpm} \cdot \pi \cdot (50,8 \text{ mm})^3}{66,7^2} \cdot \left(\frac{6,1 \text{ mm} + 6,1 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}} \right)$$

$$P = 1333,94 \text{ W} \approx 1,5 \text{ kW} \approx 2 \text{ HP}$$

10.3.2. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas del motor

El sistema trifásico es muy común en el uso de motores eléctricos por su capacidad de reducción del consumo eléctrico, para lo cual se determinan las protecciones eléctricas aplicando la ecuación 17.

$$I_{3\phi} = \frac{1500 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ Vac} \cdot 0,89} \cdot 1,25$$

$$I_{3\phi} = 5,3 \text{ A}$$

Figura 24 Placa de datos del motor



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.4. Dimensionamiento del subsistema 4: fundición del plástico

La cantidad de calor que se necesita para fundir el polietileno de baja densidad se determina aplicando la ecuación 18. En donde se considera la temperatura inicial como la temperatura ambiente de 20 °C y una temperatura final de 180 °C.

$$Q = \frac{14,52 \text{ kg} \cdot 1,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (180 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})}{3600}$$

$$Q = 1,22 \text{ kW}$$

10.4.1. Dimensionamiento de las pérdidas de calor

10.4.1.1. Cálculo de transferencia de calor por conducción

Para el cilindro extrusor se determinar la transferencia de calor en paredes cilíndricas aplicando la ecuación 19. La conductividad térmica es del acero que equivale a 50,2 W/m.K y la diferencia de temperatura es mínima considerando un espesor del cilindro de 10 mm.

$$Q_{p \text{ cond}} = 2\pi \cdot 0,65 \text{ m} \cdot 50,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot \frac{(180 \text{ }^\circ\text{C} - 179,9 \text{ }^\circ\text{C})}{\ln \left(\frac{74,2 \text{ mm}}{64,2 \text{ mm}} \right)}$$

$$Q_{p \text{ cond}} = 141,62 \text{ W}$$

10.4.1.2. Cálculo de transferencia de calor por convección

- Temperatura pelicular

Conociendo el valor de la temperatura ambiente que es de 20 °C (293 K) y el valor de la temperatura para la fundición del polietileno que es de 180 °C (453 K), se aplica la ecuación 20.

$$T_p = \frac{180 \text{ °C} + 20 \text{ °C}}{2}$$

$$T_p = 100 \text{ °C} \approx 373 \text{ K}$$

Con el valor de la temperatura determinada por medio de la ecuación 20 se obtienen las propiedades del aire como la densidad, calor específico, conductividad térmica, constante de Prandtl, viscosidad cinemática y viscosidad dinámica.

Tabla 22 Propiedades del aire a la temperatura de película

Temperatura [K]	Viscosidad cinemática [m ² /s]	Conductividad térmica [W/m.°K]	α [m ² /s]	Constante de Prandtl
373	20,92 x 10 ⁻⁶	30 x 10 ⁻³	29,9 x 10 ⁻⁶	0,7

Fuente: (Incropera, 2002)

- Número de Rayleigh

Se aplica la ecuación 21:

$$Ra = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot \frac{1}{373 \text{ K}} \cdot (180 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \cdot (0,0742 \text{ m})^3}{20,92 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Ra = 82,08$$

- Cálculo del número de Nusselt

Se aplica la ecuación 22:

$$Nu = \left[0,825 + \frac{0,387 \cdot (82,08)^{\frac{1}{4}}}{\left(1 + \left(\frac{0,492}{0,7} \right)^{\frac{9}{16}} \right)^{\frac{1}{4}}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$Ra = 2,25$$

- **Coefficiente de transferencia de calor por convección**

Se aplica la ecuación 23:

$$h_{conv} = \frac{2,25 \cdot 30 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0,0742 \text{ m}}$$

$$h_{conv} = 0,91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

- **Cálculo de las pérdidas por convección**

Se aplica la ecuación 24:

$$Q_{p\ conv} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot 0,91 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot (180 \text{ }^\circ\text{C} - 20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{p\ conv} = 23,3 \text{ W}$$

Se procede a realizar la sumatoria de la cantidad de calor que se necesita para fundir el polietileno de baja densidad, las pérdidas por conducción y convección.

$$Q_t = 1220 \text{ W} + 141,62 \text{ W} + 23,3 \text{ W}$$

$$Q_t = 1384,92 \text{ W}$$

El sistema térmico necesita un mínimo de 1384,92 W para realizar el proceso de fundición del plástico incluyendo sus pérdidas de calor, por lo tanto, se realiza un dimensionamiento de utilizar 5 resistencias de tipo abrazadera de 300 W cada uno. En la figura 25 se puede visualizar sus medidas.

Figura 25 Medidas de la resistencias de tipo abrazadera



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.4.1.3. Dimensionamiento de las protecciones eléctricas del sistema térmico

Para el uso de las resistencias eléctricas se utiliza el sistema monofásico, para lo cual mediante la aplicación de la ecuación 16 se obtienen sus protecciones eléctricas.

$$I_{1\phi} = \frac{5 \cdot 300 \text{ W}}{220 \text{ Vac}} \cdot 1,25$$

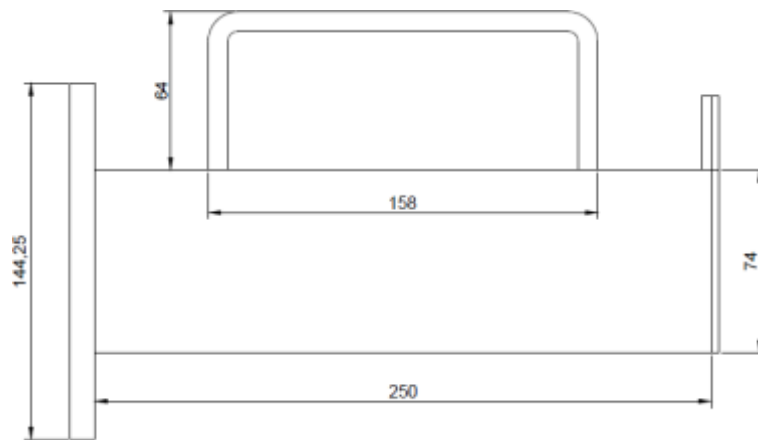
$$I_{1\phi} = 8,52 \text{ A}$$

10.5. Dimensionamiento del subsistema 5: molde

El perfil rectangular según la capacidad y las dimensiones de la máquina va a tener las siguientes dimensiones:

- Alto y ancho: 7 cm
- Largo: 25 cm

Figura 26 Medidas del molde



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

La cantidad de masa del perfil rectangular se determina aplicando la ecuación 23, considerando la densidad del polietileno de baja densidad de $0,94 \text{ g/cm}^3$.

$$m_{\text{perfil}} = (7 \text{ cm} \cdot 7 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm}) \cdot 0,94 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$m_{\text{perfil}} = 1151,5 \text{ g} \approx 1,15 \text{ kg}$$

10.5.1. Construcción del molde

Para la fabricación del molde se utilizó acero AISI 1018 que presenta propiedades favorables como: baja resistencia mecánica y alta tenacidad adecuado para la fabricación de piezas de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo, en la figura se muestra en la figura 27 se presenta la construcción del molde para el perfil rectangular.

Figura 27 Fabricación del tornillo sin fin



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.5.2. Diseño del sistema de enfriamiento

Para realizar la solidificación del material es necesario un sistema de enfriamiento; como el producto extruido es un perfil rectangular, simplemente se puede utilizar una tina con agua para su refrigeración. Este sistema simple es muy común en procesos de extrusión.

En la figura 28 se presentan las dimensiones de la tina de enfriamiento:

- Alto y ancho: 15 cm
- Largo: 35 cm

Figura 28 Dimensiones de la tina de enfriamiento



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.5.2.1. Construcción de la tina de enfriamiento

Para la fabricación de la tina de enfriamiento también se utilizó acero AISI 1018, en la figura 27 se puede observar la construcción de la tina para la solidificación del perfil rectangular.

Figura 29 Fabricación de la tina de enfriamiento



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.5.3. Construcción de la estructura

La estructura debe ser lo suficientemente resistente para soportar los componentes de la máquina extrusora. En la figura 30 se pueden observar sus dimensiones.

Figura 30 Dimensiones de la estructura



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

La estructura fue construida utilizando de tubo de acero estructural cuadrado A36 de 38 mm de lado x 1,5 mm de espesor. En la figura 31 se puede observar su construcción.

Figura 31 Construcción de la estructura



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.6. Ensamblaje de los componentes

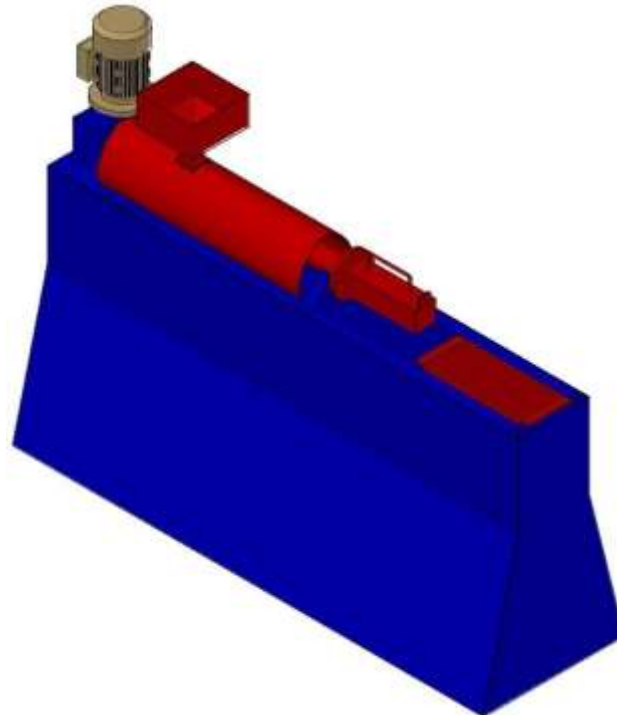
Una vez realizado los cálculos de diseño y la construcción de cada uno de los subsistemas de la máquina extrusora se proceden al ensamblaje de piezas. En la figura 32 se observa la máquina extrusora completa.

Figura 32 Máquina extrusora



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Figura 33 Máquina extrusora en CAD



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7. Sistema eléctrico de la máquina extrusora






El proceso de extrusión para la fabricación de perfiles rectangulares tiene tres tipos de sistemas eléctricos que son:

- Sistema general
- Sistema de encendido y apagado del motor eléctrico
- Sistema de control de temperatura

10.7.1. Sistema general eléctrico

En la tabla 23 se presentan los componentes que comprende el sistema general eléctrico de la máquina extrusora con su descripción y su figura.

Tabla 23 Componentes del sistema general eléctrico

N.	Componente	Descripción	Figura
1	Pulsador de emergencia	Cumple la función de protección de todo el sistema eléctrico.	
2	Voltímetro	Elemento en donde se puede visualizar la cantidad de voltaje que presenta la máquina extrusora.	
3	Interruptor termomagnético	Elemento de protección de la máquina extrusora contra cortocircuitos y sobrecargas.	
4	Distribuidor de fase	Elemento que sirve como repartidor o distribuidos de las fases de la máquina extrusora	
5	Bornera	Conector eléctrico utilizado para el motor, resistencias y sensores de la máquina extrusora.	

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7.2. Sistema de encendido y apagado del motor eléctrico

En la tabla 24 se presentan los componentes que comprende el sistema de encendido y apagado del motor eléctrico con su descripción y su figura.

