



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA-INYECTORA DE PLÁSTICOS
DE BAJA DENSIDAD”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autores:

Acuña Ruiz Alex Patricio

Plasencia Alvarez María Adelaida

Tutor:

Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera

Latacunga – Ecuador

Septiembre 2020



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Acuña Ruiz Alex Patricio y Plasencia Alvarez María Adelaida declaramos ser autores del presente proyecto de investigación **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA-INYECTORA DE PLÁSTICOS DE BAJA DENSIDAD”**, siendo el Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi 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.

Acuña Ruiz Alex Patricio

C.I. 1804857595

Plasencia Alvarez María Adelaida

C.I. 0502508971



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA-INYECTORA DE PLÁSTICOS DE BAJA DENSIDAD”, de Acuña Ruiz Alex Patricio, Plasencia Alvarez María Adelaida, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 07 de septiembre, 2020

Ing. M.sc. Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

C.C. 050215089-9

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, y por la facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Carrera de Ingeniería Electromecánica; por cuanto, los postulantes: Acuña Ruiz Alex Patricio, Plasencia Alvarez María Adelaida, el título de Proyecto de titulación: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA-INYECTORA DE PLÁSTICOS DE BAJA DENSIDAD”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Lector 1 (Presidente)

Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis Dr. C.
175836725-2

Lector 2

Ing. MsC. Cruz Panchi Luis Rolando
050254517-6

Lector 3

Ing. MsC. Cevallos Betún Segundo Ángel
050178243-7

AGRADECIMIENTO

Por el desarrollo del presente trabajo en primer lugar agradezco a Dios por ser mi guía y darme la sabiduría en el transcurso de mi formación profesional.

De igual forma mi profundo agradecimiento a las personas que han colaborado de diferentes maneras en la realización de esta investigación.

A mis tíos por su apoyo incondicional, y por ser quienes me incentivan a luchar por mis sueños, a mis entrañables amigos quienes me hicieron parte de sus vidas y fueron mis consejeros en momentos de angustia y mis cómplices en aquellos momentos de dicha, en especial a María Plasencia con quien he compartido gran parte de esta vida universitaria y con quien hemos unido esfuerzo para poder realizar este proyecto y por último y no menos importante quiero agradecer a Estefanía Robalino quien me ha ayudado me ha motivado a seguir adelante y dar lo mejor de mí este proyecto.

Agradezco a mi Tutor, Ingeniero Raúl Reinoso MBA., que ha sido una gran guía en este proceso y por la confianza que ha depositado en mí para la realización de este proyecto

Alex Patricio

AGRADECIMIENTO

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas importantes y especiales que han sido parte de todo esto, agradezco a Dios por tantas cosas buenas que me ha dado en la vida estoy segura que él lo tenía predestinado, me rodeo de gente hermosa que en el transcurso de mi carrera no me ha dejado desmayar a todos ustedes muchas gracias porque no me dejaron caer y sobre todo me vieron cuando yo no brillaba, agradezco su confianza y su apoyo incondicional.

Agradezco a mi Tutor, Ingeniero Raúl Reinoso MBA., que ha sido una gran guía para mí, que me proporcione un voto de confianza y me enseñó a explotar el gran potencial que tengo y sobre todo su motivación en todo el proceso para culminar este proyecto.

A todos mis docentes que compartieron sus conocimientos y me brindaron su amistad que gracias a todo eso hoy puedo salir al mundo laboral con confianza en lo aprendido.

A mis amigos de aulas con los que aprendí mucho y sobre todo ahora son mis amigos de vida y gracias por estar ahí siempre. De manera especial a Alex que en el transcurso de este proyecto se convirtió en mi gran amigo y confidente y que con esfuerzo y perseverancia hemos logrado finalizar nuestro trabajo.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida.

María Adelaida

DEDICATORIA

Este logro académico lo dedico a Dios que ha llenado de bendiciones mi vida y haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi familia, sin ellos nada de esto se llegaría a cristalizar, su amor, paciencia y dedicación constante, que no me permitieron renunciar a mi vida, me han enseñado a luchar y sonreír ante las adversidades de la vida, con amor y dedicación este trabajo es para cada uno de ustedes y en especial para mi tía Olga Ruiz quien ha sido mi guía en este largo caminar, me apoyo en mis momentos de angustia y celebrando junto a mi cada uno de mis triunfos, por eso y muchas cosas más hoy te digo gracias tía.

Alex Patricio

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con mucho amor y cariño a los seres más preciados que Dios me ha dado a mis abuelitos Manuel y Adelaida que son ejemplo de lucha y perseverancia que con su amor y dedicación me enseñaron a seguir adelante a no rendirme que su bendición fue eterna para seguir con tan anhelado sueño.

A mis eternos amigos que gracias a su apoyo y consideración siempre han estado ahí incondicionalmente en las buenas y malas.

A tanta gente especial e importante para mí que aportaron en el transcurso de esta carrera su confianza que no me dejaron vencer y siempre tuvieron palabras de aliento la lista es grande, pero a todos ellos les dedico mi triunfo porque me encaminaron a lo que hoy soy y sé que celebran conmigo.

Lo que está destinado a suceder, siempre encontrara una forma única, mágica y maravillosa para manifestarse, poco a poco el sueño se convirtió en realidad, dejo citado la frase que siempre me acompañó “*El cielo es el límite*” y que todo lo que yo viví en el transcurso de estos años valió la pena.

María Adelaida

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN	xvii
1 INFORMACIÓN BÁSICA	1
2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	3
2.1 Título de la propuesta Tecnológica.....	3
2.2 Tipo de alcance.....	3
2.3 Área del conocimiento	3
2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica	3
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	4
2.5.1 Objeto de estudio.....	4
2.5.2 Campo de acción	4
2.6 Situación problemática y problema	4
2.6.1 Situación problemática	4
2.6.2 Problema	5
2.6.3 Matriz de Identificación de problema.....	5
2.7 OBJETIVO(S).....	5
2.7.1 Objetivo General.....	5
2.7.2 Objetivos específicos	5
2.8 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS.....	6
3 MARCO TEÓRICO.....	7
3.1 Introducción	7
3.2 ANÁLISIS DE TRABAJOS PRECEDENTES	7
3.2.1 Introducción proceso de Extrusión-Inyección.....	7
3.2.2 Materiales termoplásticos en la producción aplicados a tapicería.....	8
3.2.3 Tornillo extrusor horizontal para polietileno de baja densidad.....	8
3.2.4 Extrusión – inyección	8

3.2.5	Diseño de un molde extrusión- inyección para tapas de tapicería de polietileno de baja densidad.....	9
3.2.6	Adaptación del sistema de inyección de plásticos de baja densidad	9
3.2.7	Descripción del sistema Extrusión –Inyección	9
3.3	DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	9
3.3.1	Cadena de valor de la Industria del Plástico	10
3.3.2	Materiales Plásticos	11
3.3.3	Características del Polietileno de baja densidad lineal	13
3.3.4	Proceso de fabricación de plástico.....	13
3.3.5	Técnicas de Moldeo a Presión de los Plásticos	13
3.4	Proceso de extrusión de plásticos	14
3.4.1	Componentes de una máquina extrusora de plásticos	15
3.4.2	Variables que influyen en el proceso de extrusión de plástico	15
3.4.3	Dimensiones de la Máquina Extrusora de Plásticos	17
3.4.4	Parámetros de la Máquina Extrusora de plásticos.....	18
3.5	Proceso de inyección de Plásticos	18
3.6	Componentes del sistema de inyección de plásticos	19
3.6.1	Unidad de cierre para el sistema de inyección de plásticos	19
3.6.2	Sistema de potencia hidráulico para el sistema de inyección de plásticos	20
3.6.3	Sistema Control Industrial para el sistema de inyección de plásticos	21
3.6.4	Moldes de Inyección de plásticos.....	21
3.7	Variables que influyen en el proceso de inyección de plásticos	22
3.7.1	Temperaturas en el sistema de inyección de plásticos.....	23
3.7.2	Presiones a considerar en el Sistema de Inyección de plásticos	24
3.7.3	Tiempos a considerar en el Sistema de Inyección de plásticos.....	25
3.7.4	Recorridos del Sistema de Inyección de plásticos.....	26
3.7.5	Velocidades del Sistema de Inyección.....	27
3.8	Máquina Extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	27
3.8.1	Principio de funcionamiento del diseño conceptual de una Máquina Extrusora-Inyectora de baja densidad.	28
3.9	Diseño en Ingeniería Mecánica	29
3.9.1	Fases del Diseño en Ingeniería Mecánica.....	29
4	METODOLOGÍA	30
4.1	Introducción	30
4.2	Definición de requisitos	31

4.3	Estructura funcional de las máquinas usadas para el proceso de plástico	31
4.4	Diseño Conceptual de Máquina extrusora-inyectora de plásticos.....	32
4.4.1	Bosquejo del sistema de inyección de plásticos.....	33
4.5	Diseño dimensional de los elementos del sistema de inyección	33
4.5.1	Presión de Inyección.....	33
4.5.2	Ecuación que determina la capacidad efectiva de inyección en peso	34
4.5.3	Ecuación que determina el recorrido del husillo.....	34
4.5.4	Ecuación que determina la presión de contacto	35
4.5.5	Fuerza de cierre máxima (N)	35
4.5.6	Coeficiente de transferencia de calor.....	35
4.5.7	Sistema eléctrico de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	36
4.5.8	Actuadores hidráulicos para el sistema de inyección de plásticos	37
4.5.9	Placas fijas y móviles para el sistema de inyección de plásticos	37
4.5.10	Ejes guías para el sistema de inyección de plásticos.....	38
4.5.11	Diseño de bocines para el sistema de inyección de plásticos	41
4.5.12	Tiempo total del ciclo de inyección.....	41
4.5.13	Selección de resorte para el sistema de inyección de plásticos.....	41
4.6	Diseño Dimensional de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	41
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
5.1	Introducción	43
5.2	Diseño conceptual de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	43
5.3	Dimensionamiento y selección del sistema hidráulico de la máquina extrusora-inyectora de plásticos baja densidad	47
5.4	Dimensionamiento y selección del sistema eléctrico para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	49
5.5	Dimensionamiento de los pernos y tuercas de sujeción para el motor de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad.....	50
5.6	Análisis de la adaptación de sección de inyección a la máquina extrusora de plásticos.	51
5.6.1	Parámetros del Sistema de Inyección Adaptado	53
5.7	Modelado geométrico de la estructura de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	53
5.7.1	Análisis de la simulación de los puntos críticos estructura	54

5.8 Modelado geométrico de la pieza de ensayo para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	56
5.9 Análisis Térmico del calor del fluido generado por la presión al momento de avance del tornillo.	57
5.10 Análisis de resultados del proceso de simulación de llenado de la pieza de inyección.	59
5.11 Análisis de simulación de la pieza de inyección mediante Software CAD ANSYS ...	60
6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS	63
6.1 Análisis de Costos	63
• Costos de Materiales	63
• Costo de las horas de ingeniería en diseño.	64
• Costos Directos.	64
• Costos Indirectos	65
• Costo total	65
6.2 Análisis de impactos.....	65
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
8. REFERENCIAS.....	68
ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Matriz Causa – Efecto.....	5
Figura 3.1 Principales destinos de exportaciones de plástico 2017.....	10
Figura 3.2 Compuestos, factores y tipos de plástico	11
Figura 3.3 Estructura molecular de los plásticos.....	11
Figura 3.4 Propiedades de los Termoplásticos.....	12
Figura 3.5 Proceso de Moldeo a Alta Presión.....	14
Figura 3.6 Proceso de Moldeo a Baja Presión.....	14
Figura 3.7 Diagrama del proceso de extrusión.....	15
Figura 3.8 Componentes de una máquina extrusora.....	15
Figura 3.9 Secciones Máquina Extrusora	16
Figura 3.10 Diagrama del proceso de inyección	19
Figura 3.11 Componentes del sistema de inyección.....	19
Figura 3.12 Unidad de potencia.....	20
Figura 3.13 Funciones del molde de inyección.....	21
Figura 3.14 Molde de dos placas (molde estándar).....	22
Figura 3.15 Máquina Inyectora	22
Figura 3.16 Presiones que influyen en el sistema de inyección	24
Figura 3.17. Diagrama para determinar la presión de inyección, mediante el espesor de pared y la longitud de recorrido.	25
Figura 3.18 Tiempos que influyen en el sistema de inyección	26
Figura 3.19 Recorridos que influyen en el sistema de inyección.....	27
Figura 3.20 Velocidades que influyen en el sistema de inyección.....	27
Figura 3.21 Ventajas del diseño Máquina Extrusora-Inyectora	28
Figura 4.1. Metodología del diseño de máquina extrusora-inyectora de plásticos	30
Figura 4.2. Secciones de la Máquina Inyectora de plásticos.....	33
Figura 4.3. Factor f resistencia a la fatiga	40
Figura 5.1 Tapa para panel.....	44
Figura 5.2 Diagrama para el cálculo aproximado de la presión en la cavidad del molde.	47
Figura 5.3 Diseño Conceptual de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	51
Figura 5.4. Vista Isométrica Estructura	53
Figura 5.5. Pieza de ensayo.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de actividades por objetivos.....	6
Tabla 3.1. Rango de densidades para polietileno	12
Tabla 3.2. Características técnicas del polietileno de baja densidad (LDPE)	13
Tabla 3.3. Variables que influyen en la Máquina Extrusora	16
Tabla 3.4. Dimensiones Máquina Extrusora	17
Tabla 3.5. Parámetros Máquina Extrusora	18
Tabla 3.6. Tipos de unidad de cierre para el sistema de inyección de plásticos	20
Tabla 3.7. Variables que influyen en la Máquina Inyectora	23
Tabla 3.8. Rangos típicos de temperatura de procesamiento	23
Tabla 3.9. Tiempos de ciclo en vacío.....	26
Tabla 3.10. Variables que influyen en una Máquina Extrusora-Inyectora.....	28
Tabla 4.1. Partes constitutivas de la Máquina Extrusora	31
Tabla 4.2. Partes constitutivas de la Máquina Inyectora.....	32
Tabla 4.3. Los elementos a adaptar para el sistema de inyección de plásticos	32
Tabla 4.4. Parámetros del Factor de Modificación	39
Tabla 4.5. Efectos de temperatura de operación.....	39
Tabla 4.6. Factor de modificación de confiabilidad	40
Tabla 5.1. Factor de viscosidad de los termoplásticos.....	47
Tabla 5.2. Grado Métrico de Aceros para Pernos.....	50
Tabla 5.3. Dimensiones de Roscas Estándar American	50
Tabla 5.4. Componentes que forman parte del diseño de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad	52
Tabla 5.5. Parámetros Sistema de Inyección.....	53
Tabla 5.6. Análisis de Cargas de la estructura de la máquina	54
Tabla 5.7. Análisis de Tensiones de la estructura de la máquina	55
Tabla 5.8. Análisis de Deformaciones Unitarias de la estructura de la máquina	55
Tabla 5.9. Análisis de Factor de seguridad de la estructura de la máquina	56
Tabla 5.10. Análisis de Temperatura del fluido inyectado	57
Tabla 5.11. Análisis de Temperatura del fluido inyectado	57
Tabla 5.12. Análisis del flujo de calor del fluido inyectado.....	58
Tabla 5.13. Análisis del flujo de calor del fluido inyectado.....	58
Tabla 5.14. Resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de baja densidad.....	59

Tabla 5.15. Análisis de velocidad de inyección de la pieza inyectada	60
Tabla 5.16. Análisis de línea de velocidad de inyección de la pieza inyectada	60
Tabla 5.17. Análisis de proyección de velocidad de inyección de la pieza inyectada.....	61
Tabla 5.18. Análisis de cizalladura de la pared del molde de inyección de la pieza inyectada	61
Tabla 5.19. Análisis de presión de contorno en el molde de inyección de la pieza inyectada	62
Tabla 6.1. Costos materiales.....	63
Tabla 6.2. Costos de diseño de ingeniería.....	64
Tabla 6.3. Costos directos.	64
Tabla 6.4 Costos Indirectos	65
Tabla 6.5. Presupuesto	65
Tabla 6.6. Flujo de Caja Anual.....	65

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
TITULO: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA-INYECTORA DE
PLÁSTICOS DE BAJA DENSIDAD”

Autores:

Acuña Ruiz Alex Patricio

Plasencia Alvarez María Adelaida

RESUMEN

El enfoque de equipos multifuncionales es la parte clave para la creación de valor, sobre todo considerando que el abasto estratégico permite una viabilidad de integrar funciones a equipos pequeños y a su vez refleja un proceso de mejora continua, en donde los equipos multifuncionales juegan un papel fundamental en los mercados de manufactura de plásticos.

La adaptación de sistemas a máquinas monofuncionales pequeñas de uso experimental en la academia permite a los estudiantes de ingeniería percibir nuevas herramientas computacionales que facilitan el diseño de ingeniería mecánica logrando que una sola máquina que anteriormente cumplía una sola función y entregaba un solo producto ahora pueda generar multifunciones e integrar sus sistemas para generar más producción diversa, consiguiendo ser competitivos con productos de calidad. El presente proyecto está enfocado en el diseño de un sistema para el proceso de moldeo de inyección de plástico de baja densidad tomando como referencia parámetros y características de una máquina de extrusión de plásticos ya existente en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica los mismos que sirvieron de base para el análisis y adaptación del nuevo sistema teniendo como herramienta estratégica para la combinación de los dos procesos de moldeo de plásticos el tornillo de extrusión ya que este también da el origen al sistema de inyección siendo este el que dio la oportunidad de doble función a la máquina, el estudio del diseño se centra en procesar plástico de baja densidad que va desde $0.910 - 0.940 \text{ gr/cm}^3$ en este caso se emplea el MR50A que la temperatura de fusión es 130°C , la máquina procesa una masa de inyección de 11.34 gr que genera una producción a escala pequeña, el molde para este sistema está construido y montado a la máquina mediante 4 pernos de sujeción y cumplen con el soporte para la presión de inyección de 22.1 MPa entregando piezas inyectadas que alcanzan según el criterio ingenieril una calidad satisfactoria y consistente. El diseño y adaptación del sistema se lo realizó con el Software asistido por computadora Solidworks y el análisis estructural del diseño mediante el Software ANSYS, herramientas utilizadas en diseños mecánicos.

Palabras clave:

Extrusión-inyección de plásticos de baja densidad, sistemas y componentes, software CAD Solidworks y software ANSYS.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
TITLE: “DESIGN OF AN EXTRUDER-INJECTION MACHINE FOR LOW
DENSITY PLASTICS”

Authors:

Acuña Ruiz Alex Patricio

Plasencia Alvarez María Adelaida

ABSTRACT

The multifunctional team approach is the key aspect to create value, considering that the strategic supply allows the viability of integrating functions to small teams; simultaneously, it reflects a process of continuous improvement where the multifunctional teams play a fundamental role in the plastics manufacturing markets.

The adaptation of systems to small monofunctional machines for practical use in the academy allows engineering students to perceive new computational tools that facilitate mechanical engineering design, making it possible for a single machine that previously fulfilled a single function and delivered a single product generates multi-functions and integrate its systems to generate more diverse production, managing to be competitive with quality products.

This project is focused on the design of a system for the low-density plastic injection molding process, taking as reference parameters and characteristics of an existing plastic extrusion machine in the Electromechanical Engineering Program Laboratory, which was used as the basis for the analysis and adaptation of a new system having as a strategic tool for the combination of the two plastic molding processes the extrusion screw since this also gives rise to the injection system that allows the opportunity to assign a double function to the machine; the design study focuses on processing low-density plastic ranging from 0.910 - 0.940 gr / cm³ in this case the MR50A was used, the melting temperature is 130 ° C, the machine processes a mass of 11.34 gr injection that generates a small-scale production, , the mold for this system is built and assembled to the machine by 4 clamping bolts, and that comply with the support for the injection pressure of 22.1 MPa delivering injected parts that, according to engineering criteria, achieve a satisfactory and consistent quality. The design and adaptation of the system was carried out with the Solidworks CAD software and the structural analysis of the design using the ANSYS Software, which are tools used in mechanical structures.

Keywords: Low-density plastics extrusion-injection, systems and components, Solidworks CAD software, and ANSYS software.

AVAL DE TRADUCCIÓN

1 INFORMACIÓN BÁSICA

Propuesto por

Acuña Ruiz Alex Patricio

Plasencia Alvarez María Adelaida

Tema aprobado

“Diseño de una Máquina Extrusora-Inyectora de Plásticos de Baja Densidad”

Carrera

Ingeniería en Electromecánica

Director del proyecto de titulación

Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

Equipo de trabajo

Tutor

Nombres: Héctor Raúl

Apellidos: Reinoso Peñaherrera

Cedula de identidad: 0502150899

Correo electrónico: hector.reinoso@utc.edu.ec

Coordinador 1:

Nombre: Acuña Ruiz Alex Patricio

Cédula de Ciudadanía: 1804857595

Correo electrónico: alex.acuna5@utc.edu.ec

Dirección: Parroquia Urbina, Píllaro, Tungurahua.

Coordinador 2:

Nombre: Plasencia Alvarez María Adelaida

Cédula de Ciudadanía: 0502508971

Correo electrónico: maria.plasencia8971@utc.edu.ec

Dirección: Parroquia San Miguel, Salcedo, Cotopaxi

Lugar de ejecución

Universidad Técnica de Cotopaxi, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia San Felipe.

Tiempo de duración del proyecto

Mayo 2020 – Septiembre 2020

Fecha de entrega

18 de septiembre 2020

Línea de investigación

De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, la línea de investigación del presente proyecto es procesos industriales.

Sub línea de investigación

El proyecto de investigación se acoge a la sub línea de investigación: diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

2 DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 Título de la propuesta Tecnológica

“Diseño de una Máquina Extrusora-Inyectora de Plásticos de Baja Densidad”

2.2 Tipo de alcance

Multipropósito: La propuesta a realizar es de origen correlacional ya que se centra en adaptar a través del diseño un sistema de inyección a una máquina extrusora existente en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi que permite la relación de funcionamiento actual entre los dos sistemas de producción de plásticos de baja densidad generando alternativas de fusión de componentes que predicen un comportamiento a futuro.

2.3 Área del conocimiento

Según la norma de Diseño de máquinas, tecnología e ingeniería mecánica– UNESCO establece las áreas y sub áreas de estudio, en el caso del presente proyecto de propuesta tecnológica, está ligado al sector de estudio de “Ingeniería, industria y construcción”, a la sub área de Ingeniería (Dibujo técnico, mecánica, electricidad, electrónica, energía, ingeniería de procesos) y a la sub área de Industria y producción (Plástico).

