



**Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi**

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

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE  
BAJA Y ALTA DENSIDAD”**

**Autores**

Martínez Garcés Luis Daniel

Pallo Oña Wilson Fernando

**Tutor:**

Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

Latacunga – Ecuador

Agosto 2018



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Martínez Garcés Luis Daniel** y **Pallo Oña Wilson Fernando** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE BAJA Y ALTA DENSIDAD”**, 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.

**Martínez Garcés Luis Daniel**

C.I. 1804760492

**Pallo Oña Wilson Fernando**

C.I. 0503341448



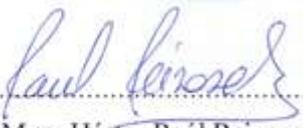
## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

**“DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE BAJA Y ALTA DENSIDAD”**, de **Martínez Garcés Luis Daniel y Palla Oña Wilson Fernando**, de la carrera **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**, 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 CIENCIA DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio 2018

El Tutor

  
.....  
Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA



## **AVAL DE 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; por cuanto, los postulantes: Martínez Garcés Luis Daniel con C.I. 1804760492 y Pallo Oña Wilson Fernando con C.I. 0503341448 con el título de Proyecto de Titulación:

“DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE BAJA Y ALTA DENSIDAD”

Considerando 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.

Latacunga, Julio 2018

Para constancia firman:

  
.....  
**Nombre:** Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún; M.sc.  
**CC:** 0501782437

  
.....  
**Nombre:** Ing. Mauro Darío Albarracín Álvarez; M.sc.  
**CC:** 0503113730

  
.....  
**Nombre:** Ing. Jorge Enrique Cañar Tercero; M.B.A.  
**CC:** 0502608227



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

Latacunga, Julio 2018

Ing. Héctor Luis Laurencio Alfonso Ph.D.

Docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi

**Presente. -**

En calidad del Tutor del Trabajo de titulación, confirmo la realización del proyecto: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE BAJA Y ALTA DENSIDAD”**, implementado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la carrera de Ingeniería Electromecánica; Martínez Garcés Luis Daniel con C.I. 1804760492 y Pallo Oña Wilson Fernando con C.I. 0503341448.

Acepto conocer y estar conforme con los términos y condiciones establecidas en el desarrollo de este proyecto, ya que se convierte en la primera herramienta de investigación en el análisis y estudio del proceso de moldeo por inyección de materiales termoplásticos de baja y alta densidad que continuara bajo una propuesta de análisis formativo.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para el interesado pueda hacer uso para los fines que crea conveniente.

Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA

## **DEDICATORIA**

Dedico toda mi vida universitaria primeramente a Dios, ya que él es mi fortaleza, sabiduría y mi Todo en cada instante. También a mis padres Luis y Silvia por el apoyo moral y económico en el transcurso de mi vida como estudiante. Y a mis hermanos Mónica y Kevin.

***LUIS DANIEL***

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a mi madre ya que gracias a su amor y apoyo me ha enseñado a nunca rendirme y a sobresalir sobre cualquier circunstancia, a mi padre que desde el cielo me cuida y protege a mi abuelita y hermanos lo quiero mucho y a toda mi familia por sus consejos para salir adelante.

***WILSON FERNANDO***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas y formarme profesionalmente, con conocimientos humanísticos y técnicos. A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, principalmente al Ingeniero Raúl Reinoso, quien supo guiarnos, de una manera eficaz en todo momento, para la finalización del presente proyecto.

***LUIS DANIEL***

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por la sabiduría, perseverancia y fuerza de lucha para alcanzar mis metas y sueños, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de culminar mis estudios superiores, al Ing. M.sc. Héctor Raúl Reinoso Peñaherrera MBA, por su paciencia y apoyo incondicional; ya que su asesoría permitió culminar con éxito este trabajo. A todas las personas que estuvieron presentes con palabras de motivación para que culmine este reto.

***WILSON FERNANDO***

## ÍNDICE GENERAL

<b>PORTADA</b> .....	i
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA</b> .....	ii
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN</b> .....	iii
<b>AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN</b> .....	iv
<b>AVAL DE IMPLEMENTACIÓN</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	viii
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	xviii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xxiii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xxvi
<b>RESUMEN</b> .....	xxvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xxviii
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN</b> .....	xviii
<b>1. INFORMACIÓN BÁSICA</b> .....	1
<b>2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA</b> .....	2
<b>2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA</b> .....	2
<b>2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE</b> .....	2
2.2.1. Tipo de proyecto .....	2
2.2.2. Alcance .....	2
<b>2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO</b> .....	3
<b>2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA</b> .....	3
<b>2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN</b> .....	3
2.5.1. Objeto de estudio .....	3
2.5.2. Campo de acción.....	3
<b>2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA</b> .....	4
2.6.1. Situación problemática.....	4
2.6.2. Problema .....	5
<b>2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES</b> .....	5
<b>2.8. OBJETIVO(S)</b> .....	5
2.8.1. Objetivo general.....	5
2.8.2. Objetivos específicos .....	5
<b>2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS</b> .....	6
<b>3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA</b> .....	7

<b>3.1. Marco referencial de diseño conceptual</b> .....	7
3.1.1. El despliegue de la función de la calidad .....	7
3.1.1.1. Innovación del producto.....	7
3.1.1.2. Herramientas efectivas del marketing .....	8
3.1.1.3. Comunicación interfuncional .....	8
3.1.1.4. Determinación de las prioridades de mejora continua .....	8
<b>3.2. Marco referencial del diseño ingenieril</b> .....	8
3.2.1. Método numérico: Dinámica de Fluidos Computacional .....	8
3.2.1.1. Ecuaciones aplicadas a la simulación dinámica de fluidos computacional .....	9
3.2.1.2. Etapas de la simulación de la dinámica de fluidos computacional .....	10
3.2.1.3. Aplicaciones de la simulación dinámica de fluidos .....	10
<b>3.3. Proceso de inyección</b> .....	11
<b>3.3.1. Material termoplástico</b> .....	12
3.3.1.1. Estructura del material termoplástico.....	12
3.3.1.2. Plásticos de ingeniería.....	14
3.3.1.3. Clasificación de los materiales termoplásticos.....	14
3.3.1.4. Densidad de material termoplástico .....	15
3.3.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales termoplásticos .....	16
<b>3.3.2. Máquina de moldeo por inyección para termoplásticos</b> .....	17
3.3.2.1. Configuración de la disposición de la unidad de cierre .....	17
3.3.2.2. Tipo y ciclo especial de máquina de inyección para termoplásticos.....	17
<b>3.3.3. Sistemas de la máquina de inyección para termoplásticos</b> .....	19
3.3.3.1. Sistema de plastificación.....	20
3.3.3.2. Sistema de cierre .....	21
3.3.3.3. Sistema de potencia.....	22
3.3.3.4. Sistema de alimentación.....	22
3.3.3.5. Sistema para la fundición del material .....	22
3.3.3.6. Sistema de inyección axial .....	22
<b>3.3.4. Moldes de inyección</b> .....	22
3.3.4.1 Molde Estándar .....	23
<b>3.3.5. Variables que intervienen en el proceso de inyección</b> .....	24
3.3.5.1. Temperatura de inyección .....	25
3.3.5.2. Temperatura del molde.....	25
3.3.5.3. Presión inicial o de llenado .....	25
3.3.5.4. Presión de mantenimiento o compactación.....	25

3.3.5.5. Presión posterior o de retroceso .....	25
3.3.5.6. Tiempo de inyección inicial .....	25
3.3.5.7. Tiempo de mantenimiento o compactación .....	25
3.3.5.8. Tiempo de enfriamiento .....	25
<b>4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Enfoque de la investigación.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Métodos de investigación.....</b>	<b>26</b>
4.2.1. Método hipotético – deductivo.....	26
4.2.2. Método sistémico .....	26
4.2.3. Método matemático.....	27
4.2.4. Métodos empíricos .....	27
<b>4.3. Operacionalización de variables .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4. Metodología para el ensayo por el método de elementos finito FEM/FEA .....</b>	<b>27</b>
4.4.1. Análisis funcional de la pieza.....	27
4.4.2. Selección del material termoplástico.....	28
4.4.3. Diagrama de procesos (Etapa de pre-procesamiento y post-procesamiento).....	30
<b>4.5. Metodología para el análisis estructural del elemento inyectado por el método de elementos finitos FEM-FEA .....</b>	<b>31</b>
4.5.1. Pre-Procesamiento.....	32
4.5.2. Post-Procesamiento .....	32
<b>4.6. Metodología para el diseño de la máquina de inyección de materiales termoplásticos.....</b>	<b>32</b>
4.6.1. Determinación de las especificaciones de la máquina de inyección para la manufactura de engranajes plásticos .....	32
4.6.2. Definición y diseño conceptual de la máquina de inyección para termoplásticos ..	34
<b>4.7. Metodología para el diseño de detalle .....</b>	<b>39</b>
<b>5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. Ensayo por el método de elementos finito FEM/FEA.....</b>	<b>53</b>
5.1.1. Elemento de ensayo.....	53
5.1.2. Materiales termoplásticos para el ensayo .....	53
5.1.3. Etapa de pre-procesamiento .....	55
5.1.4. Resultados de la etapa de post-procesamiento .....	58
<b>5.2. Engranaje sometido al ensayo estructural.....</b>	<b>60</b>
<b>5.3. Diseño conceptual.....</b>	<b>60</b>
5.3.1. Especificaciones de la máquina de inyección para la manufactura de engranajes plásticos.....	60

5.3.2. Análisis funcional de la máquina de inyección para termoplásticos.....	63
<b>5.4. Diseño de detalle.....</b>	<b>67</b>
5.4.1. Estructura de la máquina de inyección para termoplásticos .....	67
5.4.2. Parámetros de diseño.....	68
5.4.3. Diseño de elementos mecánicos de la máquina inyectora .....	69
5.4.3.1. Sistema de inyección.....	69
5.3.3. Especificaciones de la máquina de inyección .....	91
5.3.4 Análisis de esfuerzos para el conjunto de la máquina de inyección .....	92
<b>6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1. Presupuesto.....</b>	<b>94</b>
6.1.1. Costos Directos .....	95
6.1.2. Costos indirectos .....	98
6.1.3. Costo Total .....	98
<b>6.2. Impactos técnicos, sociales y ambientales.....</b>	<b>99</b>
6.2.1. Impactos epistemológicos .....	99
6.2.2. Impactos técnicos .....	100
6.2.3. Impactos ambientales .....	100
6.2.4. Impactos Sociales.....	100
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
ANEXO I. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS .....	108
ANEXO II. PROPIEDADES DE LA FAMILIA DE TERMOPLÁSTICOS TÉCNICOS O DE INGENIERÍA .....	109
ANEXO III. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO DE INGENIERIA .....	110
ANEXO IV. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	111
ANEXO V. PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO PARA ALTA Y BAJA DENSIDAD.....	113
ANEXO VI. PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES DEL ENSAYO ESTRUCTURAL AL ENGRANAJE.....	138
ANEXO VII. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ENSAYO NYLON PA6 .....	144
ANEXO VIII. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ENSAYO LLDPE IN34.....	145

ANEXO IX. ELEMENTOS PARA ESTRUCTURA DE MÁQUINA.....	146
ANEXO X. ELEMENTOS PARA EL CILINDRO DE MÁQUINA.....	147
ANEXO XI. ELEMENTOS PARA EL TORNILLO HELICOIDAL DE INYECCIÓN Y ENGRANAJE.....	148
ANEXO XII. ELEMENTOS PARA LA TOLVA.....	149
ANEXO XIII. MOTOR ELÉCTRICO .....	150
ANEXO XIV. MOLDE DE INYECCIÓN FUTABA.....	151
ANEXO XV. RESISTENCIA ELÉCTRICA .....	153
ANEXO XVI. ACTUADOR HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE EMPUJE DE INYECCIÓN.....	154
ANEXO XVII. ACTUADOR HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE CIERRE DEL MOLDE .....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Beneficiarios del proyecto.....	3
<b>Tabla 2.2.</b> Sistema de actividades por objetivos.....	6
<b>Tabla 3.1.</b> Termoplásticos clasificados por medio de la polimerización.....	12
<b>Tabla 3.2.</b> Grupos de termoplásticos.....	15
<b>Tabla 3.3</b> Rango de densidades para polietileno.....	16
<b>Tabla 4.1.</b> Criterios de selección y ponderación para la selección del material termoplástico.....	28
<b>Tabla 4.2.</b> Alternativas de material termoplástico de baja densidad.....	29
<b>Tabla 4.3.</b> Alternativas de material termoplástico de baja densidad.....	29
<b>Tabla 4.4.</b> Etapas de la simulación con el software FEM-FEA.....	30
<b>Tabla 4.5.</b> Dimensiones geométricas del engranaje.....	30
<b>Tabla 4.6.</b> Valores para la configuración engranaje a ser sometido al ensayo estructural.....	32
<b>Tabla 4.7.</b> Configuración de la casa de la calidad.....	33
<b>Tabla 4.8.</b> Criterios de ponderación.....	35
<b>Tabla 4.9.</b> Matriz de alternativas para el sistema de alimentación.....	36
<b>Tabla 4.10.</b> Matriz de alternativas para el sistema de fundición de material.....	36
<b>Tabla 4.11.</b> Matriz de alternativas para el Sistema de plastificación.....	37
<b>Tabla 4.12.</b> Matriz de alternativas para el sistema de sistema de accionamiento y potencia.....	37
<b>Tabla 4.13.</b> Matriz de alternativas para el sistema de cierre de molde.....	38
<b>Tabla 4.14.</b> Matriz de alternativas para la configuración de la disposición de la inyección.....	38.
<b>Tabla 4.15.</b> Matriz de alternativas para la configuración de la disposición de la inyección.....	39
<b>Tabla 4.16.</b> Configuración geométrica del tornillo helicoidal de inyección.....	40
<b>Tabla 4.17.</b> Caudal volumétrico. Relación desde el ingreso de la tolva hasta boquilla.....	40
<b>Tabla 4.18.</b> Potencia ejercida por el tornillo helicoidal de inyección.....	42
<b>Tabla 4.19.</b> Presión máxima y presión de operación.....	42
<b>Tabla 4.20.</b> Esfuerzos en el cilindro de inyección.....	43
<b>Tabla 4.21.</b> Las zonas del tornillo helicoidal de inyección.....	44
<b>Tabla 4.22.</b> Configuración de los filetes del tornillo helicoidal de inyección.....	46
<b>Tabla 4.23.</b> Esfuerzos en el tornillo helicoidal de inyección.....	48
<b>Tabla 4.24.</b> Volumen de la tolva.....	49

<b>Tabla 4.25.</b>	Recorrido axial del tornillo helicoidal de inyección.....	50
<b>Tabla 4.26.</b>	Boquilla de inyección.....	50
<b>Tabla 4.27.</b>	Fundición del material a través de resistencias eléctricas.....	51
<b>Tabla 4.28.</b>	Fuerza de cierre.....	52
<b>Tabla 4.29.</b>	Clasificación de las máquinas de inyección de acuerdo a la fuerza de cierre.....	52
<b>Tabla 4.30.</b>	Actuador neumático para la inyección y cierre de la matriz del molde.....	52
<b>Tabla 5.1.</b>	Descripción general de la pieza.....	53
<b>Tabla 5.2.</b>	Matriz de selección de termoplástico de baja densidad.....	53
<b>Tabla 5.3.</b>	Matriz de selección de termoplástico de baja densidad.....	54
<b>Tabla 5.4.</b>	Matriz de selección del termoplástico ideal.....	54
<b>Tabla 5.5.</b>	Propiedades del Nylon 6.....	56
<b>Tabla 5.6.</b>	Propiedades del IN34.....	57
<b>Tabla 5.7.</b>	Presiones para la simulación.....	57
<b>Tabla 5.8.</b>	Velocidades para la simulación.....	57
<b>Tabla 5.9.</b>	Discusión de los resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de alta densidad.....	58
<b>Tabla 5.10.</b>	Discusión de los resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de baja densidad.....	59
<b>Tabla 5.11.</b>	Discusión de resultados del engranaje sometido al ensayo estructural.....	66
<b>Tabla 5.12.</b>	Casa de la calidad de la máquina de inyección de materiales termoplásticos ...	68
<b>Tabla 5.13.</b>	Matriz de ponderación del sistema de alimentación.....	70
<b>Tabla 5.14.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de fundición de material.....	70
<b>Tabla 5.15.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de inyección.....	71
<b>Tabla 5.15.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de inyección.....	71
<b>Tabla 5.16.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de potencia.....	71
<b>Tabla 5.17.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de empuje de inyección.....	72
<b>Tabla 5.18.</b>	Matriz de ponderación para el sistema de cierre de molde.....	72
<b>Tabla 5.19.</b>	Matriz de ponderación para la configuración de la disposición de inyección.....	73
<b>Tabla 5.20.</b>	Configuración de la maquina inyectora para termoplásticos.....	73
<b>Tabla 5.21.</b>	Parámetros de diseño.....	74
<b>Tabla 5.22.</b>	Las especificaciones de la máquina de inyección.....	98
<b>Tabla 5.23.</b>	Masa Total del conjunto de la máquina de inyección.....	99
<b>Tabla 6.1.</b>	Materiales para la construcción de la estructura.....	102

<b>Tabla 6.2</b> Elementos para la construcción del cilindro.....	103
<b>Tabla 6.3</b> Elemento para la construcción del tornillo helicoidal de inyección.....	103
<b>Tabla 6.4</b> Elemento para la construcción del engrane.....	103
<b>Tabla 6.5.</b> Elementos para la construcción de la tolva.....	103
<b>Tabla 6.6.</b> Elementos de control.....	104
<b>Tabla 6.7.</b> Elementos de sujeción y fijación.....	104
<b>Tabla 6.8.</b> Costos Indirectos.....	105
<b>Tabla 6.9.</b> Costo Directo e indirecto.....	105
<b>Tabla 6.10.</b> Análisis VAN -TIR.....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1.</b> Estructura de un termoplástico amorfo y semi-cristalino.....	13
<b>Figura 3.2.</b> Esquema del proceso de enfriamiento de un polímero amorfo y semi-cristalino y cambios dimensionales asociados a cambios estructurales.....	13
<b>Figura 3.3.</b> Representación esquemática de las cuatro direcciones principales de trabajo de las unidades de cierre en máquina de inyección.....	17
<b>Figura 3.4.</b> Fase de dosificación.....	18
<b>Figura 3.5.</b> Fase de llenado.....	18
<b>Figura 3.6.</b> Fase de compactación.....	19
<b>Figura 3.7.</b> Fase de enfriamiento y posterior expulsión.....	19
<b>Figura 3.8.</b> Sistemas de la máquina de inyección.....	20
<b>Figura 3.9.</b> Tipos de tornillo helicoidal de inyección.....	20
<b>Figura 3.10.</b> Tornillo helicoidal de inyección.....	21
<b>Figura 3.11.</b> Arrastre de fuerza (cilindros hidráulicos) y arrastre de forma (cierres mecánicos).....	21
<b>Figura 3.12.</b> Función jerarquizada de un molde.....	23
<b>Figura 3.13.</b> Molde de dos placas (molde estándar) .....	
<b>Figura 3.14.</b> Tipos de porta moldes estándar.....	24
<b>Figura 4.1.</b> Función Global.....	35
<b>Figura 4.2.</b> Diagrama para determinar la presión de inyección, mediante el espesor de pared y la longitud de recorrido.....	44
<b>Figura 5.1.</b> Boceto de pieza para ensayo.....	55
<b>Figura 5.2.</b> Mallado del engranaje.....	55
<b>Figura 5.3.</b> Posicionamiento del inyector.....	56
<b>Figura 5.4.</b> Cargas que actúan en el tonillo helicoidal de inyección.....	87
<b>Figura 5.5.</b> Tolva Cilíndrica.....	92
<b>Figura 5.6.</b> Engranaje de transmisión de potencia.....	94
<b>Figura 5.7.</b> Selección del molde estándar en software .....	96
<b>Figura 5.8.</b> Deformación en el eje X.....	99
<b>Figura 5.9.</b> Deformación Total.....	99
<b>Figura 5.10.</b> Factor de seguridad.....	100

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TITULO: “DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE  
BAJA Y ALTA DENSIDAD”**

**Autores:**

**Martínez Garcés Luis Daniel  
Pallo Oña Wilson Fernando**

**RESUMEN**

El moldeo por inyección permite la manufactura de una gran variedad de piezas con ventajas únicas, como la rapidez de fabricación y los altos niveles de producción a bajos costos. Los equipos mecanizados de alta precisión y los rigurosos controles en la fabricación permiten que la materia prima se pueda transformar en un producto terminado de formas exactas con altos estándares de calidad y totalmente adaptables a las necesidades de los clientes para que su inversión resulte rentable. El presente proyecto está enfocado en el diseño de una máquina de inyección de materiales termoplásticos de alta y baja densidad con una masa de inyección de 200 a 300 gramos de mediana capacidad de producción, mediante el análisis del llenado de la pieza a producir y del proceso de inyección por el método de elementos finitos, usado un software de simulación FEM-FEA, donde se configuran las condiciones de contorno de simulación, se obtienen los parámetros ideales de las variables del proceso de inyección que sirven como datos de partida para el diseño de la máquina. El elemento ensayado es un engranaje plástico para bandas transportadoras, donde se simula el llenado de la pieza en el interior del molde para determinar los problemas que afectan directamente a la calidad del producto. Se determinan los esfuerzos mecánicos de tensión, flexión y el factor de seguridad al elemento inyectado mediante un ensayo de seguridad estructural para garantizar la vida de servicio. La materia prima a procesar por la maquina es el NYLON PA6 y el LLDPE IN34, la cual se definió mediante criterios de selección para cumplir con los requerimientos técnicos, económicos y de disponibilidad en el mercado local y nacional. Finalmente se realiza un análisis funcional de la maquina donde se la compara con las existentes en el mercado con el fin de determinar los costos de adquisición y la capacidad de producción.