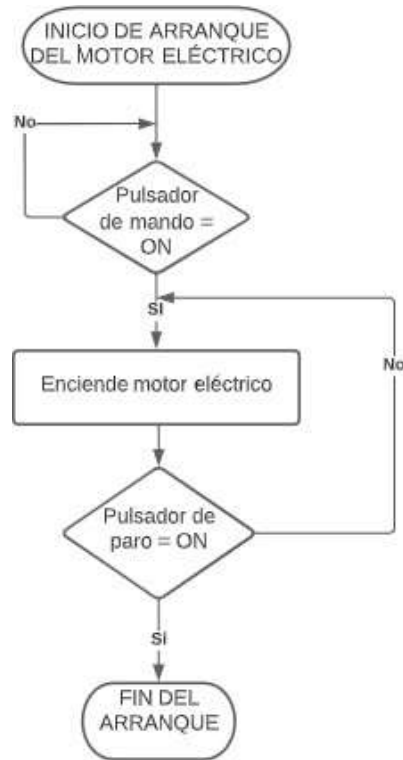
Tabla 24 Componentes del sistema de encendido y apagado del motor

N.	Componente	Descripción	Fotografía
6	Pulsador de mando	Elemento que sirve para el accionamiento del motor eléctrico.	
7	Pulsador de paro	Elemento que sirve para detener el movimiento del motor eléctrico.	
8	Luz indicadora de mando	Indica si el motor eléctrico está encendido.	
9	Luz indicadora de paro	Indica si el motor eléctrico está apagado.	
10	Amperímetro	Instrumento de medición de la corriente eléctrica del motor.	
11	Interruptor termomagnético	Elemento de protección del motor eléctrico contra cortocircuitos.	
12	Contactador principal	Elementos que abre o cierra el circuito de potencia (motor eléctrico)	
13	Contactos auxiliares	Elemento de mando para accionar el enclavamiento del contactor principal y el encendido de luces indicadoras.	
14	Relé térmico	Elemento de protección del motor eléctrico contra sobrecargas.	

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

En la figura 34 se presenta un diagrama de flujo que se utiliza para representar la secuencia del arranque del motor eléctrico, mostrando el comienzo del proceso, los puntos decisivos y el final del mismo.

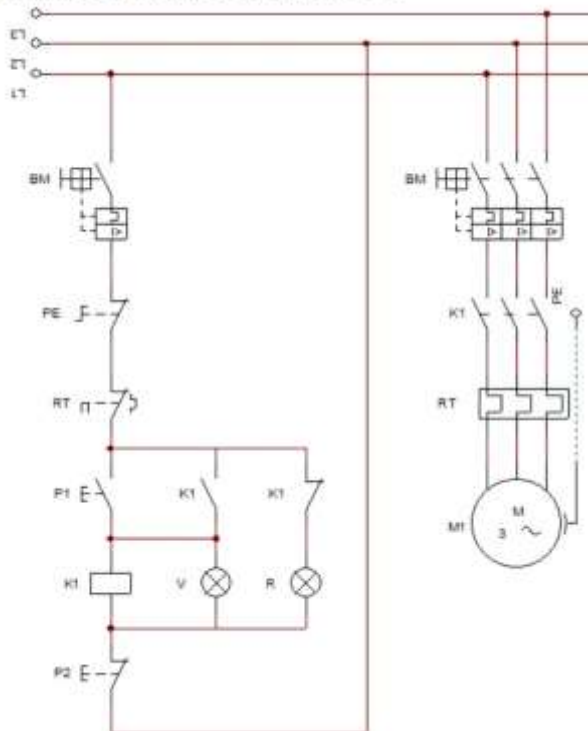
Figura 34 Diagrama de flujo del arranque del motor extrusor



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Figura 35 Diagrama eléctrico del arranque del motor extrusor

ARRANQUE DEL MOTOR EXTRUSOR




BM: Interruptor termomagnético del motor extrusor
PE: Paro de emergencia
RT: Relé térmico del motor extrusor
P1: Pulsador de mando del motor extrusor
P2: Pulsador de paro del motor extrusor
K1: Contactor del motor extrusor
V: Luz indicadora de encendido del motor extrusor
R: Luz indicadora de apagado del motor extrusor
M1: Motor extrusor

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7.3. Sistema de control de temperatura

En la tabla 25 se presentan los componentes que comprende el sistema de control de temperatura con su descripción y su figura. En la programación del controlador CH102 se selecciona el control on/off para el proceso de fundición del polietileno; generalmente este tipo de control es muy común en máquinas extrusoras al no necesitar precisión ni exactitud en la temperatura.

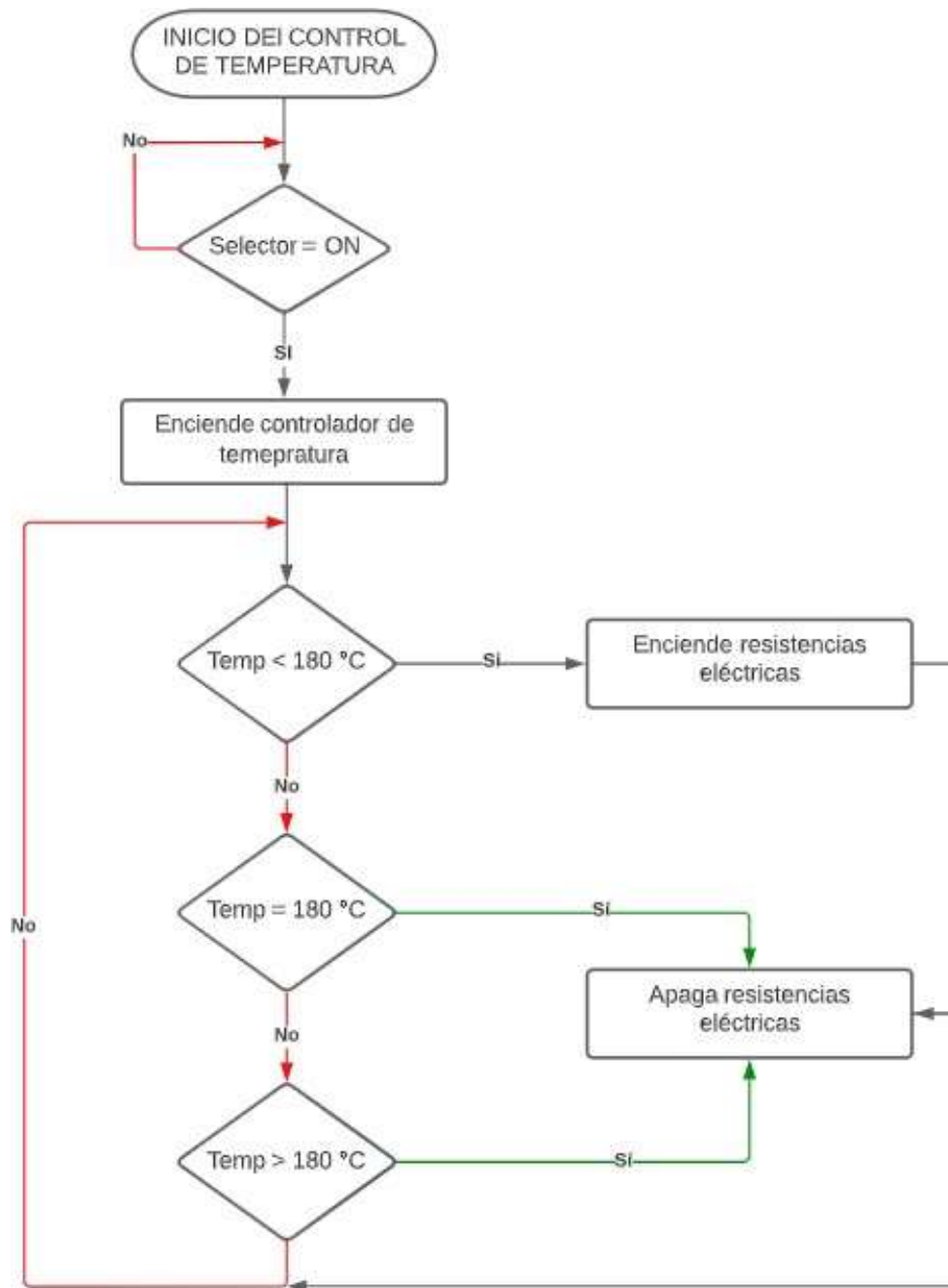
Tabla 25 Componentes del sistema de control de temperatura

N.	Componente	Descripción	Fotografía
15	Controlador de temperatura	Equipo electrónico encargado de que el proceso de extrusión opere dentro de un rango de temperatura deseado.	
16	Selector de dos posiciones	Elemento que sirve para el encendido y apagado del controlador de temperatura	
17	Amperímetro	Instrumento de medición de la corriente eléctrica de las resistencias.	
18	Relé	Elemento que abre o cierra el circuito de potencia (resistencias eléctricas)	
19	Interruptor termomagnético	Elemento de protección del sistema de temperatura contra cortocircuitos y sobrecargas.	
20	Termocupla	Instrumentos de medición utilizado para convertir una variable física en una variable eléctrica.	

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

En la figura 36 se presenta un diagrama de flujo o flujograma que se utiliza para representar gráficamente el funcionamiento del proceso de control de temperatura on/off en la máquina extrusora facilitando la comprensión de cada acción y su relación con las demás.

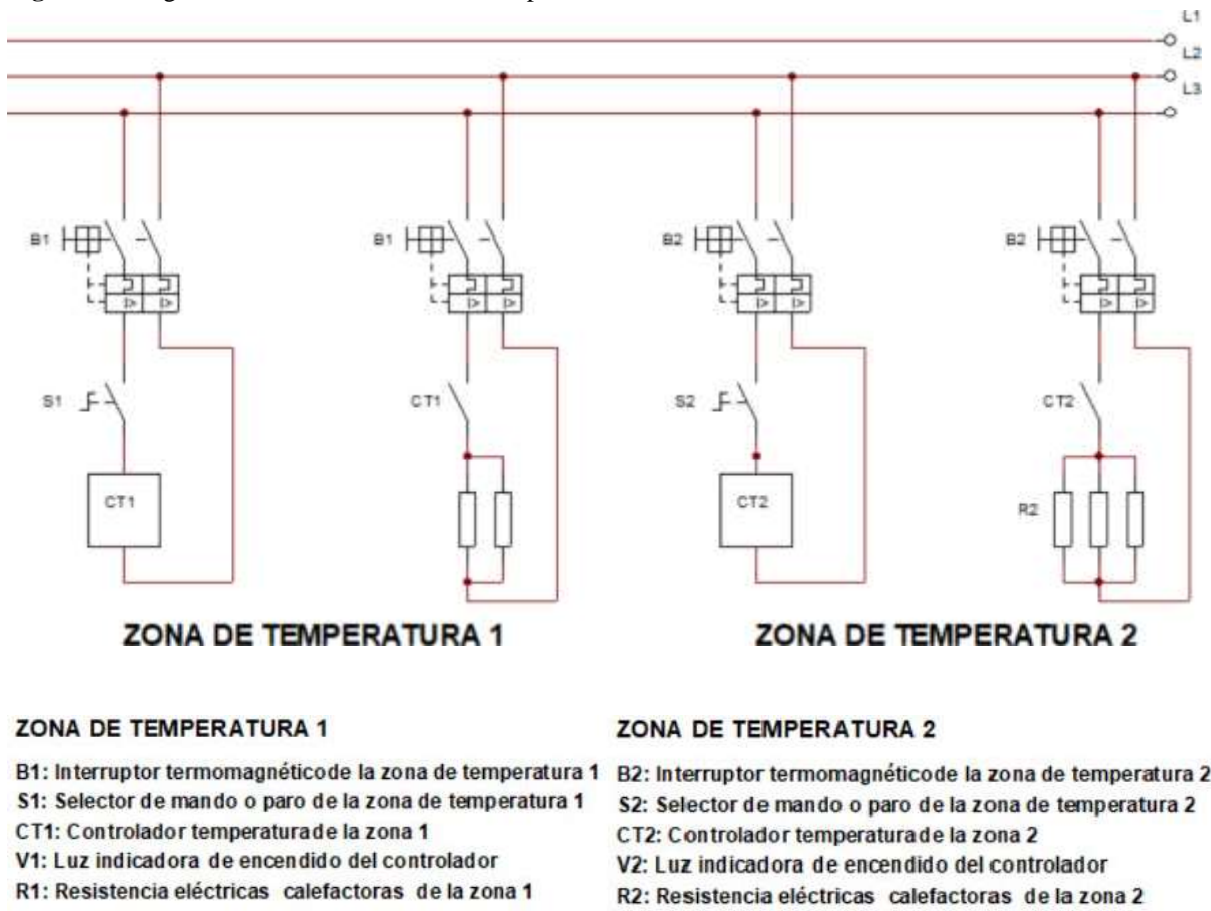
Figura 36 Diagrama de flujo del control de temperatura on/off



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

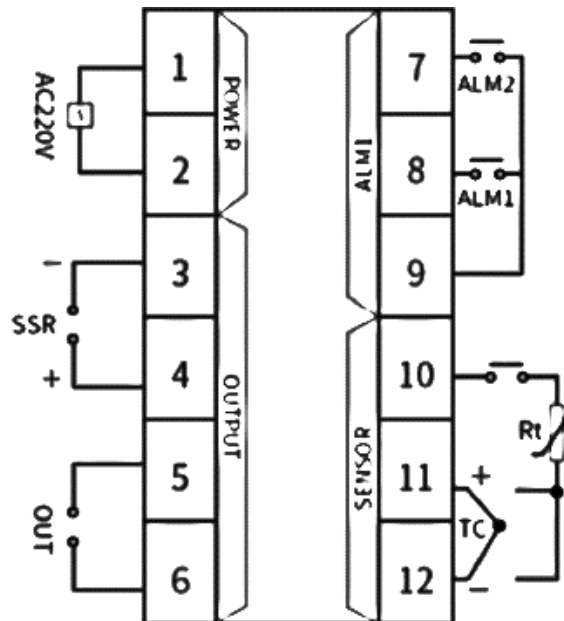
En la figura 37 se realiza un diagrama eléctrico del sistema de control de temperatura con ayuda del software libre CADE SIMU utilizando la normativa NTE INEN 77:2013 denominada “Símbolos gráficos para esquemas eléctricos, contactos, interruptores, mandos mecánicos, arrancadores y elementos de relés electromecánicos”.