2.4 Sinopsis de la propuesta tecnológica

El proyecto cumple con la finalidad de diseñar una máquina extrusora-inyectora de plástico de baja densidad analizando el proceso de extrusión de una máquina extrusora existente en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, sus variables y las similitudes en sus componentes para así formar una máquina tanto de extrusión e inyección de moldeo de plásticos de baja densidad promoviendo la reutilización de los recursos en todos los ámbitos posibles los mismos que abordan estudios de diseño en software Solidworks y software Ansys para simulación.

El estudio de los procesos de fabricación de materiales termoplásticos, el análisis de su maquinaria y la experimentación al combinar los procesos de fabricación permiten desarrollar una propuesta que genere industria y a su vez ingresos económicos a sus emprendedores generando capacidades y oportunidades siendo partícipes de acumulación de capital en sectores productivos generadores de valor y así ajustarse al mercado cambiante de plásticos y a las exigencias del país en lo legal y económico siendo los beneficiarios directos del presente proyecto la comunidad académica investigadora, y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica conociendo nuevas técnicas de adaptaciones de sistemas para máquinas

extrusoras de plástico de baja densidad e indirectos empresas dedicadas a la producción de plásticos de baja densidad mediante los procesos de extrusión que consideren la opción de la reingeniería para generar diversos productos mediante la adaptación del sistema de inyección utilizando una sola máquina con diferentes procesos de fabricación para su introducción en el mercado.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de estudio

Máquina extrusora-inyectora para plásticos de baja densidad

2.5.2 Campo de acción

Diseño sistemas térmicos, mecanismos, sistemas hidráulicos, tecnología de fabricación por mecanizado, simulación CFD, método de elementos finitos (MEF), sistemas CAE.

2.6 Situación problémica y problema

2.6.1 Situación problémica

Como lo establece el Ministerio de Industrias y Productividad (2013) [1]: “González destacó que el sector de plásticos es un segmento priorizado para el Gobierno Nacional, ya que involucra una cadena productiva que interviene en casi todas las ramas de la producción y genera empleo. La industria se ve llena de máquinas que varían dependiendo de su funcionalidad y forma de uso, pero las mismas son monofuncionales es decir están diseñadas para cumplir una función determinada entregando en el caso del moldeo de plásticos un solo producto utilizando un solo método.

Esto implica que si la máquina deja de funcionar por diversas razones que la obligan a dejar hacer la función de diseño o lo que se espera de ella genere que la industria pierda la función del activo y no pueda mantenerlo obligándolo a perder su fuente de ingresos económicos a través de su producción. Por lo mismo se espera que la educación superior o en el ámbito ingenieril contribuya efectivamente al desarrollo económico y social de los países, los mismos que impulsan carreras que estén alineadas a la demanda laboral, las tendencias económicas del futuro, y los planes de desarrollo de los países, y mejorar la calidad de los programas de estudio y sistemas de investigación.

El aprovechamiento de la capacidad productiva de la industria del plástico puede contribuir al desarrollo de la provincia y del país, ya que si se aplican las medidas correspondientes y se

desarrollan proyectos que permitan potenciar la industria, esto permitirá mejorar los procesos que se desarrollan actualmente y generar plazas de trabajo.

2.6.2 Problema

Las máquinas que procesan plástico de baja densidad realizan un solo proceso ya sea extrusión o inyección limitando los recursos industriales y oportunidades de fabricar diversos productos con diversos métodos para el procesamiento de plásticos.

2.6.3 Matriz de Identificación de problema

El diagrama de Ishikawa contempla las principales pérdidas en el proceso de inyección de plástico.

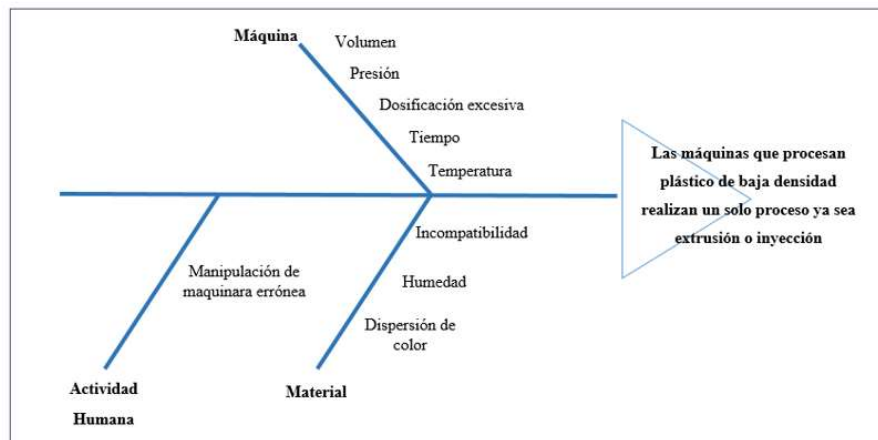


Figura 2.1 Matriz Causa – Efecto.

2.7 OBJETIVO(S)

2.7.1 Objetivo General

Diseñar conceptualmente el sistema de inyección para la máquina extrusora de plásticos de baja densidad mediante el software de diseño asistido por computadora Solidworks para modelar piezas y ensamblajes.

2.7.2 Objetivos específicos

- Analizar las variables del proceso de extrusión y de inyección de plásticos y su configuración para que puedan coexistir en una sola máquina.
- Seleccionar un mecanismo que permita la inyección de plásticos en una máquina extrusora de plásticos.

- Demostrar por el método de elementos finitos los puntos críticos en el diseño del sistema de inyección de plástico.

2.8 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Es importante realizar la descripción del desarrollo de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos para encaminar el proceso del proyecto, cada actividad a realizar cumple un rol importante en la consecución del proyecto tecnológico. La Tabla 2.1 muestra el sistema de tareas en base a los objetivos planteados.

Tabla 2.1. Sistema de actividades por objetivos

Objetivo	Actividad	Resultado	Medio Verificación
1. Analizar las variables del proceso de extrusión y de inyección de plásticos y su configuración para que puedan coexistir en una sola máquina.	Estudio del principio de funcionamiento, operación, producción y mantenimiento de las máquinas de extrusión y procesos de inyección de plástico mediante consulta en fuentes bibliográficas, virtuales y visitas a las principales empresas locales procesadoras de materiales plásticos.	Seleccionar la configuración de los sistemas y métodos que conforman la máquina de extrusión y procesos de inyección de plástico.	Investigación documental y de campo
2. Seleccionar un mecanismo que permita la inyección de plásticos en una máquina extrusora de plásticos.	-Adquisición de datos para el dimensionamiento del diseño de un sistema de inyección aplicado a la modificación de una máquina extrusora.	-Datos y dimensiones adquiridos referente a la máquina extrusora existente en el Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica.	-Tablas, cálculos y dimensiones de la máquina extrusora ya existente.
	-Dimensionamiento del sistema de inyección de plástico para adaptarlo a la Máquina extrusora	-Dimensionamiento del sistema de inyección según especificaciones técnicas de la Máquina Extrusora ya existente.	-Cálculos y dimensiones.
	- Análisis de factibilidad del proyecto	- Costos de construcción - Viabilidad del proyecto	- Tabla VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).
3. Demostrar por el método de elementos finitos los puntos críticos en el diseño del sistema de inyección de plástico.	-Modelado del sistema de inyección y su adaptación a la Máquina extrusora mediante el uso del software CAD.	-Máquina y sistemas comprobados su funcionalidad en software.	-Planos y simulaciones.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Introducción

En el Ecuador, la industria de fabricación del plástico ha sido uno de las más dinámicas en la economía de nuestro país, principalmente por la presencia del plástico en actividades domésticas e industriales, llegando incluso a constituirse en algunos casos en la carta de presentación para una amplia variedad de productos, este sector en los últimos años se encuentra innovando en tecnología que represente invertir sus recursos económicos de manera versátil y multifuncional en maquinaria que entregue productos de calidad.

Se necesita toda una infraestructura para procesar la materia prima por lo cual resulta beneficioso el diseño y construcción de máquinas de extrusión e inyección de materiales termoplásticos fusionadas entre si manteniendo el control en sus variables (presión, volumen, temperatura y velocidad) esto implica una investigación bibliográfica de los sistemas, procesos, simulaciones, normativa y artículos referenciados a los procesos de extrusión e inyección simultáneamente.

3.2 ANÁLISIS DE TRABAJOS PRECEDENTES

3.2.1 Introducción proceso de Extrusión-Inyección

El moldeo por inyección consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde, donde se enfría hasta una temperatura a la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. El gran desarrollo que las máquinas de inyección han sufrido en los últimos años se ha visto influenciado no sólo por el creciente número de materiales y tipo de los mismos disponible, sino también por la demanda creciente de artículos de plástico. El moldeo por inyección se aplica normalmente a resinas termoplásticas si bien, con ciertas modificaciones, se puede aplicar a materiales termoestables y a elastómeros sintéticos.

En el moldeo por inyección de un polímero en estado líquido y caliente, no newtoniano, fluye a través de conductos o canales de geometría compleja, las paredes de los cuales están mucho más frías que el propio polímero, y llena un molde que también tiene las paredes frías. El moldeo por inyección es, quizás, el método de transformación más característico de la industria de plásticos, y de hecho las máquinas de inyección modernas son un ejemplo de máquinas ideadas y fabricadas con vistas a la producción masiva de piezas. El proceso puede dividirse en dos fases; en la primera tiene lugar la fusión del material y en la segunda la inyección del mismo

en el molde. La manera de realizar estas dos fases es lo que distingue unas máquinas de otras [2].

3.2.2 Materiales termoplásticos en la producción aplicados a tapicería.

El plástico es parte integral de los automóviles modernos. Además, cada vez es más común el desarrollo de nuevas partes fabricadas parcial o completamente de materiales plásticos.

Los polímeros ahora representan el 20% de la masa de los vehículos modernos. El 50% de los plásticos son usados en la carrocería exterior, 40% en interiores y 10% en partes del motor. Para los exteriores del vehículo es muy común el uso de polietileno de baja densidad gracias a sus propiedades mecánicas y precios competitivos [3].

3.2.3 Tornillo extrusor horizontal para polietileno de baja densidad

El propósito de este proyecto tiene como objetivo dar la adaptación del sistema de inyección al tornillo extrusor horizontal de la máquina extrusora para polietileno de baja densidad existente en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica. Esto permite mostrar el proceso productivo, analizando sus variables y sus límites de funcionamiento.

3.2.4 Extrusión – inyección

La máquina extrusora está constituida principalmente por un tornillo extrusor de Arquímedes, el mismo que se ajusta con precisión dentro de un cilindro con el espacio suficiente para girar, el tornillo tiene la capacidad de empujar el material de un extremo a otro a una velocidad específica. 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 y se obtiene por el otro extremo material con un perfil geométrico preestablecido. Este material recae en un sistema de rodillos el mismo que permite una salida continua del material [4].

El modelo por inyección consiste en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde donde se enfría hasta una temperatura en que las piezas pueden ser extraídas sin deformarse [5].

Este documento proporciona la información suficiente para el diseño de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad.

3.2.5 Diseño de un molde extrusión- inyección para tapas de tapicería de polietileno de baja densidad

En la presente tesis a través del diseño del molde, se investiga y analiza las propiedades físicas del polietileno de baja densidad (PEBD), sus procesos de fabricación y su aplicación en tapicería sustento para el diseño del molde.

3.2.6 Adaptación del sistema de inyección de plásticos de baja densidad

Este proyecto tiene como fin, el diseño del sistema de inyección para adaptarlo a una máquina extrusión de plásticos y a través del Software Ansys validar el diseño y adaptación del sistema mediante el control de esfuerzos y deformaciones para un acabado ideal.

El software Solidworks ayuda a la modelización y simulación por computadora del diseño, y permite conocer el comportamiento del flujo del material de baja densidad y muestra las características del producto generado, los valores identificados sirven de base para el Diseño de una Máquina Extrusora-Inyectora de Plásticos de Baja Densidad. El documento muestra el análisis de las propiedades del elemento termoplástico para un mejor uso.

3.2.7 Descripción del sistema Extrusión –Inyección

El documento hace referencia al moldeo por extrusión e inyección, los mismos que son importantes a nivel industrial, el proceso de extrusión es un proceso continuo a diferencia del proceso con técnicas cíclicas como el de inyección, los mismos que al ser combinados y funcionales a través de este estudio ayudan a tomar decisiones frente a nuestros diseños. Es importante considerar el polímero y su enfriamiento en los procesos ya que se necesita obtener la mayor eficiencia y efectividad en el proceso ya que dependerá de la capacidad para que este sea lo más estable posible y así se logre un rendimiento idóneo del proceso. Para lo cual debe validar máquina-molde-polímero y determinar si la compatibilidad de estos tres es la correcta.

Los datos aquí detallados ayudan a tomar decisiones en cuanto al diseño y adaptación del sistema a la máquina para una proyección a construcción más adelante, los criterios se considerarán de acuerdo al avance del diseño para así sacar el máximo provecho de la interacción de ideas.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO

Este proyecto se centraliza en la adaptación de un sistema de inyección a una máquina de extrusión existente para el cual sus parámetros y características del proceso sirven como base conceptual para sustentar y desarrollar el problema del proyecto. Como priorización se debe

obtener características, componentes y principio de funcionamiento de la máquina, el comportamiento en el procesado del PEBD, así como los parámetros para obtener el análisis de cargas del mismo.

3.3.1 Cadena de valor de la Industria del Plástico

La cadena de valor de la industria de plásticos comienza con la extracción y explotación de su materia prima, las que son gas natural y petróleo. Según ASEPLAS (2018) se utiliza solo el 4% de la producción mundial de petróleo para la fabricación de plásticos. La industria plástica representa un sector muy importante para la petroquímica. En Ecuador en el año 2016 el 26,5% del total de la oferta de productor plástico fueron importados y el 73,5% representa a productos de fabricación local, 67% consumo intermedio, 28% consumo de hogares, 5% exportaciones.

Según información del INEC (2018) de la base de datos histórica de la variación mensual del índice de precios al productor (IPP) de disponibilidad nacional el grupo para la fabricación de productos plásticos tiene una ponderación correspondiente del 1,76% en el cual la fabricación de hojas, placas, tubos y perfiles de plásticos es del 0,38%, los productos de plástico para la construcción el 0,11% y otros productos plásticos (artículos para envasado, para el hogar, oficina y uso escolar) es del 1,26%. Los principales destinos a donde llegan las exportaciones de productos elaborados de plástico del Ecuador son los países vecinos de Colombia con un 26,9%, seguido de Chile con un 17,3% y Perú con un 14,3%, los cuales reciben en su mayoría productos semifabricados y manufacturados como tubos y accesorios de tubería, placas, laminas, hojas, tiras, botellas y frascos. Entre los 3 principales destinos de los productos de plástico locales, Chile es el que más requiere desechos, desperdicios y recortes; por lo contrario, Colombia requiere más plastificados en formas primarias [6].

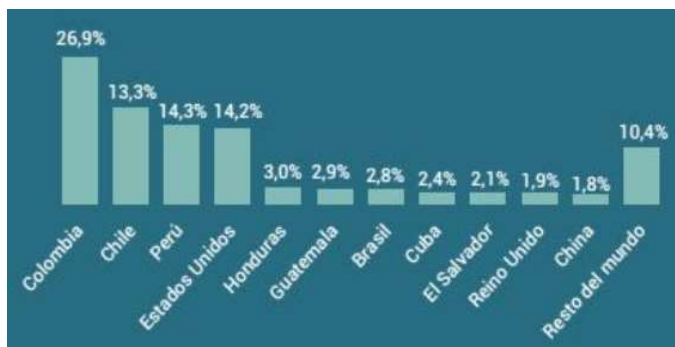


Figura 3.1 Principales destinos de exportaciones de plástico 2017.

Fuente:[6]

3.3.2 Materiales Plásticos

Los plásticos son sustancias formadas por macromoléculas, con propiedades que se asemejan a las resinas naturales, preparados por síntesis mediante reacciones de polimerización o condensación se les puede dar forma mediante el calor y la presión, manteniendo posteriormente y adquiriendo unas resistencias muy elevadas [7].

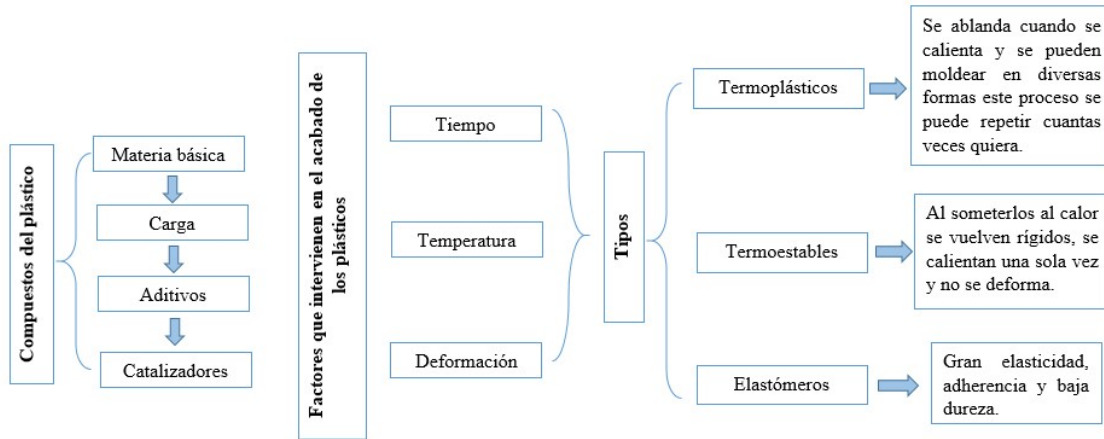


Figura 3.2 Compuestos, factores y tipos de plástico

3.3.2.1 Clasificación y estructura de los plásticos

Según la disposición de las moléculas que forman el polímero se clasifican en tres grupos de plásticos [8]:

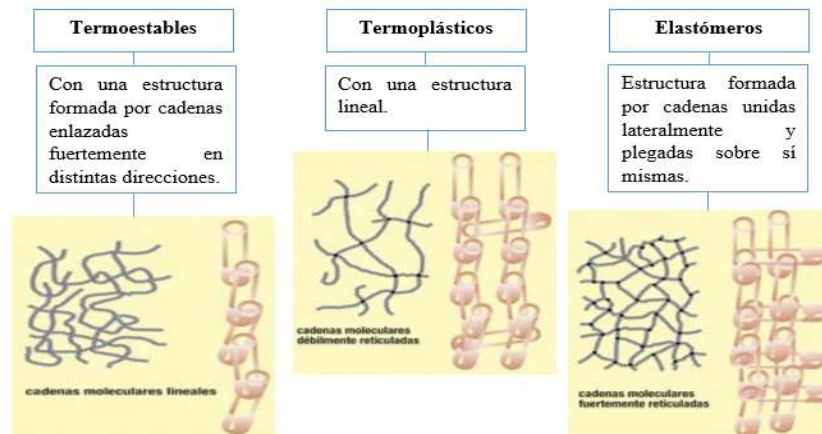


Figura 3.3 Estructura molecular de los plásticos

3.3.2.2 Propiedades los materiales termoplásticos

Los materiales termoplásticos presentan un buen conjunto de propiedades mecánicas, son fáciles de procesar, reciclables y bastante económicos. La principal desventaja deriva del hecho

de que son materiales que funden, de modo que no tienen aplicaciones a elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer por encima de la temperatura de transición vítrea, con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas [7].

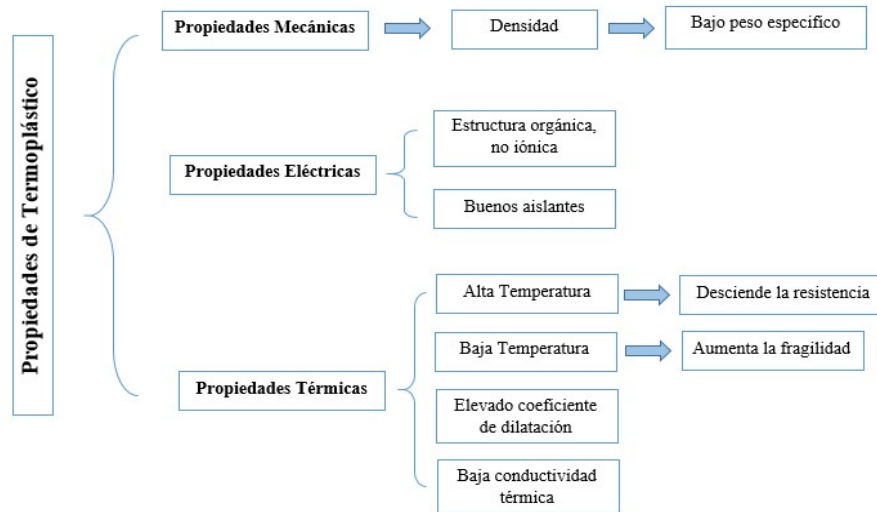


Figura 3.4 Propiedades de los Termoplásticos

3.3.2.3 Densidad del material termoplástico

La densidad hace referencia a la medida de la cristalinidad que es una ramificación de la cadena macromolecular. Las ramas de cadena larga están presentes principalmente en polímeros de baja densidad, por lo que las ramas de cadena corta predominan en alta densidad. El rango de densidad para polietilenos puede clasificarse como se muestra a continuación en cuatro categorías de acuerdo con NTE INEN-ISO 1183-1 [9]

Tabla 3.1. Rango de densidades para polietileno

Polietileno Baja densidad de: 0.910 – 0.940 gr/cm ³	
PEBD	Polietileno de baja densidad
PELBD	Polietileno lineal de baja densidad
Polietileno Alta Densidad de: 0.941 -0.965 gr/ cm ³	
PEAD	Polietileno de alta densidad
PED-AMP	Polietileno de alta densidad y alto peso molecular
UHMWPE	Polietileno de ultra alto peso molecular

Fuente: [9]

3.3.3 Características del Polietileno de baja densidad lineal

El polietileno de baja densidad lineal establece las diferentes propiedades del material, como son:

Tabla 3.2. Características técnicas del polietileno de baja densidad (LDPE)

Polietileno de baja densidad (LDPE)		
Denominación	Símbolo	Unidad
Densidad	ρ	0.939 gr/m ³
Calor específico	Cp	1.9 KJ/Kg*K
Conductividad térmica	K	0.33 W/m*K
Intervalo de temperatura de fusión	T_{fus}	(70 a 130) °C
Viscosidad cinemática	η	800 s/m ²

3.3.4 Proceso de fabricación de plástico

La fabricación de los plásticos y sus manufacturas implica cuatro pasos básicos [10].