**Palabras claves:** Elementos Finitos, Inyectora, Termoplásticos de baja y alta densidad.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**

**FACULTY OF SCIENCES OF THE ENGINEERING AND APLLIED**

**TOPIC: "DESIGN OF A THERMOPLASTIC INJECTION MACHINE: HIGH AND LOW DENSITY"**

**Authors:**

Martínez Garcés Luis Daniel  
Pallo Oña Wilson Fernando

**ABSTRACT**

Injection molding allows the manufacture a wide variety of parts with unique advantages, such as fast manufacturing and high production levels at low costs. High precision machined equipment and strict manufacturing controls allow the raw materials to be transformed into a finished product, in exact shapes with high quality standards and very adaptable to customer necessities to make the investment profitable.

This research is focused on the machine design for the injection of high and low density thermoplastic materials with an injection mass of 200 to 300 grams of medium production capacity, through the analysis of the part to be produced and the injection process by the finite element method, using FEM-FEA simulation software, where the simulation outline conditions are set, the ideal parameters are obtained of the injection process variables that serve as starting data for the machine design.

The element tested is a plastic gear for conveyor belts, where the filling process was analyzed to determine the problems that directly affect the product quality. Mechanical tensioning strain were determined: strain, bending and safety factor of the injected element it means a structural safety test to ensure the service element life.

The raw material to be processed by the machine is NYLON PA6 for high-density thermoplastics and LLDPE IN34 for low-density thermoplastics, which must meet the technical and economic requirements and availability in the local and national market. Finally, a functional and cost machine analysis was carried out where it was compared with the existing ones in the market in order to determine the acquisition costs and the production capacity.

**Keywords:** Finite Elements, Injector, Low and High density thermoplastics



## *AVAL DE TRADUCCIÓN*

En calidad de Docente del Idioma Inglés del centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del Proyecto de Titulación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas , **Martínez Garcés Luis Daniel y Pallo Oña Wilson Fernando**, cuyo título versa: “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA INYECTORA DE TERMOPLÁSTICOS DE BAJA Y ALTA DENSIDAD**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Julio del 2018

Atentamente,



Lic. Nelson Guargchinga Ch.  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS  
C.C. 0503246415



## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **Propuesto por**

Martínez Garcés Luis Daniel

Pallo Oña Wilson Fernando

### **Tema aprobado**

Diseño de una máquina inyectora de termoplásticos de baja y alta densidad.

### **Carrera**

Ingeniería 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: Pallo Oña Wilson Fernando  
Cédula de Ciudadanía: 050334144-8  
Correo electrónico: wilson.pallo8@utc.edu.ec  
Dirección: Parroquia Chantilin, Saquisilí, Cotopaxi.

#### **Coordinador 2:**

Nombre: Martínez Garcés Luis Daniel  
Cédula de Ciudadanía: 180476049-2  
Correo electrónico: luis.martinezg2@utc.edu.ec  
Dirección: Parroquia Atahualpa, Ambato, Tungurahua

### **Lugar de ejecución**

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

**Tiempo de duración del proyecto**

2017 - 2018

**Fecha de entrega**

Agosto - 2018

**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.

**Sublínea 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 inyectora de termoplásticos de baja y alta densidad.

**2.2. TIPO DE PROPUESTA ALCANCE****2.2.1. Tipo de proyecto**

El tema de estudio fue un proyecto de tipo productivo e integrador ya que se convirtió en una alternativa de producción de productos plásticos de pequeño alcance a bajo costo, también sirve como una herramienta de refuerzo y demostración de la teoría impartida en clases sobre la inyección de plástico, permitiendo a los estudiantes ampliar sus conocimientos sobre este proceso, los elementos y sistemas que lo conforman.

**2.2.2. Alcance**

El presente proyecto tuvo como alcance dimensionar una máquina de inyección de materiales termoplásticos con una capacidad de producir elementos plásticos de masa inyectada que oscila entre 200 a 300 gramos, mediante el análisis del proceso por el método de elementos finitos, se configuró las condiciones de contorno que garantizan piezas inyectadas de buena calidad, eliminado los problemas de llenado, con lo cual se reducen los costos de fabricación y producción.

### **2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO**

Según la fuente [1], el contenido de la investigación tiene afinidad en el área de Ingeniería, industria y construcción, y posee la sub área denominada producción de materiales plásticos.

### **2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

El presente proyecto está enfocado en el diseño de una máquina de inyección de termoplásticos de alta y baja densidad, ya que el principal interés de trabajar con una máquina inyectora de plástico es lograr procesar los diferentes tipos de termoplásticos que existen a nivel industrial además tomar conciencia de la importancia de la utilización del plástico como materia prima para producir diversidad de productos. 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. El objetivo de este trabajo fue el suministrar a la carrera de Ingeniería Electromecánica de una herramienta de investigación para determinar y analizar las diferentes variables que intervienen en el proceso de manufactura y procesamiento de materiales termoplásticos de alta y baja densidad. La investigación se basó en el proceso de inyección, por ser el más difundido actualmente y el que presenta una mayor cantidad de productos fabricados utilizables en la vida diaria. Los beneficiarios de los resultados del presente proyecto son todos aquellos relacionados con el análisis de manufacturación plástica y que se verán favorecidos con la realización del mismo.

**Tabla 2.1.** Beneficiarios del proyecto

<b>Directos</b>	Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica
<b>Indirectos</b>	Sector productivo relacionado al sector plástico

**Realizado por:** Autores

### **2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN**

#### **2.5.1. Objeto de estudio**

Comportamiento de los materiales termoplásticos de alta y baja densidad (poliamidas, polietileno de baja densidad) en el proceso de fabricación de piezas plásticas por inyección.

#### **2.5.2. Campo de acción**

Variables que influyen en el proceso de transformación y manufactura de materiales termoplásticos (temperatura, presión, velocidad de inyección) para aplicaciones de ingeniería.

## **2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA**

### **2.6.1. Situación problemática**

Los plásticos en la actualidad se han consolidado como materia principal para los procesos de manufactura, debido a sus distintas aplicaciones y características como: resistencia al ataque químico, bajo peso relativo, buen aislante eléctrico y térmico, comportamiento visco elástico, bajo punto de fusión entre otras.

Los plásticos son materias primas de alto rendimiento y sus distintas aplicaciones están destinadas a la fabricación y creación de productos de uso diario o de enfoque industrial como: partes de automóviles, accesorios de tubería, utensilios para el hogar, equipos eléctricos o electrónicos, textiles, etc.

La manufactura de los materiales plásticos se los realiza de acuerdo al alcance de producción que tiene cada industria, ya que el tratamiento cuidadoso de cada una de las propiedades de los polímeros se consigue mediante procesos complejos de conformado, pero a la vez muy precisos. Resaltando en la actualidad el moldeo por inyección, el cual se ha convertido en una herramienta pionera para la obtención de piezas plásticas en la industria, y tiene como prioridad la producción a pequeña, mediana y gran escala de elementos poliméricos con diferentes tipos de moldes a bajos costos.

En el conformado y manufactura de un material plástico por inyección intervienen varios factores que tienen que ser analizados, a los que se denominan variables del proceso de inyección las cuales condicionan el acabado y terminación de un producto, el cual debe cumplir con diferentes parámetros de calidad que están regulados bajo estándares y normativas.

En el proceso de moldeo por inyección existen una gran cantidad de problemas donde no se puede obtener la solución exacta ya que por lo general estos son modelos matemáticos de situaciones físicas. Los modelos matemáticos son sistemas de ecuaciones diferenciales con un correspondiente grupo de condiciones iniciales y de borde. Cuando se da solución exacta a las ecuaciones gobernantes, se obtiene el comportamiento detallado del sistema.

Para dar solución a este tipo de problemas se utilizan las aproximaciones numéricas; una de las aproximaciones numéricas más usadas en ingeniería es la del método de los elementos finitos. En la industria el uso de softwares FEM–FEA (finite element method – finit element analys) tiene varias aplicaciones como: análisis estáticos, dinámicos, de transferencia de calor y de flujo de fluidos al momento de la inyección plástica, el cual, permite predecir las acciones de las condiciones de contorno de la pieza plástica, destinada a producir

El método de análisis por elementos finitos MEF es un procedimiento numérico que puede ser usado para dar soluciones a una gran cantidad de problemas al momento de la inyección plástica, donde se involucren análisis de tensiones, transferencia de calor y flujo de fluidos, ya que es una herramienta que permite determinar el comportamiento del material durante el proceso de inyección plástica y al momento del llenado en el molde.

### **2.6.2. Problema**

En el proceso de inyección existen un sin número de problemas, que afectan directamente a la producción y calidad de un producto inyectado como son: piezas incompletas sin llenar, rebabas, hundimientos, rechupes, porosidades, marcas de expulsores, etc.

Para limitar estos problemas se deben controlar las variables del proceso, mediante un análisis y simulación de llenado de la pieza destinada a producir y del proceso de inyección, con la finalidad de obtener datos relevantes que condicionen y determinen los valores ideales de las variables del proceso y permitan diseñar un modelo de máquina de inyección que garantice la manufactura de piezas sin problemas de llenado, con parámetros de calidad aceptables y reduzca los costos de adquisición y fabricación.

Para lo cual se pretende determinar ¿Cómo influyen las variables del proceso de inyección (presión, temperatura y velocidad) en la calidad de un producto termoplástico inyectado?

## **2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTAS DIRECTRICES**

La calidad de un producto termoplástico inyectado dependerá de las condiciones de contorno (control) de las variables que influyen en el proceso de inyección (temperatura, presión y velocidad), mediante el análisis de llenado de una pieza plástica a inyectar y el diseño de un prototipo de máquina inyectora de materiales termoplásticos.

## **2.8. OBJETIVO(S)**

### **2.8.1. Objetivo general**

Diseñar, analizar y simular por el método de elementos finitos MEF, un prototipo de máquina inyectora de materiales termoplásticos de alta y baja densidad, como forma de validación de la calidad de un producto plástico inyectado.

### **2.8.2. Objetivos específicos**

- Determinar el flujo de trabajo y de procesamiento para una maquina inyectora de materiales termoplásticos.

- Configurar las condiciones de contorno (simular) del proceso de inyección plástica por el método de elementos finitos para determinar los valores óptimos de las variables del proceso.
- Generar un diseño conceptual y de detalle para una maquina inyectora de materiales termoplásticos de alta y baja densidad.

## 2.9. DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 2.2. Sistema de actividades por objetivos

Objetivos	Actividades	Resultados de la Actividad	Descripción de la Actividad
Determinar el flujo de trabajo y de procesamiento para una maquina inyectora de materiales termoplásticos.	Estudio del principio de funcionamiento, operación, producción y mantenimiento de las máquinas de inyección plástica mediante consulta en fuentes bibliográficas, virtuales y visitas a las principales empresas locales procesadoras de materiales plásticos.	Seleccionar la configuración de los sistemas que conforman la máquina de inyección	Investigación documental y de campo
Configurar las condiciones de contorno (simular) del proceso de inyección plástica por el método de elementos finitos para determinar los valores óptimos de las variables del proceso.	Manejo de software FEM/FEA, para determinar el comportamiento del fluido al comienzo y fin del ciclo de inyección y de llenado en el molde.	Parámetros ideales de las variables del proceso de inyección: presión, velocidad y temperatura.	Utilización de software FEM/FEA
Generar un diseño conceptual y de detalle para una maquina inyectora de materiales termoplásticos de alta y baja densidad.	Determinar los requerimientos funcionamiento, operación y económicos, de una máquina de inyección, para establecer un diseño de detallado de la maquina	Diagrama de función global y solución a sistemas de la maquina mediante alternativas	Investigación documental de la casa de la calidad QFD
	Uso de ecuaciones y modelos matemáticos para dimensionar cada uno de los sistemas de la maquina	El alcance productivo y características técnicas de la máquina.	Memoria de cálculo y uso de software CAD

Realizado por: Los autores

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA**

La intervención del proceso de inyección ofrece amplias posibilidades de racionalización desde el punto de vista de producción y economía y se extienden a un dilatado campo de aplicaciones. En el presente punto se describe un marco de referencia, que tiene la utilidad de adjuntar información para la investigación de modo conceptual e ingenieril, para el desarrollo de productos plásticos mediante la transformación de materias termoplásticas de estado sólido a líquido, y a su vez introducidas a la cavidad de un molde.

#### **3.1. Marco referencial de diseño conceptual**

A mediados del siglo 20, la competencia global comenzó a ser intensiva [2], debido a que cada una de las empresas día tras día aspira un alto nivel de productividad, siendo obligadas a inquirir un menor costo y a la vez mayor calidad de sus productos, siendo esto la mayor preocupación de muchas empresas.

Es así, que partir de ese problema en 1970 personas en Japón crearon un método llamado implementación de la función de la calidad QFD (Quality Function Deployment), lo cual llevó a las empresas manufactureras y de servicio a cambiar las necesidades del cliente a parámetros y valores técnicos, para satisfacer las expectativas de los consumidores [3]. La producción y desarrollo de nuevos productos que cumple diversas demandas de los clientes es vital para el éxito del producto, como también para la supervivencia de la empresa [4].

##### **3.1.1. El despliegue de la función de la calidad**

Es un método de diseño de productos y servicios que recoge la voz del cliente y la traduce en la voz del ingeniero. Mediante la secuencia de pasos sucesivos, a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del mercado [4]. La implementación del despliegue de la función de la calidad en el proceso de producción traerá resultados en el proceso de diseño y producción, así como ventajas en el desarrollo del mercado y las ventas, también puede minimizar los frecuentes cambios en el diseño y producción [5], a continuación, se describe con más detalle las ventajas [4]:

###### **3.1.1.1. Innovación del producto**

Una de las ventajas competitivas es la aportación innovadora en el producto. Para obtener estas ventajas nos valemos del análisis y la clasificación de las características técnicas en consecuencia a los requerimientos de los clientes para la detección de ventajas que merezcan

ser explotadas y llegar a descubrir mejoras o carencias en nuestros productos que conlleven al fomento de la innovación.

### **3.1.1.2. Herramientas efectivas del marketing**

Los requerimientos de los clientes son una síntesis de los principales componentes de la voz del cliente y una eficaz ayuda para comprender mejor las necesidades de los mercados. Esto permite realizar acciones de marketing más efectivas. Conforme vamos elaborando la matriz de calidad y especialmente los requerimientos de los clientes, nos ayuda a comprender a los clientes actuales y potenciales, así como sus expectativas y exigencias.

### **3.1.1.3. Comunicación interfuncional**

La matriz ofrece una apreciación balanceada de todas las relaciones a considerar en el diseño del producto e indica a cada departamento (marketing, ingeniería, gerencia, etc.) que hacer y abre la posibilidad de un debate técnico sobre alternativas y prioridades.

### **3.1.1.4. Determinación de las prioridades de mejora continua**

Con la matriz de calidad se identifica rápidamente las prioridades de la mejora continua. Se llegan a ver, sin mayor esfuerzo las variables que determinan la calidad de un producto o servicio en un orden jerarquizado.

## **3.2. Marco referencial del diseño ingenieril**

En la actualidad la simulación numérica permite estudiar sistemas complejos y fenómenos naturales que sería muy costoso, peligroso o incluso imposible de estudiar por experimentación directa [6], entonces los modelos o métodos matemáticos cumple un trascendental papel en el ámbito científico e ingenieril. Dentro de los modelos o métodos numéricos se encuentra la Dinámica de fluidos computacional CFD (computacional fluid dynamic).

### **3.2.1. Método numérico: Dinámica de Fluidos Computacional**

La dinámica de fluidos computacional consiste en simular el paso de fluidos, siendo estos líquidos o gases, a través de un objeto o a alrededor del objeto. Se utiliza un software multipropósito FEM–FEA (método de elementos finitos - análisis de elementos finitos), en la actualidad es el más empleado, debido a la reducción sustancial de tiempo y costos en los nuevos diseños [6] . Consiste en discretizar variedad de modelos físicos y funciones de flujo de fluidos, en un número finito de volúmenes y elementos definidos previamente a partir de una malla.

### **3.2.1.1. Ecuaciones aplicadas a la simulación dinámica de fluidos computacional**

Prácticamente todos los fenómenos físicos de interés en Mecánica de Fluidos cumplen con los principios de conservación, los cuales están expresados en forma de ecuaciones en derivadas parciales. De esta forma; la ecuación de continuidad expresa la conservación de masa; la ecuación de momento expresa la conservación del momento lineal; y la ecuación de energía expresa la conservación de la energía total del flujo [7].

Para comprender de una manera sencilla y breve, mediante la fuente [6], se describe la forma en cómo trabajan los solucionadores de elementos finitos FEM:

- a) El dominio se discretiza en un conjunto de elementos y volúmenes finitos o llamado también volumen de control. Se entiende por volumen de control a una región fija en el espacio donde puede existir flujo de fluido a través de sus fronteras. Mediante el método de elementos finitos se resuelve las variables (presión, temperatura, velocidad) como combinación lineal de varias funciones continuas (hipótesis del continuo en Mecánica de Fluidos clásica ) y su representación es básicamente puntos que dividen todo el dominio en una serie de elementos, en cambio el método de volúmenes, divide el dominio en un número finito de celdas, y garantiza la conservación de la variable sobre cada celda de manera discreta, es decir, se define los puntos a partir de una malla.
- b) Las ecuaciones de conservación de la materia (ecuación de continuidad), ecuación de momentum, primera y segunda ley de la termodinámica se resuelven en este conjunto de volúmenes de control.
- c) Las ecuaciones diferenciales parciales se discretizan en un sistema de ecuaciones algebraicas para el campo de fluido y así ser resueltas numéricamente por medio de un método iterativo (progresivo) que represente el campo de solución.
- d) Las aproximaciones son aplicadas a pequeños dominios de espacio y tiempo, entonces las soluciones numéricas proporcionan resultados para sitios discretizados en espacio y tiempo. La exactitud de las soluciones numéricas depende de factores como el tamaño de la malla empleada, error de redondeo de la computadora, del modelo de turbulencia empleado, etc.