Figura 37 Diagrama eléctrico del control de temperatura



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Figura 38 Diagrama eléctrico del controlador CH10



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Como la máquina extrusora es un prototipo pequeño, el sistema de temperatura se divide en dos zonas de control como se observa en la figura 38, la primera zona está constituida por dos resistencias eléctricas y un sensor de temperatura (termocupla) y la segunda zona por tres resistencias eléctricas y un sensor de temperatura.

Figura 39 Zonas de temperatura



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7.4. Diseño del tablero eléctrico

Para el tablero eléctrico se utilizó un gabinete doble fondo metálico con las siguientes dimensiones:

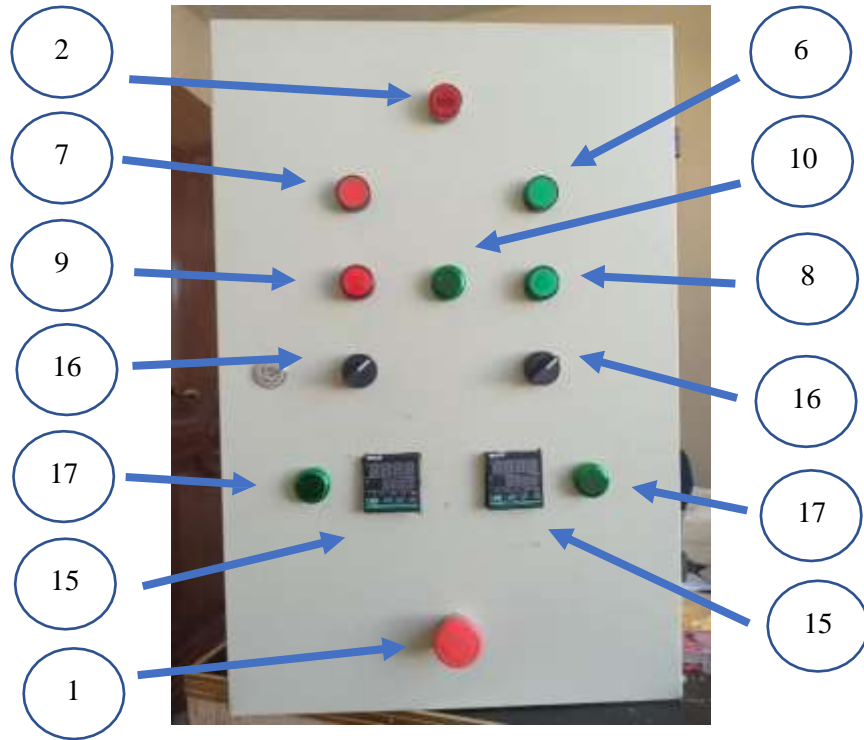
- Alto: 60 cm
- Ancho: 40 cm
- Profundidad: 20 cm

Para la sujeción de los elementos internos del tablero como: interruptores, contactores, relés, borneras, entre otros, se utilizó riel din y tornillos autoperforantes de 4,2 x 12,7 mm. Adicional se usó canaleta ranurada de 25 x 25 mm para la parte interna del tablero precisamente en la puerta para el cableado de botoneras, luces indicadoras, amperímetros, pulsador de emergencia, entre otros.

En la figura 40 se puede observar el tablero eléctrico de la parte exterior para la máquina extrusora con cada uno de sus componentes y en la figura 41 se puede observar el tablero eléctrico de la parte interior de la máquina extrusora con cada uno de sus componentes para la fabricación del perfil rectangular de polietileno.

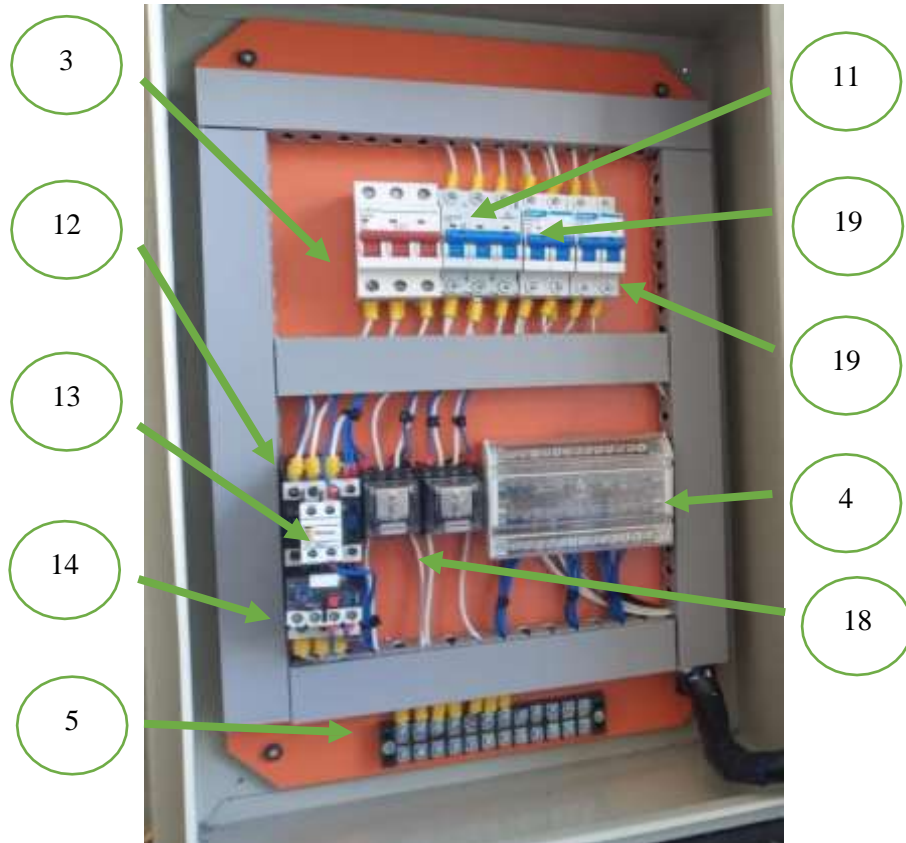
La numeración de estas figuras tiene su nombramiento de acuerdo con las tablas 23 ,24 y 25 del ítem 11.7 denominado sistema eléctrico de la máquina extrusora.

Figura 40 Diseño del tablero eléctrico parte externa



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Figura 41 Diseño del tablero eléctrico parte interna



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7. Calibración de temperatura

Para generar el perfil rectangular utilizando el polietileno de baja densidad se realizaron diferentes pruebas para la calibración de la temperatura obteniendo los siguientes resultados:

10.7.1. Prueba 1 de calibración de temperatura

En la figura 42 se observan los controladores de temperatura, el valor de color rojo significa el valor de temperatura que está midiendo la termocupla en cada zona y el valor de color verde es el valor de set point que se le asigna a cada una de las zonas, para la primera prueba se optó por los siguientes valores.

- Zona 1 de temperatura: 220 °C (Derecha)
- Zona 2 de temperatura: 239 °C (Izquierda)

Figura 42 Calibración 1 de la temperatura



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

La prueba 1 de calibración de temperatura tuvo como resultado final que el plástico comenzó a fundirse de una manera rápida generando una acumulación de este material a la entrada del tornillo sin fin y provocando que no exista un flujo de material continuo.

Tabla 26 Calibración de temperatura prueba 1

Temperatura de ingreso del material plástico	Temperatura a la mitad del tornillo (Zona 1)	Temperatura zona 2 Salida del material	Temperatura de enfriamiento
25 °C	220 °C	239 °C	25 °C
Medición con pirómetro	Medición con termocupla tipo K	Medición con termocupla tipo K	Medición con pirómetro

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.7.2. Prueba 2 de calibración de temperatura

- Zona 1 de temperatura: 120 °C
- Zona 2 de temperatura: 280 °C

Figura 43 Calibración 2 de la temperatura

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

La prueba 2 de calibración de temperatura tuvo un resultado favorable en el producto final, el plástico tuvo el flujo correcto del material, no se adhirió al tornillo sin fin y elaboró el perfil rectangular requerido.

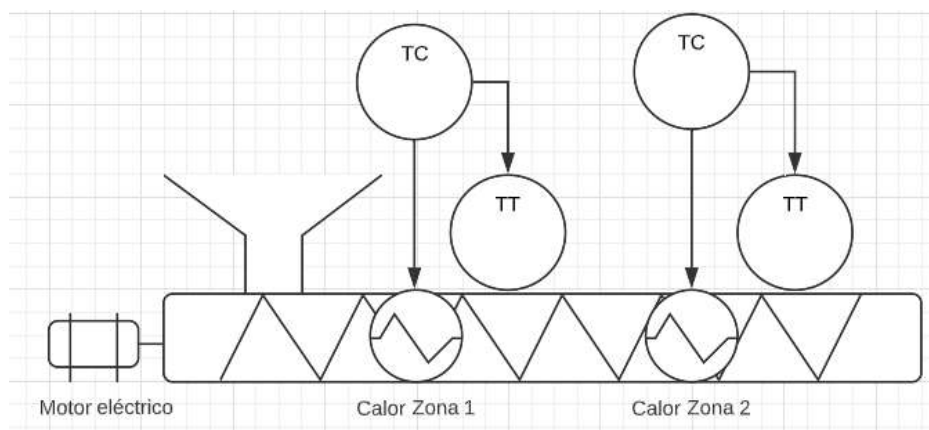
Tabla 27 Calibración de temperatura prueba 2

Temperatura de ingreso del material plástico	Temperatura a la mitad del tornillo (Zona 1)	Temperatura zona 2 Salida del material	Temperatura de enfriamiento
25 °C	120 °C	280 °C	25 °C
Medición con pirómetro	Medición con termocupla tipo K	Medición con termocupla tipo K	Medición con pirómetro

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

10.8. Representación P&ID

En la siguiente figura se tiene una representación del diagrama P&ID de la máquina extrusora en donde se puede visualizar los controladores, las resistencias de calor y los sensores de temperatura.