- ✓ Obtención de las materias primas
- ✓ Síntesis del polímero básico
- ✓ Composición del polímero como un producto utilizable industrialmente
- ✓ Moldeo o deformación del plástico a su forma definitiva.

3.3.5 Técnicas de Moldeo a Presión de los Plásticos

El moldeo de los plásticos consiste en dar las formas y medidas deseadas a un plástico por medio de un molde. El molde es una pieza hueca en la que se vierte el plástico fundido para que adquiera su forma. Para ello los plásticos se introducen a presión en los moldes [10].

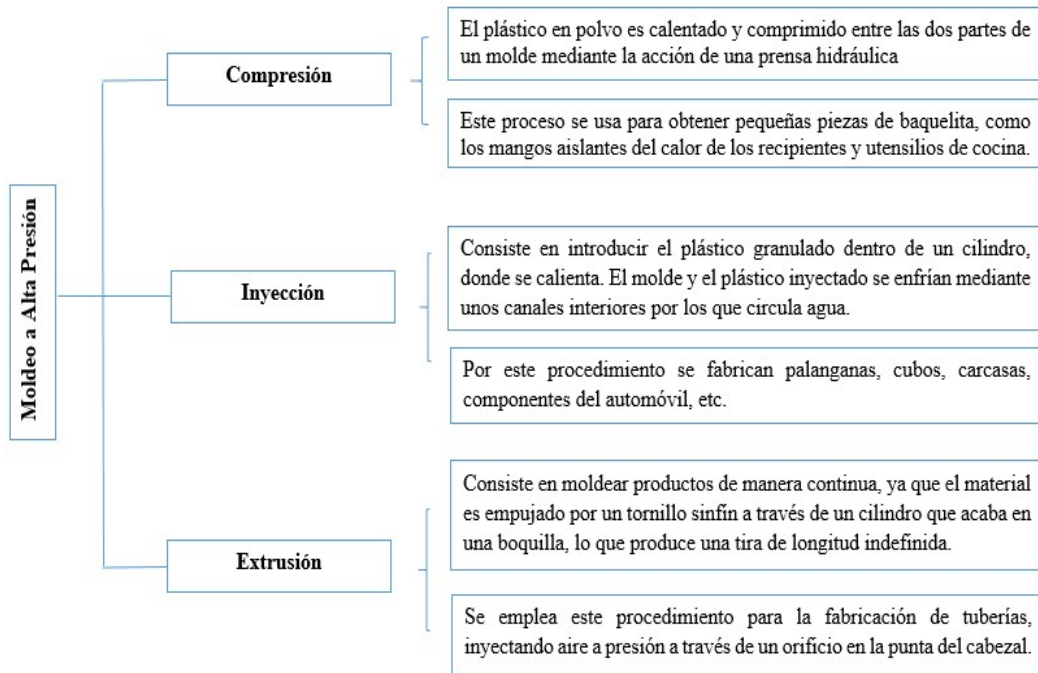


Figura 3.5 Proceso de Moldeo a Alta Presión

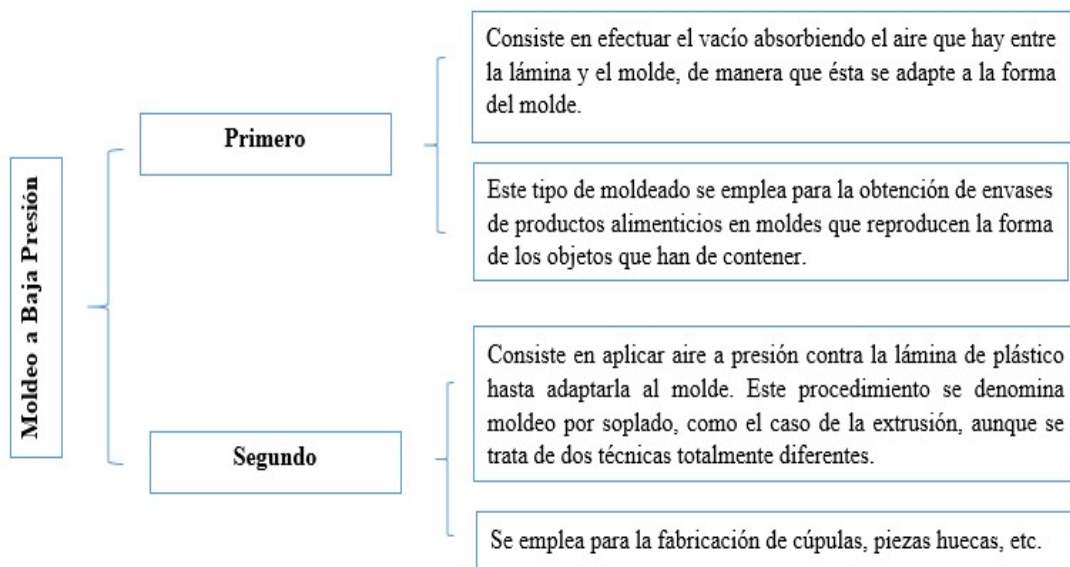


Figura 3.6 Proceso de Moldeo a Baja Presión

3.4 Proceso de extrusión de plásticos

La extrusión es un proceso usado para crear objetos con un perfil de sección transversal, sólo se utiliza con materiales termoplásticos, la materia prima se coloca en una tolva en forma de granulado, donde un cilindro con rosca de tornillo la transporta a lo largo del tubo, el material poco a poco va fundiéndose, por tanto, ocupando menos espacio y va saliendo por un extremo,

donde se enfría y se recoge. 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 [11].

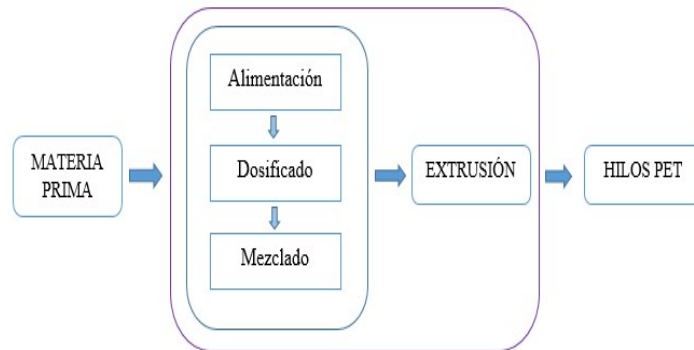


Figura 3.7 Diagrama del proceso de extrusión

3.4.1 Componentes de una máquina extrusora de plásticos

El sistema de extrusión lo conforman los siguientes elementos: tolva de alimentación, el tornillo, el cilindro, el cabezal de extrusión, en el sistema eléctrico se encuentra el motor, reductor, resistencia eléctrica, termocupas, el sistema de mando y control.

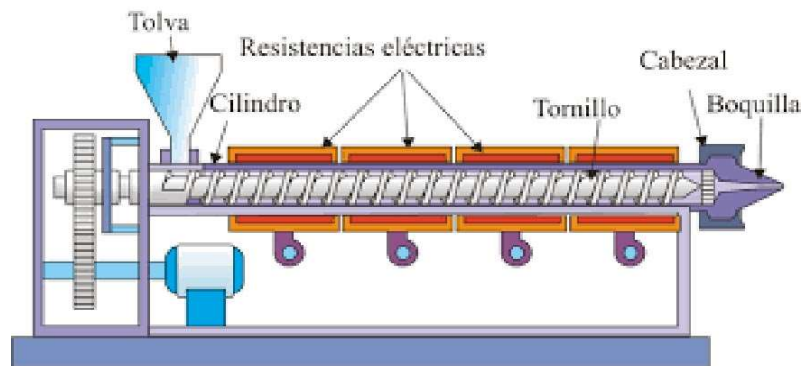


Figura 3.8 Componentes de una máquina extrusora

Fuente:[11]

3.4.2 Variables que influyen en el proceso de extrusión de plástico

La influencia de las variables en el proceso de extrusión va de la mano de las características del polímero a utilizar estas afectan directamente a la morfología, la cristalinidad y la orientación del producto final de extrusión.

Según estudios las variables principales a considerar son: relación de soplado (BUR), relación de estiramiento (TUR) y altura de la línea de enfriamiento (ALE); seguidas y no menos importantes de acuerdo al desarrollo de los procesos de extrusión de: la dirección transversal (TD), dirección de la máquina (MD), velocidad de extrusión, temperatura de fundido, impacto, penetración y esfuerzo a la ruptura [12].

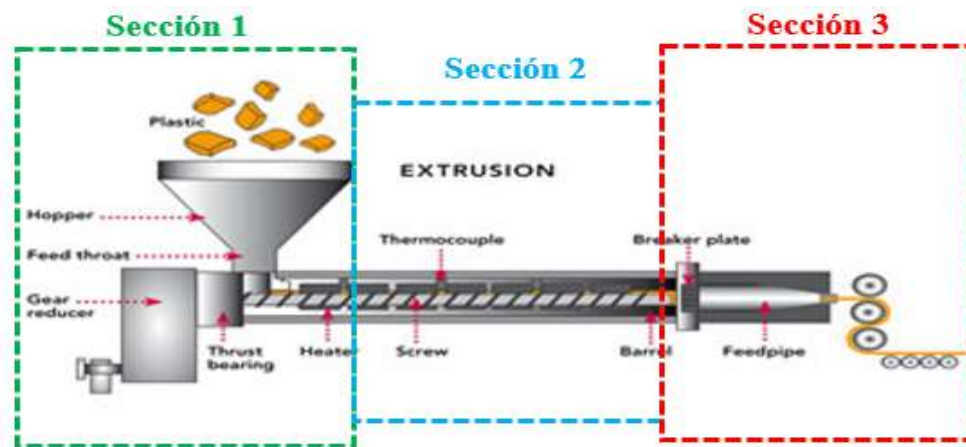


Figura 3.9 Secciones Máquina Extrusora

Fuente: [12]

Tabla 3.3. Variables que influyen en la Máquina Extrusora

Variables Máquina Extrusora		
Sección 1	Sección 2	Sección 3
Velocidad	Temperatura del cilindro	Relación de estiramiento
Tiempo	Contrapresión	Caudal
	Tiempo	Altura de enfriamiento
		Tiempo

3.4.3 Dimensiones de la Máquina Extrusora de Plásticos

La siguiente tabla detalla las dimensiones de la máquina extrusora que en este proyecto servirá de base para el replanteamiento y adaptación del sistema de inyección para generar una máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad.

Tabla 3.4. Dimensiones Máquina Extrusora

Componente	Dimensión	Unidad	Fórmula	Descripción	N°
Diámetro del husillo	38	mm		NTN INEN-ISO 294-1	
Longitud del husillo	500	mm	$Lt = L/D$	$Lt = \text{Longitud total}$	(3.1)
				$L = \text{Longitud tornillo}$	
				$D = \text{Diámetro}$	
Ancho de filete	4.56	mm	$e = 0.12 * D$	$D = \text{Diámetro}$	(3.2)
Tolerancia tornillo	0.076	mm	$\delta = 0.002 * D$	$D = \text{Diámetro}$	(3.3)
Número de filetes	13.16		$\#f = Lt/D$	$Lt = \text{Longitud total}$	(3.4)
				$D = \text{Diámetro}$	
Tolva	14.72	cm	$h_c = \tan 60 \cdot 8.5cm$	$h_c = \text{Altura del cono}$	(3.5)
				$\tan 60 = \text{ángulo inclinación}$	
				$8.5cm = \text{constante}$	
Diámetro interno del cilindro	41	mm	$Di = Dt + 2 \cdot \delta$	$Di = \text{Diámetro interno}$	(3.6)
				$Dt = \text{Diámetro del tornillo}$	
				$\delta = \text{Separación del filete}$	
Longitud de transporte	152	mm	$4 \cdot 38 \leq LT \leq 8 \cdot 38$	$LT = \text{Longitud total}$	(3.7)
Longitud de fusión	152	mm	$6D \leq LF \leq 10D$	$LF = \text{Longitud de fusión}$	(3.8)
				$D = \text{Diámetro}$	
Longitud de dosificación	76	mm	$10D \leq LD \leq 12D$	$LD = \text{Longitud de fusión}$	(3.9)
				$D = \text{Diámetro}$	

3.4.4 Parámetros de la Máquina Extrusora de plásticos

La siguiente tabla detalla las dimensiones de la máquina extrusora que en este proyecto servirá de base para el replanteamiento y adaptación del sistema de inyección para generar una máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad.

Tabla 3.5. Parámetros Máquina Extrusora

Parámetro	Dimensión	Unidad	Fórmula	Descripción	Nº
Caudal	275,09	cm ³ /min	$Q = \left(\frac{\alpha \cdot k}{k + \beta + \gamma} \right) n$	$\alpha =$ Flujo de arrastre	(3.10)
				$\beta =$ Flujo de presión	
				$\gamma =$ Flujo de filtración	
				$\eta =$ Revoluciones para la velocidad de cortadura	
				$k =$ Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora.	
Número de revoluciones del husillo	95	rpm	$\gamma_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot \eta}{h_2}$	$\gamma =$ Velocidad de cortadura	(3.11)
				$D =$ Diámetro	
				$h_2 =$ Altura de filete en la zona de dosificación	
				$\eta =$ Revoluciones	
Relación de compresión	3.5		$RC = \frac{h_1}{h_2}$	$h_1 =$ Altura del filete en las zonas de alimentación y transición	(3.12)
				$h_2 =$ Altura del filete en la zona de dosificación	
Potencia	2	HP	$P = \frac{\eta * \pi * D^3}{k^2}$	$\eta =$ Número de revoluciones	(3.13)
				$k =$ Factor de proporcionalidad	
				$D =$ Diámetro del husillo	
Resistencias	20	Ω	$R = \rho \frac{L}{A}$	$\rho =$ Resistividad del material	(3.14)
				$L =$ Longitud de la resistencia	
				$A =$ Área de la sección del conductor	
Presión	90	MPa	$P_{max} = \frac{6\pi \cdot D \cdot L \cdot \eta \cdot \mu}{h^2 \cdot \tan \varphi}$	$D =$ Diámetro del husillo	(3.15)
				$L =$ Longitud del husillo	
				$\eta =$ Revoluciones	
				$\mu =$ Viscosidad efectiva	
				$h_2 =$ Altura del filete en la zona de dosificación	
				$\varphi =$ Ángulo de hélice de canal	

3.5 Proceso de inyección de Plásticos

El moldeo por inyección es un proceso semi-continuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta.

En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada [13].

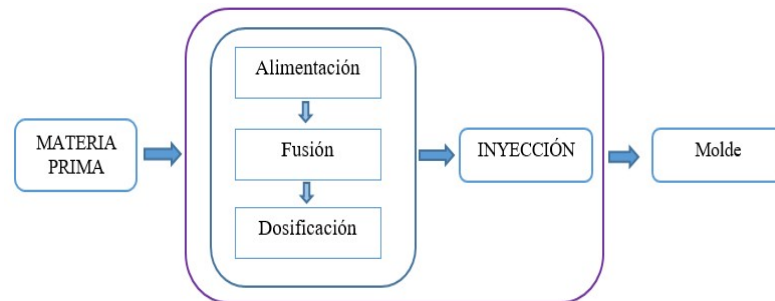


Figura 3.10 Diagrama del proceso de inyección

3.6 Componentes del sistema de inyección de plásticos

El sistema de inyección está conformado de los siguientes elementos: unidad de inyección, válvula antiretorno, boquilla, unidad de cierre, unidad de potencia y molde de inyección.

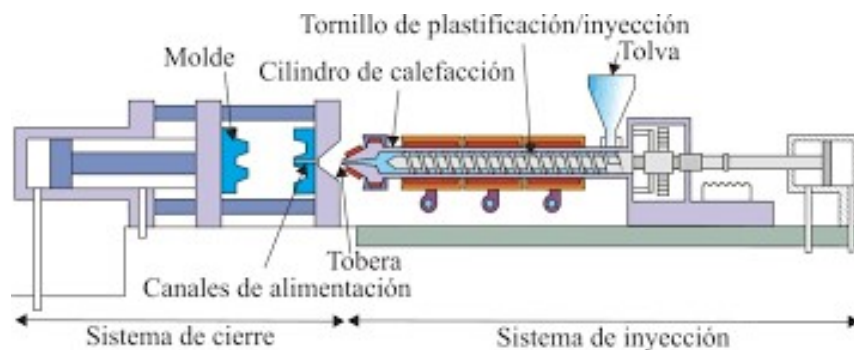


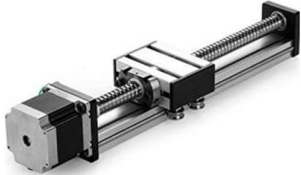
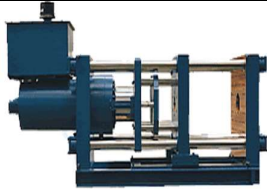
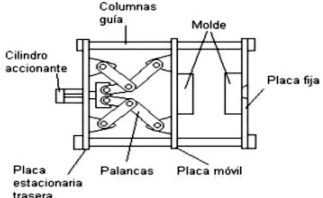
Figura 3.11 Componentes del sistema de inyección

Fuente: [2]

3.6.1 Unidad de cierre para el sistema de inyección de plásticos

Este sistema es el encargado de recibir la materia prima (los pellets de polímero) a temperatura ambiente, para plastificarla por medio de calentamiento, y transportar la masa plastificada hasta la boquilla de inyección, mediante un movimiento de rotación (motor eléctrico) y de desplazamiento horizontal (cilindros hidráulicos), e inyectarla hacia el molde. Unidad de cierre
Consta de los elementos necesarios para la colocación, accionamiento y cierre de las dos partes del molde.

Tabla 3.6.Tipos de unidad de cierre para el sistema de inyección de plásticos

Sin fin motor eléctrico	Cilindro Hidráulico	Cierre mecánico
Elevado costo de fabricación necesita de un elemento de potencia adicional para su funcionamiento.	Costo reducido, muestra mayor sencillez en el diseño, montaje y control, gran precisión en el cierre.	Mayor costo, necesita más elementos mecánicos para lograr transmitir movimiento, mayor dificultad para el control y precisión.
		

Fuente:[14]

3.6.2 Sistema de potencia hidráulico para el sistema de inyección de plásticos

El sistema hidráulico de una máquina de inyección de plástico incluye diversas aplicaciones en las que el control de movimiento debe ser absoluto, el movimiento estable y controlado para que el plástico granulado pueda ser conducido a un estado de plasticidad y posteriormente inyectado a los moldes. Si estos movimientos hidráulicos no son controlados pueden fácilmente convertirse en un problema de calidad en el producto moldeado ya que esto influye directamente en la apertura y cierre del molde, acercar la boquilla de inyección, rotación del husillo y presión de inyección por lo cual un desempeño confiable y duradero permitirá mantener a la máquina operando en condiciones óptimas ayudado de un control de flujo y presión hidráulica, un sistema de válvulas y sensores[15].

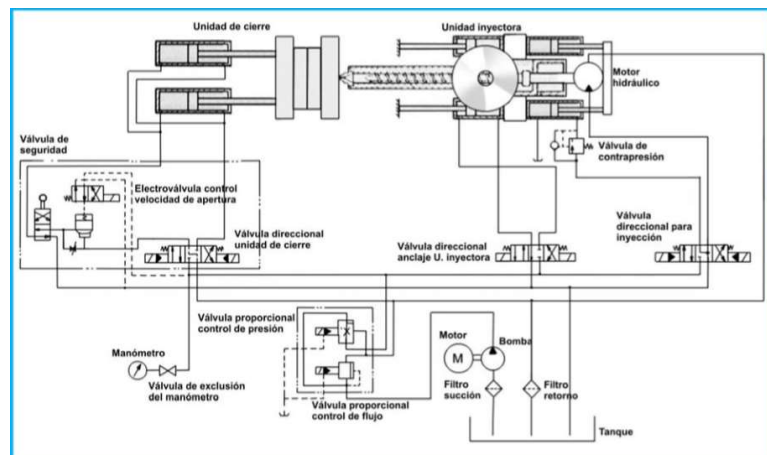


Figura 3.12 Unidad de potencia

Fuente. [16]

3.6.3 Sistema Control Industrial para el sistema de inyección de plásticos

El sistema de control de una máquina de inyección se basa en la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados, con pocas probabilidades de fallos.

Su aplicación se centra en la calibración de tiempos del proceso. Un ciclo comienza cuando se cierra el molde y termina cuando expulsa el producto terminado. Para ello se toma en cuenta 4 tiempos, el tiempo de primera inyección, segunda inyección, enfriamiento y espera.

Cuando el material inyectado inicialmente al molde comienza a enfriarse, el plástico que aún está siendo inyectado requiere más presión, lo cual significa que se debe aumentar la fuerza suministrada por el cilindro de inyección. Esta presión, al ser leída por sensores, junto con los sensores de desplazamiento del cilindro pueden permitir un control preciso de la fuerza ejercida en el husillo regulándola a través de válvulas proporcionales o servo válvulas y con esto aumentar, mantener o reducir la presión de acuerdo a las necesidades de la máquina.

3.6.4 Moldes de Inyección de plásticos

Mediante la fuente [17], menciona que el molde de inyección es un sistema complejo que debe satisfacer simultáneamente muchas demandas impuesto por el proceso de moldeo por inyección y las funciones que posee son las siguientes:

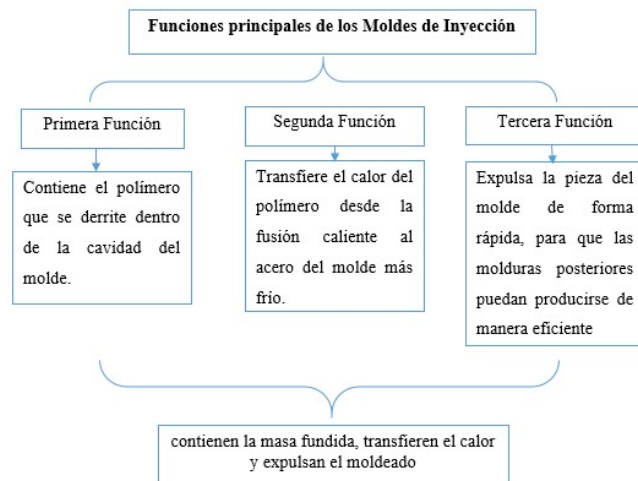


Figura 3.13 Funciones del molde de inyección

3.6.4.1 Molde Estándar para el sistema de inyección de plásticos

Este tipo de molde se denomina molde de dos placas debido a tener dos grupos de placas. No hay apertura especial u otro tipo de mecanismo auxiliar. En el aspecto constructivo los moldes de dos placas son los más simples y también los más encontrados dentro de las industrias [18].