Por lo cual el objetivo del CFD es modelar los fluidos “en continuo” mediante ecuaciones diferenciales parciales, discretizar estas ecuaciones en un problema algebraico, resolverlo, validarlo, y alcanzar un diseño basado en la simulación en lugar de “construir y probar” [6].

### 3.2.1.2. Etapas de la simulación de la dinámica de fluidos computacional

Según la fuente [6], establece que la simulación se lleva a cabo en tres etapas, las cuales detalla a continuación:

- a) **Pre-Procesamiento (Definición del problema):** Se realiza los preparativos que se deben efectuar antes de iniciar las soluciones numéricas, tales como definir los objetivos del modelado, identificar el dominio que se modelará, creación de la geometría del sistema en software CAD, diseño y generación de la malla, el dimensionamiento del sistema 2D o 3D. Una vez realizado estos pasos se procede a exportarlo al software computacional de dinámica de fluidos.
- b) **Solución:** Se eligen las ecuaciones básicas a ser resueltas, las sustancias que forman al fluido, propiedades físicas del material, estado del fluido, viscosidades, densidades, temperaturas, presiones, concentraciones, velocidades, condiciones de frontera, entre otras. Aquí es donde las ecuaciones diferenciales parciales de alto orden están integradas sobre todos los volúmenes de control en la región de interés. Esto es equivalente a la aplicación de una ley básica de conservación a cada volumen de control. Estas ecuaciones integrales se convierten en un sistema de ecuaciones algebraicas las cuales se resuelven iterativamente. Una vez obtenidos los resultados se debe asegurar que los modelos físicos utilizados fueron los apropiados y que la simulación está totalmente convergente.
- c) **Post-Procesamiento (Visualización de los resultados):** En esta etapa de despliega y se examinan los resultados obtenidos, el software tiene la capacidad de desplegar los resultados en forma de imágenes, tablas, histogramas, videos o animaciones, en donde la visualización del comportamiento del sistema resulta de una manera más sencilla y comprensible.

### 3.2.1.3. Aplicaciones de la simulación dinámica de fluidos

La simulación es utilizada por los ingenieros y científicos en una amplia gama de campos, tal y como describe la fuente [6] :

- La industria electrónica. Los problemas más estudiados son el flujo y la distribución de temperaturas en las carcasas electrónicas, el enfriamiento de distintos componentes, el flujo de aire en las unidades de discos, los procesos de construcción de chips usando la técnica de deposición química del vapor.

- Industrias de proceso y químicas. Problemas habituales resueltos con técnicas de simulación dinámica de fluidos computacional por ejemplo el flujo de plásticos, los estudios en conducción de lodos, el flujo del vidrio fundido, los flujos de tintes, la deposición de vapores químicos, el llenado de moldes, estudios en procesos de combustión y los flujos reactivos complejos (con intercambio de calor, masa y reacciones químicas).
- Industria de conformados metálicos. Las aplicaciones más comunes en esta industria son los procesos de fundición continua, las fundiciones abiertas, la extrusión de metales y los procesos de solidificación (por ejemplo, construcción de hélices de barco)
- Industria alimentaria. Destacan los diseños de procesos de pasteurización, los estudios en equipos de procesado de alimentos con estructura toroidal, la extrusión de fluidos y los hornos de convección.
- Industria aeroespacial. Las aplicaciones habitualmente estudiadas son los efectos de la micro-gravedad, la ventilación de habitáculos, el diseño de vehículos espaciales, los flujos de combustible en conductos y tanques, estudios varios en motores de propulsión.
- Industria aeronáutica y naval. Estudios en perfiles aerodinámicos, diseño de trenes de aterrizaje, estudios en hélices marinas y el diseño de carenas de barcos.
- Ingeniería medioambiental: Distribución de contaminantes y efluentes, en el aire o el agua.
- Otras aplicaciones. Destacan los estudios en oceanografía, predicciones en hidrología (planificación de embalses, regímenes de precipitaciones, entre otros), los flujos en conductos (calefacción, flujos internos en edificaciones, ingeniería de complejos urbanos), los flujos medioambientales, la meteorología.

Se ve reflejada una perspectiva fastuosa y susceptible de crecimiento en el futuro, para la aplicabilidad en el ámbito ingenieril.

### **3.3. Proceso de inyección**

Luego de mencionar los marcos de referencia, la investigación presenta el proceso de inyección empezando por las características del material termoplástico, el ciclo operativo que desarrolla la máquina y la descripción de las variables que intervienen en el proceso

### 3.3.1. Material termoplástico

El material termoplástico nació en el año 1860, a través, de un concurso que trataba de encontrar un material capaz de sustituir al marfil, dicho material empezaba a escasear y además era muy caro en la fabricación de bolas de billar, entonces fue John Hyatt quien inventó el celuloide [8], un material de características peculiares, que podía ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, se trataba del primer termoplástico, y la industria encontró pronto una multitud de aplicaciones para explotar sus cualidades. Actualmente, los termoplásticos representan entre el 70-80% del consumo total de materiales plásticos [9] .

#### 3.3.1.1. Estructura del material termoplástico

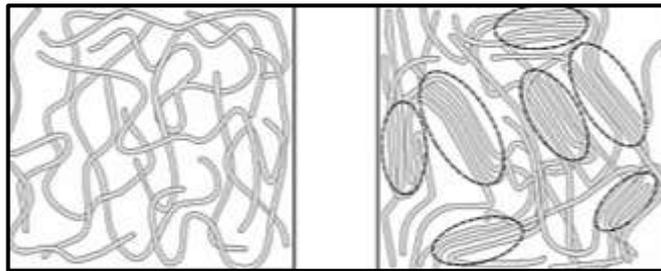
El material termoplástico es conocido con el nombre de polímero, ya que su estructura es macromolecular, cuya característica particular es que está formada por muchas unidades repetidas llamadas monómeros, formando así una cadena larga con varios eslabones, cuyas características químicas y diferentes estructuras que se forman, determinan sus propiedades y aplicaciones [10]. Esta formación de la macromolécula se realiza, a través, de dos procesos llamados: polimerización por adición (dos o más monómeros similares tienen reacción directa para formar moléculas de cadena larga) y polimerización por condensación (reaccionan dos o más monómeros diferentes para formar moléculas largas y agua como subproducto) [11]. Es así como nace una diversidad de familias termoplásticas por ejemplo el polietileno, PVC, el nylon, etc.

**Tabla 3.1.** Termoplásticos clasificados por medio de la polimerización

Polímeros por adición			Polímeros por condensación		
CR	PC	PS	MF	PET	PUR
HDPE	PET	PTFE	PA	PF	SI
LDPE	PMMA	SVC	PAI	PI	UF
PA	PP	SBR	EP	PC	PPE

**Fuente:** [12]

El comportamiento térmico de estos materiales está fuertemente ligado a su estructura, debido a que sus cadenas poliméricas se mueven e interactúan cuando el polímero está sometido a calor (estado líquido) hasta que desciende la temperatura y el material, experimenta una restricción de la movilidad de las cadenas, hasta que se enfría y presente una consistencia sólida [10]. Las cadenas se mueven o interactúan por medio de enlaces dependiendo del tipo de polímero en forma ordenada o desordenada, dando lugar así a los termoplásticos semicristalinos (sometidos a temperatura vítrea  $T_g$ ) y amorfos (sometidos a temperatura de fusión  $T_m$ ) respectivamente, como se observa en la figura 3.1.

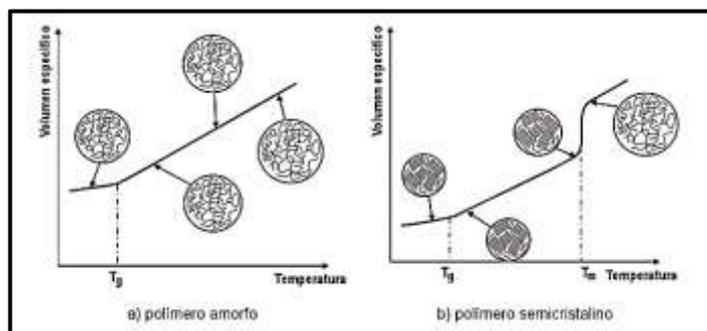


**Figura 3.1.** Estructura de un termoplástico amorfo (izquierda) y semi-cristalino (derecha)

**Fuente:** [11]

Paulatinamente va disminuyendo la temperatura, continua una restricción de la movilidad de las cadenas, dicho movimiento es altamente restringido, dando lugar a un material de elevada rigidez y en consecuencia fragilidad. Este comportamiento es típico de los polímeros denominados amorfos, el término “amorfo” está relacionado con la ausencia de ordenación entre las cadenas poliméricas [13].

En cambio existe la situación donde las cadenas se encuentran muy empaquetadas y en consecuencia, con elevado grado de ordenación y con escasa movilidad, pero no todas las cadenas se empaquetan fuertemente, todavía queda zonas con cierta movilidad (zonas amorfas), es por ello que reciben el nombre de termoplásticos semi-cristalinos ya que poseen algunas cadenas de macromoléculas de posición paralela altamente ordenadas que forman cristalitas [13], como se observa en la figura 3.3.



**Figura 3.2.** Esquema del proceso de enfriamiento de un polímero amorfo y semi-cristalino y cambios dimensionales asociados a cambios estructurales.

**Fuente:** [11]

Los plásticos semi-cristalinos son duros y opacos al blanco y poseen propiedades diferentes a los plásticos amorfos debido a las mayores fuerzas de valencia secundaria. Se ablandan más tarde, pueden estar sometidos a más tensión o estrés mecánico, son más resistentes a la abrasión, son elásticos-resistentes en lugar de frágiles y generalmente son más resistentes a los productos

químicos. Debido a esto, los termoplásticos semi cristalinos son más importantes para los plásticos de ingeniería.

### **3.3.1.2. Plásticos de ingeniería**

Los plásticos de ingeniería son cada vez más populares en diseño de máquinas y equipos, debido a sus propiedades específicas, muchos plásticos son iguales o superiores en innumerables formas, a los convencionales materiales de diseño. En muchos casos, los plásticos de ingeniería, ya han reemplazado los materiales convencionales debido a sus propiedades de rendimiento superior. Las principales ventajas de los plásticos de ingeniería en comparación con los metales convencionales son: reducción de peso, resistencia al desgaste, buena absorción de vibraciones y el hecho de que los plásticos son más fáciles de maquinar. Además, su alto nivel de resistencia química, la fuerza térmica creciente de varios tipos de plástico y posibilidades mejoradas de reciclaje, son argumentos positivos adicionales para decidir sobre plásticos de ingeniería [14]. Además, según la fuente [14], también describe al material termoplástico Poliamida como un plástico de ingeniería importante. Las poliamidas se subdividen en varios tipos básicos PA 6, PA 66 y PA 12, los mismos que se han establecido como los más notables, para aplicaciones técnicas. El PA 6 suministra la empresa Ivan Bohman y las principales propiedades son:

- Buena resistencia mecánica
- Alta resistencia al impacto
- Buenas propiedades de amortiguación
- Buena resistencia al desgaste

Y los ejemplos de aplicaciones típicas son:

- Rodamientos de fricción
- placas deslizantes
- engranajes

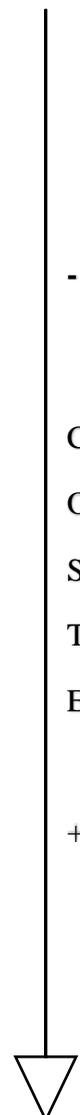
**Nota:** En el anexo II se representa las cualidades de los plásticos de ingeniería.

### **3.3.1.3. Clasificación de los materiales termoplásticos**

Se ilustra en la tabla 3.1 los diferentes tipos de termoplásticos, la incidencia dentro del consumo total de termoplásticos, su precio relativo, sus prestaciones y diferentes ejemplos de plásticos para cada uno de ellos, distinguiendo su estructura amorfos (\*) y semi-cristalinos (").

**Tabla 3.2.** Grupos de termoplásticos

<b>GRUPOS DE TERMOPLÁSTICOS</b>	<b>PRESTACIONES</b>	<b>FAMILIAS</b>
<b>Genéricos o commodities</b>	Prestaciones que responden a condiciones de ejercicio de no mucha responsabilidad y aceptables en un amplísimo espectro de aplicaciones. En general son muy fáciles de transformar a temperaturas relativamente bajas.	PVC * LD-PE" HD-PE * PP " PS"
<b>Genéricos con mayores prestaciones</b>	Prestaciones algo superiores respecto a los commodities o de particular interés para aplicaciones en las que una sola propiedad específica hace favorable su utilización.	ABS " PMMA" SAN * Celulósicos
<b>Plásticos de Ingeniería o Técnicos</b>	Cualidades mecánicas satisfactorias incluso a temperaturas elevadas. Su transformación específica hace favorable su utilización.	PA" PET" PBT* PC * PTFE* POM * PPO"
<b>Plásticos de altas prestaciones</b>	Elevadas prestaciones mecánicas y terminas. Transformación muy compleja. Campo de aplicación similar a materiales compuestos, de los que en muchas ocasiones constituyen la matriz.	PI " PEK* PEEK" LCP*



Fuente: [15]

### 3.3.1.4. Densidad de material termoplástico

La densidad se puede tomar como una medida de la cristalinidad. Como la ramificación de la cadena macromolecular afecta la estructura de estado sólido o la cristalinidad, la densidad también es un indicador de la ramificación de la cadena. En esta relación, tenemos que diferenciar entre la ramificación de cadena corta y la ramificación de cadena larga. 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. [16] El rango de densidad para polietilenos puede clasificarse como se muestra a continuación en cuatro categorías de acuerdo con ASTM D-1248:

**Tabla 3.2** Rango de densidades para polietileno

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Densidad <math>g / cm^3</math></b>
I	Baja densidad	0.910 – 0.925
II	Media densidad	0.926 – 0.940
III	Alta densidad	0.941 – 0.959
IV	Muy alta densidad	0.960 – 0.995

**Fuente:** [17]

La velocidad de enfriamiento afecta la cristalinidad, y esto afectará la densidad. Una placa templada en agua helada tendrá una densidad menor que una placa enfriada lentamente. El aumento de la densidad, con todos los otros parámetros mantenidos constantes, aumentará la contracción, el módulo de elasticidad, la resistencia a la fluencia, la resistencia al calor, el brillo, la resistencia a la permeabilidad y la dureza. Un aumento en la densidad aumentará la resistencia al impacto, la resistencia al agrietamiento por tensión, la transparencia y la resistencia al desgarro. Un aumento en la densidad aumentará la resistencia a la tracción, y con el aumento en de la ramificación corta a larga, la resistencia a la tracción será menor. La resistencia a la intemperie permanecerá relativamente no afectada [16].

### **3.3.1.5. Propiedades mecánicas de los materiales termoplásticos**

Es útil tener en cuenta los objetivos principales del análisis de esfuerzos (tensión, flexión compresión, cortantes y dinámicos);

- Para permitir un diseño seguro de las partes que soportan carga.
- Para permitir predicciones del rendimiento del servicio.
- Para comparar diferentes materiales y diseños.
- Para ayudar a establecer las especificaciones de prueba y control de calidad.

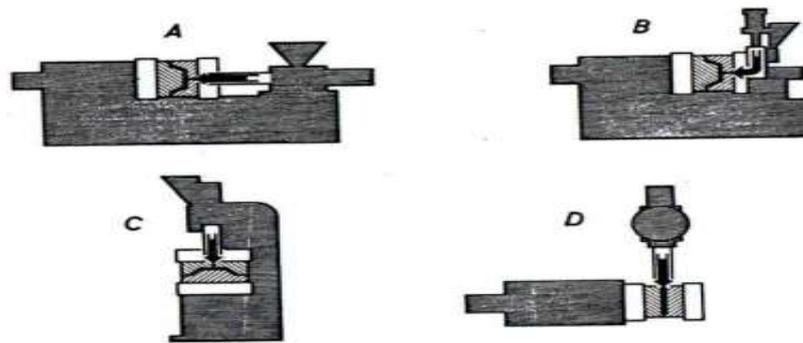
El desarrollo de nuevos productos plásticos no es diferente en especie, pero puede ser más difícil debido a: los numerosos factores complicados de la variación del material, los efectos de procesamiento e incertidumbres ambientales. Sin embargo, es útil analizar las pautas apropiadas para establecer los factores de seguridad, siempre que se entienda que las pruebas exhaustivas y realistas deben ser parte del proceso de desarrollo [18].

### 3.3.2. Máquina de moldeo por inyección para termoplásticos

Para la elaboración de materiales termoplásticos por el procedimiento de inyección se dispone de una gran variedad de máquinas que se diferencia no tanto por su sistema de accionamiento o por la condición del proceso, más bien por su dirección principal de trabajo de las unidades de cierre [19] .

#### 3.3.2.1. Configuración de la disposición de la unidad de cierre

En la figura se ilustra los tipos de disposición para la unidad de cierre. La letra A representa un trabajo horizontal en donde, la inyección del material se efectúa en línea recta perpendicularmente al plano de separación al molde. La letra B es una variante modifica de A, con cilindro de inyección dispuesto verticalmente. El flujo de material se desvía en ángulo de 90° a dirección horizontal y penetra perpendicularmente al plano de separación en el molde. La letra C realiza un trabajo vertical, indispensable para la inserción de elementos mecánicos y similares. La inyección de material adopta un curso rectilíneo y se efectúa verticalmente hacia abajo, perpendicularmente al plano de separación del molde. De esta versión constructiva existen variantes con inyección en vertical hacia arriba. La letra D representa una unidad inyectora en posición angular respecto a la unidad de cierre [19] .



**Figura 3.3.** Representación esquemática de las cuatro direcciones principales de trabajo de las unidades de cierre en máquina de inyección.

**Fuente:** [19] .

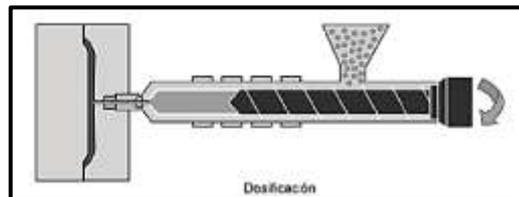
#### 3.3.2.2. Tipo y ciclo especial de máquina de inyección para termoplásticos

Para resolver especiales tareas de producción, se desarrolla gran cantidad de construcciones especiales cuya concepción constructiva se apoya en parte en el principio direccional del trabajo de las unidades de cierre. Según la norma INEN 294-1, para la preparación reproducible de

probetas capaces de dar resultados comparables, solo se deben usar máquinas de moldeo por inyección de tornillo alternativo, equipadas con todos los dispositivos necesarios para el control de las condiciones de moldeo [20].

### 3.3.2.2.1. Máquina de inyección con tornillo alternativo

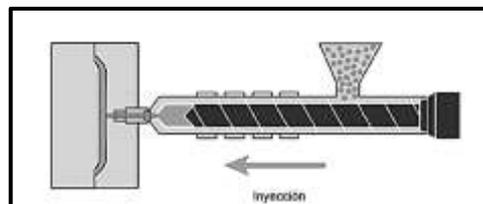
Este tipo de maquina se caracteriza por realizar la función e inyección del material mediante un tornillo alternativo, el cual alterna su función de plastificar e inyectar el material fundido. Esta disposición representa el avance más significativo en el moldeo por inyección de plásticos y es el sistema más utilizado hoy en día [21]. Según [22] describe que, en la mitad de la década de 1960, el panorama del empleo del moldeo por inyección en América cambio bruscamente y menciona que, en Estados Unidos en el año de 1975, el uso de máquinas de inyección con tornillo alternativo era de un 80%. En la actualidad se ve reflejado el uso de la máquina de moldeo de tornillo alternativo de forma amplia, tanto para materiales termoplásticos, como también, incluido el moldeo por inyección de termoestables y materiales reforzados. El Proceso de inyección comienza en el momento en el que el molde se cierra y queda listo para la inyección del material,



**Figura 3.4.** Fase de dosificación

**Fuente:** [23]

A continuación, se tiene el llenado volumétrico, donde el tornillo helicoidal de inyección comienza a avanzar de forma axial, haciendo fluir al fundido, que sale a través de la boquilla y recorre los canales de alimentación hasta que llena las cavidades de moldeo.