Figura 44 Calibración 1 de la temperatura

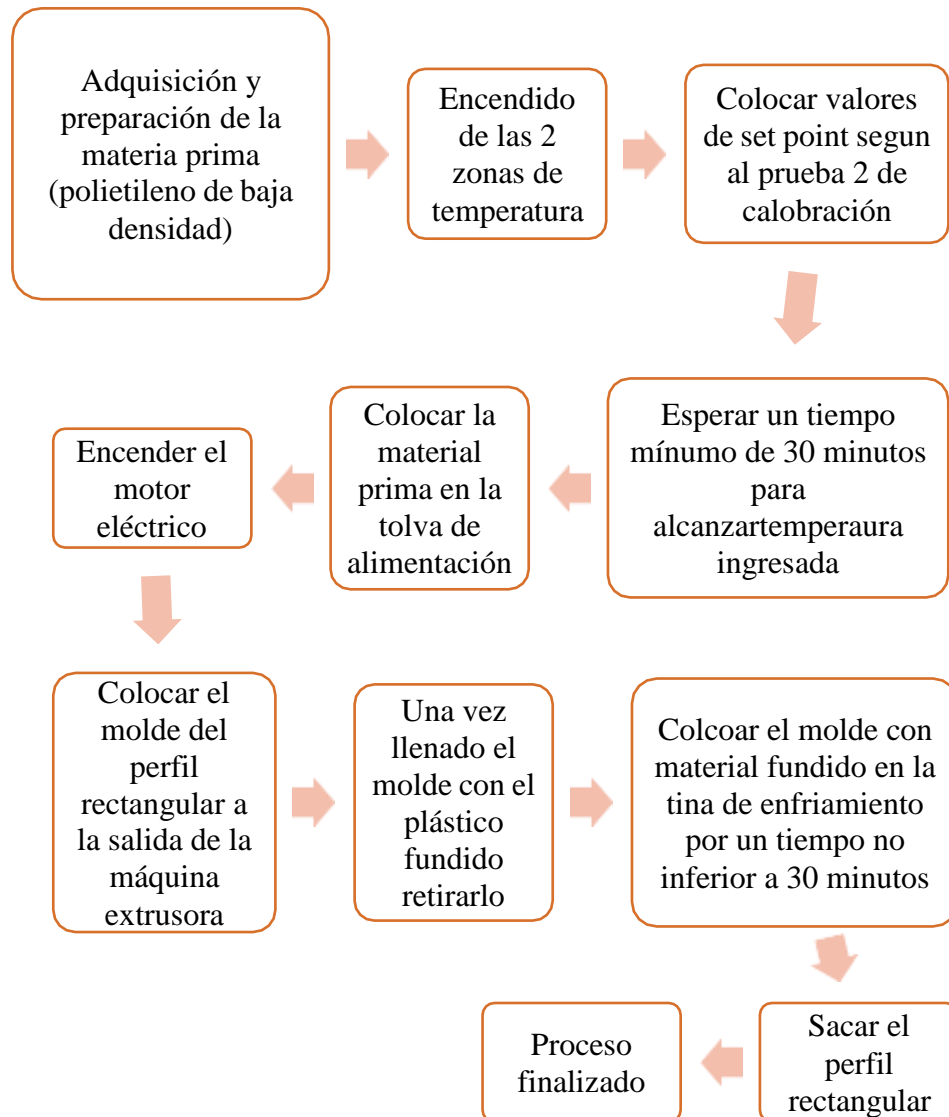
Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

- TC: Controlador de temperatura para la zona 1 y 2
- TT: Sensor de temperatura para la zona 1 y 2

10.9. Mapa general del proceso de extrusión

En la siguiente figura se puede detallar un mapa general del proceso de extrusión, utilizado para la fabricación de un perfil rectangular.

Figura 45 Mapa general del proceso de extrusión



Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

11. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

El presupuesto del proyecto conlleva varios aspectos económicos que se deben tomar en consideración, estos son: materiales indirectos, materiales directos y mano de obra. En la tabla 28 se describen los costos indirectos.

Tabla 28 Costos indirectos

COSTOS INDIRECTOS			
Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Transporte	40	\$ 2,50	\$ 100,00
Alimentación	80	\$ 2,00	\$ 160,00
TOTAL			\$ 260,00

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

11.1. Costos directos

En la tabla 29 se describe un listado de los elementos mecánicos y eléctricos utilizados en la fabricación de la máquina extrusora.

Tabla 29 Costos directos

Detalle	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Acero estructural tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	5	\$25,00	\$125,00
Tool galvanizado de 0,9 mm	1	\$40,00	\$40,00
Acero AISI 4140 de 3 pulgadas	2	\$80,00	\$160,00
Acero AISI 1018 plancha de 5 mm	5	\$36,00	\$180,00
piñón de transmisión de doble cadena	1	\$15,00	\$15,00
Motor eléctrico 220 Vac 2 HP	1	\$230,00	\$230,00
Motorreductor a 60 RPM de 2HP	1	\$310,00	\$310,00
Interruptor termomagnético de 20 A	1	\$10,00	\$10,00
Interruptor termomagnético de 16 A	3	\$8,00	\$24,00
Luz indicadora 220 Vac	2	\$2,25	\$4,50
Pulsador N.A. y N.C.	2	\$2,25	\$4,50
Pulsador de emergencia	1	\$2,25	\$2,25
Selectores de 2 posiciones	1	\$3,00	\$3,00
Tablero eléctrico 60 · 40 · 20 cm	1	\$60,00	\$60,00
Amperímetro digital	3	\$12,00	\$36,00
Conductor eléctrico 18 AWG	2	\$25,00	\$50,00
Conductor eléctrico 12 AWG	0,50	\$45,00	\$22,50

Distribución de fase	1	\$12,00	\$12,00
Relé 220 Vac + Sócalo	2	\$18,00	\$36,00
Sensor de temperatura (termocupla)	2	\$15,00	\$30,00
Contactador 220 Vac	1	\$14,00	\$14,00
Relé térmico 10 A	1	\$12,00	\$12,00
Controlador de temperatura CH-102	2	\$28,00	\$56,00
Bornera de distribución	1	\$2,00	\$2,00
Canaleta ranurada de 42 mm x 42 mm	2	\$2,50	\$5,00
Riel din	1	\$2,60	\$2,60
Resistencias eléctricas	5	\$30,00	\$150,00
TOTAL			\$ 1.596,35

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

11.2. Costos de mano de obra

En la tabla 30 se describe la implementación del sistema de extrusión del plástico.

Tabla 30 Costos de mano de obra

Detalle	Cantidad de días	Cantidad de Personas	Valor Total
Construcción de la estructura metálica	3	2	\$ 250,00
Construcción de la tolva	2	2	\$ 40,00
Adquisición del tornillo sin fin	4	2	\$ 1500,00
Construcción del cilindro extrusor	4	2	\$ 800,00
Construcción del molde	2	2	\$ 120,00
Construcción de la tina de enfriamiento	2	2	\$ 110,00
Construcción de la cubierta para el sistema térmico	2	2	\$ 80,00
Implementación de un tablero de control	10	2	\$ 300,00
Implementación de los sensores de temperatura	2	2	\$ 50,00
TOTAL			\$ 3.250,00

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

11.3. Presupuesto total

En la tabla 31 se describe el presupuesto total del proyecto considerando los costos indirectos, costos directos y mano de obra.

Tabla 31 Presupuesto total

Detalle	Valor Total
Costos indirectos	\$ 260,00
Costos directos	\$ 1.596,35
Costo de mano de obra	\$ 3.250,00
TOTAL	\$ 5.106,35

Fuente: Gallo A., Toaquiza I.

Para la ejecución de la propuesta tecnológica se considera un presupuesto general de cinco mil ciento seis dólares americanos con treinta y cinco centavos (\$ 5.106,35)

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1. Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica se determinaron las características y el funcionamiento del proceso de extrusión mencionando que la velocidad del tornillo sin fin varía entre 60 rpm a 150 rpm, esta velocidad va a depender de la capacidad de la maquinaria, mientras más grande más velocidad necesitará, adicional es necesario conocer la temperatura de fusión de los plásticos ya que no todos se funden a una misma temperatura, el polietileno de baja densidad que es utilizado como material para este proyecto se necesita una aproximada de 180 °C.
- El diseño de la máquina extrusora consta con una tolva cuadrada que tiene una capacidad de 8,27 kg construida con tool galvanizado de 0,9 mm de espesor, un tornillo sin fin de 50,8 mm de diámetro y 650 mm de largo adquirido en acero AISI 4140, un cilindro extrusor de diámetro interior de 64,2 mm y 675 mm de largo construido con acero AISI 4140, un molde fabricado en acero AISI 1018 para la fabricación de un perfil rectangular de alto y ancho: 7 cm y largo de 25 cm, una tina de enfriamiento de alto y ancho: 15 cm y 35 cm de alto y una estructura de soporte fabricado en acero estructural cuadrado AISI 1010 de 38 mm de lado y 1,5 mm de espesor.
- Se implementó un tablero de control que consta de 3 sistemas: el primer sistema denominado “general” consta de elementos como pulsador de emergencia y protección eléctrica de toda la máquina extrusora, para el segundo sistema se tiene el arranque directo del motor de 2 HP a 220 Vac utilizando elementos de mando del control industrial; el tercer sistema denominado “control de temperatura” se implementó un control on/off en las dos zonas del proceso de fundición del plástico, permitiendo su encendido o apagado de acuerdo a un valor de referencia de 180 °C.
- Se desarrollaron las pruebas de funcionamiento de la máquina extrusora utilizando polietileno de baja densidad en forma de pellets, permitiendo conseguir un perfil rectangular de 7cm x 7 cm x 25 cm con una cantidad de masa de 1,15 kg.

12.2. Recomendaciones:

- Cuando se termine de realizar el proceso de extrusión de polietileno, es necesario asegurar que la máquina se encuentre sin material, caso contrario es posible que el material se adhiera al cilindro extrusor, provocando que el tornillo sin fin se quede pegado a las paredes del cilindro.
- Para realizar el proceso de extrusión de otro tipo de materiales plásticos como, por ejemplo: el pvc, polipropileno, poliestireno, entre otros, se recomienda realizar pruebas preliminares de calibración del valor de referencia para la temperatura en el cilindro extrusor, ya que no toda la materia prima tiene el mismo punto de fusión para el tratamiento de este proceso.
- Es necesario realizar un precalentamiento de la máquina extrusora por un tiempo mínimo de 25 minutos para que la materia prima puede fundirse y fluir con facilidad en el tornillo sin fin, si este precalentamiento no llegara a cumplirse y se enciende el motor eléctrico, el tornillo sin fin puede sufrir roturas y perforaciones por la presión que ejerce el plástico que no está fundido correctamente.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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>.

Bernal Sierra, L. F. (10 de enero de 2005). Aplicación de una herramienta de ingeniería asistida por computador para el análisis unidimensional de tornillos de extrusión de termoplásticos. https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4408/LuisFelipe_BernalSierra_2005.pdf?isAllowed=y&sequence=2

Camacho Roldán, Á. (01 de enero de 2017). Diseño y montaje de una extrusora de filamento para el reciclaje de residuos plásticos de impresión 3D. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/104866>

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>

Castañeda Canchón, P., & Chacón Moreno, S. (08 de marzo de 2021). Construcción prototipo de una maquina extrusora y caracterización del plástico PP reciclado Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1943&context=ing_civil

Chuquilin Zoto, A. (12 de enero de 2021). Diseño de una máquina trituradora extrusora de botellas de plástico para la obtención de filamento pet a bajo costo. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/9229>

Conto Albán, J., & Cruz Wilches, P. (10 de abril de 2018). Diseño y construcción de un prototipo de máquina para la producción de filamentos en impresoras 3D. Obtenido de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/168063.pdf>

Duarte Heredia, J. (18 de julio de 2020). Diseño y manufactura de un tornillo de potencia para una máquina extrusora de plástico para materiales termoestables reciclados. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3926>

Espín Lagos, S., & Villegas Suárez, E. (15 de septiembre de 2021). Proceso tecnológico para la fabricación de materiales compuestos con matriz polimérica y refuerzo de fibra de vidrio para su uso en filamento de impresión 3D. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33187>

Geek. (14 de julio de 2018). Termopares. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tutoriales-arduino/termopar-con-arduino-y-max6675-medicion-de-temperatura/>

González Lopez, C. (14 de junio de 2021). Diseño de un Extrusor de Impresión 3D para el Reciclado de Plástico. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/48765>

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>

Huelin, I. (10 de enero de 2010). Introducción a la mecánica. Obtenido de https://www.ieshuelin.com/huelinenglish/wpcontent/uploads/2016/01/TEMA3__MaquinasyMecanismos_3_2013.pdf

Incropera. (2002). Fundamentos de transferencia de calor.