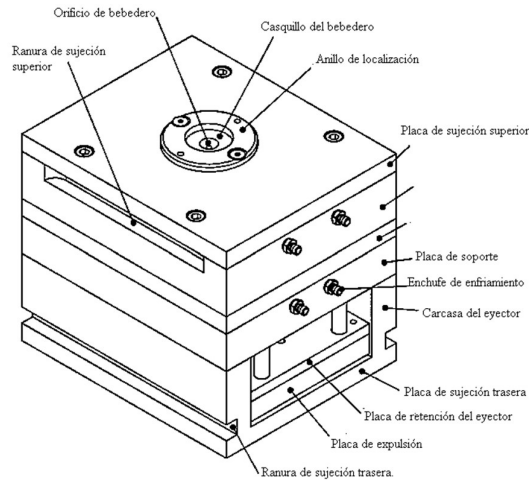


Figura 3.14 Molde de dos placas (molde estándar)

Fuente: [18]

3.7 Variables que influyen en el proceso de inyección de plásticos

Existen cinco variables fundamentales en el proceso de moldeo por inyección, de las cuales dependen tanto la calidad del artículo moldeado como la eficiencia con la producción del mismo. Estas variables son: Temperaturas, presiones, tiempos, recorridos y velocidades[19].

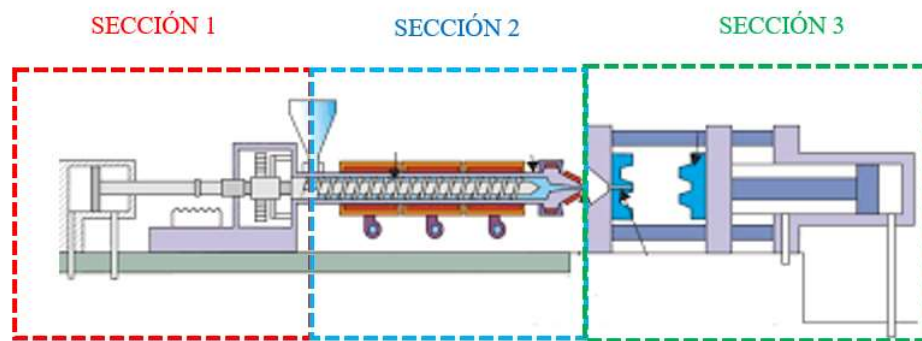


Figura 3.15 Máquina Inyectora

Fuente: [2]

Tabla 3.7. Variables que influyen en la Máquina Inyectora

Variables máquina Inyectora		
Sección 1	Sección 2	Sección 3
Presión Hidráulica de Inyección	Temperatura Cilindro	Presión de la Cavidad
Velocidad	Contrapresión	Caudal
Presión de Ajuste	Recorrido	Presión Residual
Tiempo	Presión de apoyo en la boquilla	Presión de cierre del Molde
	Presión de Inyección	Presión de Seguridad del Molde
	Tiempo	Presión de Apertura del Molde
		Presión de Expulsión
		Presión Posterior, de compactación, Remanente o Sostenida
		Temperatura Molde
		Tiempo

3.7.1 Temperaturas en el sistema de inyección de plásticos

Las temperaturas a controlar en el proceso son las siguientes:

Temperaturas del Cilindro: El cilindro de inyección está dividido en cuatro zonas de calentamiento: alimentación, plastificación, dosificación y boquilla. Cada una de ellas se controla de manera independiente.

Tabla 3.8. Rangos típicos de temperatura de procesamiento

Rangos típicos de temperaturas de procesamiento para algunos termoplásticos	
Material	Rango de Temperatura (°C)
PEBD	80-160
PELBD	70-260
PEAD	200-260

Fuente: [12]

Temperatura del Molde: La temperatura del molde depende del tipo de material y de la geometría de la pieza (espesor, etc.) Es la variable que determina la velocidad de producción. Generalmente, los moldes se enfrían haciendo circular agua a 15 °C con un caudal variable ente 0,5 y 3 litros por minuto, y la eficiencia de la disipación aumenta significativamente con la turbulencia del flujo.

Temperatura del Aceite del Sistema Hidráulico: La temperatura del aceite hidráulico debe controlarse en el rango que permita un valor de viscosidad dinámica del fluido, que garantice a su vez la transmisión de presión y caudal requeridos por el sistema hidráulico de la máquina de inyección. La temperatura de operación está ubicada generalmente en un rango entre 30 y 40°C, dependiendo de las características del aceite hidráulico que recomiende el fabricante del equipo.

3.7.2 Presiones a considerar en el Sistema de Inyección de plásticos

La presión de inyección necesaria durante la fase de llenado es una consecuencia entre otras variables la misma que es la parte fundamental del sistema y permite el dimensionamiento de los demás componentes que son parte del moldeo por inyección. A continuación, se detalla las presiones del sistema de inyección.

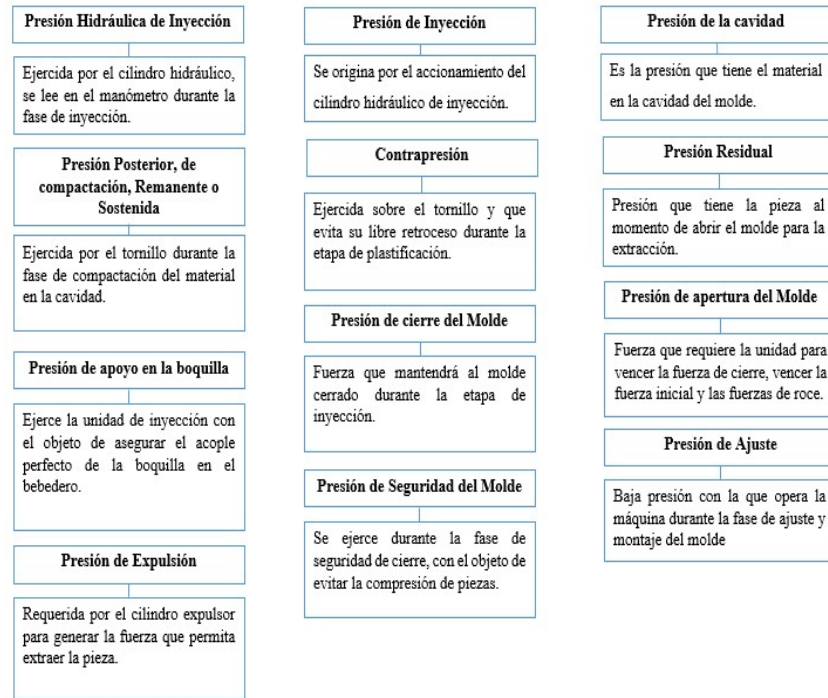


Figura 3.16 Presiones que influyen en el sistema de inyección

La presión en el sistema de inyección según fabricantes de máquinas inyectoras de plásticos es considerada según características del producto a fabricar las mismas que se deberán relacionar con el diagrama de la presión en la cavidad del molde ya que esta indicara la presión necesaria para la pieza inyectada y desde ahí su dimensión para el sistema.

El siguiente diagrama, ayuda a ratificar la presión de inyección, con la longitud de recorrido, el material termoplástico y el espesor de pared.

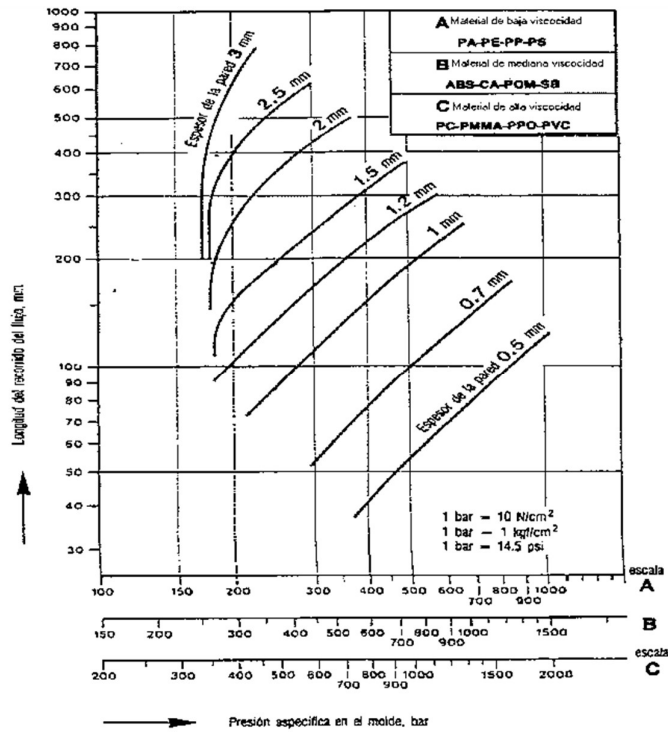


Figura 3.17. Diagrama para determinar la presión de inyección, mediante el espesor de pared y la longitud de recorrido.

3.7.3 Tiempos a considerar en el Sistema de Inyección de plásticos

Los fabricantes de polímeros suelen informar de los tiempos máximos de permanencia de sus materiales a las temperaturas de proceso. Se trata de una relación inversa tiempo-temperatura, el tiempo de inyección es también el tiempo más crítico del proceso. A continuación, se muestra la ecuación para los cálculos de los tiempos y los tiempos que influyen en el sistema de inyección.

$$T = \text{llenado} + \text{enfriamiento} + \text{apertura molde} + \text{cierre molde} + \text{reseteo}$$

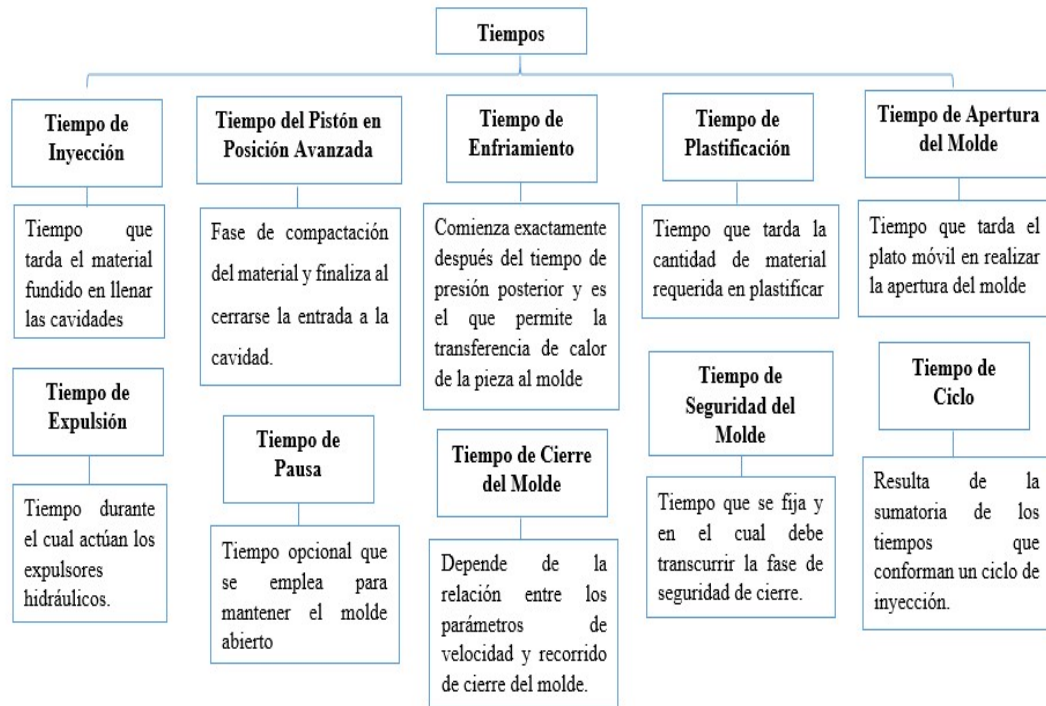


Figura 3.18 Tiempos que influyen en el sistema de inyección

Tabla 3.9. Tiempos de ciclo en vacío

Tiempo de ciclo en vacío para condiciones de procesamiento comunes		
Fuerza de Cierre (kN)	Tiempo de ciclo en vacío para el procesamiento	
	Termoplásticos (s)	Termoestables y Elastómeros (s)
250	0.8-1.8	
500	0.9-1.5	Mayor a 3
1000	1.1-2	Mayor a 6
2000	1.7-4	Mayor a 12
5000	2-7	Mayor a 25
10000	5.5-10	

Fuente: [20]

3.7.4 Recorridos del Sistema de Inyección de plásticos

La distancia que recorre el pistón en el cilindro hasta el tornillo sin fin. Según la relación entre diámetro y carrera del cilindro. A continuación, se detalla la ecuación del recorrido del husillo del sistema de inyección y los tipos de recorridos que se consideran en el sistema de inyección.

$$R_h = \frac{V}{\pi * r^2}$$

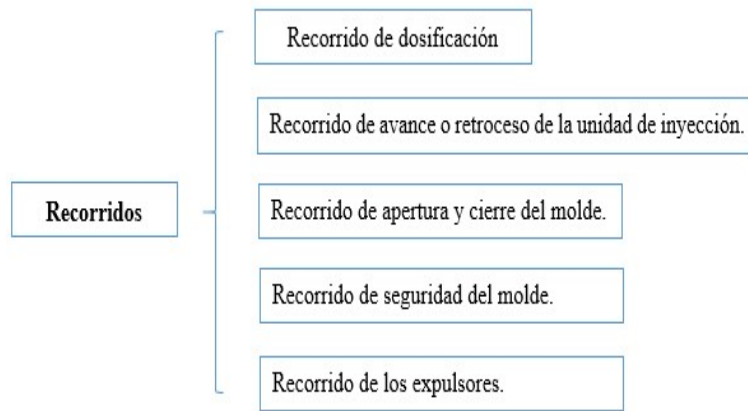


Figura 3.19 Recorridos que influyen en el sistema de inyección

3.7.5 Velocidades del Sistema de Inyección

La velocidad de inyección es la velocidad más crítica de todo el proceso de inyección. En la siguiente figura se muestra las velocidades del sistema de inyección.

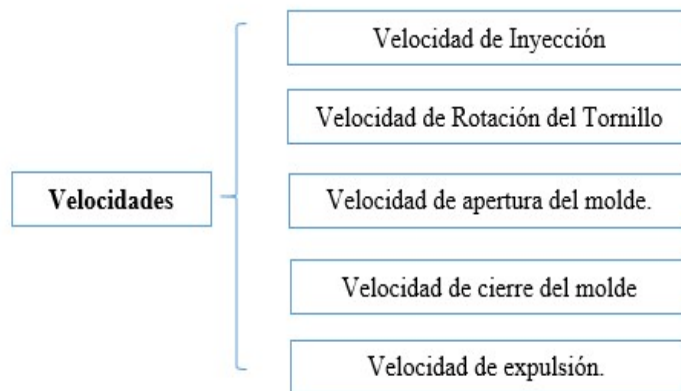


Figura 3.20 Velocidades que influyen en el sistema de inyección

3.8 Máquina Extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

La Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad combina dos métodos de diseño conceptual para lograr ventajas en la explotación de los recursos.

La combinación de dos sistemas convencionales permite que el rango de la operación se amplíe, con la ventaja de permitir operar cada sistema en sus puntos de máxima eficiencia de manera independiente.

A largo plazo, si bien el costo inicial de inversión y producción son mayores, se podrían obtener beneficios debido a una mayor producción y una mayor disponibilidad del sistema, mejorando la relación costo/producción [21].

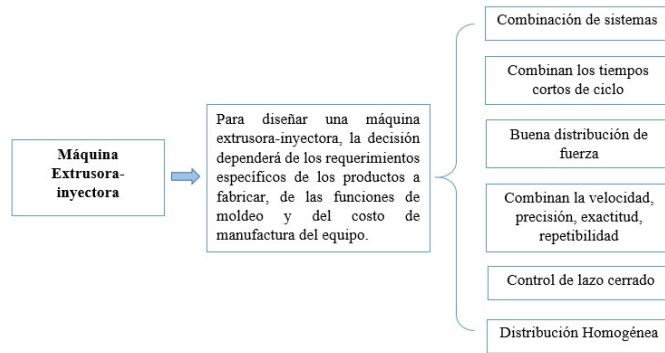


Figura 3.21 Ventajas del diseño Máquina Extrusora-Inyectora

3.8.1 Principio de funcionamiento del diseño conceptual de una Máquina Extrusora-Inyectora de baja densidad.

El proceso se divide en dos sistemas uno el sistema de extrusión y otro el sistema de inyección que trabajan de forma independiente el uno del otro y a su vez forman una máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad, los dos sistemas comparten el sistema de alimentación donde ingresa material termoplástico (pellets de tamaño homogéneo) a la tolva de la máquina que incorpora el material al cilindro el cual tiene resistencias eléctricas y un control de temperatura, el cilindro también alberga en su interior un tornillo sin fin el cual es movido por la combinación bomba-motor (sistema eléctrico moldeo extrusión y sistema hidráulico moldeo de inyección) con esto se consigue una repetibilidad de la posición, la precisión y la velocidad de la máquina para finalmente el material llegue a la boquilla en el cual se estirara los hilos de pet para el moldeo por extrusión o se acoplara el molde referente para el proceso de inyección.

Para la funcionalidad de estos procesos la máquina combinara mecanismos hidráulicos y eléctricos dentro de una máquina de moldeo por extrusión encontrando un balance óptimo entre desempeño de la máquina, calidad de los productos fabricados, otorgando el posicionamiento preciso y ahorro de energía de los equipos totalmente eléctricos, manteniendo el alto empuje de los mecanismos hidráulicos, el movimiento (adelante / atrás) y la eyección de las piezas.

Tabla 3.10. Variables que influyen en una Máquina Extrusora-Inyectora

Variables Máquina Extrusora-Inyectora		
Sección 1	Sección 2	Sección 3
Velocidad	Temperatura del cilindro	Caudal
Tiempo	Contrapresión	Tiempo
	Tiempo	

3.9 Diseño en Ingeniería Mecánica

La meta técnica de la formación de ingenieros es prepararlos para que cumplan las funciones de análisis y diseño, o bien las funciones de construcción, producción u operación, con un pleno conocimiento del análisis y del diseño de la estructura, la máquina o el proceso que se requiere.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: piezas, estructuras, mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, las ciencias de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería[22].

La amplia disponibilidad actual de los dispositivos electrónicos de cálculo, muchos de los cuales no son de costo excesivo han transformado notablemente los métodos de diseño en un intervalo muy corto.

Actualmente los países de América Latina han hecho una prioridad al incluir en su sistema herramientas para el diseño mecánico con el fin de cerrar las brechas de habilidades académicas y técnicas que existen en la región y así contribuir a la competitividad y la transformación productiva del país.

3.9.1 Fases del Diseño en Ingeniería Mecánica

Las fases del diseño hacen referencia a un trayecto específico que el diseñador se plantea a seguir, el mismo que puede realizar una pausa para la evaluación de sus avances del desarrollo de una determinada actividad o acción [23].

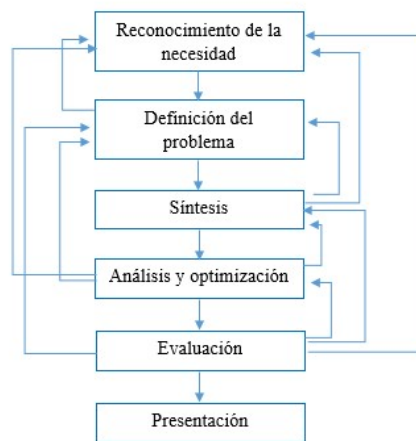


Figura 3.22 Fases del diseño de ingeniería mecánica

4 METODOLOGÍA

4.1 Introducción

El proyecto a realizarse consiste en la revisión fundamental y el rediseño radical de una máquina extrusora, para lo cual se pretende que al utilizar la versatilidad de recursos e implementos se alcance mejoras espectaculares en el proceso y adaptación del sistema de inyección el cual mejorara el rendimiento, y a su vez se entregara productos de calidad en los dos sistemas de proceso de plástico cumpliendo calidad, servicio y rapidez[24].

La metodología a seguir será bajo la siguiente estructura.

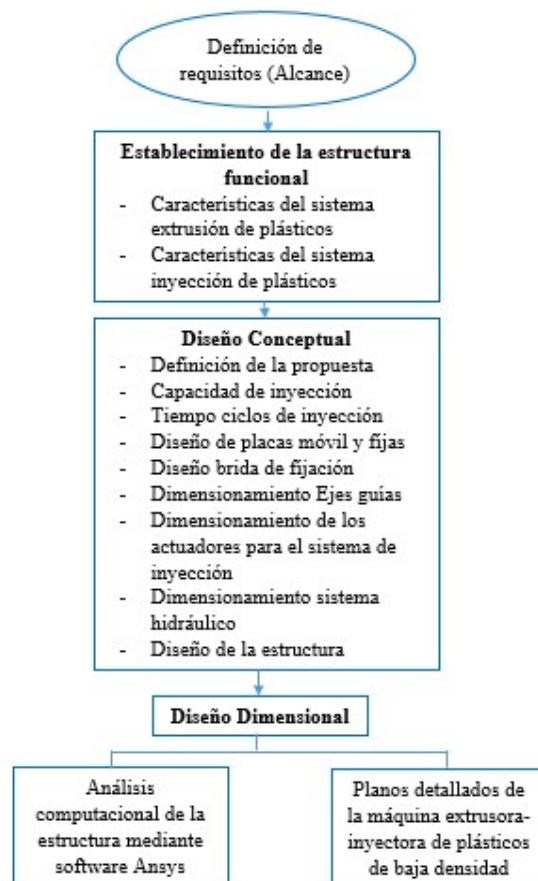


Figura 4.1. Metodología del diseño de máquina extrusora-inyectora de plásticos

4.2 Definición de requisitos

Las modalidades básicas de investigación a emplearse son:

La documental, ya que simboliza una idea de recaudación de información, de tipo confiable referente a un tema específico, ordenando y sistematizando la información la cual forma parte del cuerpo [25].