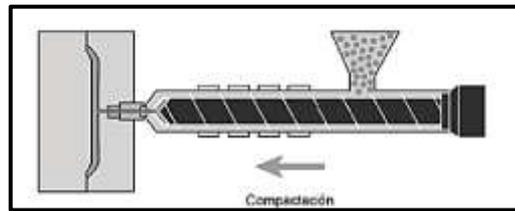


**Figura 3.5.** Fase de llenado

**Fuente:** [23]

El material introducido en el molde debe mantenerse a presión, conforme va solidificando, evitando así, que retroceda. Conforme se enfría, el material comienza a contraerse, por lo que

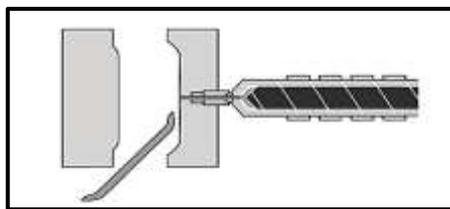
el pistón de inyección debe permanecer un corto periodo de tiempo en posición avanzada para compactar el material y compensar la contracción que sufre al enfriarse.



**Figura 3.6.** Fase de compactación

**Fuente:** [23]

Una vez que la entrada a la cavidad solidifica, el pistón ya no es capaz de transmitir más presión dentro del molde, por lo que retrocede. El tornillo helicoidal de inyección retrocede, mientras gira, haciendo así, fluir el material plástico en estado líquido, por efecto del calor proporcionado de las resistencias eléctricas, a la parte de adelante. La acumulación de material en la parte delantera del cilindro, determina el retroceso del tornillo helicoidal de inyección. La temperatura en el interior del cilindro es regulada de modo que se produzca la plastificación del material. Dentro del molde la capa fría de material va engrosando gradualmente hasta que el polímero se solidifique completamente. Finalizado la solidificación, se produce el retroceso del plato móvil y en consecuencia la abertura del molde.



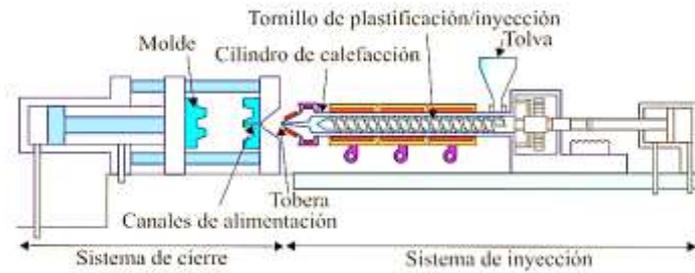
**Figura 3.7.** Fase de enfriamiento y posterior expulsión

**Fuente:** [23]

La pieza es expulsada del molde mediante un sistema de expulsión. La extracción de la pieza puede ser efectuada también manualmente, con caída por gravedad o mediante manipulador.

### **3.3.3. Sistemas de la máquina de inyección para termoplásticos**

En la figura 3.6. se muestra los componentes de una maquina convencional de inyección, según la fuente [13], el hecho de considerar independientes las unidades de cierre y de inyección permite la construcción de máquinas "a medida", de acuerdo con las características de la pieza que se desea moldear. Sistema de plastificación, sistema de cierre, sistema de potencia, sistema para la fundición del material sistema de inyección axial.

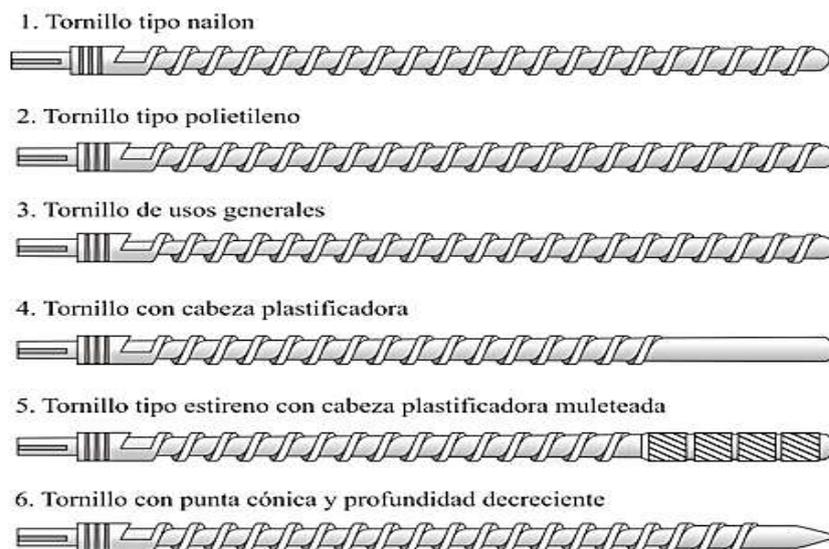


**Figura 3.8.** Sistemas de la máquina de inyección

**Fuente:** [13]

### 3.3.3.1. Sistema de plastificación

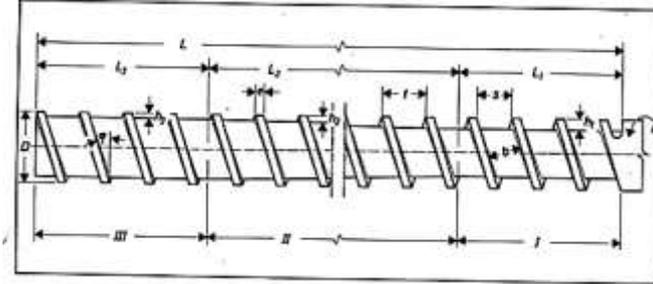
La plastificación del material empieza tras la entrada del granulado en la cámara interior del cilindro, conjuntamente con una compresión que se produce por la influencia de la presión de un embolo o un husillo o doble husillo, en el movimiento de avance [19]. El husillo se divide en tres zonas como se ilustra en la figura 3.10. La zona designada I, tiene la función de acoger el material que llega al cilindro por el orificio de entrada y transportarlo a las zonas de disgregación. La siguiente zona II, tiene la misión de disgregar el material y densificarlo en una fusión con viscosidad estructural. En muchos tipos de husillos, esta sección se caracteriza por una progresión del núcleo del husillo hasta el diámetro de la zona de salida. Para ello se describe los tipos de husillos o tornillos helicoidales en la figura 3.9.



**Figura 3.9.** Tipos de tornillo helicoidal de inyección

**Fuente:** [13]

Finalmente, la última sección del tornillo helicoidal de inyección III, posee la misión de comprimir la fusión homogénea, obtenida en la sección anterior hacia el embolo inyector, en forma constante y uniforme.

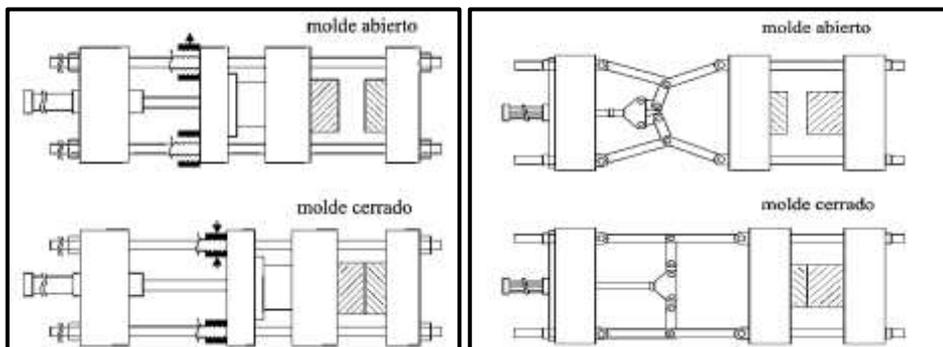


**Figura 3.10.** Tornillo helicoidal de inyección

**Fuente:** [19]

### 3.3.3.2. Sistema de cierre

Tiene la misión de efectuar el movimiento hacia la posición de cierre y apertura del molde dentro del ciclo total de trabajo de la máquina. Los moldes constan casi exclusivamente de dos mitades, que se unen y separan entre sí por el plano de separación. La mitad correspondiente al bebedero está unida a la placa porta-molde en el lado de la boquilla, que generalmente es fija o tiene escaso movimiento. La mitad del molde del lado del expulsor, al que va unida, los movimientos de apertura y cierre. Fundamentalmente se distingue dos tipos diversos en las unidades de cierre para máquinas de inyección. En el sistema por arrastre de fuerza, el cierre del molde se produce exclusivamente con ayuda de uno o varios cilindros hidráulicos. En el sistema de arrastre de forma accionado hidráulica o electromecánicamente, se realiza en cambio el cierre del molde mediante elementos de cierre mecánicos [19]. De forma empírica se adopta la opción de tornillo sin fin y correas de transmisión para el avance del molde



**Figura 3.11.** Arrastre de fuerza (cilindros hidráulicos) y arrastre de forma (cierres mecánicos)

**Fuente:** [19]

#### **3.3.3.3. Sistema de potencia**

El movimiento radial del tornillo helicoidal de inyección se realiza con un accionamiento motriz, se encuentra corrientemente un engranaje reductor con cambio. Mas raramente se utiliza la posibilidad de una reducción continua de velocidad con motores de corriente continua [19]. Para este sistema se utiliza motor eléctrico o motor hidráulico.

#### **3.3.3.4. Sistema de alimentación**

En el proceso de inyección, la dosificación del material es establecer la cantidad del material termoplástico a suministrar a la máquina, de manera que proporcione un flujo constante del material [19]. Se utiliza una tolva que puede ser prismática, cilíndrica o rectangular.

#### **3.3.3.5. Sistema para la fundición del material**

El cilindro de plastificación es calentado normalmente mediante elementos calefactores fijados sobre su superficie exterior. El calor se transmite a los elementos interiores a través de sus nervios de soporte [19]. El material tiene que poder disgregarse, con ayuda de los dispositivos como resistencias eléctricas, por fuego o por vapor.

#### **3.3.3.6. Sistema de inyección axial**

El sistema de inyección axial, consiste en introducir en los canales de flujo del molde una cantidad de material previamente determinada, que corresponde al volumen de la cavidad o cavidades del molde, y disgregada mediante el sistema de fundición del material [19]. Para el sistema de inyección axial se utiliza cilindros neumáticos y cilindros hidráulicos.

### **3.3.4. Moldes de inyección**

Mediante la fuente [24], 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:

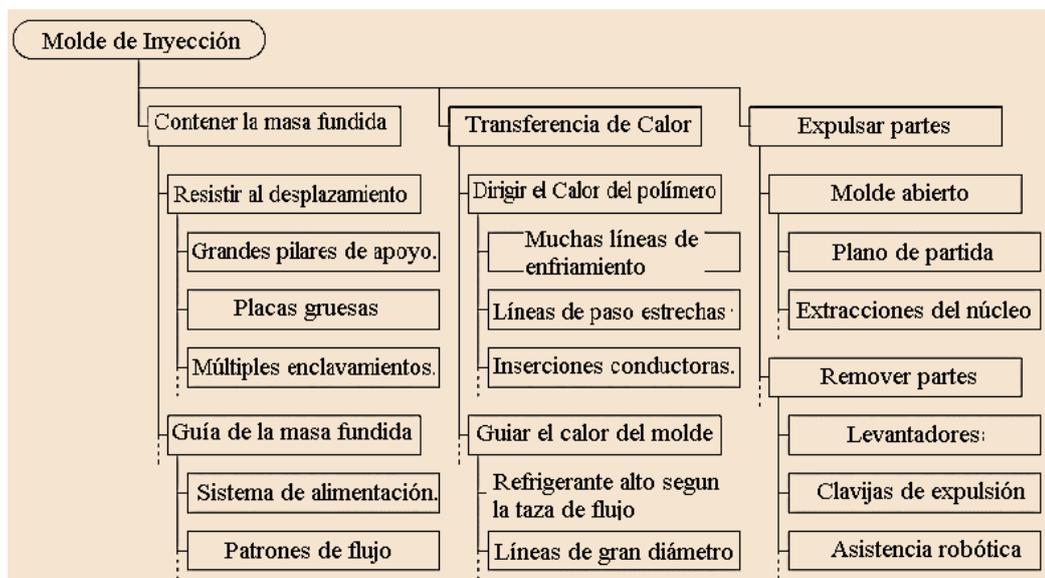
- La función principal del molde es contener el polímero que se derrite dentro de la cavidad del molde de modo que la cavidad del molde se pueda llenar completamente para formar un componente plástico cuya forma replica la cavidad del molde.
- Una segunda función primaria del molde es transferir eficientemente el calor desde la fusión del polímero caliente al acero del molde más frío, de modo que los productos moldeados por inyección se puedan producir de manera tan uniforme y económica como sea posible.

- Una tercera función principal del molde es expulsar la pieza del molde de forma rápida, pero de manera repetible, para que las molduras posteriores puedan producirse de manera eficiente

Estas tres funciones principales: contienen la masa fundida, transfieren el calor y expulsan el moldeado, van acompañado por acciones secundarios en el molde de inyección.

Por ejemplo, la función de contener el derretirse dentro del molde requiere que el molde resiste las enormes fuerzas que tenderán a hacer que el molde se abra o se desvíe, y el molde contiene un sistema de alimentación que conecta la boquilla de la máquina de moldeo con uno o más cavidades en el molde para la transferencia del polímero fundido.

Estas funciones secundarias también pueden dar lugar a funciones terciarias que se cumplen con el uso de componentes o características específicas del molde. Debe entenderse que la Figura 3.10. no proporciona una lista completa de todas las funciones de un molde de inyección, pero solo algunas de las funciones primarias y secundarias esenciales que debe considerarse durante el diseño de ingeniería de moldes de inyección.

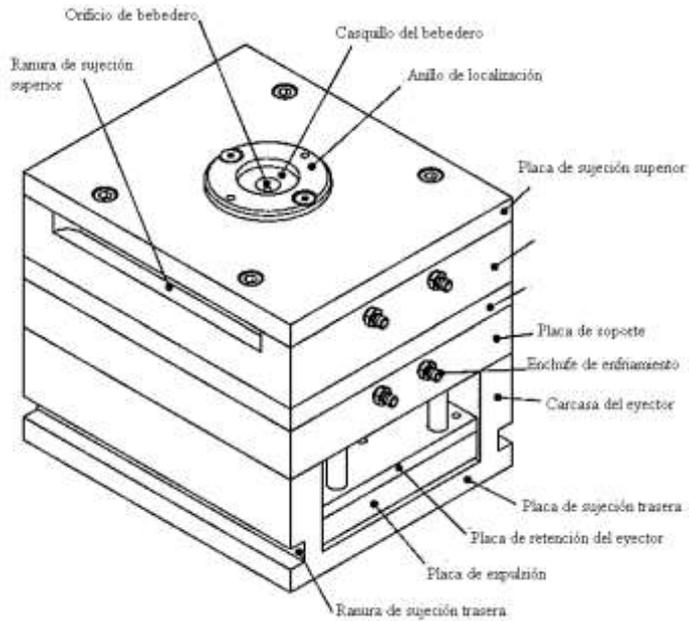


**Figura 3.12.** Función jerarquizada de un molde

Fuente: [24]

### 3.3.4.1 Molde Estándar

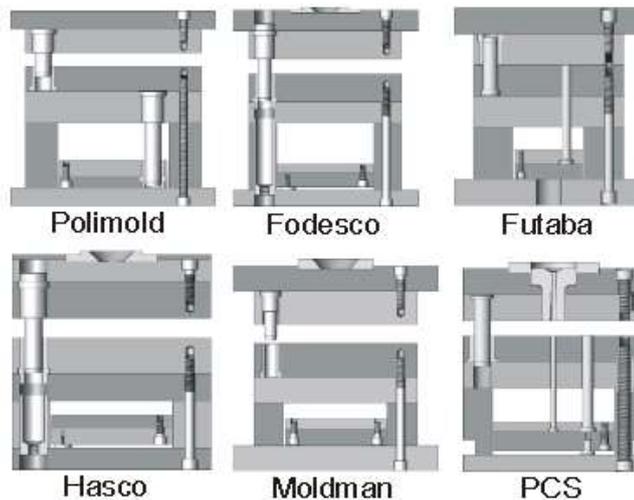
Este tipo de molde se denomina molde de dos placas debido a tener dos grupos de placas. No hay apertura especial u otro tipo de mecanismo auxiliar. En el aspecto constructivo los moldes de dos placas son los más simples y también los más encontrados dentro de las industrias [25].



**Figura 3.13.** Molde de dos placas (molde estándar)

Fuente: [24]

Moldes con una línea de cierre, movimiento de apertura unidireccional, con pines extractores o articulados. En la figura siguiente se muestran las principales normas de porta-moldes estandarizados que se pueden encontrar a la venta en el mercado internacional, son: DME, DML, PCS, Hasco, Fodesco, Futaba, Moldman, Rabourdin, Strack y Pedrotti.



**Figura 3.14.** Tipos de porta moldes estándar

Fuente: [25]

### 3.3.5. Variables que intervienen en el proceso de inyección

Se describe las variables más importantes en el proceso de inyección según la fuente [13].

#### **3.3.5.1. Temperatura de inyección**

Es la temperatura a la que se calienta el material para introducirlo en el interior del molde. La temperatura del material aumenta gradualmente desde que entra por la tolva hasta que se encuentra preparado para ser inyectado.

#### **3.3.5.2. Temperatura del molde**

Es la temperatura a la que se encuentra la superficie de la cavidad de moldeo. Debe ser lo suficientemente baja para enfriar el material fundido y conseguir que solidifique.

#### **3.3.5.3. Presión inicial o de llenado**

Es la presión que se aplica inicialmente al material fundido y que se desarrolla como consecuencia del movimiento hacia adelante del tornillo. Esta presión obliga a que el material fundido fluya hacia adelante, produciendo el llenado inicial del molde.

#### **3.3.5.4. Presión de mantenimiento o compactación**

Es la presión que se aplica al final de la inyección del material, cuando el molde se encuentra casi completamente lleno.

#### **3.3.5.5. Presión posterior o de retroceso**

Es la presión que se aplica al tornillo mientras retrocede, una vez finalizada la etapa de compactación.

#### **3.3.5.6. Tiempo de inyección inicial**

El tiempo necesario para realizar la inyección depende de numerosos factores, como de cuanto material se está inyectado, su viscosidad, las características del molde y el porcentaje de la capacidad de inyección que se está empleando.

#### **3.3.5.7. Tiempo de mantenimiento o compactación**

El tiempo de mantenimiento o tiempo de compactación es el tiempo que, después de realizar la inyección inicial del material, el tornillo permanece en posición avanzada, para mantener la presión del material dentro del molde.

#### **3.3.5.8. Tiempo de enfriamiento**

Es una de las variables más importantes para conseguir una pieza de buena calidad. Es el tiempo que la pieza requiere para enfriarse hasta que ha solidificado y además ha adquirido la rigidez suficiente para poder ser extraída del molde sin que se deforme.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Enfoque de la investigación**

En este capítulo se estableció la metodología desarrollada para la realización del presente trabajo, se analizó el proceso de llenado de una pieza plástica (engranaje) para su producción; por el método de elementos finitos, donde se determinaron los parámetros óptimos de las variables del proceso de inyección; presión, temperatura y velocidad, posteriormente con los valores ideales de las variables del proceso se diseñó un prototipo de máquina de inyección de materiales termoplásticos de alta y baja densidad que garantice la calidad del producto plástico inyectado. La aplicación que se le da a la máquina de inyección es la de obtener información sobre el comportamiento del material al momento de la inyección y del llenado en el interior del molde, llevando a cabo mediciones a las magnitudes y fenómenos que se presentan en el proceso con: presiones y velocidades de inyección establecidas para cada tipo de material.

### **4.2. Métodos de investigación**

Los métodos científicos manejados en el presente trabajo fueron los siguientes:

#### **4.2.1. Método hipotético – deductivo**

El método destaca que el conocimiento hipotético se transforma en científico, al elaborar una hipótesis y proponiendo guías de trabajo a partir de resultados parciales provenientes de la revisión bibliográfica.