Lozano Méndez, J., & Orellana Pesantez, P. (20 de marzo de 2021). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo electrónico mecánico en las máquinas extrusora e inyectora para la empresa Vulcano Plástico. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20367>

Machado, J. (05 de abril de 2022). Ecuador es el tercer país de la región que más basura plástica importa. Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos-basura-ecuador/>

Mena Roa, M. (30 de junio de 2021). La producción de plástico en el mundo. Obtenido de <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>

Monge Castillo, J. (20 de mayo de 2021). Diseño de máquina extrusora para polímero textil. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/10578>

Morales Iles, R. (24 de octubre de 2018). Diseño y construcción de una máquina recicladora y extrusora de PLA para el Observatorio Astronómico de Quito de la EPN. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19803>

Naranjo Izurieta, C. (14 de febrero de 2015). Diseño y construcción de una maquina elaboradora de hilo PET. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/656/1/T-UIDE-0601.pdf>

Noratto Rozo, J., & Ruiz Fajardo, A. (12 de agosto de 2021). Diseño de una máquina extrusora para laboratorio con una capacidad de 40 Kg/h, de plástico reciclado reforzado con residuos de madera para la Fundación de la Universidad de América ubicada en Colombia. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8609>

Pachacama Campaña, I. (05 de julio de 2019). Automatización de una máquina extrusora de plástico para incrementar la capacidad de producción de manguera de uso eléctrico. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5505>

Parra Brito, R. (10 de agosto de 2017). Diseño de extrusora de filamento para impresión 3D a partir de plásticos reciclados para la Universidad Católica de Chile. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/40932/3560902038562UTFSM.pdf?seque>

Paz Delgado, V. (07 de mayo de 2019). Diseño e implementación del nuevo sistema de control para la maquina extrusora Haake Rheomex CTW100P del Centro de Investigaciones Aplicadas a Polímeros de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20268>

Piñeros Trujillo, C., & Acosta Gutierrez, N. (20 de abril de 2019). Rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de plástico emitido en la Facultad Tecnológica de la UD. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24299>

Prado Espinoza, D. (29 de mayo de 2019). Diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora de termoplásticos para la fabricación de un poste de cerca a escala en San Juan de Pasto. Obtenido de <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/40>


Punina Guerrero, D., Sandoya Lara, D., & Macías Coello, C. (21 de marzo de 2021). Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (pet) para la elaboración de filamento para impresoras 3d. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6105>

Shingón Collaguazo, O., & Uvillus Tipan , G. (15 de 07 de 2019). Construcción de una máquina extrusora para plástico. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5537>

Stebo. (20 de febrero de 2010). Cilindros. Obtenido de <https://www.stebosrl.com/es/cilindros-extrusion/>

14. ANEXOS

	Anexo 1. Ficha técnica de planchas galvanizadas	1/1			
<div style="display: flex; align-items: flex-start;">  <div data-bbox="842 488 1412 925" style="width: 65%;"> <p>PLANCHAS GALVANIZADAS</p> <p>El recubrimiento de zinc, el cual puede ser G40, G60, o G90, que la plancha galvanizada posee le aporta mayor dureza y resistencia que cualquier otro tipo de recubrimiento, soporta la acción corrosiva del medio ambiente, no necesita mantenimiento. Se la utiliza para la realización de ductos para aire acondicionado, muebles, mobiliario urbano, equipamientos para carreteras, etc. Lo puedes encontrar en espesor de 0.45 mm hasta 4 mm y se despacha en dimensión estándar de 4 por 8 pies, o lo que es lo mismo 1220mm por 2440mm.</p> </div> </div> <p>Los acabados pueden ser: Flor regular, la cual es la mas comercial, flor grande, flor minima o cero flor.</p>					
DESCRIPCIÓN					
<p>Planchas Galvanizadas Especificaciones Generales:</p>					
Acero Base:	Calidad comercial o según tabla de laminado al frío				
Norma:	NTE INEN 115				
Espesores:	0,40mm a 4mm				
Rollos:	X 1219mm y por flejes				
Planchas:	1220x2440mm, 4x8 pies y medidas especiales				
Flor:	Grande, Regular, Minima, Zero				
					
<p>Propiedades Mecánicas:</p>					
NORMA TÉCNICA		COMPOSICIÓN QUÍMICA (Max)			
De la plancha	Del Acero	C %	Mn %	P %	S %
ASTM A653 / 653M	JIS G 3302 SPCC SD	0,12%	0,50%	0,04%	0,05%

	Anexo 2. Ficha técnica acero AISI 4140	1/1
---	--	-----

AISI / SAE: 4140

Composición química (%)			
C	0.33 - 0.43	Cr	0.80 - 1.10
Mn	0.75 - 1.00	Mo	0.15 - 0.25
Si	0.15 - 0.35	S	0.040 Máx
P	0.035 Máx.		

EQUIVALENCIAS EN OTRAS NORMAS

NORMAS	NOMBRE
AISI SAE	4140
DIN	42CrMo4
AFNOR	42CD4
UNI	40CD4
BS	708M40

Dureza de suministro 28 - 32 HRC.

Características:

Acero de medio carbono aleado con Cr y Mo. Posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.

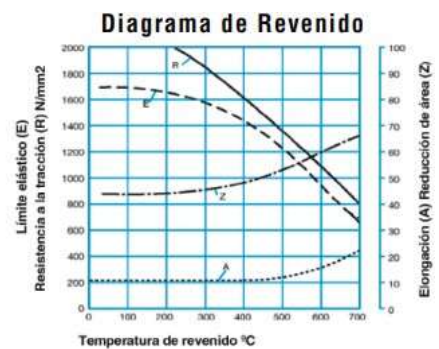
Usos: Se utiliza en piñones, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la industria petrolera. Cigüeñales, espárragos, árboles, engranajes de transmisión, etc.



Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm ²	Límite elástico kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850/1100	Ceniza o arena
Temple	830/850	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire

* Tener presente que los tratamientos térmicos modifican las propiedades mecánicas de origen del material.





Anexo 3. Ficha técnica acero AISI 1018

1/1

SAE/AISI1018



ACERO

Acero también conocido como Cold Rolled ya que la mayoría de los usuarios lo identifica así por su uso standard en acabado frío, Pero este acero podría entregarse laminado en caliente si así se requiere.

El acero SAE/AISI 1018 es considerado un acero bajo-medio carbono que tiene una dureza uniforme en toda la pieza, por sus propiedades mecánicas se convierte en un commodity para la fabricación de varios productos de acero, es ideal para doblar, forjar en frío y para fabricar piezas que no requieran someterse a grandes esfuerzos mecánicos, por otra parte su bajo contenido de carbono lo hace excelente para soldar.

Color de identificación: Verde

Acabados

- Laminado en caliente L.C.
- Acabado en Frío (A.F.)
 - o Estirado en frío (E.F.)
 - o Torneado o descortezado (T)

Perfiles

- Redondo
- Cuadrado
- Hexagonal
- Solera



COMPOSICIÓN QUÍMICA

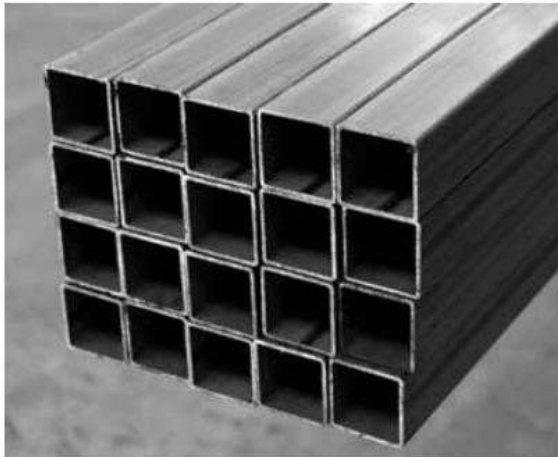
CARBONO	MANGANESO	FOSFORO	AZUFRE
%C	%Mn	%P	%S
0.15/0.20	0.60/0.90	0.04 max.	0.05 max.

Para más información sobre propiedades mecánicas, usos y generalidades sobre el acero, pueden suscribirse a nuestro Website; compartimos información que les podría ser de utilidad y/o comuníquense con nosotros, les brindaremos una atención personalizada y profesional, con gusto estaremos a sus órdenes.



Anexo 4. Ficha técnica tubo cuadrado

1/1



TUBO CUADRADO MECÁNICO

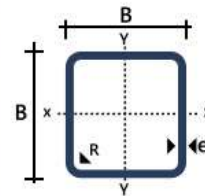
Son perfiles de acero al carbono, laminado en frío. Este producto es fácil de soldar, y tiene una facilidad de corte, moldeado y mecanizado moderados, ya que se trata de un material muy denso. Usos: para muebles metálicos en general, cerrajería (rejillas, puertas, etc.), divisiones Modulares, Pasamanos, Cerramientos, parantes de repisas, etc.

Especificaciones Generales:

NOMENCLATURA

Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas		
					Eje x-x = y-y		
B	B	e	A	P	I	W	i
pulg.	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	12	0,75	0,32	0,26	0,07	0,11	0,45
		0,90	0,38	0,30	0,08	0,13	0,45
		1,00	0,41	0,33	0,08	0,13	0,44
		1,1	0,45	0,36	0,09	0,14	0,44
5/8	15	0,75	0,41	0,33	0,16	0,19	0,58
		0,9	0,49	0,39	0,19	0,21	0,56
3/4	20	0,6	0,46	0,36	0,34	0,29	0,79
		0,75	0,56	0,45	0,4	0,34	0,78
		0,9	0,67	0,53	0,48	0,41	0,77
		1,1	0,8	0,64	0,54	0,47	0,77
		1,5	1,05	0,84	0,65	0,58	0,74
1	25	0,75	0,71	0,56	0,82	0,55	0,99
		0,9	0,85	0,67	1	0,67	0,97
		1,1	1,02	0,81	1,12	0,76	0,97
		1,5	1,35	1,08	1,39	0,97	0,95
1 1/4	30	0,9	1,03	0,81	1,79	1	1,18
		1,1	1,24	0,98	2,01	1,13	1,17
		1,5	1,65	1,31	2,54	1,47	1,15
1 1/2	40	1,1	1,68	1,33	5,03	2,1	1,58
		1,5	2,25	1,79	6,48	2,74	1,56
2	50	1,2	2,31	1,82	9,06	3,63	1,98
		1,5	2,85	2,26	11,06	4,42	1,97

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:	ASTM A366
Norma de Fabricación:	INEN 2415
Espesores:	Desde 0,60 a 1,50 mm
Observaciones:	Otras dimensiones y largos, previa consulta



Área= Área de la selección transversal del tubo, cm²

I= Momento de inercia de la sección, cm⁴

W= Módulo resistente de la sección, cm³

i= Radio de giro de la sección cm



	<p>Anexo 5. Fabricación de la máquina extrusora</p>	<p>1/1</p>
		

	Anexo 6. Fabricación de la estructura	1/1
---	--	------------



	Anexo 7. Ficha técnica del motor eléctrico	1/1
---	---	------------

HOJA DE DATOS

Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula



Cliente	:					
Línea del producto	: NEMA Premium Efficiency Trifásico	Código del producto : 11458046				
		Catalog # : 00218ET3ER145TC-W22				
Carcasa	: 145TC	Tiempo de rotor bloqueado	: 23s (frío) 13s (caliente)			
Potencia	: 2 HP (1.5 kW)	Elevación de temperatura	: 80 K			
Polos	: 4	Régimen de servicio	: Cont.(S1)			
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C			
Tensión nominal	: 230/460 V	Altitud	: 1000 m			
Corriente nominal	: 5.52/2.76 A	Grado de protección	: IP55			
Corriente de arranque	: 45.8/22.9 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC			
Ip/In	: 8.3x(Cód. L)	Forma constructiva	: W-6			
Corriente en vacío	: 3.26/1.63 A	Sentido de giro ¹	: Ambos			
Rotación nominal	: 1750 rpm	Nivel de ruido ²	: 51.0 dB(A)			
Resbalamiento	: 2.78 %	Método de Arranque	: Partida directa			
Torque nominal	: 8.14 Nm	Masa aproximada ³	: 23.1 kg			
Torque de arranque	: 270 %					
Torque máximo	: 320 %					
Clase de aislamiento	: F					
Factor de servicio	: 1.25					
Momento de inercia (J)	: 0.0066 kgm ²					
Categoría	: B					
Potencia	25%	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)	85.2	85.5	86.5	86.5	Tracción máxima	: 702 N
Cos Φ	0.32	0.57	0.70	0.79	Compresión máxima	: 928 N
Tipo de cojinete	:	<u>Delantero</u>		<u>Trasero</u>		
Sello	:	6205 ZZ		6204 ZZ		
Intervalo de lubricación	:	V'Ring		V'Ring		
Cantidad de lubricante	:	-		-		
Tipo de lubricante	:	-		-		
					Mobil Polyrex EM	

Notas
USABLE @208V 5.85A SF 1.15 SFA 6.73A



CÓDIGO:
WEG41

FICHA TÉCNICA

Motor Electrico Weg 2Hp Trifasico 3600 Rpm Ac 220/440V / 60 Hz 3F Box Control Al Lado Izquierdo W22 Iec Ie1 Ip55 2Hp 2P B3L(D) Fr.80 Soporta + O - 10% De Voltaje

Velocidad (rpm)	Momento de inercia (kgm ²)	
	3600	1800
3600	0.0066	0.0066
1800	0.0066	0.0066

	Anexo 8. Ensamblaje de la máquina	1/1
---	--	------------





Anexo 9. Ficha técnica del controlador de temperatura HC-102

1/1



El controlador de temperatura permite mantener estable la temperatura de un proceso, tiene una entrada, procedente de un sensor de temperatura, y una salida que actúa sobre un elemento de control de un circuito de calentamiento, refrigeración o mixto. Permite fijar una temperatura objetivo y el controlador la mantendrá en un rango óptimo.