La modalidad de campo, tiene como objetivo originar una respuesta sobre un tema determinado, tomando contacto directo con la realidad que proponga una información correcta [25].

El presente proyecto consiste en el diseño de una máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad, concentrado en un paradigma cuantitativo – cualitativo, siendo el punto en el cual se definen las características y variables necesarias del equipo, para poder generar el dimensionamiento de las partes requeridas para la adaptación del sistema al proceso de inyección, en el alcance que se va hacer.

4.3 Estructura funcional de las máquinas usadas para el proceso de plástico

- Máquina extrusora de plástico

La máquina extrusora es la delegada de la extrusión de polímeros a través de ciertas fases como el prensado, el fusionado, el moldeado y el empuje de los materiales, la cual es empleada para producir elementos de polímeros definidos [26].

El funcionamiento de las máquinas de extrusión se da mediante la alimentación del material mediante una tolva, el cual cae por gravedad al cilindro calentado por resistencias eléctricas, pasando por varios procesos por las zonas de alimentación, compresión y dosificación. [26].

Las partes que constituyen la máquina extrusora son:

Tabla 4.1. Partes constitutivas de la Máquina Extrusora

Sección 1	Sección 2	Sección 3
Tolva	Resistencias eléctricas	Soporte para cilindro extrusor
Unión mecánica	Tornillo	Boquilla
Reductor de engranajes	Cilindro	Rodillos
Motor		

- Máquina inyectora de plástico

Es la máquina encargada de llevar a cabo el proceso de inyección de plástico, la cual provee la materia prima al molde el cual es encargado de dar forma y enfriar; se inyecta el material en el cilindro con un tornillo sin fin, calentándose hasta que se derrita la cantidad de material requerida.

Tabla 4.2. Partes constitutivas de la Máquina Inyectora

Sección 1	Sección 2	Sección 3
Tolva	Tornillo	Molde
Cilindro de inyección	Cilindro	Canales de alimentación
Reductor de engranajes	Tobera	Ejes guías con tuercas
Motor		Brida
		Placa fija
		Placa móvil
		Sujetador de cilindro del molde

- Máquina Extrusora-inyectora de plásticos

El diseño de la máquina extrusora-inyectora establece la selección adecuada de cada uno de los elementos que serán modificados y adaptados según los criterios de diseño ingenieril; para lo cual se emplean cálculos matemáticos, métodos y normas de ingeniería existentes para el dimensionamiento y validación de los elementos constituyentes de la máquina.

Los elementos que se requieren aumentar, cambiar o modificar son:

Tabla 4.3. Los elementos a adaptar para el sistema de inyección de plásticos

Sección 1	Sección 2	Sección 3
Cilindro de inyección	Tobera	Molde
		Canales de alimentación
		Placa fija
		Placa móvil
		Ejes guías
		Bocín
		Sujetador de cilindro del molde

4.4 Diseño Conceptual de Máquina extrusora-inyectora de plásticos

El diseño de una máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad es una combinación de los procesos de extrusión e inyección; se refiere a un diseño exclusivo experimental, con la

finalidad de modificar y adaptar máquinas a procesos industriales, de tratamiento de plástico y otros materiales compuestos.

4.4.1 Bosquejo del sistema de inyección de plásticos

El sistema de inyección propuesto se da en base al diseño del émbolo de inyección, de las placas fijas y móvil, de los canales de alimentación; se continua con el diseño del molde, el cual se da en base a las características del sistema de inyección como la fuerza de cierre, la capacidad, el volumen y la presión máxima de inyección.

La adaptación del sistema de inyección se inicia con la correlación de algunas piezas al sistema de extrusión dado, como es en la sección 1, el cilindro de inyección; en la sección 2, se adecua una tobera; mientras en la sección 3, en el sistema de cierre, se inicia con la adecuación de la placa móvil, definición de los canales de alimentación, ubicación y alineación de las guías, se incorpora la placa móvil, el embolo de cierre, la brida, el sujetador del cilindro del molde y finalmente se procede a la ubicación del molde.

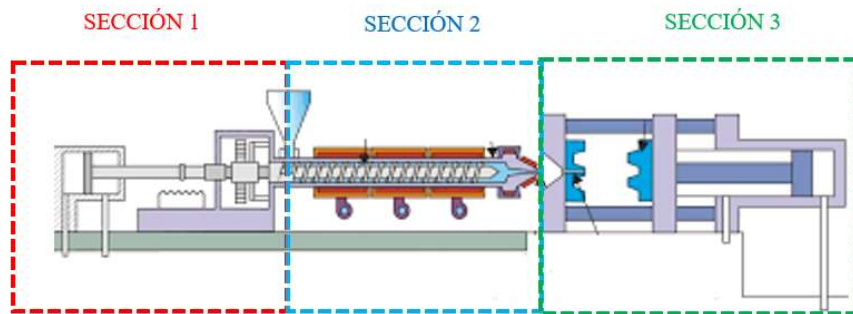


Figura 4.2. Secciones de la Máquina Inyectora de plásticos

4.5 Diseño dimensional de los elementos del sistema de inyección

El diseño dimensional permite definir las medidas de los elementos constitutivos bajo un criterio ingenieril brindando mayores beneficios. El siguiente paso es delimitar la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad de la siguiente manera.

4.5.1 Presión de Inyección

Es la presión máxima específica que se aplica sobre el material termoplástico para ser inyectado en el molde.

- Ecuación que determina la Presión de Inyección

La presión hidráulica generada por la bomba, aplicada en el pistón durante la fase de inyección, la cual es definida de la relación entre el largo del flujo de resina y el espesor de la pared del elemento a inyectar.

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$Rf = \frac{l}{e}$	(bar o kgf/cm ²)	l = Largo e = Espesor del elemento	(4.1)

4.5.2 Ecuación que determina la capacidad efectiva de inyección en peso

- Carrera máxima de carga (cmc)

Fórmula	Descripción	N°
$cmc = \frac{L_{husillo}}{D_{husillo}}$	cmc = Carrera máxima de carga L _{husillo} = Longitud del husillo D _{husillo} = Diámetro del husillo	(4.2)

- Volumen máximo de carga (Vmc)

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$V_{mc} = \pi r^2 * cmc$	cm ³	V _{mc} = Volumen máximo de carga r = radio del cilindro cmc = Carrera máxima de carga	(4.3)

- Densidad del plástico en estado fundido (melt density)

Los plásticos como muchos otros materiales al calentarse se expanden, por lo tanto, en estado fundido su densidad se reduce. Cada plástico modifica su densidad en función de su morfología y de las cargas y refuerzos que puedan existir en su matriz.

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$P_{im} = V_{mc} * m_d$	gr/cm ³	P _{im} = Peso de inyección máximo V _{mc} = Volumen máximo de carga m _d = Melt density	(4.4)

4.5.3 Ecuación que determina el recorrido del husillo

El recorrido de inyección se expresa en la siguiente fórmula, la cual se basa en el volumen de la pieza máxima a inyectar y el radio del cilindro.

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$R_h = \frac{V}{\pi * r^2}$	mm	$V = \text{Volumen de la pieza a inyectar}$ $r = \text{Radio del cilindro de inyección}$ $R_h = \text{Recorrido del husillo}$	(4.5)

4.5.4 Ecuación que determina la presión de contacto

El material termoplástico pasa a través de la boquilla hacia las cavidades del molde con una determinada presión de inyección.

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$P_{cont} = \frac{F_{tan}}{\pi * \sin(\alpha_b) * D_{medio} * l_{apoyo}}$	bar	$F_{tan} = \text{Fuerza tangencial}$ $\alpha_b = \text{ángulo de la hélice}$ $D_{medio} = \text{Diámetro medio}$ $l_{apoyo} = \text{Longitud de apoyo}$ $P_{cont} = \text{Presión de contacto}$	(4.6)

4.5.5 Fuerza de cierre máxima (N)

La fuerza máxima de cierre es una función de la presión de inyección y el área proyectada de la pieza.

- Ecuación que determina la fuerza de cierre máxima

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$F = P_m * A_p$	kN	$F = \text{Fuerza de inyección}$ $P_m = \text{Presión media en el molde}$ $A_p = \text{área proyectada}$	(4.7)

4.5.6 Coeficiente de transferencia de calor

Este coeficiente es igual a la suma del coeficiente de convección y del coeficiente de radiación:

- Ecuación que determina el coeficiente por transferencia de calor

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$h = h_c + h_r$	$(W/m^2 \cdot ^\circ C)$	h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección h_r = Coeficiente de transferencia de calor por radiación	(4.8)

Los valores de h_c y h_r se los calcula a continuación:

- Ecuación que determina el coeficiente de convección

Temperatura media de película.

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$Tf = \frac{Ts + T\alpha}{2}$	°C	Ts = Temperatura de la superficie del cuerpo sólido de calor por convección	(4.9)

Las propiedades del aire deben ser evaluadas a la temperatura Tf .

La longitud característica en el número de Grashof, del cilindro horizontal grande, es su diámetro.

- Ecuación que determina el flujo requerido

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$\dot{Q}_{req} = m_{Total} * C_p * (T_{res} - T_{amb})$	°C	\dot{Q}_{req} = Calor requerido	(4.10)
		m_{Total} = Flujo másico	
		C_p = Calor específico del material	
		T_{LDPE} = Temperatura de procesamiento del material LDPE	
		T_{amb} = Temperatura ambiente	

- **Temperatura exterior del tornillo para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad**

$$\dot{Q} = \frac{T_{r1} - T_{amb}}{R_{Equiv.}} \quad (4.11)$$

4.5.7 Sistema eléctrico de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

- **Ecuaciones para la selección del motor eléctrico**

Potencia requerida

$$P = \frac{\eta * \pi * \phi^3}{k^2} \quad (4.12)$$

$$\gamma = \frac{\pi * \phi * \eta}{h_2 * 1s}$$

4.5.8 Actuadores hidráulicos para el sistema de inyección de plásticos

La presión de la masa fundida, se genera hidráulicamente, se puede calcular a partir de la fuerza que actúa sobre el tornillo, usando la siguiente formula:

	Fórmula	Descripción	N°
Presión máxima del actuador	$P_{max} = \frac{4000 * F_t}{\pi * D^2}$	$P_{max} = \text{Presión máxima del actuador}$ $F_t = \text{Fuerza longitudinal que actúa sobre el tornillo}$ $D = \text{Diámetro del tornillo}$	(4.13)

4.5.9 Placas fijas y móviles para el sistema de inyección de plásticos

Las placas fijas y móviles se determinan en función del espacio para facilitar el trabajo, así como el manejo del molde y fijación; donde el espesor de las placas se deriva de las dimensiones frontales y el material.

Ecuaciones que definen el espesor de las placas del sistema de inyección de plástico

- Momento máximo

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$M = \frac{Fx}{2}$	kN*m	F = Fuerza de cierre x = Longitud media de la placa M = Momento máximo	(4.14)

- Esfuerzo Permisible

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$\sigma = \frac{M}{S}$	MPa	S = Módulo de sección σ = Esfuerzo permisible M = Momento máximo	(4.15)

- Módulo de sección

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$S = \frac{bxh^2}{6}$	mm	S = Módulo de sección b = Altura de la placa h = Espesor de las placas	(4.16)

- Factor de seguridad

Fórmula	Descripción	N°
$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{A}$	<p>S_y = Límite elástico</p> <p>n = Factor de seguridad</p> <p>F = Fuerza de cierre</p> <p>A = Área de la placa</p>	(4.17)

4.5.10 Ejes guías para el sistema de inyección de plásticos

Son guías que permiten alinear los moldes.

Ecuación para definir ejes guías (estático)

- Esfuerzo

Fórmula	Unidad	Descripción	N°
$\sigma = \frac{M \times C}{I}$	MPa	<p>M = Momento</p> <p>C = Centroide del eje</p> <p>I = Inercia</p>	(4.18)

- Factor de Seguridad

Fórmula	Descripción	N°
$n = \frac{S_y}{\sigma}$	<p>S_y = Resistencia de Materiales</p> <p>σ = Esfuerzo</p> <p>n = Factor de seguridad</p>	(4.19)

Ecuaciones para definir ejes guías (dinámico)

Fórmula	Descripción	N°
S_e $= k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$	<p>k_a = Factor de superficie</p> <p>k_b = Factor de modificación del tamaño</p> <p>k_c = Factor de carga</p> <p>k_d = Factor de temperatura</p> <p>k_e = Factor de confiabilidad</p> <p>k_f = Factor de concentración</p> <p>S'_e = Límite de Resistencia a la fatiga en viga rotatoria</p> <p>S_e = Límite de Resistencia a la fatiga en la ubicación crítica</p>	(4.20)

- k_a = Factor de superficie

Fórmula	Descripción	N°
$k_a = a S_{ut}^b$	<p>a = Factor</p> <p>b = Exponente</p> <p>S_{ut} = Resistencia ultima a la tensión</p> <p>k_a = Factor de superficie</p>	(4.21)

Tabla 4.4. Parámetros del Factor de Modificación

Acabado Superficial	Factor a		Exponente b
	Sutr Kpsi	Sutr MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frio	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.3	272.	-0.995

Fuente: [27]

- **kb = Factor de modificación del tamaño**

Fórmula	Descripción	N°
$kb = \left(\frac{d}{7,62}\right)^{-0.107}$	$kb =$ Factor de modificación del tamaño $d =$ Diámetro del eje	(4.22)

- **kc = Factor de carga**

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

- **kd = Factor de temperatura**

Tabla 4.5. Efectos de temperatura de operación

Temperatura °C	S _T /S _{RT}	Temperatura °F	S _T /S _{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1000	0.698
550	0.672	1100	0.567
600	0.549		

Fuente: [27]

- **(ke) Factor de confiabilidad**

$$k_e = 1 - 0.08Z_a \quad (4.23)$$

Tabla 4.6. Factor de modificación de confiabilidad

Confiabilidad,%	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_c
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente:[27]

- El límite de Resistencia S'_e

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

- Resistencia a la fatiga

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \tag{4.24}$$

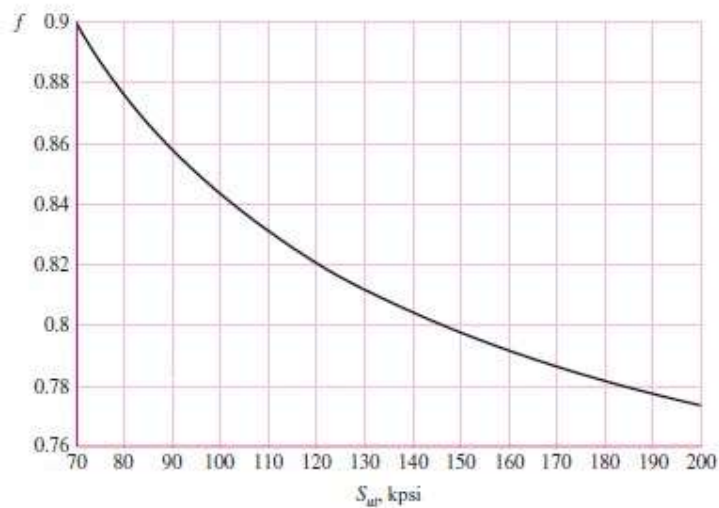


Figura 4.3. Factor f resistencia a la fatiga

Fuente: [27]

$$Sf = aN^b \tag{4.25}$$

$$n = \frac{Sf}{\sigma} \quad (4.26)$$

4.5.11 Diseño de bocines para el sistema de inyección de plásticos

La carga a contemplar sería la generada por la placa, por lo que se tomaría en función del peso de la placa móvil, que es la que genera mayor carga.

$$\sigma p = \frac{F}{A} \quad (4.27)$$

Para el aplastamiento se debe definir

$$\sigma p < 0.9 S_y \quad (4.28)$$

4.5.12 Tiempo total del ciclo de inyección

Es la suma de todos los tiempos durante el proceso de inyección.

- Ecuación del tiempo total del ciclo de inyección

Fórmula	Descripción	Nº
$T_t = T_i + T_s + T_p$	Tt = Tiempo total del ciclo de inyección	(4.29)
	Ti = Tiempo de inyección	
	Ts = Tiempo mínimo de enfriamiento	
	Tp = Tiempo de presión de sostenimiento	

4.5.13 Selección de resorte para el sistema de inyección de plásticos

Fórmula	Descripción	Nº
$k = \frac{4 * C + 2}{4 * C - 3}$	Pf = Fuerza de trabajo	(4.30)
	C = Índice del resorte	
$d = 1.6 \sqrt{\frac{P_f * C * K}{T_a}}$	Ta = Esfuerzo cortante del material	
	K = Coeficiente d = Diámetro del alambre	

4.6 Diseño Dimensional de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

El diseño mecánico admite la modelación a través de herramientas computacionales como son CAD – CAE (Computer Aided Design, Computer Aided Machine, Computer Aided Engineering), dentro de esta gama se presentan los software Ansys y Solidworks que son herramientas que se usan para el diseño y validación estructural de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad esto genera competencias como ingenieros a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica en el uso de TIC's ya que este es un proceso dinámico y desarrolla también la creatividad y la interacción de ideas hacia un

problema de la necesidad humana y con ello se logra un elemento intangible. Permitiendo reunir distintos elementos del diseño, organizarlos y relacionarlos mediante una valoración de conocimientos y discusiones con el criterio del diseñador para someterlo después a un examen detallado para conocer sus características y extraer conclusiones al final del proceso.

Esta parte del diseño, se divide en dos secciones:

- Planos del diseño conceptual por software Solidworks

Los planos son elaborados bajo Normativa INEN 003, en planos estructurales, planos de conjunto.

- Simulación computacional por software Ansys

Es el método utilizado para determinar el comportamiento del material, útil ampliamente para hacer análisis y mejorar la calidad de los productos y proyectos, donde se definen su validez o no en base a la geometría del elemento, cargas, restricciones.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Introducción

Una vez delimitado el procedimiento para adaptar el sistema de inyección a la máquina extrusora de plásticos que existe en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se selecciona el producto plástico a obtener, el polietileno con el que se va a trabajar, seguido del dimensionamiento de la presión de inyección del sistema definiendo el volumen teórico y la capacidad efectiva; limitando el tiempo de presión de sostenimiento, de enfriamiento y del ciclo de inyección; diseñando las placas fijas, móviles, brida de fijación y ejes guías, eligiendo bajo el criterio y cálculos fomentados en base al diseño mecánico ingenieril el tipo de sistema hidráulico y pistones de inyección a emplear, validando y evaluando el diseño con el empleo de un software computacional (ANSYS), fijando los puntos críticos del mecanismo, que permite la obtención de los parámetros de comportamiento de los diferentes elementos que conforman la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad.

5.2 Diseño conceptual de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad - Cálculos para el dimensionamiento del sistema de inyección

Antes de desarrollar los cálculos de dimensionamiento de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad se selecciona el producto o artículo plástico que cumple con las características y necesidades para el diseño.

Para los casos de selección se utiliza el método ordinal corregido de criterios ponderados el mismo que se encuentra detallado en cada uno de los anexos de selección de elementos.

- Dimensiones y descripción del producto a inyectar

Tapas para Panel

Son piezas producidas por el proceso de inyección de plásticos diseñadas para colocarlas sobre paneles o superficies con algún orificio de 1/2" en donde se busca colocar de una manera rápida, sencilla y económica una cubierta para poder tapar el orificio. El acabado liso y suave proporciona estética a la superficie donde se desea colocar.