#### **4.2.2. Método sistémico**

Se utiliza este método para ampliar la investigación correspondiente al diseño ingenieril donde se aplicarán herramientas computacionales de modelado, análisis y simulación, las cuales se dividen en subetapas:

- Simulación del proceso de inyección
- Análisis de llenado.
- Parametrización de las variables ideales del proceso de inyección.
- Diseño de la máquina de inyección,

Que en conjunto brindan la solución completa al problema propuesto (validación de un producto plástico inyectado).

#### **4.2.3. Método matemático**

Se emplea normas, métodos y cálculos matemáticos existentes para el dimensionamiento y validación de los elementos constituyentes de la máquina de inyección, partiendo de los resultados del ensayo de llenado de la pieza por el método de los elementos finitos, garantizando la capacidad y alcance de productivo.

#### **4.2.4. Métodos empíricos**

Se discute los resultados obtenidos del análisis llenado de la pieza, realizando diferentes experimentos y simulaciones, condicionando las variables del proceso de inyección para comprobar y fundamentar la información encontrada en fuentes bibliográficas y lo propuesto por el trabajo.

### **4.3. Operacionalización de variables**

La operacionalización de variables se detalla en el anexo IV.

### **4.4. Metodología para el ensayo por el método de elementos finito FEM/FEA**

La metodología para el ensayo empieza con el análisis funcional del elemento a inyectar, el material que se va a utilizar y finaliza con las etapas de pre-procesamiento y post-procesamiento.

#### **4.4.1. Análisis funcional de la pieza**

El elemento ensayado es un engranaje plástico asíncrono para bandas transportadoras, se analizó este elemento por sus múltiples aplicaciones a dentro de la industria, ya que son de gran utilidad cuando no es posible utilizar un engranaje metálico o también como repuesto a engranajes discontinuados. El moldeo por inyección de engranes plásticos es el de más auge en la actualidad ya que presenta grandes ventajas desde el punto de vista de manufactura y calidad.

La calidad las piezas moldeadas por inyección está directamente relacionada a los métodos de fabricación utilizados en la máquina y en el molde, es decir definiendo los parámetros ideales de las variables del proceso de inyección se pueden obtener engranes con excelentes propiedades mecánicas, físicas y superficiales. En función a la operatividad, el elemento se somete a esfuerzos de flexión, tensión y a cargas variables, por lo que se realiza un ensayo de flexión al elemento manufacturado para determinar la vida útil y la resistencia a cargas puntuales y variables.

#### 4.4.2. Selección del material termoplástico

La clasificación de termoplásticos de alta y baja densidad se encuentran en las familias de los polietilenos ADPE y BDPE respectivamente, los mismos que tienen una amplia aplicación en Ecuador conjuntamente con las poliamidas que directamente entra a ser un termoplástico de alta densidad, además de poseer una óptima propiedad mecánica, buena resistencia al impacto, y alta resistencia al desgaste y a la fatiga.

Se realiza una matriz de selección de alternativas para evaluar la mejor opción a través de un factor de ponderación igual a 1, este valor se lo divide entre cada criterio de selección de acuerdo a su respectiva importancia, se marca con una X la mejor opción de alternativa y al final se suma cada uno de los factores de ponderación, decidiendo por la mejor alternativa a el valor de mayor puntaje.

**El material seleccionado deberá cumplir con los requerimientos** técnicos, económicos, de disponibilidad en el mercado y la industria plástica, para simular correctamente el llenado de la pieza, en la tabla 4.1 se establecen los criterios de selección.

**Tabla 4.1.** Criterios de selección y ponderación para la selección del material termoplástico

<b>Criterios de selección</b>	<b>Ponderación = 1</b>
Resistencia a la flexión	0.6
Disponibilidad	0.1
< Valor	0.1
Aplicabilidad	0.1
Factores Geométricos	0.1
<b>Total</b>	<b>1</b>

**Realizado por:** Autores

##### 4.4.2.1. Alternativas de Materias Termoplásticas de baja densidad

Dentro de la familia de termoplásticos de baja densidad se encuentra el polietileno de baja densidad PEBD y polietileno de baja densidad lineal PEBDL tales que son producidos en resinas plásticas para inyección por la empresa Braskem y utilizadas en empresas de Ecuador para su manufacturación. Teniendo cinco tipos de PEBD (siendo dos ecológicos) y cuatro tipos de PEBDL para diferentes aplicaciones en el ámbito industrial y nivel de uso cotidiano.

Para los termoplásticos de baja densidad se tienen las siguientes alternativas.

**Tabla 4.2.** Alternativas de material termoplástico de baja densidad

<b>Termoplástico de baja densidad</b>
BC818
PB208
PB608
ML2400N
IC32
IF33
IN34
SPB208
SPB608

**Fuente:** [26]

#### **4.4.2.2. Alternativas de Materias Termoplásticas de alta densidad**

En la familia de los termoplásticos de alta densidad se encuentra el polietileno de alta densidad PEAD y la familia de poliamidas PA, los mismos que tiene diversidad de aplicaciones tanto en la industria como en la vida cotidiana. En Ecuador la principal empresa que provee resinas para inyección a empresas manufactureras de plástico es Braskem que produce 14 tipos de resinas de PEAD de las cual seis son ecológicas hechas a base de caña de azúcar, siendo sostenibles y económicas, para la utilización en diferentes áreas y las resinas de poliamidas se encuentran en la empresa Ivan Bohman.

Para los termoplásticos de alta densidad se tienen las siguientes alternativas.

**Tabla 4.3.** Alternativas de material termoplástico de baja densidad

<b>Termoplástico de alta densidad</b>
GE7252NS
GE7252XS
HD3403S
HD7255LS-L
IE59U3
IA58
IB58
IG58
SHA7260
SHC7260
SHC7260LS-L
SHD7255LS-L
SGE7252
SGE7252XP
Nylon PA6

**Fuente:** [27] y [26]

#### 4.4.3. Diagrama de procesos (Etapa de pre-procesamiento y post-procesamiento)

Se elaboró un diagrama de procesos para realizar la simulación donde se establecen las etapas de ejecución. En cada una de las etapas se derivan algunos puntos importantes que deben ser tomados en cuenta para evitar contratiempos en el proceso de simulación. Para el Pre-Procesamiento se describe el diagrama de procesos que se debe realizar antes de ejecutar la simulación y así obtener los resultados, es decir, el Post-Procesamiento.

**Tabla 4.4.** Etapas de la simulación con el software FEM-FEA



**Realizado por:** Autores

La simulación del llenado y del proceso de inyección se realiza en software FEM-FEA denominado multipropósito de simulación, basado en el método de volumen finito y elemento finito aplicado a una malla.

##### 4.4.3.1. Modelo geométrico

Se realizó el modelamiento de la pieza en un software CAD donde se debe detallar y establecer las características geométricas del elemento con la finalidad de obtener un dominio cuya topología sea lo más amigable posible para realizar sobre ella el proceso de mallado.

**Tabla 4.5.** Dimensiones geométricas del engranaje

Características Geométricas	
∅ Circunferencia de cabeza mayor	157 mm
∅ Circunferencia base	139 mm
∅ Circunferencia primitiva	109 mm
Espesor total del diente	37.7 mm
Espesor del cuerpo del engranaje	9.1 mm
Ancho de cara del diente	6 mm
Numero de dientes Z	10

**Realizado por:** Autores

Obtenido el diseño de la pieza se procede a exportarlo al software FEM-FEA, el cual puede guardarse en base a un formato estándar de interfaz de datos con el software CAD, en este caso es el formato STEP.

#### **4.4.3.2. Generación de Malla**

En el software FEM-FEA se generó un mallado completo del elemento a analizar donde se discretiza el dominio a modelar. Esto por medio de la fragmentación del sólido en pequeños elementos llamados volúmenes finitos, los cuales pueden ser de tipo hexaédrico, prismático, tetraédrico y piramidal. Con la combinación de estas formas, se puede llevar a cabo la fragmentación de cualquier geometría, ajustando dichos elementos a la topología del dominio a modelar. La convergencia de los resultados depende de la calidad de la malla, es por ello que se tienen diversas escalas y métodos para evaluar la calidad de los elementos que conforman la malla.

#### **4.4.3.3. Condiciones iniciales y de frontera**

Se configuran los parámetros de contorno entradas, salidas, paredes y orificios del elemento a ensayar, incluye las condiciones de punto de inyección, temperatura de la masa, presión, velocidad de inyección, temperatura del molde, tiempo de inyección y perfil de presión de compactación. Las condiciones de frontera se establecen según el dominio a simular, en cada una de las zonas que tenga la geometría.

#### **4.4.3.4. Post-procesamiento**

Finalmente, se muestran y analizan los resultados obtenidos del ensayo en el software FEM-FEA, mediante un visualizador de datos, donde pueden ser interpretados mediante gráficas que permiten determinar el comportamiento de las variables y parámetros del proceso de inyección. De los resultados obtenidos de la simulación se realiza una matriz de conceptualización de datos donde se determinará si la pieza inyectada es manufacturable.

### **4.5. Metodología para el análisis estructural del elemento inyectado por el método de elementos finitos FEM-FEA**

Finalizado el análisis de llenado del engranaje se procede a determinar la vida útil y la seguridad estructural del elemento mediante un ensayo de durabilidad el cual relaciona el deterioro del producto y sus componentes a lo largo de su vida de funcionamiento. Los ensayos de durabilidad más comunes son:

- Ensayo de fatiga
- Ensayo de desgaste
- Ensayo de maniobras

Para nuestro caso se emplea el ensayo de fatiga donde se aplican ciclos repetidos de cargas de trabajo sobre los dientes del engranaje para determinar la resistencia a la fatiga durante un tiempo suficiente (avance de la fisura o rotura).

#### **4.5.1. Pre-Procesamiento**

Se realiza el análisis estructural del engranaje por el método de elementos finitos, para determinar las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión, tensión y el factor de seguridad en función de cuando el elemento está sometido a cargas cíclicas, se realiza el mallado y se configuran las condiciones de contorno tal como establece en los puntos 5.1.2 y 5.1.3 del ensayo de llenado.

**Tabla 4.6.** Valores para la configuración engranaje a ser sometido al ensayo estructural

<b>Díámetro del engranaje</b>	<b>Espaciamiento desfasado entre ejes</b>	<b>Numero de engranajes</b>	<b>Fuerza a aplicada en cada engranaje</b>
157 mm	150 mm	18	612.5 Newtons

**Realizado por:** Autores

#### **4.5.2. Post-Procesamiento**

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos del ensayo, mediante un visualizador de datos, donde pueden ser interpretados mediante gráficas que permiten determinar el comportamiento del engranaje cuando es sometido a cargas cíclicas. De los resultados obtenidos del ensayo en función de las propiedades mecánicas se realiza una matriz de conceptualización de datos donde se determinará si el engranaje cumple con los requerimientos técnicos de seguridad estructural.

### **4.6. Metodología para el diseño de la máquina de inyección de materiales termoplásticos**

#### **4.6.1. Determinación de las especificaciones de la máquina de inyección para la manufactura de engranajes plásticos**

Se utiliza la función de despliegue de la calidad QFD (Quality Function Deployment), comúnmente es conocida como Casa de la Calidad, la cual, permite entender mejor las prioridades de los clientes y buscar cómo responder de forma innovadora a dichas necesidades. Dr. Gonzales define: “Una metodología que traduce la Voz del Cliente en parámetros de diseño para que estos puedan desplegarse, de forma horizontal, dentro de los departamentos de planeación, ingeniería, manufactura, ensamblaje y servicio”. [28]. La voz del usuario y la voz del ingeniero representan un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del



## **8. Realizar la evaluación técnica**

Evaluar los resultados, para priorizar en orden jerárquico las prioridades de diseño.

## **9. Definir las interacciones**

Forma parte del techo de la casa y nos sirve para identificar las interacciones entre los diferentes “como”. Estas interacciones se clasifican como: fuerte positiva, negativas, fuerte negativas y ninguna. Si dos “como” se ayudan mutuamente a conseguir la calidad-valor se clasifican como positivos o fuerte positivo. Si un “como” encuentra el valor de calidad y entonces se dificulta para otro “como” llegar a este, se clasifican como negativos o relación fuerte negativa.

Finalmente se realiza un análisis de la casa de la calidad, se evalúa y se selecciona las prioridades en orden jerárquico.

### **4.6.2. Definición y diseño conceptual de la máquina de inyección para termoplásticos**

Riba, menciona: “Con el propósito de describir y resolver los problemas de diseño, es útil aplicar el concepto de función, que es cualquier transformación (en el sentido de realización de una tarea) entre unos flujos de entrada y de salida, tanto si se trata de funciones estáticas (invariables en el tiempo) como de funciones dinámicas (que cambian con el tiempo). La función es, pues, una formulación abstracta de una tarea, independientemente de la solución particular que la materializa. [29]

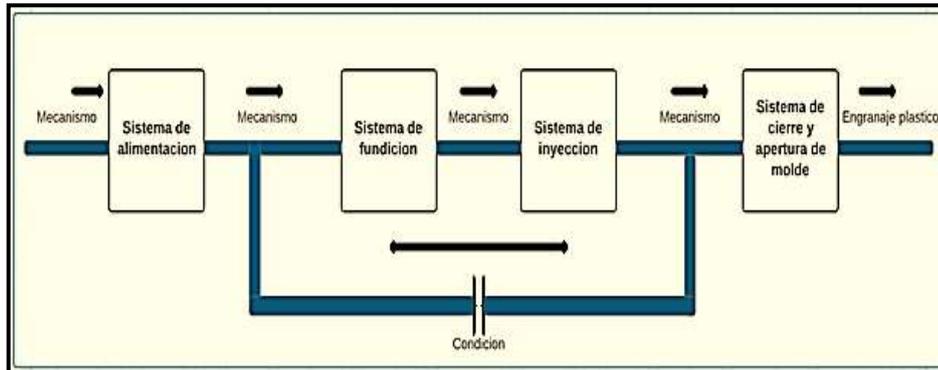
La función global representa la tarea global que debe realizar el producto que se va a diseñar y se establece como una caja negra que relaciona los flujos de entrada y los de salida. Sin embargo, esta presentación es muy esquemática y, para obtener una representación más precisa, hay que dividir la función global en subfunciones (correspondientes a subtareas) y a la vez, establecer las relaciones de flujos entre estas subfunciones. [29]

La representación del conjunto de subfunciones con las entradas y salidas, así como las interrelaciones de flujos entre ellas se denomina análisis funcional”. [29]

#### **4.6.2.1. Análisis funcional de la máquina de inyección para termoplásticos**

La máquina de inyección de materiales termoplásticos de alta y baja densidad producirá piezas plásticas con una masa inyectada que oscile entre 200 a 300 gramos con una mediana capacidad, eliminando los problemas de llenado y conformado, asegurando piezas inyectadas de buena calidad y garantizando una elevada capacidad de producción a costos reducidos.

La aplicación de producto inyectado por la maquina es de engranajes plásticos para bandas transportadoras. La función global del sistema se representa en la siguiente figura.



**Figura 4.1.** Función Global

**Realizado por:** Autores

#### 4.6.2.2. Solución a sistemas

La toma de decisiones de un proceso debe ser objetiva y lógica, para escoger la mejor alternativa que satisfaga los requerimientos y necesidades en el diseño, por lo cual, se adopta diferentes alternativas para la ejecución del diseño funcional de los sistemas de la máquina de inyección, se evalúan según criterios y parámetros funcionales de operación de la máquina de inyección para seleccionar la opción más adecuada.

Se realiza una matriz de selección de alternativas para evaluar la mejor opción a través de un factor de ponderación igual a 1, este valor se lo divide entre cada criterio de selección de acorde a su respectiva importancia, se marca con una X la mejor opción de alternativa y al final se suma cada uno de los factores de ponderación, decidiendo por la mejor alternativa a el valor de mayor puntaje. En la tabla 4.2. se muestran los criterios de selección de alternativas y sus valores ponderados.

**Tabla 4.8.** Criterios de ponderación

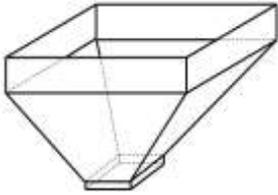
CRITERIOS DE SELECCIÓN	PONDERACIÓN
Manufactura	0.40
Eficiencia	0.15
Seguridad	0.15
Factibilidad de operación	0.10
Mantenimiento	0.10
Costo de fabricación	0.10
$\Sigma$	1

**Realizado por:** Autores

#### 4.6.2.2.1. Sistema de alimentación

Las alternativas para el sistema de alimentación son: tolva prismática, tolva cilíndrica y tolva rectangular, cada una posee características de construcción y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.9.** Matriz de alternativas para el sistema de alimentación

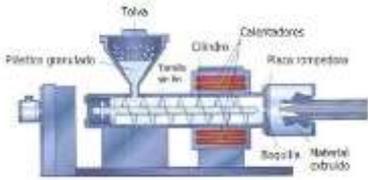
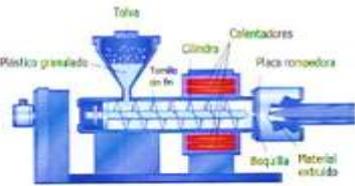
<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Tolva prismática</b>	<b>Tolva cilíndrica</b>	<b>Tolva rectangular</b>
Construcción fácil, pero acumula cantidad de material en sus esquinas	Fácil construcción, útil para descargas rápidas y no existe acumulación de material. Bajo costo de fabricación.	Gran capacidad de almacenamiento. Velocidad lenta de descarga. Mayor tiempo de almacenamiento de material.
		

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.2. Sistema de fundición de material

Las alternativas para el sistema de fundición del material son: por fuego, por resistencias y por vapor, cada una posee características de instalación y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.10.** Matriz de alternativas para el sistema de fundición de material

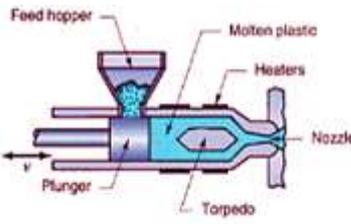
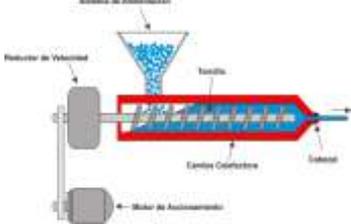
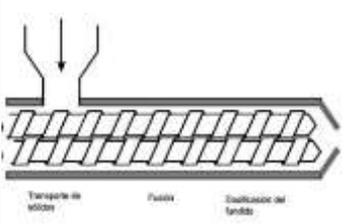
<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
<b>Por fuego</b>	<b>Por resistencias</b>	<b>Por vapor</b>
Sistema independiente para su funcionamiento y nula los gases de combustión. Costo elevado de instalación y mantenimiento.	Fácil de instalar, sistema silencioso y seguro para operar, mejor control de temperatura.	Sistema aislado para su funcionamiento. Mayor costo de instalación y mantenimiento.
		

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.3. Sistema de plastificación

Las alternativas para el sistema del sistema de inyección son: cilindro émbolo, cilindro husillo, cilindro doble husillo, cada una posee características de construcción y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.11.** Matriz de alternativas para el Sistema de plastificación

I	II	III
Cilindro émbolo	Cilindro Husillo	Cilindro Doble husillo
Ideal para máquinas de inyección pequeñas, bajo costo de operación y construcción, apto para la fabricación de pequeñas piezas plásticas.	Mayor costo en diseño y construcción. Apropiado para producción en grandes cantidades y de manera continua.	Costos demasiado elevados en construcción ya que necesitan de mayor tecnología para el diseño.
		

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.4. Sistema de potencia

Las alternativas para el sistema de potencia son: con motor eléctrico, con motor hidráulico y manual, cada una posee características instalación y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.12.** Matriz de alternativas para el sistema de accionamiento y potencia

I	II	III
Manual	Con motor eléctrico	Con motor hidráulico
No tiene sistema de control ya que necesita de un operador.	Costo no muy elevado, versátil, tamaño y peso reducido y de fácil control.	Mayor costo de adquisición, instalación y mantenimiento. Mejor rendimiento y potencia, requiere de elementos adicionales.
		