Este modelo de controlador de temperatura, acepta como dispositivo sensor de temperatura diversos tipos de termopares o

RTD.

Como salida dispone de salida mediante relé electromecánico y SSR, relé electromecánico indicador de alarma.

Como tipo de control permite varios modos: ON/OFF, proporcional y PID.

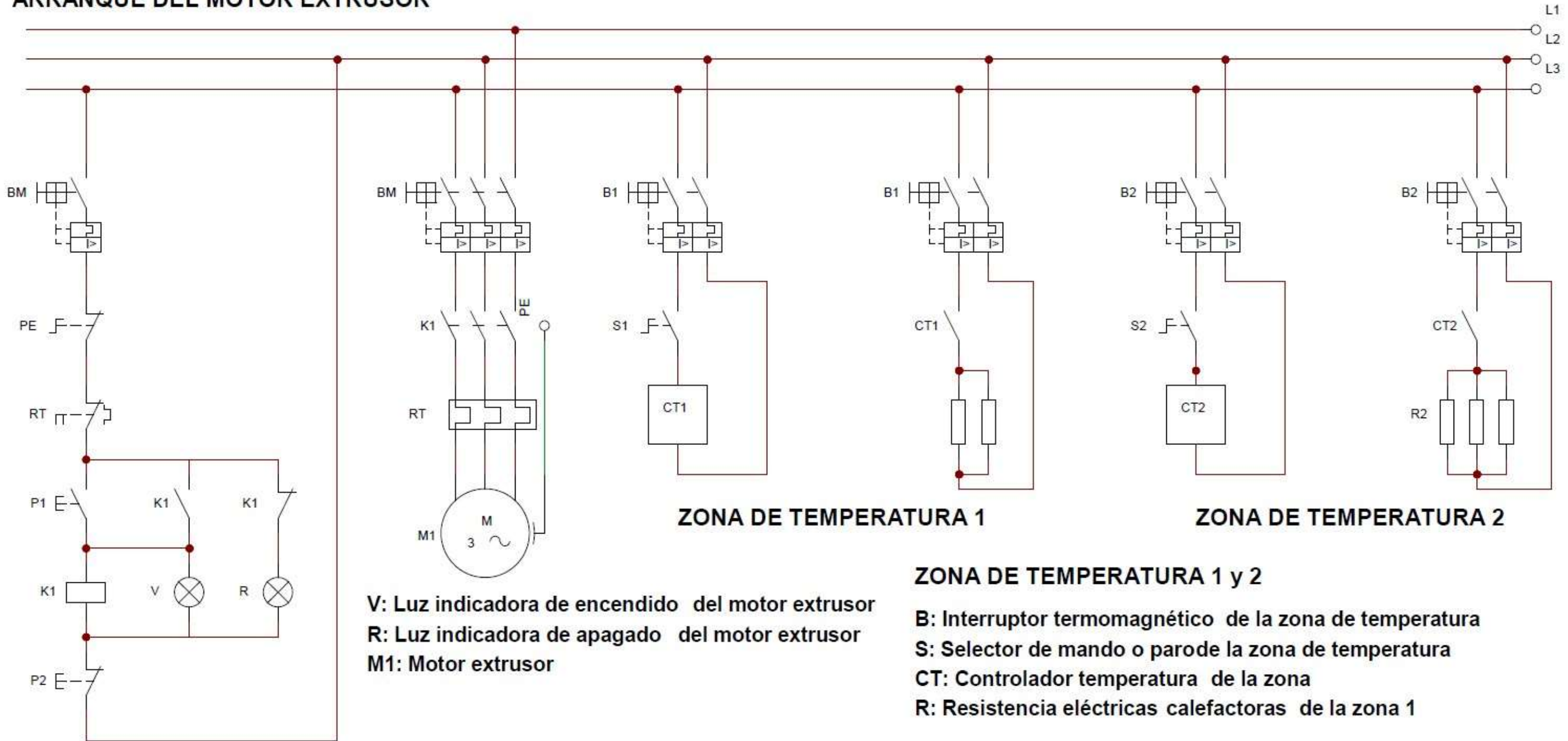
Características técnicas:

- Denominación de la serie: CHxx2 (CH102, CH402, CH502, CH702 y CH902).
- Tensiones de alimentación: 100 + 240Vac 50/60Hz.
- Tolerancia de tensión de alimentación: -15% + 10%.
- Frecuencia de la tensión de alimentación: 50/60Hz \pm 2Hz.
- Potencia consumida: 10VA.
- Precisión de medida: \pm 0,5% sobre fondo de escala.
- Compensación de error: \pm 2°C.
- Resolución: 14 bit.
- Tipo de control: PID, ON/OFF, P, PI o PD.
- Resistencia de aislamiento: \geq 50M Ω (500Vdc).
- Condiciones de instalación: 0~50°C, 30~85%RH, no condensado.
- Tipo de salida: Relé de estado sólido (SSR) y 1 contacto conmutado.
- Tipo de entrada:
 - o Termopares: K, J, R, S, B, E y T.
 - o Sondas: Pt100 y Cu50.
 - o Voltaje: 0~5Vdc; 1~5Vdc.
 - o Corriente: 0~20mA; 4~20mA.
- Ciclo de trabajo: 0,5 segundos.
- Rango de entrada: Ver tabla.
- Tipo de salida (Depende de modelos):
 - o Salida mediante relé: 250Vac, 3 A. Carga resistiva. Vida eléctrica 300.000 o más.
 - o Salida pulso de tensión: 0/12Vdc (Resistencia de carga 600 Ω o mayor).
 - o Salida corriente: 4 a 20mA (Resistencia de carga 600 Ω o menor).
 - o Salida Triac: 0,5 A (Temperatura ambiente 40°C o menor).
- Salida de alarma. Contacto conmutado, 250 Vac, 1 A (carga resistiva), Vida eléctrica: 50.000 o más.
- Precisión de visualización (a temperatura ambiente de 23°C \pm 2°C).
 - o Termopar: \pm 0,3% del valor mostrado + 1 dígito, o \pm 2 °C. (Seleccionar el mayor).
 - R, S y B: 0 a 399°C. (La precisión no esta garantizada).
 - T y U: -199,9 a -100,0°C (La precisión no esta garantizada).
 - o Sonda (RTD): \pm 0,3% del valor mostrado + 1 dígito, o \pm 2 °C. (Seleccionar el mayor).

	<p>Anexo 10. Ajuste de parámetros finales</p>	<p>1/1</p>
---	--	-------------------



ARRANQUE DEL MOTOR EXTRUSOR



V: Luz indicadora de encendido del motor extrusor
R: Luz indicadora de apagado del motor extrusor
M1: Motor extrusor

ZONA DE TEMPERATURA 1 y 2

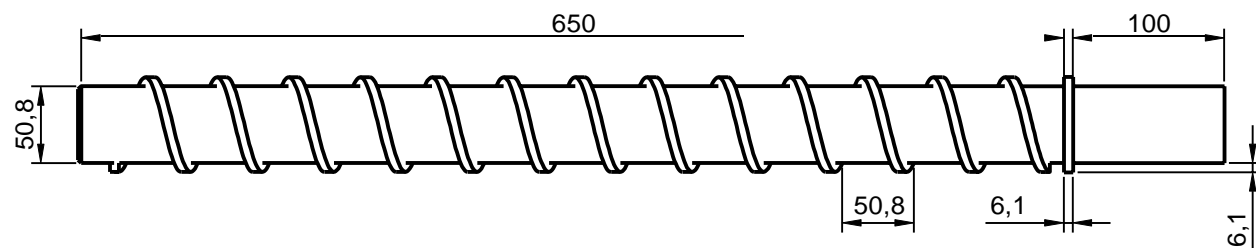
B: Interruptor termomagnético de la zona de temperatura
S: Selector de mando o parode la zona de temperatura
CT: Controlador temperatura de la zona
R: Resistencia eléctricas calefactoras de la zona 1

BM: Interruptor termomagnético del motor extrusor
PE: Paro de emergencia
RT: Relé térmico del motor extrusor
P1: Pulsador de mando del motor extrusor
P2: Pulsador de paro del motor extrusor
K1: Contactor del motor extrusor

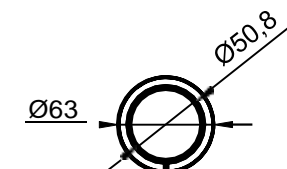
				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
				Fecha	Nombre	ESCALA	
				Dib. 21/06/22	Gallo A. Toaquizá I.	1:1	
				Rev. 22/06/22	Ing. José Morales	PLANO ELÉCTRICO	
				Apro. 22/06/22	Ing. José Morales	1 de 1	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