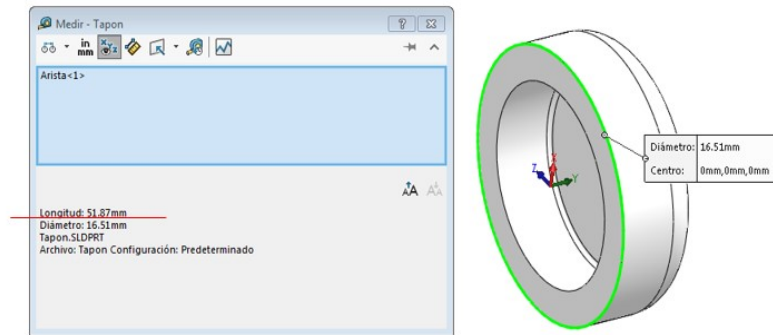


Figura 5.1 Tapa para panel

Longitud máxima unitaria de flujo de recorrido 51.87 mm

Espesor de las paredes es de 2.13 mm

Número de ejemplares por inyectada 8 tapas

- **Cálculo de la longitud máxima total de flujo recorrido del elemento a inyectar**

$$51.87 \times 8 = 414.96 \text{ mm.}$$

- **Cálculo de la relación entre el largo del flujo de resina y el espesor de la pared del elemento a inyectar.**

$$Rf = \frac{414.96 \text{ mm}}{2.1 \text{ mm}} = 197.6 \approx 200$$

Como resultado se obtiene una relación R = 200:1

- **Cálculo de pérdidas de calor por la presión al momento de avance del tornillo.**

Flujo requerido

$$\dot{Q}_{\text{req}} = m_{\text{Total}} * C_p * (T_{\text{res}} - T_{\text{amb}})$$

- C_p = Calor específico del material = 1.9 kJ/kg*K

- T_{LDPE} = Temperatura de procesamiento del material LDPE = 220 °C = 493.15 °K

- T_{amb} = Temperatura ambiente = 16 °C = 289.15 °K

Flujo másico

$$m_{\text{Total}} = \frac{P_T}{t} = \frac{56 \text{ g}}{4 \text{ s}} = 14 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

- **Calor requerido para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad**

$$\dot{Q}_{\text{req}} = 14 \frac{\text{g}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * 1.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{°K}} * \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} * (493.15 \text{ °K} - 289.15 \text{ °K}) = 5426.4 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q}_{\text{req}} = 5426.4 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 5426.4 \text{ W} = 5.4264 \text{ kW}$$

- **Cálculo del flujo de calor total del sistema de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad**

$$\dot{Q} = \frac{T_{\text{LDPE}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{Total}}}$$

$$R_{\text{Total}} = R_{\text{LDPE}} + R_{\text{ac}} + R_{\text{amb}}$$

$$R_{\text{Total}} = \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{int}}}{r_{\text{Tor}}}\right)}{2\pi K_{\text{LDPE}} * L} + \frac{\ln\left(\frac{r_{\text{ext}}}{r_{\text{int}}}\right)}{2\pi K_{\text{ac}} * L} + \frac{1}{h_{\text{aire}} * (2\pi r_{\text{ext}} L)}$$

$$R_{\text{Total}} = \frac{\ln\left(\frac{20.5 \text{ mm}}{18 \text{ mm}}\right)}{2\pi \left(0.33 \frac{\text{W}}{\text{mC}}\right) * 0.76 \text{ m}} + \frac{\ln\left(\frac{24.5 \text{ mm}}{20.5 \text{ mm}}\right)}{2\pi \left(50.2 \frac{\text{W}}{\text{mC}}\right) * 0.76 \text{ m}} + \frac{1}{\left(15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) * (2 * \pi * 0.0245 \text{ m} * 0.76 \text{ m})}$$

$$R_{\text{Total}} = 0.0825303 \frac{\text{C}}{\text{W}} + 0.0007436 \frac{\text{C}}{\text{W}} + 0.5698351 \frac{\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Total}} = 0.653109 \frac{\text{C}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\text{LDPE}} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{Total}}}$$

$$\dot{Q} = \frac{220 \text{ C} - 16 \text{ C}}{0.653109 \frac{\text{C}}{\text{W}}}$$

$$\dot{Q} = 312.35215 \text{ W}$$

- **Temperatura exterior del tornillo para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad**

$$\dot{Q} = \frac{T_{r1} - T_{\text{amb}}}{R_{\text{Equiv.}}}$$

$$R_{\text{Equiv}} = R_{\text{Ace}} + R_{\text{amb}} = 0.0007436 \frac{\text{C}}{\text{W}} + 0.5698351 \frac{\text{C}}{\text{W}} = 0.5705787 \frac{\text{C}}{\text{W}}$$

$$T_{r1} = T_{amb} + Q * R_{Equiv} = 16C + 312.35215 W * 0.5705787 \frac{C}{W} = 194.22 C$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{LDPE} - T_{r2}}{R_{Total}}$$

$$T_{r2} = T_{LDPE} - Q * R_{Equiv} = 220C - 312.35215 W * 0.5705787 \frac{C}{W} = 41.778 C$$

$$T_r = T_{r1} + T_{r2} = 194.22 C + 41.778 C = 235.99 C$$

La Temperatura requerida que debe calentar la resistencia = 235.99C

- Cálculo perdidas de calor la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

Por radiación

$$q_r = 2 * \pi * r_{ext} * L * \epsilon_1 * \sigma * (T_{res}^4 - T_{amb}^4)$$

$$q_r = 2 * \pi * 0.0245 m * 0.76 m * 0.69 * 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4 * (493.165 K^4 - 289.15 K^4)$$

$$q_r = 238.75 W$$

Por convección

$$q_c = h * 2 * \pi * r_{ext} * L * (T_{res} - T_{amb})$$

$$q_c = 2 \frac{W}{m^2 C} * 2 * \pi * 0.0245 m * 0.76 m * (220 C - 16 C) = 47.733 W$$

Energías que se pierden son:

$$Q_s = \dot{Q} + q_r + q_c$$

$$Q_s = 312.35215 W + 238.75 W + 47.733 W = 598.83515 W$$

- Análisis para la presión de Inyección de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

La presión de inyección que necesita el sistema a ser adaptado al diseño de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad se determinó mediante la siguiente tabla y en referencia a los datos de la tapa para panel, la misma que influencio en la selección de los elementos constitutivos del sistema de inyección requerido para el presente proyecto.

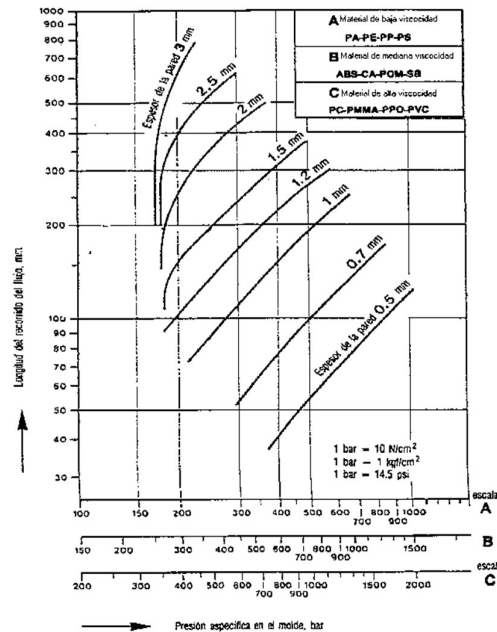


Figura 5.2 Diagrama para el cálculo aproximado de la presión en la cavidad del molde.

Arrojando el resultado según la aproximación en la tabla de 170 Bares = 17 MPa

Además, se considera el factor de viscosidad según el tipo de termoplástico empleado en este caso y por facilidad del ensayo es un polietileno de baja densidad.

Tabla 5.1. Factor de viscosidad de los termoplásticos

Resina	Factor de viscosidad
PP	1-1,2
PE	1-1,3
PA6 o PA66, POM	1-1,4

Generando una presión para el sistema de inyección para procesar plásticos de baja densidad de: $P_i = 170 \text{ Bares} \times 1,3 = 221 \text{ Bares} = 22,1 \text{ MPa} = 225,3573 \text{ Kg/cm}^2$

5.3 Dimensionamiento y selección del sistema hidráulico de la máquina extrusora-inyectora de plásticos baja densidad

El sistema de inyección que se implementó en el diseño de la máquina extrusora-inyectora de plásticos es generado en función a los datos de la presión requerida.

El sistema hidráulico para la inyección de plásticos de baja densidad, está compuesto por una bomba que es la encargada de suministrar presión y caudal; la cual esta acoplada mediante una unión a un motor eléctrico, controlado por válvulas direccionales, por 2 cilindros hidráulicos, donde el primer cilindro sirve para cerrar y aperturar el molde debiendo mantener la presión; el segundo para empujar y retroceder el husillo.

- Caudal del sistema hidráulico

El caudal del sistema hidráulico se determina de la siguiente manera:

$$v = \frac{L}{t} = \frac{0.0135 \text{ m}}{2.37 \text{ s}} = 5.69 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = S * v = \Pi * (0.0205 \text{ m})^2 * 5.69 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7.512 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 7.512 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{(100 \text{ cm})^3}{1 \text{ m}^3} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 450 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

- Bomba hidráulica de paletas

La selección de la bomba hidráulica de paletas se da de la siguiente manera:

- Desplazamiento volumétrico (Vi)

El desplazamiento volumétrico (Vi) se da en función del caudal.

$$Q = 450 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} * \frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ cm}^3} = 0.45 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$$

De igual manera el desplazamiento volumétrico (Vi), se determina en función de los rpm mínimos dados por la pérdida de potencia hidromecánica (típica), la cual es de 1000 rpm

Por lo que:

$$V_i = \frac{1000 \frac{\text{ml}}{\text{lt}} * 0.45 \frac{\text{lt}}{\text{min}}}{1000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 0.45 \frac{\text{ml}}{\text{rev}}$$

En base al desplazamiento volumétrico definido se selecciona una bomba simple, de serie T7B, con un tamaño de Aro B02, por lo que se elige $V_i = 5.8 \frac{\text{ml}}{\text{rev}}$. Ver detalle en Anexo XV

- Dimensionamiento del tanque del fluido hidráulico para máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

El diseño del tanque de reservorio del fluido hidráulico está generado en función del caudal de $5.8 \frac{\text{lt}}{\text{min}}$ y la velocidad de 1000 rpm que se daría en función de la potencia hidromecánica (típica) de la bomba seleccionada.

$$n = 1000 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 6283.2 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

Por lo que:

$$vol_{req} = \frac{5.8 \frac{lt}{min}}{6283.2 \frac{rad}{min}} \times 10000 = 9.23 \text{ lt}$$

$$vol_{req} = 9.23 \text{ lt} = 9230 \text{ cm}^3$$

5.4 Dimensionamiento y selección del sistema eléctrico para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

- Potencia requerida para el motor

Con una viscosidad cinemática = 800 N s/m², se obtienen una velocidad de cortadura

$$P = \frac{\eta * \pi * \phi^3}{k^2}$$

$$\gamma = \frac{\pi * \phi * \eta}{h_2 * 1s}$$

$$n = \frac{100 \frac{1}{s} * 0.19 \text{ cm}}{\pi * 3.8 \text{ cm}} = 1.59 \frac{rev}{s} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 95.5 \text{ rpm}$$

Por lo que se define un valor de 100 rpm

K = Factor de proporcionalidad = 66.7² (Savgorodny, 1973)

$$P = \frac{100 \text{ rpm} * \pi * (38 \text{ mm})^3}{66.7^2} = 3874.8 \text{ W} = 5.2 \text{ hp}$$

Por lo que le motor deberá tener como mínimo 5.2 hp, por lo que se selecciona un motor de 6hp. Ver detalle en Anexo XVIII

- Cálculo requerido para la selección del interruptor eléctrico

El interruptor a emplear como protección del motor debe tener:

$$I_p = 1.25 * I_m = 1.25 * 19.8 \text{ A} = 24.75 \text{ A}$$

- Cálculo requerido para la selección del conductor eléctrico

El dimensionamiento del conductor se determina en base al factor de 1.25

$$I_p = 1.25 * I_m = 1.25 * 19.8 \text{ A} = 24.75 \text{ A}$$

Se selecciona Cables TTU 600V y 2000V, 75 °C, para 25 Amp

5.5 Dimensionamiento de los pernos y tuercas de sujeción para el motor de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

El peso originado del motor de $5.5 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 53.95 \text{ N}$

El factor de seguridad a ocupar es de 2.5, por lo que cada tornillo recibe un esfuerzo de 33.7 N/mm^2

Tabla 5.2. Grado Métrico de Aceros para Pernos.

Grado	Tamaño del Perno	Resistencia a la Tensión (MPa)	Resistencia a la Fluencia (MPa)	Resistencia de Prueba (MPa)
4.6	M5 – M36	400	240	225
4.8	M1.6 - M16	420	340	310
5.8	M5 - M24	520	415	380

Fuente: [28]

Por ser las más comunes, se selecciona los pernos en Acero grado 4.6

El Área requerido para el Esfuerzo de Tensión para el perno es:

$$A_t = \frac{Carga}{\sigma_a} = \frac{53.95 \text{ N}}{33.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 1.60 \text{ mm}^2$$

Teniendo un diámetro que se debe ser cubierto hasta 10 mm, donde el área de esfuerzo va hasta 58 mm^2 , se da por aprobado el perno seleccionado.

Tabla 5.3. Dimensiones de Roscas Estándar American.

Diámetro mayor básico (mm)	Roscas Gruesas		Roscas Finas	
	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm^2)	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm^2)
1	0.25	0.460		
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61

Fuente:[28]

5.6 Análisis de la adaptación de sección de inyección a la máquina extrusora de plásticos.

Para que la máquina extrusora realice también el proceso de inyección de plástico de baja densidad se estableció adaptar los siguientes sistemas.

Utilizar un extensor con una chaveta en el motoreductor para obtener un desplazamiento longitudinal por medio del pistón de inyección que se acopla al extensor por medio de una unión y una junta. La doble función del diseño de la máquina extrusora- inyectora de plásticos de baja densidad se refleja en sus cambios de moldes para los dos procesos es decir la máquina dispone de una mesa de rodillos la cual permite que cuando se seleccione el proceso de extrusión los hilos pet salgan y se enfríen mediante este accesorio; mientras que cuando se opte por la selección del proceso de inyección se extraiga los rodillos y se acople el sistema porta moldes el mismo que alberga el molde de las tapas para panel esto será posible gracias a los 4 pernos de sujeción en la superficie de la estructura de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad los cuales coinciden con los puntos de sujeción de la mesa de rodillos evitando así un desbalance o descomposición de la máquina o del anterior sistema que ha funcionado lo que ayuda a una adaptación y manipulación al realizar los procesos cabe recalcar que tanto el proceso de extrusión como inyección de plásticos trabajaran de manera individual siempre y cuando se lo requiera. A continuación, se presenta los componentes que forman parte del diseño de la máquina.

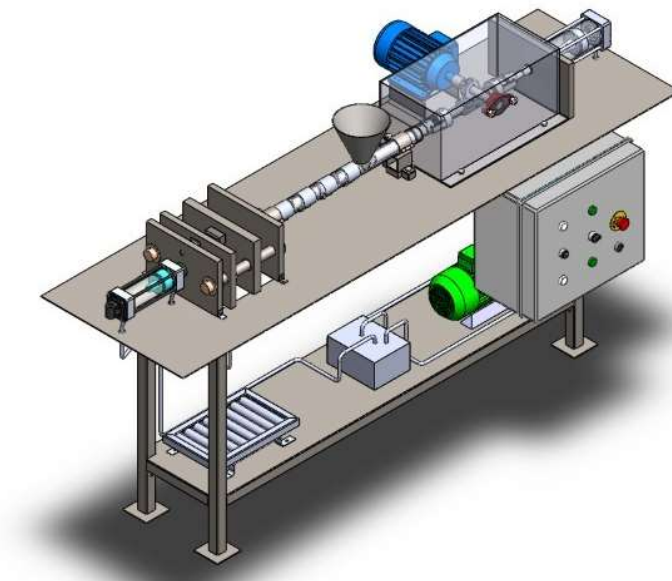


Figura 5.3 Diseño Conceptual de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

Tabla 5.4. Componentes que forman parte del diseño de la Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

Diseño Máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad			
Nº	Descripción	Material	Observaciones
1	Filtro de retorno		Seleccionado
2	Válvula solenoide		Seleccionado
3	Pin de barras	AISI 1018	Diseñado
4	Soporte de Impacto	Caucho	Diseñado
5	Bocín de Barras	Bronce	Diseñado
6	Extensor	AISI 1018	Diseñado
7	Boquilla	AISI 1045	Diseñado
8	Tablero de control	AISI 1040	Diseñado
9	Manifolds		Seleccionado
10	Bomba hidráulica		Seleccionado
11	Unión motor - bomba		Seleccionado
12	Motor eléctrico		Seleccionado
13	Deposito	AISI 304	Diseñado
14	Eje guía	AISI4340	Diseñado
15	Bancada	A510	Diseñado
16	Angulo de ajuste	ASTM A36	Diseñado
17	Placa fija cierre	AISI 1048	Diseñado
18	Pistón de cierre		Seleccionado
19	Bocín de ajuste	Bronce	Diseñado
20	Bocín	Bronce	Diseñado
21	Resorte	AISI 1010	Diseñado
22	Placas porta molde móvil	ASTM A36	Diseñado
23	Placa móvil	AISI 1045	Diseñado
24	Resistencia		Seleccionado
25	Husillo	AISI 1045	Diseñado
26	Tolva	AISI 304	Diseñado
27	Cilindro	AISI 1040	Diseñado
28	Soporte superior del cilindro	A 510	Diseñado
29	Soporte del motor	ASTM A36	Diseñado
30	Soporte inferior del cilindro	A 510	Diseñado
31	Motorreductor		Seleccionado
32	Pin de unión	AISI 1018	Diseñado
33	Actuador de inyección		Seleccionado
34	Fija	ASTM A36	Diseñado
35	Placa posterior	AISI 1045	Diseñado
36	Unión	AISI 1020	Diseñado
37	Nervio	AISI 1045	Diseñado
38	Chaveta	ASTM A36	Diseñado
39	Pin de soporte	AISI 1018	Diseñado

5.6.1 Parámetros del Sistema de Inyección Adaptado

Los parámetros expuestos a continuación detallan los conceptos ingenieriles presentados en el proyecto de tesis ya que los mismos cumplen con las características técnicas y satisfacen las necesidades del diseño presentado.

Tabla 5.5. Parámetros Sistema de Inyección

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
SISTEMA DE INYECCION	Diámetro del husillo	mm	38
	Presión máxima. de inyección	MPa	22.1
	Velocidad de giro del husillo	rpm	95
	Carrera máxima de carga (cmc)	mm	13.58
	Volumen máximo de carga (Vmc)	cm ³	14.92
	Peso de inyección del plástico en estado fundido (melt density)	gr	11.34
	Peso de las piezas a inyectar con canales y venas	gr	56
	Volumen de material a inyectar	cm ³	61.242
	Tiempo de inyección inicial	seg	2.37
	Tiempo de presión de sostenimiento	seg	4
	Tiempo de solidificación o de enfriamiento	seg	46
	Tiempo total del ciclo de inyección	seg	59.19
SISTEMA DE CIERRE	Fuerza de cierre	KN	638.7
	Recorrido de apertura de molde	mm	59
	Dimensiones del molde	mm	156x96
	Carrera de expulsión	mm	71.42/64.60
	Número de expulsores	Ud	9 (φ 6-8/φ 5-1)
OTROS	Potencia del motor	KW	1.11855
	Peso de la máquina	Ton	0.153
	Dimensiones de la máquina (L x A x Alto)	mm	2100 x 600 x 850

5.7 Modelado geométrico de la estructura de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

Se presenta a continuación el diseño de los elementos a ensayar que soporta la estructura en el software CAD Solidworks.

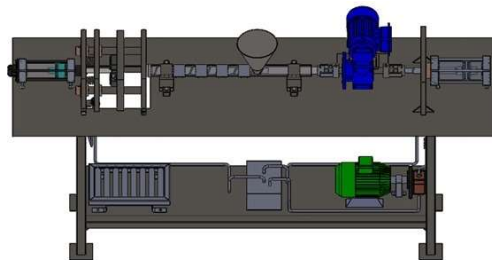


Figura 5.4. Vista Isométrica Estructura

5.7.1 Análisis de la simulación de los puntos críticos estructura

La estructura está sometida a diferentes cargas al soportar todo el peso de la máquina por lo mismo es necesario validar la resistencia de la estructura.

Para el análisis se tiene en cuenta los pesos de cada uno de los componentes de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad que se muestran en la tabla a continuación. Ver detalles en anexo XVIII

Tabla 5.6. Análisis de Cargas de la estructura de la máquina

Condiciones de Cargas	
Cargas	
C1	Placa posterior, nervios, bocín y pistón de inyección = $13.35 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 130.9635 \text{ N}$
C2	Motor, soporte del motor, uniones, pines, chaveta y extensor = $13.76 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 134.9856 \text{ N}$
C3	Soporte superior e inferior, tolva, 2 resistencias, peso medio originado entre el husillo y el cilindro = $6.115 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 59.98815 \text{ N}$
C4	Soporte superior e inferior, 2 resistencias, peso medio originado entre el husillo y el cilindro = $5.305 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 52.04205 \text{ N}$
C5	Peso medio generado por las placas móviles, placa porta molde móvil, placas fijas de cierre, pistón de cierre, ejes guías, bocines, resortes y boquilla = $20.255 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 198.70155 \text{ N}$
C6	Peso medio generado por las placas móviles, placa porta molde móvil, placas fijas de cierre, pistón de cierre, ejes guías, bocines, resortes y boquilla = $20.255 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 198.70155 \text{ N}$
C7	Motor, soporte del motor, uniones, pines, chaveta y extensor = $13.76 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 134.9856 \text{ N}$
C8	Tanque de aceite de almacenamiento = $9.5712 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 93.893 \text{ N}$
Descripción del elemento	
Nombre	Bancada
Material	Acero ASTM A36
Perfil estructural	40x40x2

Cargas externas

- ↓ Fuerza-1 (:Por elemento: 130.9635 N:)
- ↓ Fuerza-2 (:Por elemento: 134.9856 N:)
- ↓ Fuerza-3 (:Por elemento: 59.98815 N:)
- ↓ Fuerza-4 (:Por elemento: 52.04205 N:)
- ↓ Fuerza-5 (:Por elemento: 198.70155 N:)
- ↓ Fuerza-6 (:Por elemento: 198.70155 N:)
- ↓ Fuerza-7 (:Por elemento: 134.9856 N:)
- ↓ Fuerza-8 (:Por elemento: 93.893 N:)