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.5. Sistema de empuje de inyección

Las alternativas para el sistema de empuje de inyección son: cilindro neumático y cilindro hidráulico, cada una posee características instalación y de funcionamiento, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.13.** Matriz de alternativas para el sistema de empuje de inyección

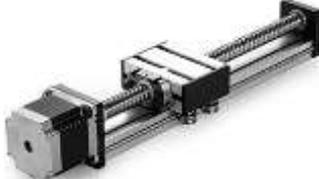
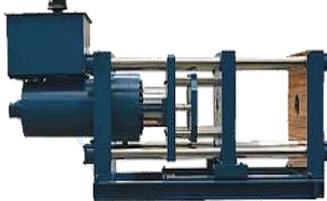
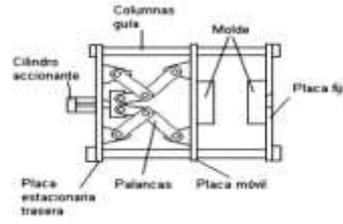
<b>I</b> <b>Cilindro Hidráulico</b>	<b>II</b> <b>Cilindro neumático</b>
Costo reducido, muestra mayor sencillez en el diseño, montaje y control, no posee mayor fuerza y precisión de empuje.	Mayor costo de adquisición, instalación y mantenimiento. Mejor rendimiento y potencia, requiere de elementos adicionales.
	

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.6. Sistema de cierre de molde

Las alternativas para el sistema de cierre de molde son: la utilización de cilindros hidráulicos, cierre mecánico y a través de la utilización del sistema sin fin con motor eléctrico, cada uno posee sus características técnicas, que se describe mediante la siguiente matriz.

**Tabla 4.14.** Matriz de alternativas para el sistema de cierre de molde

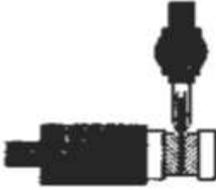
<b>I</b> <b>Sin fin motor eléctrico</b>	<b>II</b> <b>Cilindro Hidráulico</b>	<b>III</b> <b>Cierre mecánico</b>
Elevado costo de fabricación necesita de un elemento de potencia adicional para su funcionamiento.	Costo reducido, muestra mayor sencillez en el diseño, montaje y control, gran precisión en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

Fuente: Autores

#### 4.6.2.2.7. Configuración de la disposición de la inyección

La disposición puede ser vertical, horizontal y lateral.

**Tabla 4.15.** Matriz de alternativas para la configuración de la disposición de la inyección

<b>I</b> <b>Horizontal</b>	<b>II</b> <b>Vertical</b>	<b>III</b> <b>Lateral</b>
El cierre de molde con la inyección está en un mismo plano horizontal, simplificando la instalación de las unidades, y aprovechando la fuerza de gravedad para la extracción de las piezas.	El cierre de molde con la inyección está en un mismo plano vertical, simplificando la instalación de las unidades, pero la extracción de piezas producidas es más compleja ya que no es posible el uso de la fuerza de gravedad.	La inyección se efectúa en un plano vertical y el cierre de molde en un plano horizontal, la inyección se efectúa a 90 grados en el molde para llevar el material, lo que hace muy complejo su diseño.
		

Fuente: Autores

### 4.7. Metodología para el diseño de detalle

El Dimensionamiento y validación de los sistemas y elementos de la máquina de inyección para termoplásticos se lo realiza a través de la descripción y utilización de modelos matemáticos, propuesto por varias investigaciones. Se establecen las ecuaciones de diseño para cada uno de los sistemas de la máquina de inyección.

#### 4.7.1. Modelamiento del sistema de inyección

Dentro del sistema de inyección interviene varios subsistemas, como el cilindro de plastificación, el tornillo helicoidal de inyección y su recorrido, la tolva, la boquilla, y la niquelina.

##### 4.7.1.1. El cilindro

En el cilindro de inyección es el elemento más importante de la máquina de inyección, debido que en éste se realiza la transformación de sólido a líquido el termoplástico. Determina en gran medida la calidad de la pieza inyectada, ya que debe poseer la suficiente capacidad de cilindro para hacer una inyección completa. Aquí se aloja el tornillo helicoidal de inyección, el cual se analiza su configuración geométrica para determinar así, la capacidad del cilindro.

**Tabla 4.16.** Configuración geométrica del tornillo helicoidal de inyección

<p>El tornillo helicoidal de inyección tiene la función de transportar el material termoplástico, por medio de sus dientes, es por eso que se configura su ángulo de hélice del canal, que se toma del borde del canal en espiral y una línea paralela a la línea central del tornillo, además de su espesor del diente, holgura y paso.</p>				
	Ecuación	Descripción	Unidad	N°
Paso del Husillo	$t = 2 \times p_x$	$p_x$ : Separación circular del eje	mm	(4.1)
		$t$ : paso del husillo	mm	
Angulo de hélice del canal	$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{t}{\pi \times D} \right)$	$t$ : paso del husillo	mm	(4.2)
		$D$ : Diámetro del husillo	mm	
Anchura de la cresta del diente	$e = \left( \frac{0,12 \times D}{3} \right)$	$D$ : Diámetro del husillo e:	mm	(4.3)
		$e$ : Anchura de la cresta del diente	mm	
Holgura del filete	$\delta h = 0,002 \times D$	$D$ : Diámetro del husillo	mm	(4.4)
		$\delta h$ : Holgura del filete	mm	

Realizado por: Autores

#### 4.7.1.2. Caudal volumétrico

Es el volumen del fluido que pasa desde la tolva y llega a la cavidad del molde en un tiempo determinado.

**Tabla 4.17.** Caudal volumétrico. Relación desde el ingreso de la tolva hasta boquilla

<p>Para el flujo volumétrico del cilindro se toma en cuenta el flujo de arrastre <math>\alpha</math>, que es el responsable del movimiento del material desde la tola de alimentación hasta la boquilla, además del flujo de presión <math>\beta</math>, el mismo que es opuesto al flujo de arrastre debido a la diferencia de presión entre la tolva y la boquilla (originada por la restricción en la boquilla). Se tiene en cuenta las pérdidas del material entre los filetes del tornillo helicoidal y el cilindro, estas pérdidas reciben el nombre de flujo de filtración <math>\gamma</math>, y así, se calcula el caudal volumétrico, también incluida una constante <math>k</math>, que se obtiene cuando el cabezal se divide convencionalmente en zonas sucesivas de diferente configuración.</p>				
	Ecuación	Descripción	Unid.	N°
Flujo de arrastre	$\alpha = \frac{\pi \times m \times D \times h \times \left( \frac{t}{m} - e \right) \times \cos^2(\varphi)}{2}$	$m$ : Número de canales del husillo	u	(4.5)
		$D$ : Diámetro del husillo	mm	
		$h$ : Profundidad del canal en la zona de bombeo	mm	
		$t$ : Paso del husillo	mm	
		$e$ : Anchura de la cresta del diente	mm	
		$\varphi$ : Angulo de hélice del canal	mm	
		$\alpha$ : Flujo de arrastre	mm <sup>3</sup>	

<b>Flujo de presión</b>	$\beta = \frac{m \times h_1^3 \times \left( \frac{t}{m} - e \right) \times \text{sen}(\varphi) \times \cos(\varphi)}{12 \times L}$	$\varphi$ : Angulo de hélice canal	Grado	<b>(4.6)</b>
		$m$ : Número de canales del husillo	u	
		$h_1$ : Profundidad del canal en la zona de bombeo.	mm	
		$t$ : Paso del husillo	mm	
		$e$ : Anchura de la cresta del diente	mm	
		$L$ : Longitud del husillo	mm	
		$\beta$ : Flujo de presión	mm <sup>3</sup>	
<b>Flujo de filtración</b>	$\gamma = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta h^3 \times \tan(\varphi)}{10 \times e \times L}$	$D$ : Diámetro del husillo	mm	<b>(4.7)</b>
		$\delta h$ : Holgura del filete	mm	
		$L$ : Longitud del husillo	mm	
		$e$ : Anchura de la cresta del diente	mm	
		$\varphi$ : Angulo de hélice del canal	Grado	
		$\gamma$ : Flujo de filtración	mm <sup>3</sup>	
<b>Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora</b>	$k = \frac{3 \times \pi \times D_o^3 \times C^3}{128 \times L \times (D_o^2 \times D_o^2 \times D_1^2 + D_1^2)}$	$D_o$ : Diámetro	mm	<b>(4.8)</b>
		$D_1$ : Diámetro	mm	
		$L$ : Longitud del husillo	mm	
		$k$ : Constante total de la forma geométrica	mm <sup>3</sup>	
<b>Flujo volumétrico</b>	$Q = \left( \frac{\alpha \times k}{k + \beta + \gamma} \right) \times n$	$\alpha$ : Flujo de arrastre	mm <sup>3</sup>	<b>(4.9)</b>
		$k$ : Constante total de la forma geométrica de cabeza perfiladora	mm <sup>3</sup>	
		$\beta$ : Flujo de presión	mm <sup>3</sup>	
		$\gamma$ : Flujo de filtración	mm <sup>3</sup>	
		$n$ : Revoluciones del husillo	rps	
		$Q$ : Flujo volumétrico	cc/seg	

Realizado por: Autores

#### 4.7.1.3. Flujo másico, flujo de compresión y la potencia

Flujo de compresión es la relación entre las alturas medidas del filete, medidas en la zona de alimentación y dosificación, la cual permite expresar la compresión mecánica sufrida por el material termoplástico y el flujo másico expresa la variación que presenta la masa del material con respecto al tiempo en el cilindro de inyección.

**Tabla 4.18.** Potencia ejercida por el tornillo helicoidal de inyección

La cantidad de trabajo que se realiza por unidad de tiempo se asocia con la variación de la masa del material termoplástico y el flujo de compresión dado por la relación de los filetes en la zona de alimentación y dosificación, con respecto al tiempo.				
	Ecuación	Descripción	Unidad	N°
<b>Calculo de potencia</b>	$N = \frac{n \times \pi \times D^3}{K^2}$	$n$ : Revoluciones del husillo	<i>rpm</i>	<b>(4.10)</b>
		$D$ : Diámetro del husillo	<i>mm<sup>3</sup></i>	
		$K$ : Factor de proporcionalidad	<i>u</i>	
		$N$ : Potencia	<i>kW</i>	
<b>Flujo de compresión</b>	$\varepsilon = \frac{h_1}{h_2}$	$h_1$ : Altura del filete en la zona de alimentación	<i>mm</i>	<b>(4.11)</b>
		$h_2$ : Altura del file en la zona de dosificación	<i>mm</i>	
		$\varepsilon$ : Flujo de compresión	<i>u</i>	
<b>Flujo másico</b>	$\dot{m} = Q \times \delta$	$Q$ : Flujo volumétrico	<i>cc / seg</i>	<b>(4.12)</b>
		$\delta$ : Densidad del Nylon 6A	<i>g / cm<sup>3</sup></i>	
		$\dot{m}$ : Flujo másico	<i>g / s</i>	

**Realizado por:** Autores

#### 4.7.1.4. Presión de inyección

La presión se basa una vez el termoplástico se encuentre en estado líquido, el mismo que puede fluir bajo la aplicación de una presión (presión de inyección).

**Tabla 4.19.** Presión máxima y presión de operación

La presión máxima se genera en la parte delantera del husillo, cumpliendo un papel importante y en el acabado del material y la presión de operación es aquella con la que vamos a trabajar para obtener nuestro llenado de la pieza con el material Nylon 6A.				
	Ecuación	Descripción	Unid.	N°
<b>Presión máxima</b>	$P_{\max} = \frac{6 \times \pi \times D \times L_d \times n \times \mu}{h_2 \times \tan(\varphi)}$	$D$ : Diámetro del husillo	<i>mm</i>	<b>(4.13)</b>
		$L_d$ : Longitud del husillo	<i>mm</i>	
		$n$ : Revoluciones del husillo	<i>rpm</i>	
		$\mu$ : Viscosidad efectiva	<i>Pa.s</i>	
		$h_2$ : Altura del husillo en la zona de dosificación	<i>mm</i>	
		$\varphi$ : Angulo de hélice del canal	Grado	
		$P_{\max}$ : Presión máxima	<i>Mpa</i>	

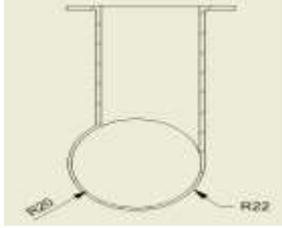
<b>Presión de operación</b>	$P_{op} = \frac{2 \times \pi \times \mu \times D^2 \times n \times h_1 \times \sin(\varphi) \times \cos(\varphi)}{\left( \frac{h_2^4}{4 \times h_1} + \frac{D \times h_1^3 + \sin^2(\varphi)}{3 \times L} \right)}$	$\mu$ : Viscosidad efectiva	Pa.s	<b>(4.14)</b>
		$D$ : Diámetro del husillo	mm	
		$n$ : Revoluciones del husillo	rpm	
		$L$ : Longitud del husillo	mm	
		$h_1$ : Altura del husillo en la zona de dosificación	mm	
		$h_2$ : Radio del alma del husillo	mm	
		$\varphi$ : Angulo de hélice del canal	Grado	
		$P_{op}$ : Presión de operación	Mpa	

**Realizado por:** Autores

#### 4.7.1.5. Espesor y esfuerzos del cilindro de inyección

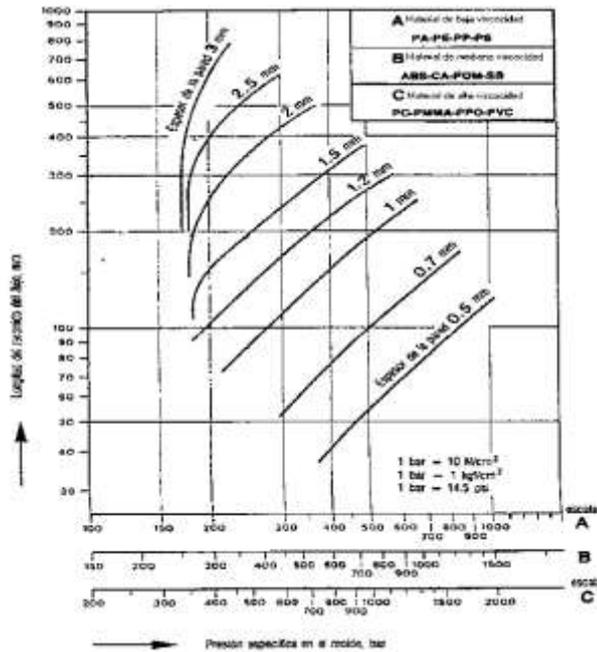
El espesor del cilindro de inyección es de 2mm.

**Tabla 4.20.** Esfuerzos en el cilindro de inyección

<p><b>Según la norma INEN 294-1 se recomienda usar un tornillo helicoidal de inyección de 18mm a 40mm [20].</b></p>				
	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>N°</b>
<b>Esfuerzo Tangencial</b>	$\sigma_{t1} = \frac{P_{max} \times r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \times \left( 1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right)$	$r_i$ : Radio Interior	<b>mm</b>	<b>(4.15)</b>
		$r_o$ : Radio exterior	<b>mm</b>	
		$P_{max}$ : Presión máxima	<b>Mpa</b>	
		$\sigma_{t1}$ : Esfuerzo	<b>Mpa</b>	
<b>Esfuerzo Radial</b>	$\sigma_{ri} = \frac{P_{max} \times r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \times \left( 1 - \frac{r_o^2}{r_i^2} \right)$	$r_o$ : Radio exterior	<b>Mm</b>	<b>(4.16)</b>
		$r_i$ : Radio interior	<b>mm</b>	
		$P_{max}$ : Presión máxima	<b>Mpa</b>	
		$\sigma_{ri}$ : Esfuerzo	<b>Mpa</b>	
<b>Esfuerzo Equivalente</b>	$\sigma_{eq} = \sigma_{ti} - \sigma_{ri}$	$\sigma_{ti}$ : Esfuerzo Tangencial	<b>Mpa</b>	<b>(4.17)</b>
		$\sigma_{ri}$ : Esfuerzo Radial	<b>Mpa</b>	
		$\sigma_{eq}$ : Esfuerzo Equivalente	<b>Mpa</b>	

**Realizado por:** Autores

Mediante el siguiente diagrama, se corrobora la presión de inyección, con la longitud de recorrido, el material termoplástico y el espesor de pared.



**Figura 4.2.** Diagrama para determinar la presión de inyección, mediante el espesor de pared y la longitud de recorrido.

Fuente: [30]

#### 4.4.1.6. El tornillo helicoidal de inyección

La función que posee es la de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y llevarlo hacia la parte de adelante hasta que se junta la cantidad suficiente para luego inyectarlo hacia el molde con un movimiento axial.

**Tabla 4.21.** Las zonas del tornillo helicoidal de inyección

Ecuación		Descripción	Unid.	N°
El tornillo helicoidal de inyección se divide en tres zonas: alimentación, transición y dosificación.	$L_t = relación \frac{L}{D} \times \phi_h$	$\frac{L}{D}$ : Relación longitud-tornillo	mm	(4.18)
		$\phi_h$ : Diámetro	mm	
		$L_t$ : Longitud del tornillo Helicoidal	mm	
Zona de alimentación	$L_a = 0,5 \times L$	$L$ : Longitud del tornillo helicoidal de inyección	mm	(4.19)
		$L_a$ : Longitud de la zona de alimentación	mm	

<b>Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de alimentación</b>	$r_{h1} = \frac{Di}{2}$	$Di$ : Diámetro de inicio del husillo	$mm$	(4.20)
		$r_{h1}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de alimentación	$mm$	
<b>Zona de transición</b>	$L_t = 0,3 \times L$	$L$ : Longitud del tornillo helicoidal de inyección	$mm$	(4.21)
		$L_t$ : Longitud de la zona de transición	$mm$	
<b>Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de transición</b>	$r_{h2} = r_{h3} - \tan(\varphi) \times L_t$	$L_t$ : Longitud de la zona de transición	$mm$	(4.22)
		$\varphi$ : Angulo de hélice de canal	$Grad$	
		$r_{h3}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de dosificación	$mm$	
		$r_{h2}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de transición	$mm$	
<b>Zona de dosificación</b>	$L_d = 0,2 \times L$	$L$ : Longitud del tornillo helicoidal de inyección	$mm$	(4.23)
		$L_d$ : Longitud de la zona de dosificación	$mm$	
<b>Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de dosificación</b>	$r_{h3} = r_{h4} - \tan(\varphi) \times L_d$	$r_{h4}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona final de dosificación	$mm$	(4.24)
		$\varphi$ : Angulo de hélice del canal	Grado	
		$L_d$ : Longitud de la zona de dosificación	$mm$	
		$r_{h3}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de dosificación	$mm$	
<b>Volumen de dosificación</b>	$V_d = \pi \times (r_{h4}^2 + r_{h4}^2 \times r_{h3}^2 + r_{h3}^2) \times L_d$	$r_{h4}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona final de dosificación	$mm$	(4.25)
		$L_d$ : Longitud de la zona de dosificación	$mm$	
		$V_d$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	

<b>Volumen de transición</b>	$V_t = \pi \times (r_{h3}^2 + r_{h3}^2 \times r_{h3}^2 + r_{h3}^2) \times L_t$	$r_{h3}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de dosificación	<i>mm</i>	<b>(4.26)</b>
		$L_t$ : Longitud de la zona de transición	<i>mm</i>	
		$V_t$ : Volumen de transición	<i>mm</i> <sup>3</sup>	
<b>Volumen de alimentación</b>	$V_a = \pi \times (r_{h2}^2 + r_{h2}^2 \times r_{h2}^2 + r_{h2}^2) \times L_a$	$r_{h2}$ : Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de transición	<i>mm</i>	<b>(4.27)</b>
		$L_a$ : Longitud de alimentación	<i>mm</i>	
		$V_a$ : Volumen de alimentación	<i>mm</i> <sup>3</sup>	
<b>Volumen total del alma</b>	$V_{total} = V_a + V_t + V_d$	$V_a$ : Volumen de alimentación	<i>mm</i>	<b>(4.28)</b>
		$V_t$ : Volumen de transición	<i>mm</i>	
		$V_d$ : Volumen de dosificación	<i>mm</i>	
		$V_{total}$ : Volumen total del alma	<i>mm</i> <sup>3</sup>	

Realizado por: Autores

#### 4.4.1.6.1. Filetes del tornillo helicoidal de inyección

El tornillo helicoidal de inyección es un elemento fundamental en la máquina de inyección. Desde la zona inicial del tornillo, en cada giro el filete atrapa y empuja la granza que ha caído por gravedad en la ranura del mismo. Los filetes recorren el husillo de un extremo al otro, son los verdaderos impulsores del material a través del cilindro.