A

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



B

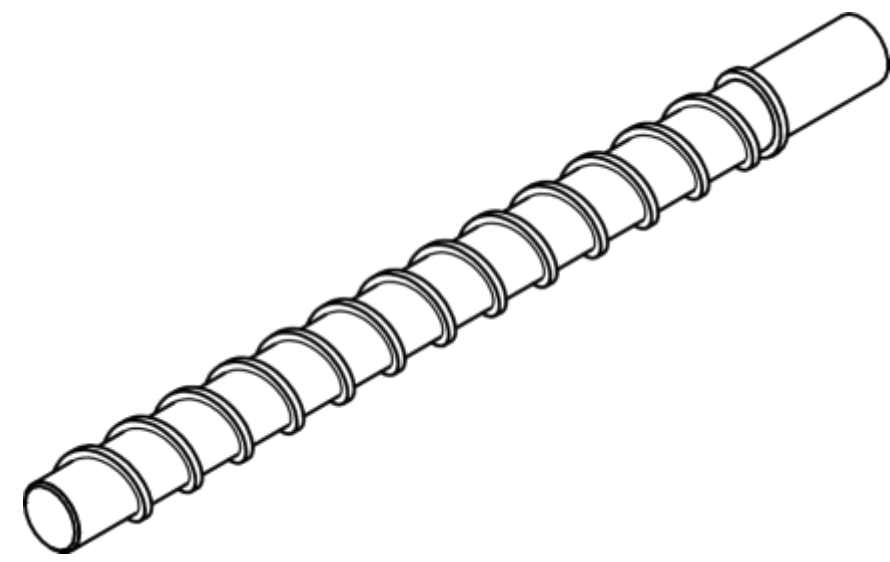
C

D

E

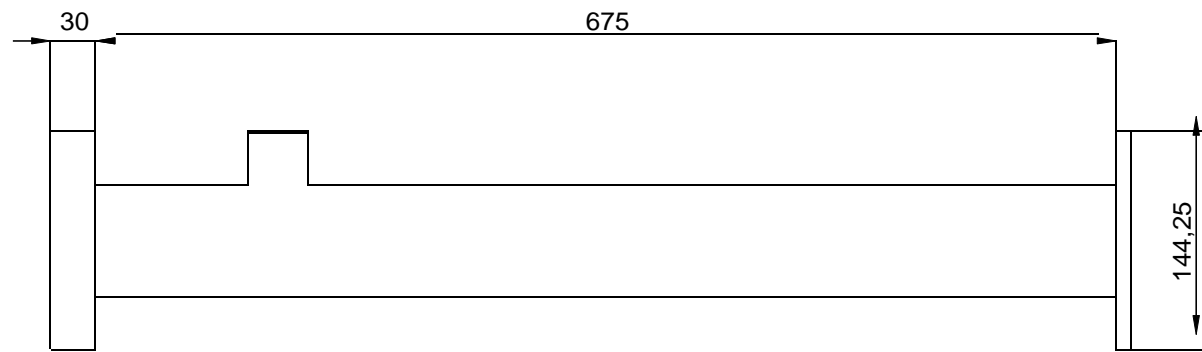
F

VISTA ISOMÉTRICA

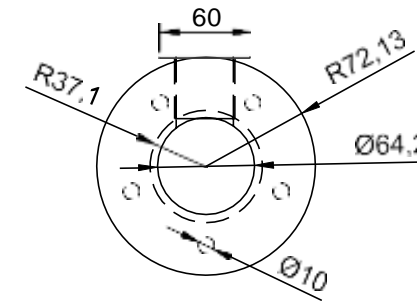


				Tolerancias:	Peso:	MATERIALES:	
				+0.05	8.32 gr	AISI 4140	
				Fecha:	Nombre:	TORNILLO SIN FIN	Escala 1:5
				Dib. 21/06/22	Gallo A. Toaquiza I.		
				Rev. 22/06/22	Ing. José Morales		
				Aprob. 22/06/22	Ing. José Morales	Número de dibujo: 1 de 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			