Tabla 5.7. Análisis de Tensiones de la estructura de la máquina

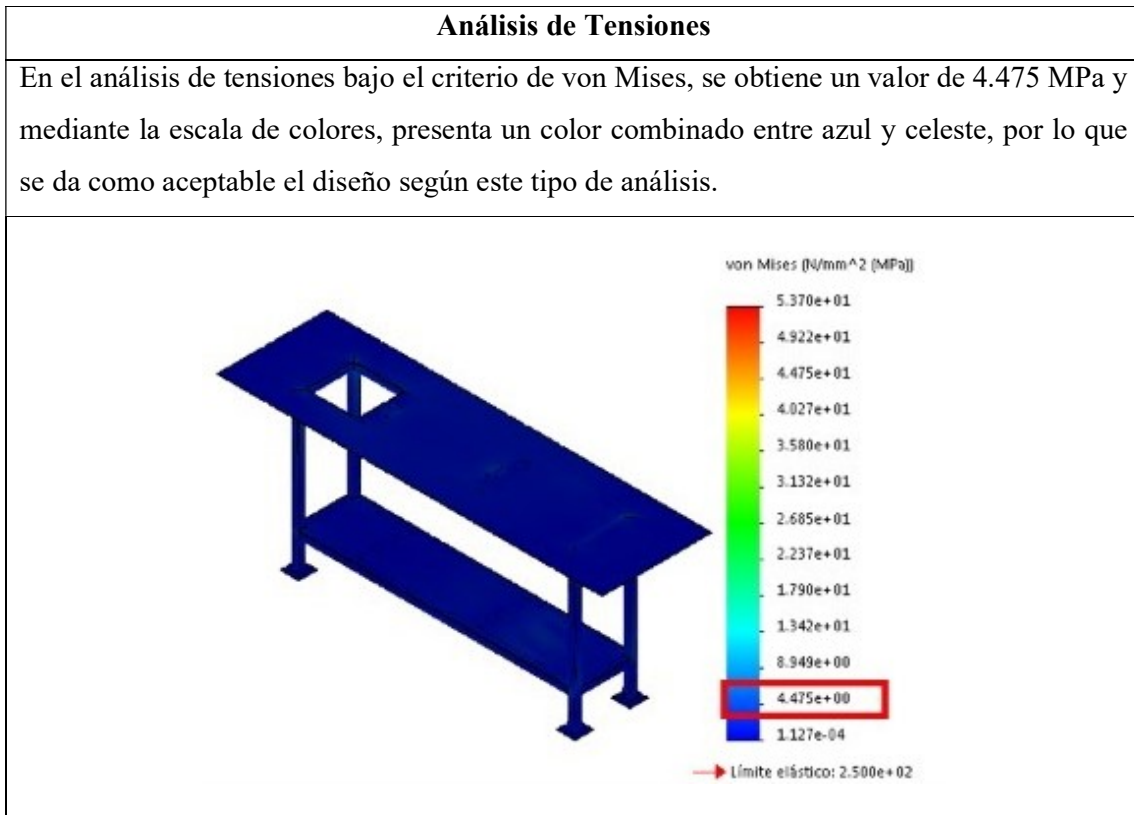


Tabla 5.8. Análisis de Deformaciones Unitarias de la estructura de la máquina

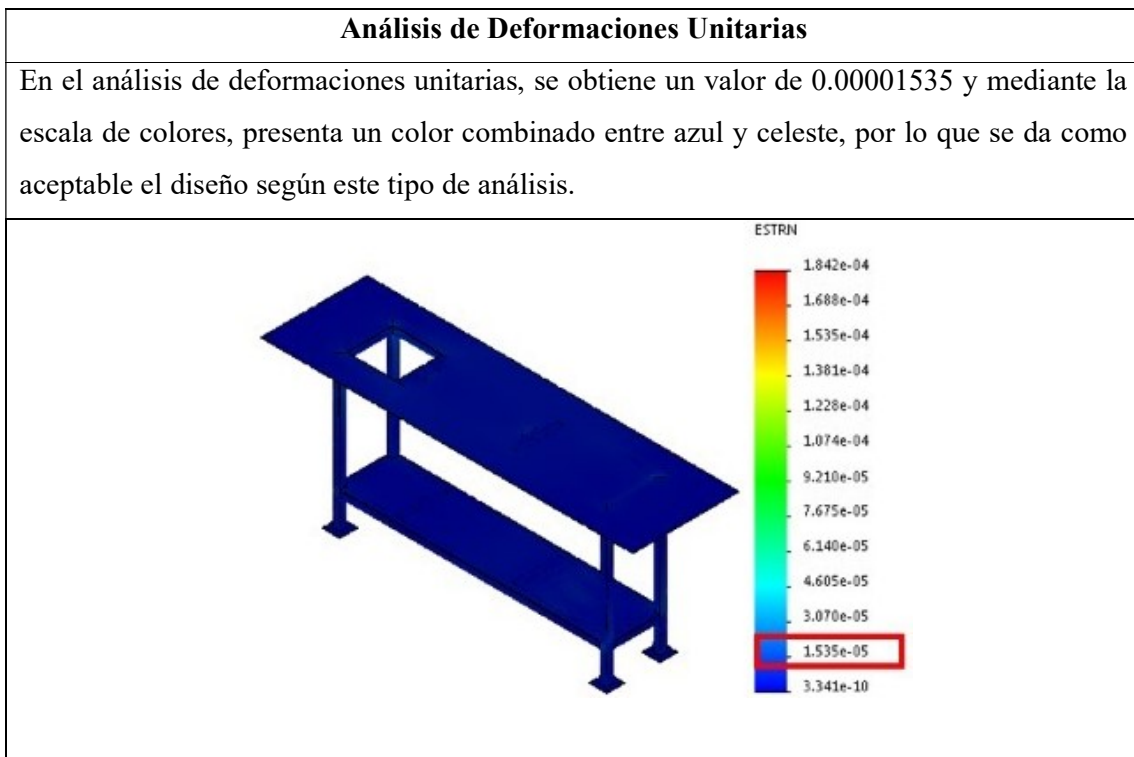
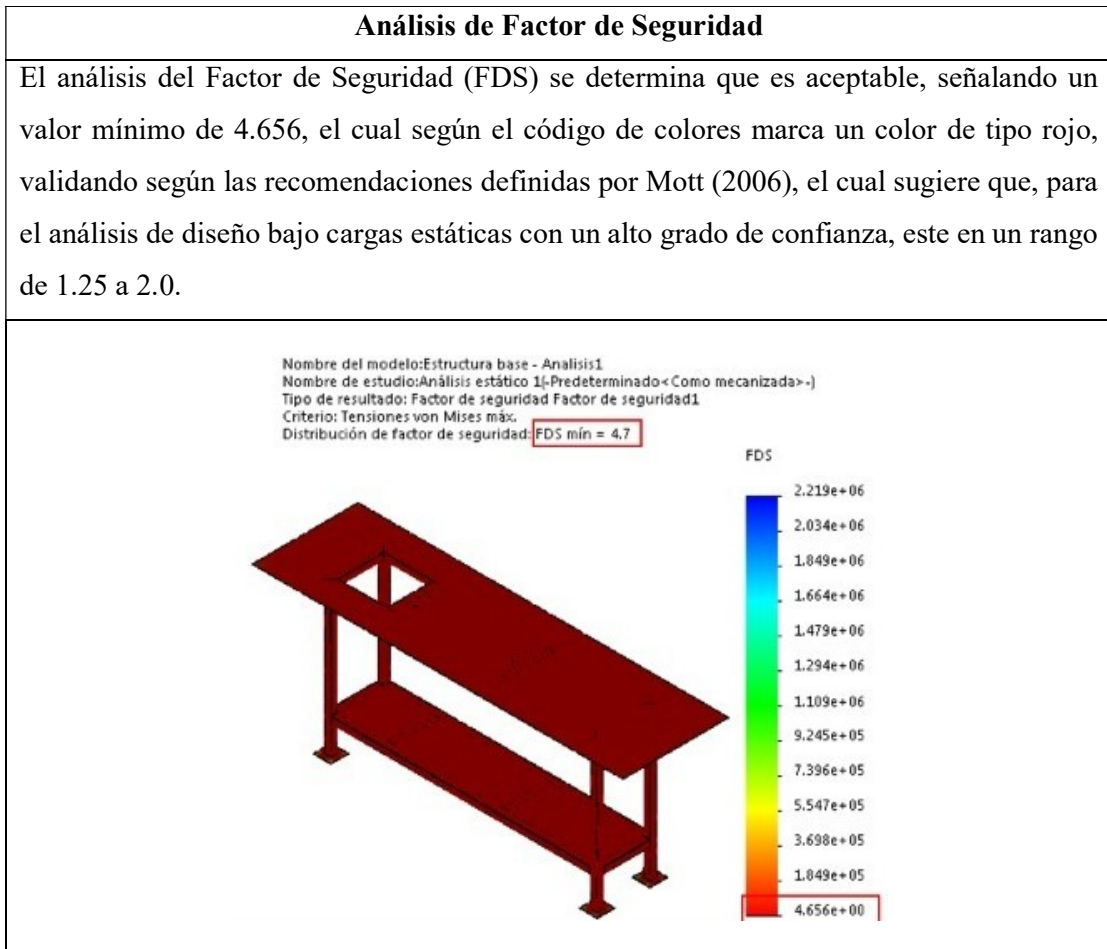


Tabla 5.9. Análisis de Factor de seguridad de la estructura de la máquina



5.8 Modelado geométrico de la pieza de ensayo para la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad

Se presenta a continuación el diseño de la pieza en el software CAD en 3D.

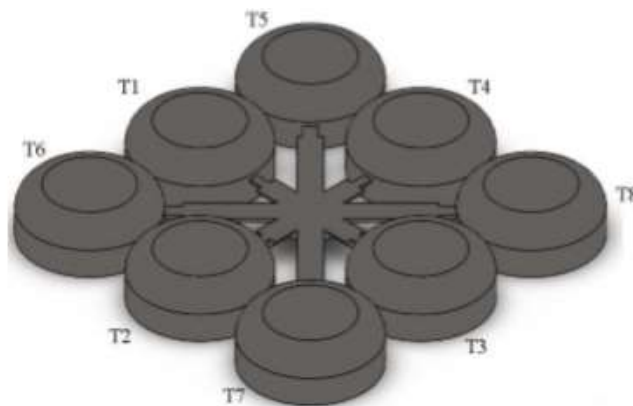


Figura 5.5. Pieza de ensayo.

5.9 Análisis Térmico del calor del fluido generado por la presión al momento de avance del tornillo.

Tabla 5.10. Análisis de Temperatura del fluido inyectado

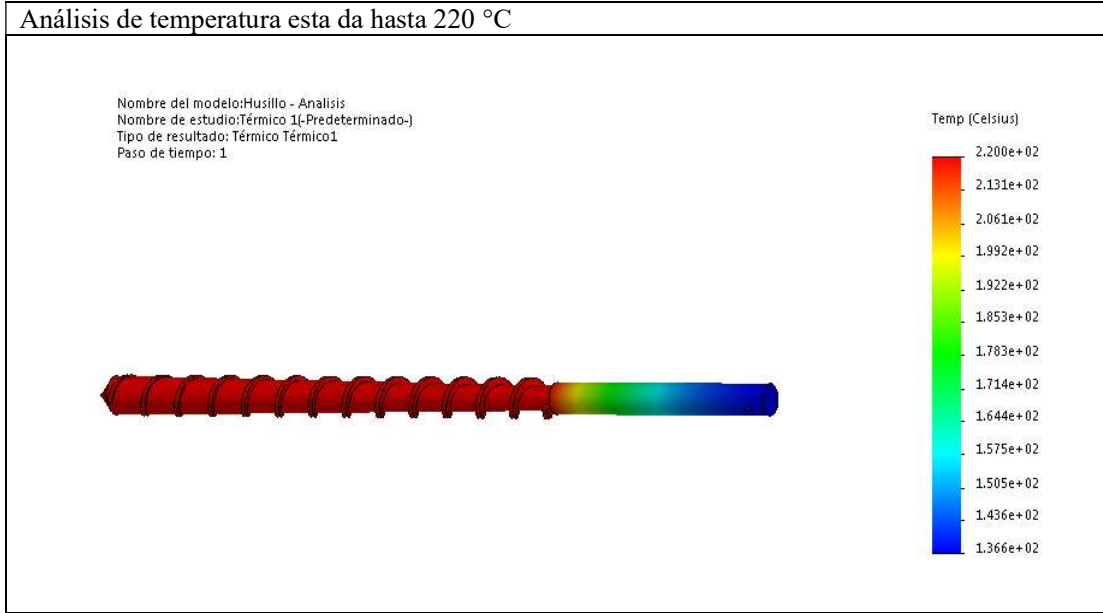


Tabla 5.11. Análisis de Temperatura del fluido inyectado

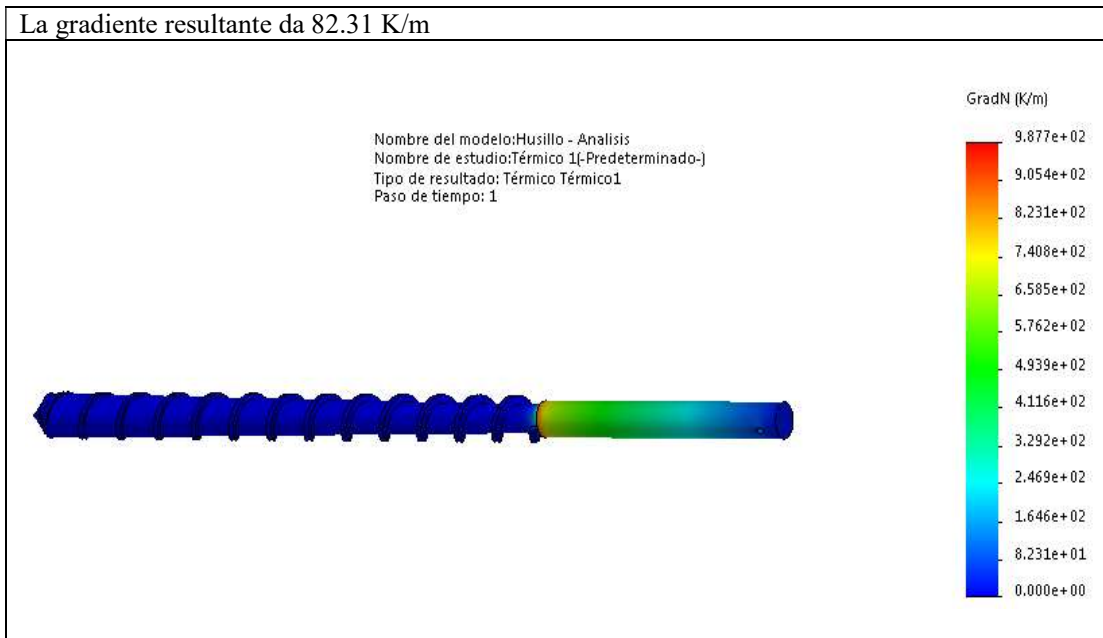


Tabla 5.12. Análisis del flujo de calor del fluido inyectado

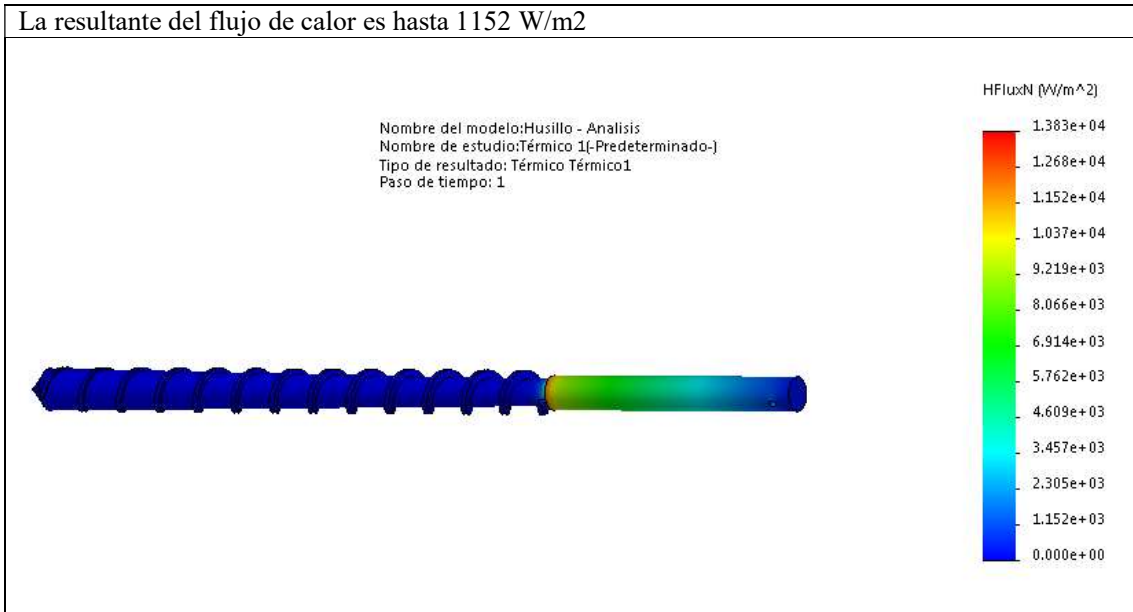
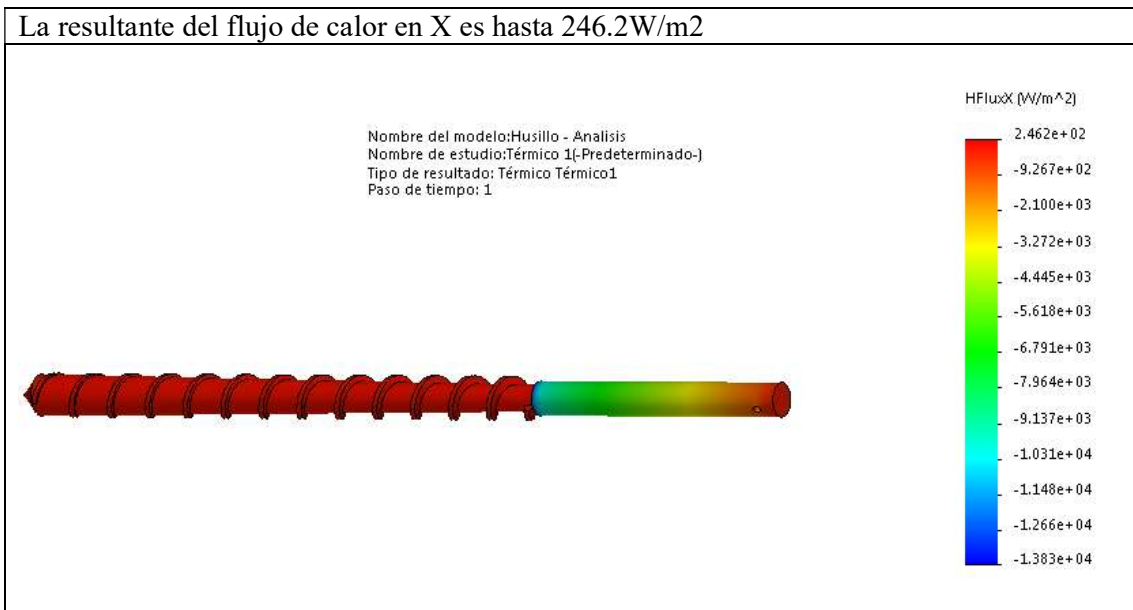


Tabla 5.13. Análisis del flujo de calor del fluido inyectado



5.10 Análisis de resultados del proceso de simulación de llenado de la pieza de inyección.

A continuación, se detalla los resultados y criterios obtenidos mediante la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de baja densidad MR50A

Tabla 5.14. Resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de baja densidad

TERMOPLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LLDPE MR50A					
Variables del proceso ensayadas		Variables del proceso ensayadas		Variables del proceso ensayadas	
Presión de inyección	15.1 MPa	Presión de inyección	22.1 MPa	Presión de inyección	25 MPa
Velocidad de inyección	2.6 m/s	Velocidad de inyección	4.8 m/s	Velocidad de inyección	7.7 m/s
Temperatura de inyección	130 °C	Temperatura de inyección	130 °C	Temperatura de inyección	130 °C
Resultados		Resultados		Resultados	
Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m ² K	Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m ² K	Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m ² K
Presión en el molde	2.737e-1 Pa	Presión en el molde	2.622e-1 Pa	Presión en el molde	8.506e-1 Pa
Velocidad de inyección	1.54 m/s	Velocidad de llenado	2.944 m/s	Velocidad de inyección	4.763 m/s
Manufacturable	No	Manufacturable	Si	Manufacturable	Si
Conclusión: Las piezas plásticas obtenidas mediante estas características no completaron su forma neta, y sus tolerancias dimensionales no son las requeridas. Las piezas no cumplen con los límites establecidos y parámetros de calidad.		Conclusión: Las piezas plásticas obtenidas mediante estas características completaron su forma neta, y cumplen con las tolerancias establecidas por el sistema de inyección. Las piezas cumplen con los límites establecidos y parámetros de calidad.		Conclusión: Las piezas plásticas obtenidas mediante estas características completaron su forma neta, pero se estaría saliendo de las tolerancias establecidas por el sistema de inyección. Las piezas cumplen con los parámetros de calidad, pero si se eleva la presión se puede generar algún daño en el molde y por ende en la pieza.	

5.11 Análisis de simulación de la pieza de inyección mediante Software CAD ANSYS

Tabla 5.15. Análisis de velocidad de inyección de la pieza inyectada

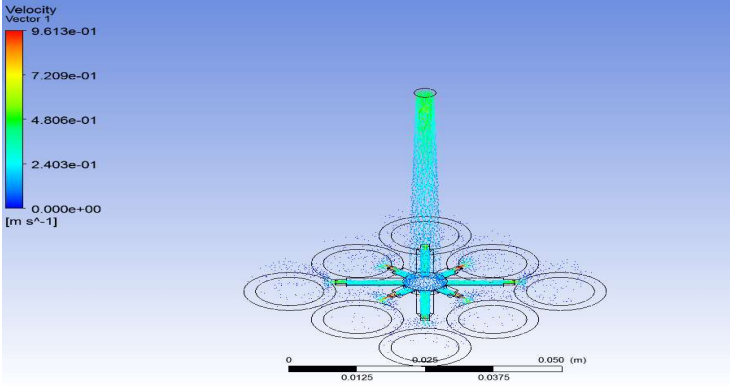
Velocidad de inyección
<p>Velocidad de inyección = 4.8 m/s $m = \rho * v/t = 910 \text{ Kg/m}^3 \times 0.000009012 \text{ m}^3 / 20.31 \text{ seg.}$</p> $m = \frac{\rho v}{t} = 0.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 9.01 \text{ cm}^3 * \left(\frac{1}{20.31 \text{ s}}\right) = 0.404 \frac{\text{g}}{\text{s}}$


Tabla 5.16. Análisis de línea de velocidad de inyección de la pieza inyectada

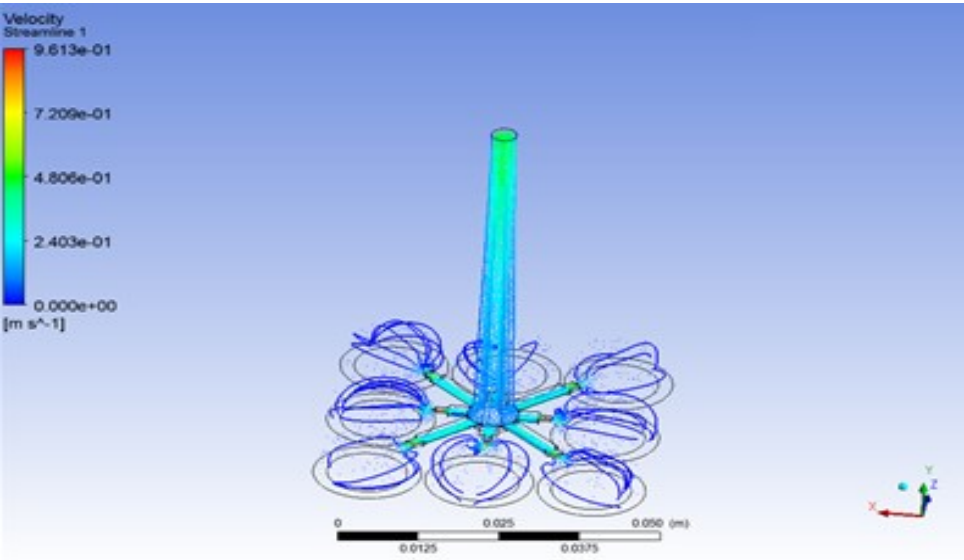
Línea de velocidad
<p>En el análisis de velocidad, se obtiene un valor de 2.403 m*s⁻¹ y mediante la escala de colores, presenta un color combinado entre azul y celeste, por lo que se da como aceptable el diseño según este tipo de análisis.</p>