Tabla 4.22. Configuración de los filetes del tornillo helicoidal de inyección

Se configura la longitud y volumen del filete, y del alma del tornillo helicoidal de inyección.				
	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Nº</b>
<b>Longitud del filete</b>	$L_f = \sqrt{\left(\frac{D}{\tan(\varphi)}\right)^2 + D^2}$	$D$ : Diámetro del husillo	<i>mm</i>	<b>(4.29)</b>
		$\varphi$ : Angulo de hélice de canal	Grados	
		$L_f$ : Longitud del filete	<i>mm</i>	
<b>Volumen del filete</b>	$V_f = L_f \times e \times h_1$	$L_f$ : Longitud del filete	<i>mm</i>	<b>(4.30)</b>
		$e$ : Anchura de la cresta diente	<i>mm</i>	
		$h_1$ : Altura del filete	<i>mm</i>	
		$V_f$ : Volumen del filete	<i>mm</i> <sup>3</sup>	

<b>Volumen de filete en zona de alimentación</b>	$V_{fa} = V_f \times N^\circ \text{filetes}$	$V_f$ : Volumen del filete	$mm^3$	<b>(4.31)</b>
		$V_{fa}$ : Volumen de filete en zona de alimentación	$mm^3$	
<b>Volumen de filete en zona de transición</b>	$V_{ft} = V_f \times N^\circ \text{filetes}$	$V_f$ : Volumen del filete	$mm^3$	<b>(4.32)</b>
		$V_{ft}$ : Volumen de filete en zona de transición	$mm^3$	
<b>Volumen de dosificación</b>	$V_{fd} = V_f \times N^\circ \text{filetes}$	$V_f$ : Volumen del filete	$mm^3$	<b>(4.33)</b>
		$V_{fd}$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	
<b>Volumen total del filete</b>	$V_{tf} = V_{fa} + V_{ft} + V_{fd}$	$V_{fa}$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	<b>(4.34)</b>
		$V_{fd}$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	
		$V_{ft}$ : Volumen de filete en zona de transición	$mm^3$	
		$V_{tf}$ : Volumen total del filete	$mm^3$	
<b>Volumen total del tornillo helicoidal de inyección.</b>	$V_{th} = V_{fa} + V_{ft} + V_{fd} + V_t$	$V_{fa}$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	<b>(4.35)</b>
		$V_t$ : Volumen de transición	$mm^3$	
		$V_{ft}$ : Volumen de filete en zona de transición	$mm^3$	
		$V_{fd}$ : Volumen de dosificación	$mm^3$	
		$V_{th}$ : Volumen total del husillo	$mm^3$	
<b>Masa del tornillo helicoidal de inyección</b>	$m_h = \delta' \times V_{th}$	$\delta'$ : Densidad del acero	$kg / mm^3$	<b>(4.36)</b>
		$V_{th}$ : Volumen total del husillo	$mm^3$	
		$m_h$ : Masa del husillo	$kg$	

**Realizado por:** Autores

#### 4.4.1.6.2. Esfuerzos en el tornillo helicoidal de inyección

Previamente determinadas las dimensiones del tornillo helicoidal de inyección, se analiza los esfuerzos. Sobre el husillo actúa una fuerza axial, el momento de giro y la carga uniformemente repartida originada por el propio peso del husillo.

**Tabla 4.23.** Esfuerzos en el tornillo helicoidal de inyección

<p>Para comprobar las dimensiones del husillo se realiza el cálculo de resistencia, para determinar la flecha máxima. Como primer paso se inicia a calcular el torque necesario para lograr la rotación sobre el eje, la relación de diámetros, Sección transversal del husillo, Momento de inercia, Radio de inercia, Esbeltez del husillo, Fuerza tangencial, Tensión tangencial, Carga repetida, Momento de flexión máximo, Momento de incidencia, Tensión normal en el husillo, Tensión resultante, dichos valores se traduce en una mínima o máxima deformación que sufre el elemento.</p>				
	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>N°</b>
<b>Momento del husillo</b>	$M_g = 9550 \times \frac{N}{n}$	$N$ : Potencia	$kW$	<b>(4.37)</b>
		$n$ : Revoluciones	$rpm$	
		$M_g$ : Momento del husillo	$N \times m$	
<b>Relación de diámetros</b>	$u = \frac{D_i}{D_{i2}}$	$D_i$ : Diámetro al inicio del husillo	$mm$	<b>(4.38)</b>
		$D_{i2}$ : Diámetro al final del husillo	$mm$	
		$u$ : La Relación de diámetros	$u$	
<b>Sección transversal del husillo</b>	$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \times (1 - u^2)$	$D$ : Diámetro del husillo	$mm$	<b>(4.39)</b>
		$\mu$ : Viscosidad dinámica	$Pa \cdot s$	
		$A$ : Sección transversal del husillo	$m^2$	
<b>Momento de inercia</b>	$J = \frac{\pi \times D^4}{4} \times (1 - u^4)$	$D$ : Diámetro del husillo	$mm$	<b>(4.36)</b>
		$\mu$ : Viscosidad dinámica	$Pa \cdot s$	
		$J$ : Momento de inercia	$m^3$	
<b>Radio de inercia</b>	$R_i = \sqrt{\frac{J}{A}}$	$R_i$ : Radio de inercia	$m$	<b>(4.40)</b>
		$J$ : Momento de inercia	$m^4$	
		$A$ : Sección transversal del husillo	$m^2$	
<b>Esbeltez del husillo</b>	$\lambda = \frac{2 \times L}{R_i}$	$L$ : Longitud del husillo	$mm$	<b>(4.41)</b>
		$R_i$ : Radio de inercia	$m$	
		$\lambda$ : Esbeltez del husillo		
<b>Fuerza tangencial</b>	$F = A \times P_{max}$	$P_{max}$ : Presión máxima	$Mpa$	<b>(4.42)</b>
		$A$ : Sección transversal del husillo	$m^2$	
		$F$ : Fuerza tangencial	$kN$	
<b>Tensión tangencial</b>	$\tau = \frac{16 \times M_g}{\pi \times D^3 \times (1 - u^4)}$	$M_g$ : Momento del husillo	$Mpa$	<b>(4.43)</b>
		$D$ : Diámetro del husillo	$mm$	
		$\mu$ : Viscosidad dinámica	$Pa \cdot s$	
<b>Carga repetida</b>	$q = \frac{m_h}{L}$	$\tau$ : Tensión tangencial	$Mpa$	<b>(4.44)</b>
		$L$ : Longitud del husillo	$mm$	
		$m_h$ : Masa del husillo	$kg$	
		$q$ : Carga repetida	$kg / m$	

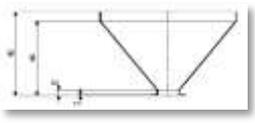
<b>Momento de flexión máximo</b>	$M_f = \frac{q \times L^2}{2}$	$q$ : Carga repetida	$kg / m$	<b>(4.45)</b>
		$L$ : Longitud del husillo	$mm$	
		$M_f$ : Momento de flexión máximo	$kg \times m$	
<b>Momento de residencia</b>	$W_o = \frac{\pi \times D^3}{32} \times (1 - u^4)$	$u$ : Viscosidad dinámica	$Pa \cdot s$	<b>(4.46)</b>
		$D$ : Diámetro del husillo	$mm$	
		$W_o$ : Momento de residencia	$m^3$	
<b>Tensión normal en el husillo</b>	$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M_f}{W_o}$	$A$ : Sección transversal del husillo	$m^2$	<b>(4.47)</b>
		$M_f$ : Momento de flexión máximo	$kg \times m$	
		$W_o$ : Momento de residencia	$m^3$	
		$F$ : Fuerza tangencial	$kN$	
		$\sigma$ : Tensión normal en el husillo	$Mpa$	
<b>Tensión resultante</b>	$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$	$\sigma$ : Tensión normal en el husillo	$Mpa$	<b>(4.48)</b>
		$\tau$ : Tensión tangencial	$Mpa$	
		$\sigma_r$ : Tensión resultante	$Mpa$	
<b>Flecha máxima</b>	$\zeta = \frac{q \times L^4}{8 \times \kappa \times J}$	$q$ : Carga repetida	$kg / m$	<b>(4.49)</b>
		$L$ : Longitud del husillo	$mm$	
		$\kappa$ :		
		$J$ : Momento de inercia	$m^4$	
		$\zeta$ : Flecha máxima	$mm$	

Realizado por: Autores

#### 4.4.1.7. La tolva

La principal función es de permitir que el material termoplástico fluya hacia el cilindro.

Tabla 4.24. Volumen de la tolva

Para el diseño de la tolva no hay especificaciones, el tamaño varía dependiendo de su aplicación o cantidad de producción. Para ello se plantea la siguiente fórmula para el cálculo del volumen total.				
	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Und.</b>	<b>N°</b>
<b>Volumen de la tolva</b>	$V_{tolva} = \pi \left[ r_{ext}^2 \times h_1 + \frac{h_2}{3} \times (r_{ext}^2 + r_{ext}^2 \times r_{int}^2 + r_{int}^2) + r_{int}^2 \times h_3 \right]$	$h_1$ : Altura 1	$mm$	<b>(4.50)</b>
		$h_2$ : Altura 2	$mm$	
		$r_{ext}$ : Radio exterior	$mm$	
		$r_{int}$ : Radio interior	$mm$	
		$h_3$ : Altura 3	$mm$	
		$V_{tolva}$ : Volumen de la tolva	$mm^3$	

Realizado por: Autores

#### 4.4.1.8. Recorrido del husillo

El recorrido es de forma axial, obligando que el material se introduzca dentro del molde.

**Tabla 4.25.** Recorrido axial del tornillo helicoidal de inyección

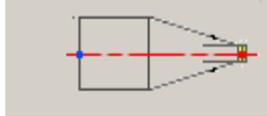
El recorrido de inyección se expresa en la siguiente fórmula, la cual se basa en el volumen de la pieza máxima a inyectar y el radio del cilindro, más un coeficiente de seguridad.				
	Ecuación	Descripción	Unidad	Nº
Cálculo de recorrido del husillo	$R_h = \frac{V}{\pi \times r^2}$	$V$ : Volumen de la pieza a inyectar	$mm^3$	(4.51)
		$r$ : Radio del cilindro de inyección	$mm$	
		$R_h$ : Recorrido del husillo	$mm$	
Coeficiente de seguridad	$C_s = \frac{Re}{\sigma_{eq}}$	Re:		(4.52)
		$\sigma_{eq}$ : Esfuerzo	$Mpa$	
		$C_s$ : Coeficiente de seguridad		

**Realizado por:** Autores

#### 4.4.1.9. La boquilla

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

**Tabla 4.26.** Boquilla de inyección

La boquilla es la punta de la unidad de plastificación y provee una conexión del cilindro al molde de inyección. Dicha conexión debe estar a prueba de derrames del material y una mínima pérdida de presión.				
	Ecuación	Descripción	Unid.	Nº
Presión de contacto	$p_{cont} = \frac{F_{tan}}{\pi \times \text{sen}(\alpha_b) \times D_{medio} \times l_{apoyo}}$	$F_{tan}$ : Fuerza tangencial		(4.53)
		$\alpha_b$ : Angulo de la hélice	Grado	
		$D_{medio}$ : Diámetro medio	$mm$	
		$l_{apoyo}$ : Longitud de apoyo	$mm$	
		$p_{cont}$ : Presión de contacto	$Mpa$	
Coeficiente de seguridad	$C_s = \frac{Re}{p_{cont}}$	Re : Reynolds	u	(4.54)
		$p_{cont}$ : Presión de contacto	$Mpa$	
		$C_s$ : Coeficiente de seguridad	u	

**Realizado por:** Autores

#### 4.4.1.10. La potencia y el tiempo necesario para fundir el material termoplástico

Las resistencias eléctricas se diseñan y se construyen en cualquier tensión, potencia, medidas y forma, para cada necesidad y con diferentes modelos de sujeción.

**Tabla 4.27.** Fundición del material a través de resistencias eléctricas

Las resistencias eléctricas de forma cilíndrica se calculan a partir de la masa del material a fundir, el calor que se requiere para fundir, la potencia y el tiempo que transcurre para cumplir ese trabajo.				
	Ecuación	Descripción	Unidad	N°
Masa del polímero	$m = \delta_{PA} \times V$	$\delta_{PA}$ : densidad del nylon	$g / cm^3$	(4.55.)
		$V$ : Volumen	$cm^3$	
		$m$ : masa	$g$	
Calor	$Q_{PA} = m \times c_p \times \Delta T$	$c_p$ : Calor específico	$KJ/g^\circ C$	(4.56.)
		$m$ : masa	$g$	
		$\Delta T$ : Diferencial de temperatura	$^\circ C$	
		$Q_{PA}$ : Calor	$KJ$	
Potencia requerida para quemar la masa del polímero	$P = c_T \times l \times \Delta T$	$\Delta T$ : Diferencial de temperatura	$^\circ C$	(4.57.)
		$l$ : Longitud	$mm$	
		$c_T$ : Flujo de calor	$W/g^\circ C$	
		$P$ : Potencia	$w$	
Tiempo	$t = \frac{Q_{PA}}{W}$	$Q_{PA}$ : Calor	$KJ$	(4.58.)
		$W$ : Trabajo	$w$	
		$t$ : Tiempo	$s$	

**Realizado por:** Autores

Mediante el uso de un catálogo de niquelinas realizamos la selección de la resistencia que sea suficiente para cubrir la capacidad calorífica, en la siguiente figura se puede apreciar las resistencias de acuerdo al diámetro y longitud del cilindro.

#### 4.4.1.11. La fuerza de cierre

Según la norma INEN 294-1, la fuerza de cierre es la que mantiene cerrados los platos de un molde, siendo ésta no mayor a la fuerza o presión de inyección [20].

**Tabla 4.28.** Fuerza de cierre

	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>N°</b>
<b>Fuerza de cierre</b>	$F_M = A_p \times p_{\max}$	$A_p$ : Área proyectada	$mm^2$	<b>(4.59)</b>
		$p_{\max}$ : Presión de la masa fundida	$Mpa$	
		$F_M$ : Fuerza de cierre	$kN$	

**Realizado por:** Autores

De acuerdo a la siguiente tabla el alcance de nuestra maquina se enfoca para trabajos de toneladas medios.

**Tabla 4.29.** Clasificación de las máquinas de inyección de acuerdo a la fuerza de cierre

Máquinas destinadas a la mini-inyección	< 250 kN
Máquinas de tonelaje medio	250 a 4000 kN
Máquina de gran tonelaje	4000 a 20000 kN
Grandes Prensas	20000 a 50000 kN

**Fuente:** [16]

#### 4.4.1.12. Actuadores hidráulicos

Los actuadores son alimentados con fluido de a presión y se obtiene un movimiento con una determinada fuerza, la cual se ocupa para la fuerza de inyección y la fuerza de cierre del molde.

**Tabla 4.30.** Actuador neumático para la inyección y cierre de la matriz del molde

<p>La presión de la masa fundida, se genera neumáticamente, se puede calcular a partir de la fuerza <math>F_s</math>. que actúa sobre el tornillo, usando la siguiente formula:</p>				
	<b>Ecuación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>N°</b>
<b>Presión máxima para actuador</b>	$P_{\max} = \frac{4000 \times F_t}{\pi \times D^2}$	$F_t$ : Fuerza longitudinal que actúa sobre el tornillo	$kN$	<b>(4.60)</b>
		$D$ : Diámetro del tornillo	$mm$	
		$p_{\max}$ : Presión de la masa fundida	$Mpa$	

**Realizado por:** Autores

## 5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Ensayo por el método de elementos finito FEM/FEA

En el presente punto se describe los elementos y materiales para el ensayo, como también, las características y configuraciones de simulación, basados en la metodología planteada en el punto 4, para concluir con la interpretación de cada uno de los resultados, los cuales, proporcionan datos para el diseño de la máquina de inyección.

#### 5.1.1. Elemento de ensayo

Las características que posee el engranaje plástico asíncrono se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 5.1.** Descripción general de la pieza.

Descripción de la pieza	
Nombre	Engranaje plástico
Volumen	187.06 cm <sup>3</sup>
Peso	213.24 g
Material	Nylon PA6
Aplicación	Bandas transportadoras
Tipo	Asíncrono

**Realizado por:** Autores

#### 5.1.2. Materiales termoplásticos para el ensayo

Se utiliza dos materiales termoplásticos; de alta y baja densidad. Se selecciona el material mediante los criterios de selección, propuestos en el punto 4.4.2. y se procede con su evaluación.

##### 5.1.2.1. Matriz de ponderación para material de baja densidad

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.2.** Matriz de selección de termoplástico de baja densidad

Factores de selección	F.P.	BC818	PB208	PB608	ML2400N	IC32	IF33	IN34	SPB208	SPB608
Resistencia a la flexión	0.60							x		
Disponibilidad	0.10	x	x	x	x	x	x	x	x	x
< Valor	0.10								x	x
Aplicabilidad	0.10							x		
Factores Geométricos	0.10							x		
<b>Total</b>	$\Sigma$	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	<b>0.90</b>	0.20	0.20

**Realizado por:** Autores

La tabla de ponderación da como resultado la selección del polietileno lineal de baja densidad PEBDL código IN34, para los termoplásticos de baja densidad.

### 5.1.2.2. Matriz de ponderación para el material de alta densidad

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.3.** Matriz de selección de termoplástico de baja densidad

Factores de selección	FP	GE7252NS	GE7252XS	HD3403S	HD7255LS-L	IE59U3	IA58	IB58	IG58	SHA7260	SHC7260	SHC7260LS-L	SHD7255LS-L	SGE7252	SGE7252XP	Poliamida 6A
Resistencia a la flexión	0.6				x						x	x				x
Disponibilidad	0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
< Valor	0.1									x	x	x	x	x	x	x
Aplicabilidad	0.1															x
Factores Geométricos	0.1															x
Total	$\Sigma$	0.1	0.1	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2	<b>1.0</b>

Realizado por: Autores

Según la ponderación el material a utilizar y que cumple con todos los criterios de selección es la poliamida PA6, para los termoplásticos de alta densidad.

### 5.1.2.3. Termoplástico ideal de manufactura y llenado

Mediante la tabla 5.2 y 5.3 se determina el termoplástico ideal para el llenado de la pieza, que garantiza estándares de calidad aceptables.

**Tabla 5.4.** Matriz de selección del termoplástico ideal

Factores de selección	F.P.	IN34	NYLON PA6
Resistencia a la flexión	0.60		X
Disponibilidad	0.10	X	X
< Valor	0.10	X	
Aplicabilidad	0.10		X
Factores Geométricos	0.10	X	X
Total	$\Sigma$	0.10	<b>0.90</b>

Fuente: Autores

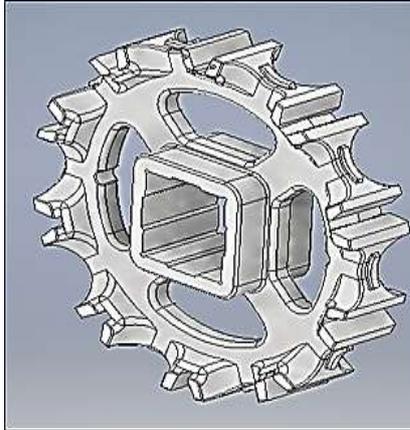
La tabla de ponderación da como resultado la selección del material ideal para la simulación de llenado de la pieza el cual es la poliamida PA6, la cual garantiza una mayor resistencia a la flexión ya que el engranaje está sometido a cargas y esfuerzos durante se aplicación

### 5.1.3. Etapa de pre-procesamiento

Se sigue los pasos descrito en la tabla 4.4. para evitar imprevistos en el ensayo.