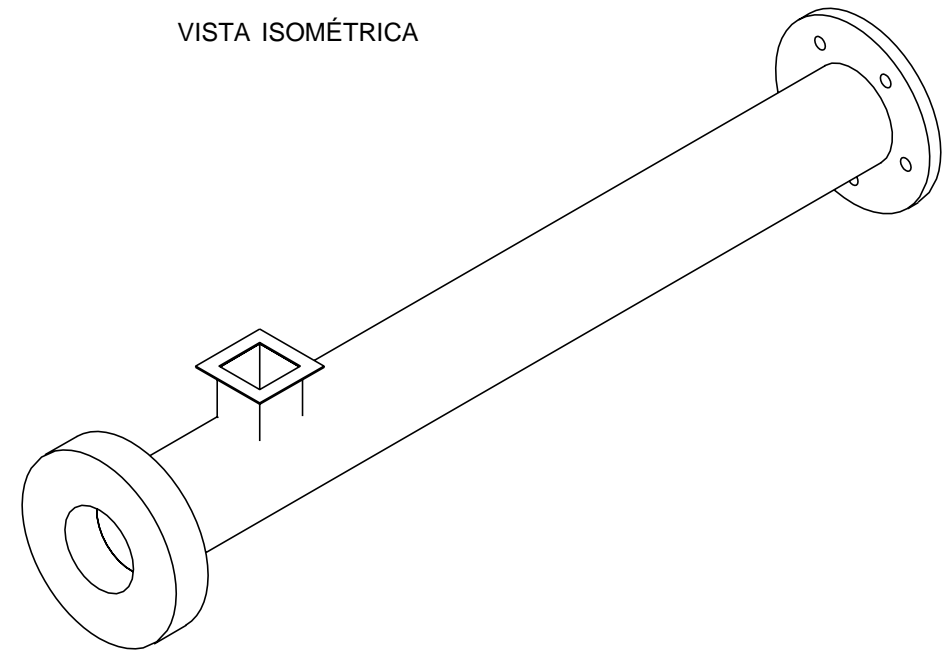
VISTA FRONTAL



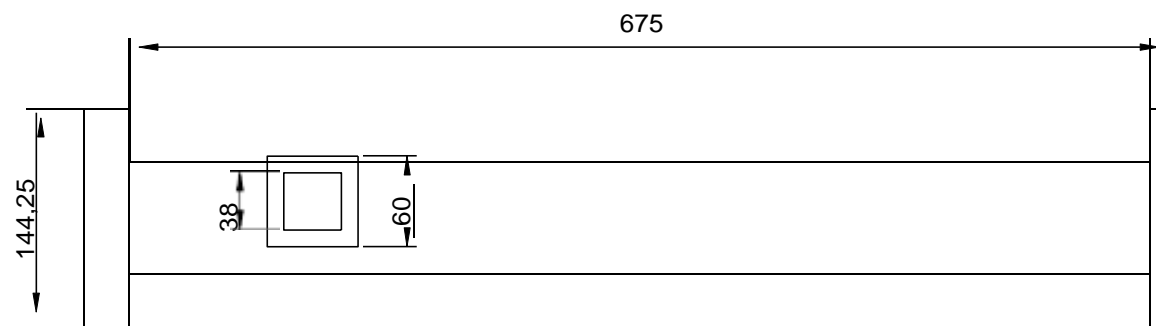
VISTA LATERAL



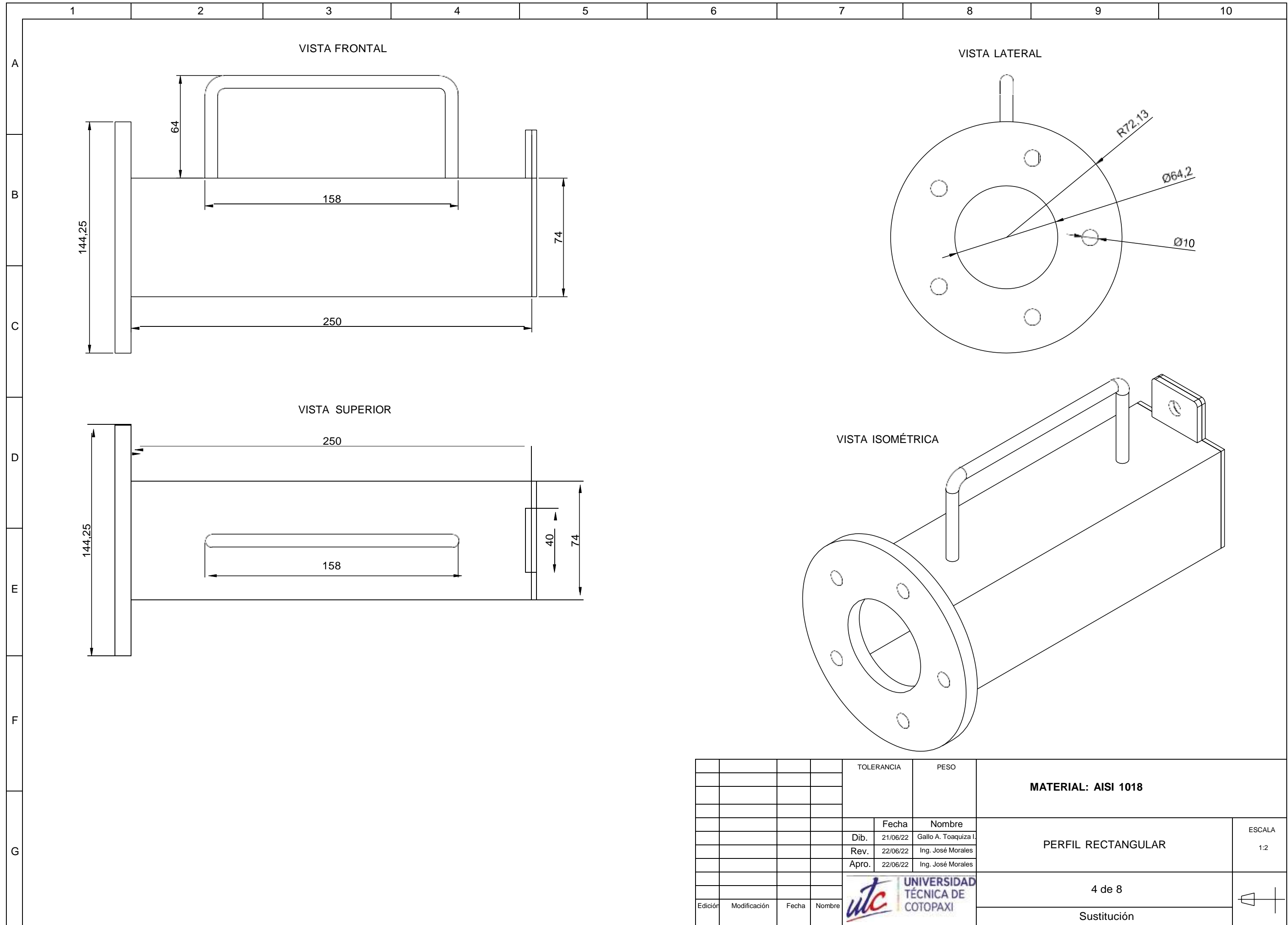
VISTA ISOMÉTRICA



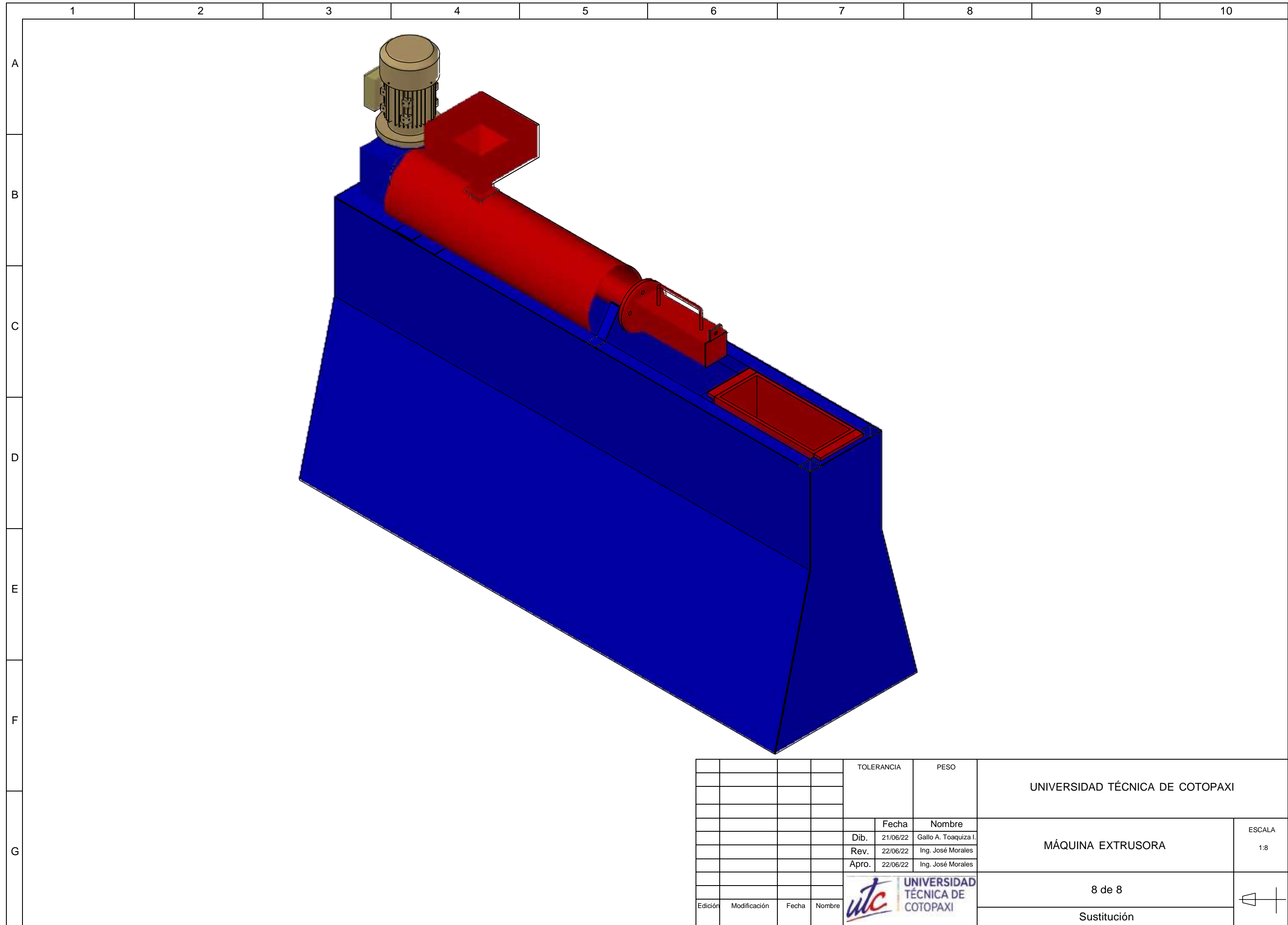
VISTA SUPERIOR



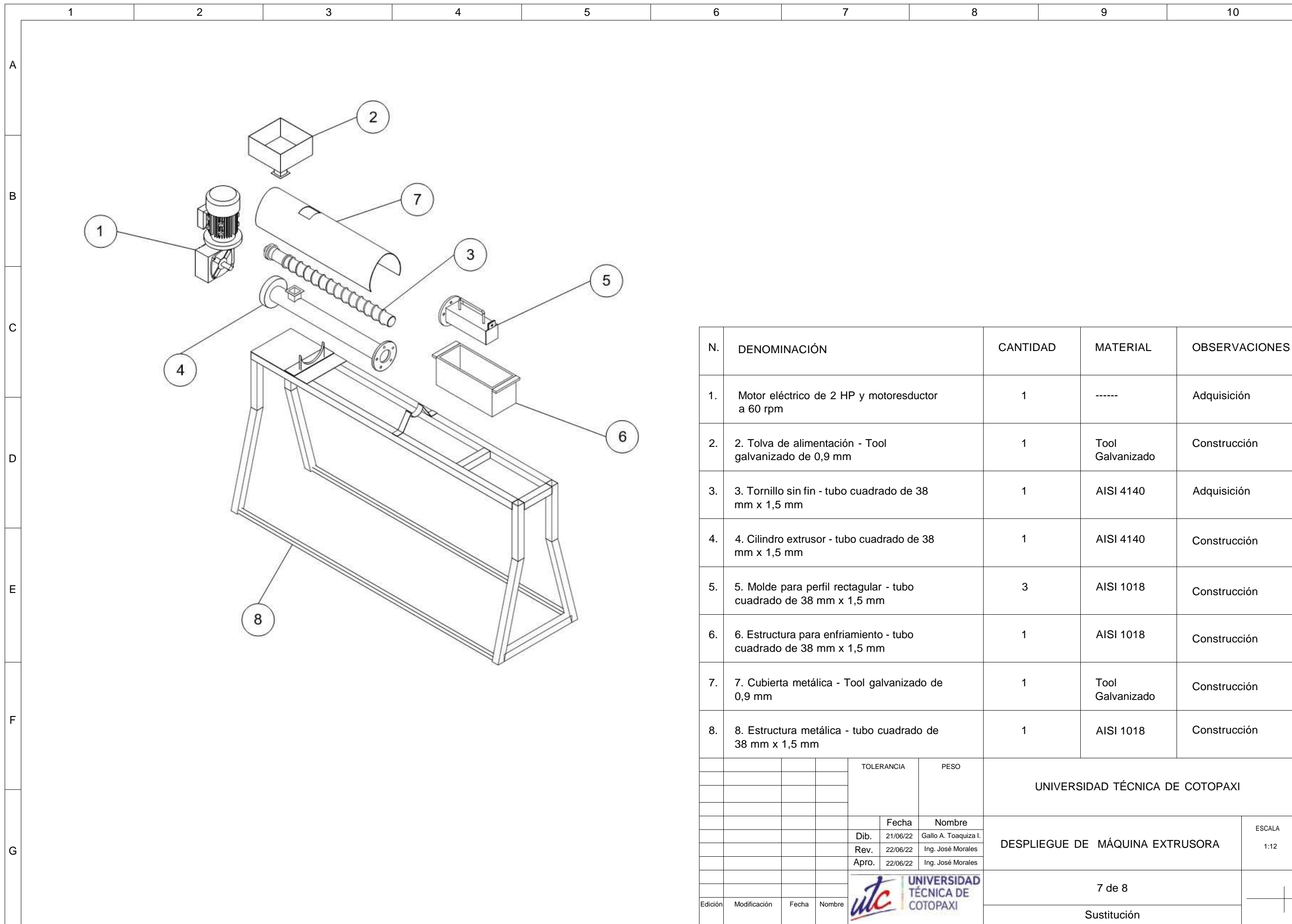
				TOLERANCIA	PESO	MATERIALES: AISI 4140	
						CILINDRO EXTRUSOR	ESCALA
				Fecha	Nombre		1:5
				Dib. 21/06/22	Gallo A. Toaquiza I.		
				Rev. 22/06/22	Ing. José Morales		
				Apro. 22/06/22	Ing. José Morales		
						3 de 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	



				TOLERANCIA	PESO	MATERIAL: AISI 1018	
						PERFIL RECTANGULAR	ESCALA
							1:2
							4 de 8
							Sustitución
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			
				Fecha	Nombre		
				Dib.	21/06/22	Gallo A. Toaquiza I.	
				Rev.	22/06/22	Ing. José Morales	
				Apro.	22/06/22	Ing. José Morales	



				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
						MÁQUINA EXTRUSORA	ESCALA
							1:8
						8 de 8	
						Sustitución	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI			



N.	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	OBSERVACIONES
1.	Motor eléctrico de 2 HP y motoresductor a 60 rpm	1	-----	Adquisición
2.	2. Tolva de alimentación - Tool galvanizado de 0,9 mm	1	Tool Galvanizado	Construcción
3.	3. Tornillo sin fin - tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	1	AISI 4140	Adquisición
4.	4. Cilindro extrusor - tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	1	AISI 4140	Construcción
5.	5. Molde para perfil rectangular - tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	3	AISI 1018	Construcción
6.	6. Estructura para enfriamiento - tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	1	AISI 1018	Construcción
7.	7. Cubierta metálica - Tool galvanizado de 0,9 mm	1	Tool Galvanizado	Construcción
8.	8. Estructura metálica - tubo cuadrado de 38 mm x 1,5 mm	1	AISI 1018	Construcción

				TOLERANCIA	PESO	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
				Fecha	Nombre	DESPLIEGUE DE MÁQUINA EXTRUSORA	ESCALA 1:12
				Dib.	21/06/22 Gallo A. Toaquiza I.		
				Rev.	22/06/22 Ing. José Morales		
				Apro.	22/06/22 Ing. José Morales		
						7 de 8	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	

JOSE WILLIAMS MORALES CEVALLOS



Datos Personales

Dirección: Teléfono

(s):

Cédula de identidad:

Correo electrónico: Ciudad

/Provincia / País:

AV. ANTONIA VELA 18-28 y BENJAMÍN
TERÁN

032807978 - 032804019 - 0985346678

0502675424

pepewmoralesc@yahoo.com LATACUNGA /

COTOPAXI / ECUADOR

Instrucción Formal

CUARTO NIVEL - MAESTRIA

(2 AÑOS) UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

INGENIERO EN ELECTROMECHANICA

TERCER NIVEL

(5 AÑOS) UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

MECANICO INDUSTRIAL

SECUNDARIA

(6 AÑOS) COLEGIO TÉCNICO INDUSTRIAL RAMÓN BARBA NARANJO

PRIMARIA /BÁSICA ELEMENTAL

(6 AÑOS) ESCUELA FISCAL ISIDRO AYORA

CERTIFICADO DE IDIOMAS

Certificado: IDIOMA INGLÉS B1

Otorgada por: Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Año: 2021

Certificaciones Por Competencias Laborales

Certificado: PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: **ENERGÍA ELÉCTRICA**

Otorgada por: M&V INGENIEROS / MINISTERIO DE TRABAJO

Certificado: PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES: **CONSTRUCCIÓN Y OBRAS PÚBLICAS**

CURRICULUM VITAE

INFORMACIÓN

Nombres y Apellidos: Alex Mauricio Gallo Muela

Cédula de Identidad: 0550530075

Lugar y fecha de nacimiento: La Maná, 14 de agosto de 1995

Domicilio: Recinto San José.

Dirección: Recinto San José

Celular: 0980441996

Correo electrónico: alex.gallo0075@.utc.edu.ec



ESTUDIOS

Primaria: Pedro Francisco Dávila

Secundaria: Unidad Educativa La Maná

Tercer Nivel: Universidad Técnica de Cotopaxi “Carrera Ingeniería Electromecánica”

TÍTULOS

- Bachiller En Ciencias

IDIOMAS

- Español
- Suficiencia en el Idioma Inglés B1

CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Curso en prevención en riesgos laborales
- Curso de Auxiliar en Domótica - UTC La Maná
- Centro de Formación Artesanal “Centro Técnico Quevedo”

CURRICULUM VITAE

INFORMACIÓN

Nombres y Apellidos: Ítalo Alexander Toaquiza Montaguano

Cédula de Identidad: 1250631841

Lugar y fecha de nacimiento: La Maná, 03 de febrero del 2000

Domicilio: Barrio Angueta Moreno

Dirección: El Carmen – Barrio Angueta Moreno

Celular: 0986547312

Correo electrónico: italo.toaquiza1841@utc.edu.ec



ESTUDIOS

Primaria: Unidad Educativa Juan José Flores

Secundaria: Unidad Educativa Rafael Vascones Gómez

Tercer Nivel: Universidad Técnica de Cotopaxi “Carrera Ingeniería Electromecánica”

TÍTULOS

- Técnico- Industriales Mecanizado y Construcciones Metálicas.

IDIOMAS

- Español
- Suficiencia en el Idioma Inglés B1

CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Curso en prevención en riesgos laborales
- Curso de Auxiliar en Domótica - UTC La Maná
- Centro de Formación Artesanal “Centro Técnico Quevedo”

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXTRUSORA DE PLÁSTICOS PARA LA CARRERA DE ELECTROMECAÁNICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA COTOPAXI"** presentado por: **Gallo Muela Alex Mauricio** y **Toaquiza Montaguano Ítalo Alexander** egresado de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la Facultad de **Ciya**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

La Maná, Agosto del 2022























Atentamente,


Lic. Olga Samanta Abedrabbo Ramos Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
C.I: 050351007-5

Document Information

Analyzed document	TESIS UTC (1) (1).pdf (D143296874)
Submitted	8/26/2022 7:13:00 PM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@utc.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	yoandrys.morales.utc@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Documento de TESIS.docx Document Documento de TESIS.docx (D12745553)	 	4
W	URL: https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/desechos-residuos-plasticos Fetched: 8/26/2022 7:14:00 PM	 	3
W	URL: http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8609 Fetched: 8/26/2022 7:14:00 PM	 	2
W	URL: http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5537 Fetched: 8/26/2022 7:15:00 PM	 	2
SA	TTitulacion Gutierrez Vargas.docx Document TTitulacion Gutierrez Vargas.docx (D32212876)	 	7
SA	Tesis López Acurio jefferson Alexander.pdf Document Tesis López Acurio jefferson Alexander.pdf (D42739615)	 	2
SA	PGfinal_ReneCalle.pdf Document PGfinal_ReneCalle.pdf (D79523231)	 	1
SA	Tesis completa_27-04-2015.docx Document Tesis completa_27-04-2015.docx (D14121264)	 	1
SA	tesis Marco Torres.pdf Document tesis Marco Torres.pdf (D63617291)	 	1
SA	proyecto naranjo.pdf Document proyecto naranjo.pdf (D12740949)	 	1
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS PACHACAMA.pdf Document TESIS PACHACAMA.pdf (D119508604) Submitted by: mauro.albarracin@utc.edu.ec Receiver: mauro.albarracin.utc@analysis.orkund.com	 	5