Tabla 5.17. Análisis de proyección de velocidad de inyección de la pieza inyectada

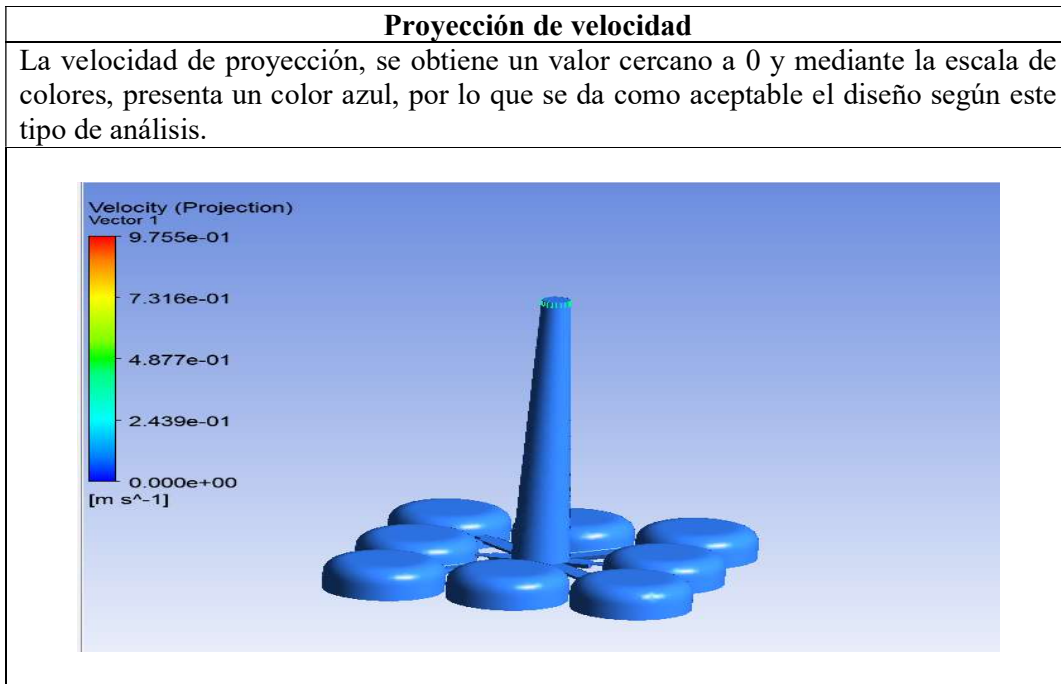


Tabla 5.18. Análisis de cizalladura de la pared del molde de inyección de la pieza inyectada

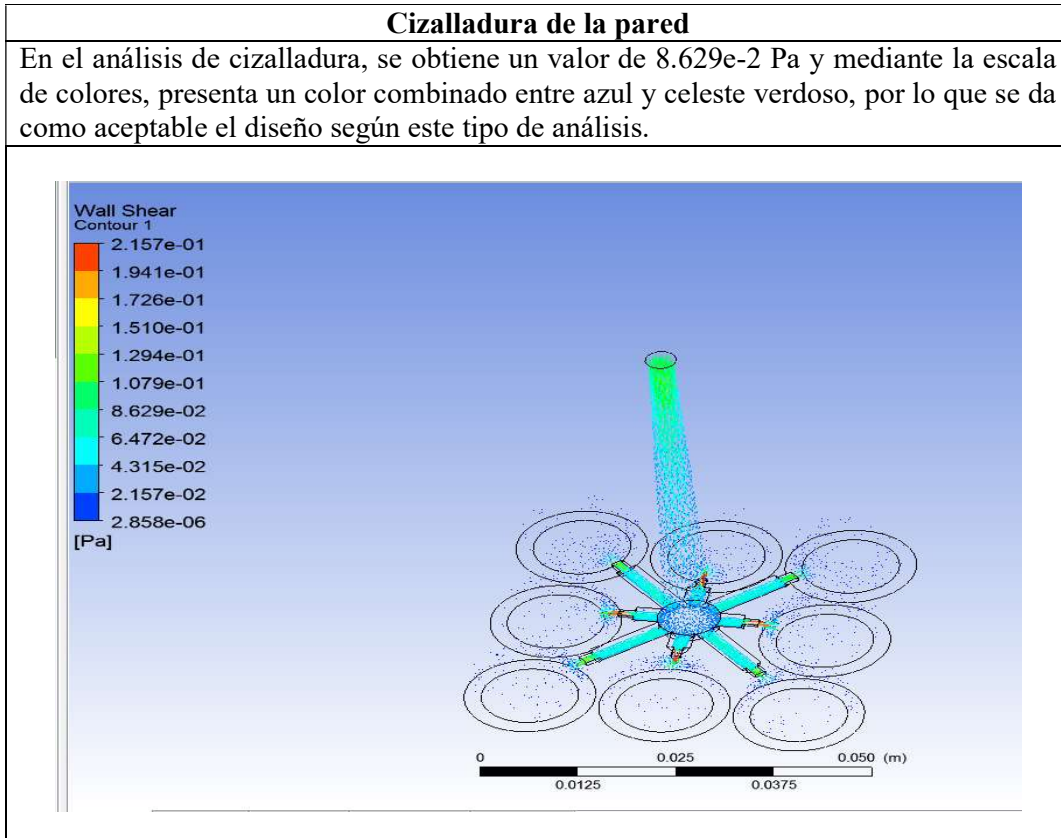
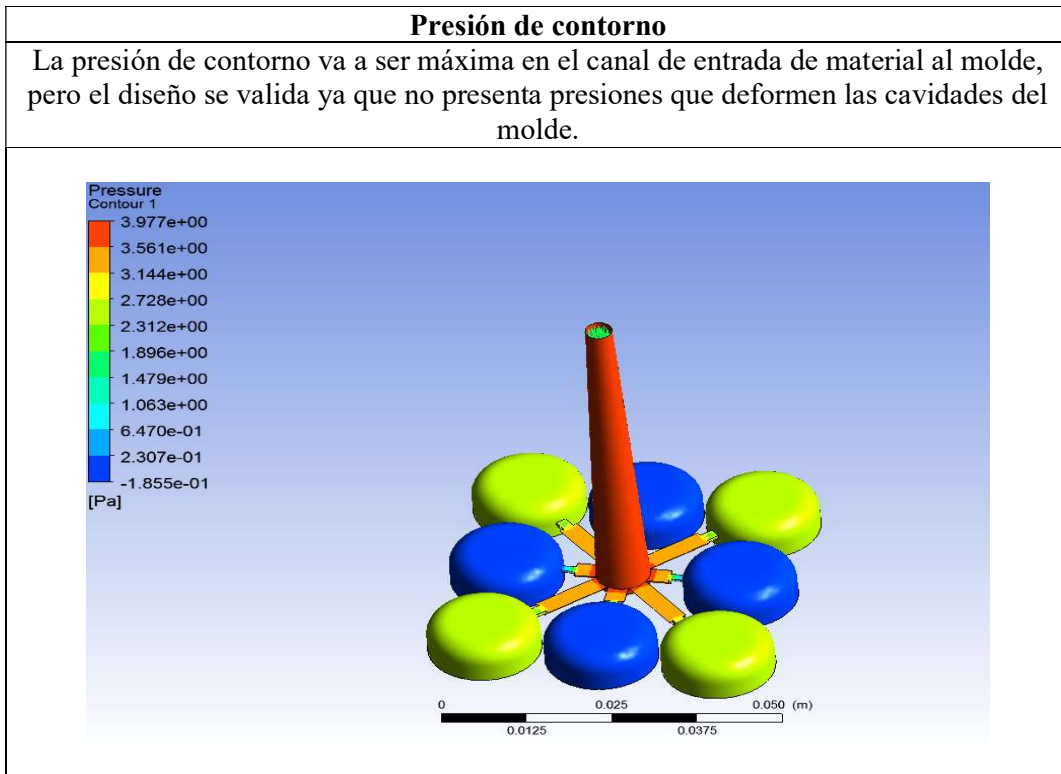


Tabla 5.19. Análisis de presión de contorno en el molde de inyección de la pieza inyectada



6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1 Análisis de Costos

Se analiza mediante este proceso los recursos y cantidades necesarias a considerar en el desarrollo del proyecto de tesis para garantizar la selección de los materiales al momento en el que se proceda a la adaptación del sistema de inyección a la máquina de extrusión de plásticos. Se detallan a continuación los costos de materiales, costos directos e indirectos del proyecto.

• Costos de Materiales

Se determina el costo del proyecto de tesis asumiendo los valores de los materiales seleccionados para la adaptación del sistema de inyección según referencia de precios encontrados en algunos catálogos de fabricantes los mismos que figuran valores de precio al mercado en este momento.

Tabla 6.1. Costos materiales.

Cantidad	Elementos	Precio Unit.	Costo
Sistema de Control			
1	PLC Logo Siemens 12/24 Rc	\$ 205	\$ 205
1	¡Siemens LOGO! Alimentación 24V 1,3A	\$ 119	\$ 119
1	Protección del sistema de control	\$ 30	\$ 30
3	Modulo Controlador de temperatura	\$ 40	\$ 120
3	Contacto de relé solido	\$ 15	\$ 45
1	Modulo Control (motor)	\$ 39	\$ 39
1	Pulsador de emergencia	\$ 4	\$ 4
1	Pulsador NA	\$ 2.69	\$ 2.69
3	Luces piloto	\$ 9.60	\$ 28.8
1	Módulo de entradas y salidas digitales	\$ 60	\$ 60
Sistema Hidráulico			
1	Motor eléctrico Monofásico 1.5 Hp 1750 Rpm	\$ 189.99	\$ 189.99
1	Bomba presión 280 bar	\$ 1070	\$ 1070
2	Válvulas direccionales tipo NG-6 350 bar	\$ 73.91	\$ 147.82
1	Tanque almacenamiento de aceite 3L	\$ 50	\$ 50
1	Pistón hidráulico de inyección serie 200	\$ 61.84	\$ 61.84
1	Pistón hidráulico de cierre 3.5 MPa	\$ 41.41	\$ 41.41
1	Divisor de flujo hidráulico	\$ 10	\$ 10
1	Filtro de retorno	\$ 25	\$ 25
5	Tubería 10mm	\$ 17	\$ 85
Protecciones Eléctricas			
1	Relé Termomagnético	\$ 25.67	\$ 25.67
1	Relé Térmico	\$ 14.89	\$ 14.89
1	Contactador Principal (Motor)	\$ 13.44	\$ 13.44
Materiales			
1	Plancha de Acero laminado ASTM A36, 3mm L=4m	\$ 440	\$ 440
1	Placa AISI 4140	\$ 350	\$ 350
1	Mesa metálica (estructura)	\$ 200	\$ 200
1	Otros materiales	\$ 200	\$ 200
1	Técnicos y mano de obra	\$ 2000	\$ 2000
TOTAL			\$ 5578.55

• **Costo de las horas de ingeniería en diseño.**

Para lograr el diseño conceptual de la máquina extrusora-inyectora de plástico de baja densidad se ha requerido de tiempo entre la realización de pruebas y corrección de errores. Para determinar el costo de la hora de trabajo se toma como referencia el salario básico en el Ecuador en la actualidad (año 2020) es de \$400 (cuatrocientos dólares) y de acuerdo a lo que estipula la Ley Laboral, donde menciona que durante la semana deben cumplirse las 40 horas laborales.

$$\#horas = horas\ diarias * dias\ laborables\ al\ mes$$

$$\#horas\ al\ mes = 160\ horas\ laboradas$$

$$Costo\ de\ la\ hora = \frac{Salario\ basico}{\#horas\ al\ mes}$$

$$Costo\ de\ la\ hora = \frac{\$400}{160} = \$2,50\ la\ hora$$

Tabla 6.2. Costos de diseño de ingeniería

Descripción	# horas	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Diseño mecánico	120	2,50	300
Ensamble	20	2,50	50
Programación	120	2,50	300
Simulación	70	2,50	175
Correcciones	100	2,50	250
Total			\$ 1075

• **Costos Directos.**

Tabla 6.3. Costos directos.

Descripción	Valor
Costos Materiales	5578.55
Costo horas de ingeniería	1075
TOTAL	6653.55

• **Costos Indirectos.**

Los Valores que intervienen en la fabricación del producto para complementar indirectamente la terminación del mismo.

Tabla 6.4 Costos Indirectos

Descripción	Valor
Gastos operativos (Impresiones)	100
Ingeniería en detalle e investigación	40
Otros	40
TOTAL	180

• **Costo total**

Tabla 6.5. Presupuesto

RUBRO	VALOR
Costos Directos.	6653.55
Costos Indirectos.	180
Presupuesto	6833.55

6.2 Análisis de impactos

• **Impacto Económico**

El estudio del impacto económico del diseño de una máquina extrusora-inyectora inyectora de plásticos está determinado bajo el análisis del VAN y TIR el mismo que ayuda a de medir la repercusión y los beneficios de la inversión en el proyecto postulante.

Análisis de VAN y TIR

En la tabla 6.6 se muestra el estudio de viabilidad que el proyecto genera en el mercado.

Tabla 6.6. Flujo de Caja Anual

PERIODOS	0	1	2	3	4	5
N° VENTAS		1	2	4	6	8
AUMENTO DE PRECIO %	0	0	2	2	2	2
PRECIO		5,568.19	5,679.55	5,793.14	5,909.01	6,027.19
INGRESO		5,568.19	11,359.10	23,172.57	35,454.03	48,217.48
EGRESO		4,454.55	8,909.10	17,818.20	26,727.30	35,636.40
FLUJO NETO		1,113.64	2,450.00	5,354.37	8,726.73	12,581.08

Se realiza una estimación de los valores de ingresos y egresos a través del flujo de caja anual del presente proyecto el mismo que arroja como resultado que una inversión inicial de 5,758.55 dólares mismos que al analizar la viabilidad con una tasa de interés del 12% proyecta como

resultado un VAN de 13,684.87 dólares y un TIR del 166%, concluyendo que el proyecto es factible ya que genera ganancias con una proyección a 5 años.

• Impacto Tecnológico

Los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi se sumarán y conocerán nuevas tecnologías mediante softwares de diseño y simulación de ingeniería mecánica los cuales son probablemente, las herramientas más potentes, versátiles y ubicuas que la sociedad estudiantil haya conocido. Con el afán de explotar el potencial de estas herramientas en procesos industriales generando una relación de conocimiento en el área de ingeniería permitiendo que a través del diseño se detecten fallas con gran precisión y control total antes de fabricar las máquinas respectivamente.

• Beneficios

Los beneficios que ofrece el presente trabajo de grado son:

Conocimiento acerca de los tipos de procesos para el moldeo de plásticos.

Conocimientos sobre sistemas extrusión-inyección de plásticos de baja densidad.

El plástico y su posición actual en el mercado industrial del Ecuador.

Conocimientos de maquinarias en la industria del plástico con funciones múltiples.

Enseñanza acerca de funciones de componentes y conjuntos que se pueden combinarse en la industria del plástico.

Conocimiento de normas y estándares nacionales e internacionales que conforman el diseño en ingeniería mecánica y los tratamientos del plástico.

Manipulación de softwares CAD para diseño conceptual Solidworks y manejo de la herramienta de análisis de elementos finitos ANSYS.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se concluyó de acuerdo a la simulación del diseño conceptual mediante software asistido por computadora (ANSYS) que para la calidad de la pieza inyectada con polietileno lineal de baja densidad la temperatura para el proceso ideal es de 130°C, con una presión de inyección de 22.1Mpa, con una ocupación de la unidad de inyección de 61.85%, la cual determina que el proceso se encuentra dentro de los parámetros que garantizan la entrega de un producto de calidad y competitivo al mercado industrial de productos fabricados por el método de inyección de plásticos.
- Se comprobó mediante cálculos y criterios de diseño conceptual que las características técnicas de la máquina extrusora de plásticos del Laboratorio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica como son la velocidad de 95 rpm y el rango de temperatura entre 0°C y 280°C, además de sus otros componentes son adecuadas para la adaptación del sistema de inyección de plásticos de baja densidad ya que mediante los requerimientos del diseño anterior se pudo acoplar el sistema mediante la simulación logrando así combinar los dos procesos en una sola máquina.
- El uso de herramientas tecnológicas de diseño de ingeniería mecánica como son los conocidos Softwares CAD Solidworks y Ansys permitieron desarrollar el diseño conceptual de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad los mismos que al ensayar el llenado de la pieza inyectada, las cargas y esfuerzos considerados para el nuevo diseño conceptual nos ayudaron a determinar según el criterio ingenieril que el proyecto mencionado cumple con los factores de seguridad garantizando la vida útil de la máquina una vez que se proceda con su construcción.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda que para la validación y comprobación de funcionalidad de la máquina extrusora-inyectora de plásticos de baja densidad se debe proceder a la fabricación y puesta en marcha de la máquina diseñada en esta propuesta tecnológica ya que esto ayudará a comprobar los parámetros, los componentes seleccionados y podrá ser mejorada según el criterio ingenieril para garantizar la calidad de productos mediante el proceso de inyección de plásticos y la vida útil de la máquina.

8. REFERENCIAS

- [1] “Iplast 2013 reúne a 12 países de la industria plástica – MarketingActivo.” <https://marketingactivo.wordpress.com/2013/08/23/iplast-2013-reune-a-12-paises-de-la-industria-plastica/> (accessed May 14, 2020).
- [2] M. Beltrán Rico and A. Marcilla, “Inyección,” *Tecnol. polímeros*, no. Ciencias, p. 276, 2011.
- [3] “El plástico en la industria Automotriz - Clúster Plástico.” <http://plastico.ebizor.com/el-plastico-en-la-industria-automotriz/> (accessed May 14, 2020).
- [4] F. Casa and H. Clavijo, *Universidad técnica de cotopaxi*, vol. 1. 2018.
- [5] F. Casa and H. Clavijo, “Universidad técnica de cotopaxi,” *Univ. Técnica Cotopaxi Fac.*, vol. 1, p. 101, 2018, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>.
- [6] “Estudios sectoriales: Plásticos by Cámara de Industrias de Guayaquil - issuu.” https://issuu.com/industrias/docs/cig-estudio_sectorial_pl_sticos (accessed May 14, 2020).
- [7] Universidad de Salamanca, “Los plásticos,” *Open Course*, p. 47, 2010, [Online]. Available: <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/materiales-ii/contenidos/PLASTICOS.pdf>.
- [8] “macromoléculas de los plásticos: junio 2012.” <http://trabajoquimica204.blogspot.com/2012/06/> (accessed May 14, 2020).
- [9] L. P. Method and T. Method, “EX,” 2014.
- [10] “Los Plásticos. Fabricación.” <http://aliso.pntic.mec.es/cm10029/PLASTICOS/fabricacion.html> (accessed May 14, 2020).
- [11] M. Beltrán and A. Marcilla, “Tema 4: Extrusión,” *Tecnol. Polímeros*, pp. 102–167, 2012, [Online]. Available: <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>.
- [12] R. A. Pérez, A. Torres, and M. V. Candal, “Efecto De Las Variables Del Proceso De Extrusión Sobre La Relación Estructura-Propiedades De Películas Tubulares De Pebd,” *Rev. Iber. Polímeros*, vol. 14, no. 6, pp. 257–274, 2013.
- [13] J. P. Dunne, R. P. Smith, M. Westerdal, A. Rights, and I. Copyright, *Kaos GL Derg.*, vol. 21, no. 75, pp. 147–173, 2002, doi: 10.1007/978-1-4614-7990-1.
- [14] M. L. Spaulding *et al.*, *Spill Sci. Technol. Bull.*, vol. 8, no. 1, pp. 698–703, 2002, doi: 10.1155/2013/704806.
- [15] S. Hidráulicos, “Sistemas hidráulicos.”
- [16] “14978335 hidraulica-mcmanual-hidraulica-para-maquinas-inyectoras.” <https://es.slideshare.net/LoquilloAravena/14978335-hidraulicamcmanualhidraulicaparamaquinasinyectoras> (accessed May 15, 2020).
- [17] V. Marti, “Tipos de moldes en inyección de plásticos - Vicedo Martí,” <https://www.vicedomarti.com/>.

- [18] “TIPOS DE MOLDE DE INYECCION by yoiner miranda on Prezi.” https://prezi.com/kwhj99rwp_ec/tipos-de-molde-de-inyeccion/ (accessed May 15, 2020).
- [19] “Variables ocultas en el proceso de inyección.” <http://www.plastico.com/temas/Variables-ocultas-en-el-proceso-de-inyeccion+125937?pagina=2> (accessed Aug. 28, 2020).
- [20] “INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS I | Tecnología de los Plásticos.” <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-i.html> (accessed May 14, 2020).
- [21] D. J. Francisco, “‘ Sistemas Híbridos de Producción ’ Trabajo Final de Postgrado Bombeo Mecánico - Gas Lift.”
- [22] “Diseño En Ingeniería Mecanica-Shigley.pdf.” .
- [23] I. Hector, R. Reinoso, P. Mg, I. Franklin, A. Molina, and B. Mg, *Teoria básica del diseño.* .
- [24] C. Riba, “Diseño concurrente,” 2002.
- [25] “Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso.” http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011 (accessed Jul. 06, 2020).
- [26] “Extrusora para grancear plástico ¿Qué es y cómo funciona? - Plástico.” <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html> (accessed Jul. 06, 2020).
- [27] 2018.
- [28] P. E. (Universit. of D. Robert L. Mott, “SUSFERRIN_Diseño_Elementos_Maquinas.pdf.” p. 871, 2006, [Online]. Available: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nrYd_BjTL0UC&oi=fnd&pg=PA1&dq=%22sistemas+de+unidades%22&ots=1BKp2eod9D&sig=SwoWt30msLlcScDpGeL1DGKzRGY#v=onepage&q=%22sistemas+de+unidades%22&f=false.

Acuña Ruiz Alex Patricio
 Proponente 1
 E-mail: alex.acuna5@utc.edu.ec
 Teléfono: 0969788489

Plasencia Alvarez María Adelaida
 Proponente 2
 E-mail: maria.plasencia8971@utc.edu.ec
 Teléfono: 0958843872

Ing. M.sc. Raúl Reinoso Peñaherrera MBA
 Profesor Tutor
 E-mail: raul.reinoso@utc.edu.ec
 Teléfono: 0987294435

ANEXOS