#### 5.1.3.1. Modelado geométrico

En la figura 5.1. se puede observar el diseño de la pieza en el software CAD en 3D.



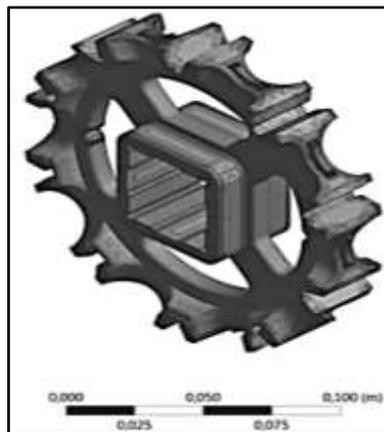
**Figura 5.1.** Boceto de pieza para ensayo.

**Fuente:** Autores

Terminado el diseño del elemento se procede a exportarlo al software CAE en el formato STEP.

#### 5.1.3.2. Mallado del elemento a ensayar “engranaje”

La pieza a simular presenta complejidad geométrica ya que cuenta con varios elementos de curvatura; motivo por el cual como método de mallado se utilizaron elementos tetraédricos



**Figura 5.2.** Mallado del engranaje.

**Fuente:** Autores

Finalizada la discretización del elemento se obtiene una malla con un total de 1852228 elementos y 2090701 nodos, y una métrica de malla Orthogonal Quality de valor promedio de 0.929, este valor asegura la confiabilidad de los datos de la simulación.

### 5.1.3.3. Configuración de las Condiciones iniciales y de frontera

#### 5.1.3.3.1. Colocación del punto de inyección

Se ubico el inyector según la gráfica tomando como referencia principal la dirección de la inyección y la gravedad que afectan directamente al llenado.

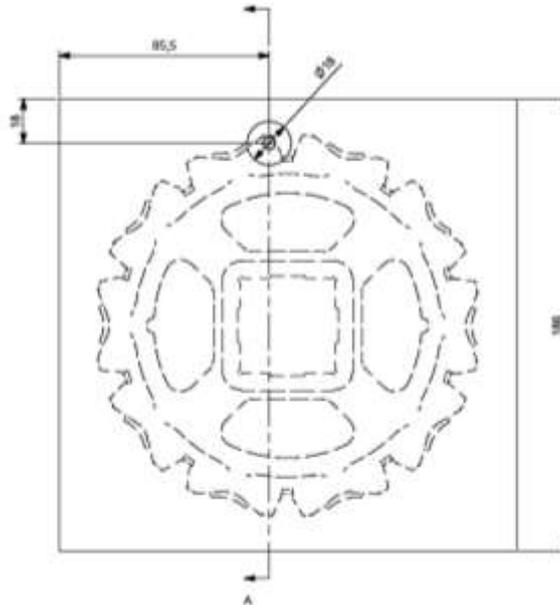


Figura 5.3. Posicionamiento del inyector

Fuente: Autores

#### 5.1.3.3.2. Configuración de las propiedades físicas, mecánicas y térmicas del material

A continuación, en las siguientes tablas se especifica las propiedades de los materiales a ensayar, valores que son tomados del catálogo de las empresas suministradoras.

Las propiedades del material termoplástico de alta densidad son:

Tabla 5.5. Propiedades del Nylon 6

NYLON PA6		
Propiedades	Unidades	Valor
Propiedades físicas	Densidad $\text{g/cm}^3$	1.14
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tensión $\text{kg/cm}^2$	720
	Dureza Rockwell HDR	75
	Resistencia al impacto IZOD	18
	Coefficiente de fricción	0.37
Propiedades térmicas	Calor específico $\text{j/kg} - \text{k}$	170
	Temperatura de fusión $^{\circ}\text{C}$	255
	Conductividad térmica $\text{cal/s} - \text{m} - \text{c}$	0.05

Fuente: [27]

Las propiedades del material termoplástico de baja densidad son:

**Tabla 5.6.** Propiedades del IN34

<b>IN34</b>		
<b>Propiedades</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Propiedades físicas	Densidad g/cm <sup>3</sup>	0.938
Propiedades mecánicas	Resistencia a la tensión MPa	9
	Dureza Shore	59
	Resistencia al impacto IZOD	40
Propiedades térmicas	Calor específico j/kg – k	155
	Temperatura de fusión °C	110
	Conductividad térmica cal/s – m – c	0.04

**Fuente:** [26]

#### 5.1.3.4. Configuración de la presión de inyección

Se realiza un protocolo de simulaciones, para diferentes presiones descritas en la tabla 5.3

**Tabla 5.7.** Presiones para la simulación

<b>Material</b>		<b>Presión de inyección MPa</b>
Termoplástico de alta densidad	Nylon PA6	35-70-90
Termoplástico de baja densidad	LLDPE IN34	35-70-90

**Realizado por:** Autores

#### 5.1.3.5. Velocidad de inyección

Las diferentes presiones de inyección generan distintas velocidades de flujo que se describen a continuación.

**Tabla 5.8.** Velocidades para la simulación

<b>Material</b>	<b>Presión de inyección MPa</b>	<b>Velocidad de inyección m/s</b>
IN34 - Nylon PA6	90	380.7
	70	349.8
	35	174.6

**Realizado por:** Autores

### 5.1.4. Resultados de la etapa de post-procesamiento

En este punto se detalla los resultados obtenidos de la simulación de llenado y del proceso de inyección y se presenta la interpretación final, tanto para el material termoplástico de alta y baja densidad.

**Tabla 5.9.** Discusión de los resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de alta densidad

TERMOPLÁSTICO DE ALTA DENSIDAD NYLON PA6					
Variables del proceso ensayadas		Variables del proceso ensayadas		Variables del proceso ensayadas	
Presión de inyección	35 MPa	Presión de inyección	70 MPa	Presión de inyección	90 MPa
Velocidad de inyección	174.6 m/s	Velocidad de inyección	349.8 m/s	Velocidad de inyección	380.7 m/s
Temperatura de inyección	255 °C	Temperatura de inyección	255 °C	Temperatura de inyección	255 °C
Resultados		Resultados		Resultados	
Temp. de avance en las paredes del molde.	267.54 °C	Temp. De avance en las paredes del molde.	255 °C	Temp. De avance en las paredes del molde.	286.13 °C
Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K	Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K	Coefficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K
Flujo de calor	0.98 W/m <sup>2</sup>	Flujo de calor	89.95 W/m <sup>2</sup>	Flujo de calor	573.34 W/m <sup>2</sup>
Presión en el molde	0.12 MPa	Presión en el molde	0.20 MPa	Presión en el molde	0.16 MPa
Temperatura de inyección	267.54 °C	Temperatura de inyección	255 °C	Temperatura de inyección	286.13 °C
Velocidad de inyección	179.83 m/s	Velocidad de inyección	478.07 m/s	Velocidad de inyección	380.70 m/s
Tiempo de llenado.	31.27 s	Tiempo de llenado.	2.66 s	Tiempo de llenado.	1.10 s
Manufacturable	No	Manufacturable	Si	Manufacturable	Si
<b>Conclusión:</b> La pieza no es manufacturable ya que tiene un elevado tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, presenta problemas de contracción, solidificación, compactación, porosidades, hundimientos, rebabas finalizado el proceso de inyección. La pieza no cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión		<b>Conclusión:</b> La pieza presenta un llenado satisfactorio, es manufacturable ya que tiene un menor tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, no presenta problemas de solidificación, compactación, porosidades, hundimientos, rebabas finalizado el proceso de inyección. La pieza cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión.		<b>Conclusión:</b> La pieza presenta un llenado satisfactorio, es manufacturable ya que tiene un menor tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, presenta leves problemas de solidificación y compactación ya que al tener un elevado margen de trabajo el tiempo de inyección es muy rápido por lo que la pieza no se enfría correctamente, por lo que es necesario alargar el tiempo de enfriamiento y curado una vez inyectada la pieza. La pieza cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión.	

**Realizado por:** Autores

**Tabla 5.10.** Discusión de los resultados de la simulación de llenado y del proceso de inyección para el material termoplástico de baja densidad

<b>TERMOPLÁSTICO DE BAJA DENSIDAD LLDPE IN34</b>					
<b>Variables del proceso ensayadas</b>		<b>Variables del proceso ensayadas</b>		<b>Variables del proceso ensayadas</b>	
Presión de inyección	35 MPa	Presión de inyección	70 MPa	Presión de inyección	90 MPa
Velocidad de inyección	174.6 m/s	Velocidad de inyección	349.8 m/s	Velocidad de inyección	380.7 m/s
Temperatura de inyección	255 °C	Temperatura de inyección	255 °C	Temperatura de inyección	255 °c
<b>Resultados</b>		<b>Resultados</b>		<b>Resultados</b>	
Temp. de avance en las paredes del molde.	114.38 °C	Temp. De avance en las paredes del molde.	110°C	Temp. De avance en las paredes del molde.	110°C
Coeficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K	Coeficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K	Coeficiente de transferencia de calor	1785.25 W/m <sup>2</sup> K
Flujo de calor	0.34 W/m <sup>2</sup>	Flujo de calor	969.92 W/m <sup>2</sup>	Flujo de calor	698.04 W/m <sup>2</sup>
Presión en el molde	0.12 MPa	Presión en el molde	0.19 MPa	Presión en el molde	0.21 MPa
Temperatura de inyección	114.38 °C	Temperatura de inyección	110°C	Temperatura de inyección	110°C
Velocidad de inyección	174.60 m/s	Velocidad de inyección	446.78 m/s	Velocidad de inyección	486.68 m/s
Tiempo de llenado.	76.75 s	Tiempo de llenado.	37.25 s	Tiempo de llenado.	32.16 s
Manufacturable	No	Manufacturable	No	Manufacturable	No
<p><b>Conclusión:</b> La pieza no es manufacturable ya que tiene un elevado tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, presenta problemas de contracción, solidificación, compactación, porosidades, hundimientos, rebabas finalizado el proceso de inyección. La pieza no cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión</p>		<p><b>Conclusión:</b> La pieza presenta un llenado satisfactorio, es manufacturable ya que tiene un menor tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, no presenta problemas de solidificación, compactación, porosidades, hundimientos, rebabas finalizado el proceso de inyección. La pieza no cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión.</p>		<p><b>Conclusión:</b> La pieza presenta un llenado satisfactorio, es manufacturable ya que tiene un menor tiempo de llenado el cual afecta directamente a la calidad de la pieza, no presenta problemas de solidificación, compactación, porosidades, hundimientos, rebabas finalizado el proceso de inyección, tiene un elevado margen de trabajo debido a que el tiempo de inyección es muy rápido. La pieza no cumple con el requerimiento de propiedad mecánica de resistencia a la flexión.</p>	

**Realizado por:** Autores

**Nota:** Cada simulación se encuentra desplegada con su respectiva interpretación en el Anexo 5.

## 5.2. Engranaje sometido al ensayo estructural

A través de la simulación y análisis por el método de elementos finitos (FEM), se procede con el cálculo y la determinación de los efectos de las cargas y fuerzas en el engranaje. En la tabla siguiente se discute los resultados obtenidos tanto para el material de alta y de baja densidad.

**Tabla 5.11.** Discusión de resultados del engranaje sometido al ensayo estructural

Material	NYLON PA6	Resistencia a la tensión del material MPa	Resistencia a la flexión del material MPa	Esfuerzo a la flexión	Esfuerzo de tensión MPa	Factor de seguridad	
		70.61	76	5.59 MPa	10.90	Min	4.58
<b>Conclusión</b>	El engranaje inyectado es manufacturable, ya que cumple con los requerimientos de propiedades mecánicas por que los esfuerzos de tensión y flexión son menores que los del material, al tener un factor de seguridad mínimo de 4.58 garantiza la seguridad estructural por lo que el elemento no fallara durante su uso (mover una banda transportadora).						
Material	IN34	Resistencia a la tensión del material MPa	Resistencia a la flexión del material MPa	Esfuerzo a la flexión MPa	Esfuerzo de tensión MPa	Factor de seguridad	
		18	9	5.59	10.90	Min	0.82
<b>Conclusión</b>	El engranaje inyectado no es manufacturable, ya que no cumple con los requerimientos de propiedades mecánicas, al tener un factor de seguridad mínimo de 0.82 no garantiza la seguridad estructural por lo que el elemento fallara durante su uso (mover una banda transportadora).						

**Realizado por:** Autores

**Nota:** Cada simulación se encuentra desplegada con su respectiva interpretación en el Anexo 6.

## 5.3. Diseño conceptual

La función global de la máquina de inyección propuesta en la figura 4.1. se desglosa en el presente punto, dando la solución a cada sistema. Para asegurar el éxito y la consecución del objetivo, se ha empleado la metodología de diseño de producto QFD descrita en el punto xx, así se determina las especificaciones que debe cumplir la máquina de inyección para termoplásticos

### 5.3.1. Especificaciones de la máquina de inyección para la manufactura de engranajes plásticos

Para la determinación de las especificaciones, se realiza mediante la casa de la calidad que sirve para identificar, priorizar y focalizar todo los recursos humanos y materiales en la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes.

A continuación, se define la casa de la calidad y se considera la voz del cliente y la voz del ingeniero para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos prioritarios.

#### **5.3.1.1. La Voz del usuario**

Según las consideraciones del usuario la máquina de moldeo por inyección debe cotar con las siguientes características:

- Económica - bajo costo de adquisición
- Fácil de usar
- Adapte a cambios de volumen de producción
- Fácil Instalación
- Durable o resistente
- Estética
- Ergonomía

#### **5.3.1.2. La voz del ingeniero**

Identificados los requerimientos del usuario, se procesa la información para elaborar las características y especificaciones de la maquina:

- Capacidad de inyección
- Capacidad de plastificación
- Fuerza de cierre de molde
- Procesos de manufactura.
- Proceso de operación
- Caracterización de la pieza
- Acabado de la pieza
- Materia prima disponible en el mercado.
- Factor de seguridad.
- Mantenibilidad



### **5.3.1.3. Prioridades del diseño**

En base a la casa de la calidad, se obtiene las prioridades que se debe abastecer en el diseño de la máquina de inyección para termoplásticos, las mismas que se encuentran ordenadas jerárquicamente, según la importancia técnica evaluada en la casa de la calidad.

- Geometría
- Material
- Ensamble
- Desempeño
- Bajo consumo de energía eléctrica
- Mantenimiento

### **5.3.1.4. Conclusiones de la casa de la calidad**

El bajo costo de adquisición de la máquina está relacionado directamente a los materiales ya que deben ser maquinales y estar disponibles en el mercado.

La geometría de la máquina se debe realizar con materiales estructurales de alta resistencia, que soporten las cargas vivas y muertas a las que será sometida su en su vida útil y está relacionada directamente con el requerimiento de instalación.

La máquina de inyección debe permitir un fácil ensamble operativo y de trabajo para cumplir con la función de inyectar materiales termoplásticos. Debe ser fácilmente manejable y accesible para el mantenimiento de sus componentes y sistemas.

El desempeño de la máquina de inyección se sustenta en base a cálculos matemáticos que proporcionan las características óptimas de operatividad de los sistemas y elementos constituyentes.

El consumo de energía de la máquina debe ser bajo ya que al disminuir estos costos se reducen los costos de producción.

La máquina debe permitir la realización de trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo para garantizar y prolongar la vida de funcionamiento del equipo, cuidando detalladamente las partes críticas que puedan afectar a otros sistemas.

### **5.3.2. Análisis funcional de la máquina de inyección para termoplásticos**

Mediante los criterios de ponderación descrito en la tabla 4.2. se procede a la selección de alternativas, para cada sistema de la máquina.

### 5.3.2.1. Matriz de ponderación para la selección del sistema de alimentación

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.13.** Matriz de ponderación del sistema de alimentación

Formas ↓ Criterios	F.P.	I	II	III
		Tolva prismática	Tolva cilíndrica	Tolva rectangular
		Valor = 1	Valor = 1	Valor = 1
Manufactura	0.40	X	X	X
Mantenimiento	0.10	X	X	
Facilidad de operación	0.10		X	
Eficiencia	0.15	X	X	X
Seguridad	0.15	X	X	X
Costo de fabricación	0.10		X	
<b>Total</b>		0.80	1	0.70

Fuente: Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de alimentación es un mecanismo de tolva cilíndrica.

### 5.3.2.2. Matriz de ponderación para la selección de la fundición de material

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.14.** Matriz de ponderación para el sistema de fundición de material

Formas ↓ Criterios	F.P.	I	II	III
		Por fuego	Por resistencias	Por vapor
		Valor = 1	Valor = 1	Valor = 1
Manufactura	0.40	X	X	
Mantenimiento	0.10		X	X
Facilidad de operación	0.10		X	X
Eficiencia	0.15	X	X	
Seguridad	0.15		X	X
Costo de fabricación	0.10		X	
<b>Total</b>		0.55	1	0.35

Fuente: Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de fundición de material es de resistencias eléctricas.

### 5.3.2.3. Matriz de ponderación para la selección del sistema de inyección

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.15.** Matriz de ponderación para el sistema de inyección

→ <b>Formas</b> ↓ <b>Criterios</b>	<b>F.P.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
		<b>Cilindro émbolo</b>	<b>Husillo</b>	<b>Doble husillo</b>
		<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>
Manufactura	0.40	X	X	
Mantenimiento	0.10	X	X	
Facilidad de operación	0.10	X	X	
Eficiencia	0.15		X	X
Seguridad	0.15	X	X	X
Costo de fabricación	0.10	X	X	
<b>Total</b>		<b>0.85</b>	<b>1</b>	<b>0.45</b>

**Fuente:** Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de inyección es un mecanismo de husillo.

### 5.3.2.4. Matriz de ponderación para la selección del sistema de potencia

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.16.** Matriz de ponderación para el sistema de potencia

→ <b>Formas</b> ↓ <b>Criterios</b>	<b>F.P.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
		<b>Manual</b>	<b>Con motor eléctrico</b>	<b>Con motor hidráulico</b>
		<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>
Manufactura	0.40	X	X	X
Mantenimiento	0.10	X	X	
Facilidad de operación	0.10		X	X
Eficiencia	0.15		X	X
Seguridad	0.15	X	X	
Costo de fabricación	0.10	X	X	
<b>TOTAL</b>		<b>0.75</b>	<b>1</b>	<b>0.65</b>

**Fuente:** Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de potencia es un conjunto de motor eléctrico.

### 5.3.2.5. Matriz de ponderación para la selección del sistema de empuje axial

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.17.** Matriz de ponderación para el sistema de empuje de inyección

→ <b>Formas</b> ↓ <b>Criterios</b>	<b>F.P.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>
		<b>Cilindro Hidráulico</b>	<b>Cilindro Neumático</b>
		<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>
Manufactura	0.40	X	X
Mantenimiento	0.10	X	
Facilidad de operación	0.10	X	
Eficiencia	0.15	X	X
Seguridad	0.15		X
Costo de fabricación	0.10	X	
<b>TOTAL</b>		<b>0.85</b>	<b>0.70</b>

Fuente: Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de empuje de inyección es un actuador de cilindro neumático.

### 5.3.2.6. Matriz de ponderación para la selección del sistema de cierre

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.18.** Matriz de ponderación para el sistema de cierre de molde

→ <b>Formas</b> ↓ <b>Criterios</b>	<b>F.P.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
		<b>Sin fin motor eléctrico</b>	<b>Mecánico</b>	<b>Hidráulico</b>
		<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>
Manufactura	0.40	X	X	X
Mantenimiento	0.10	X		X
Facilidad de operación	0.10	X	X	X
Eficiencia	0.15		X	X
Seguridad	0.15		X	X
Costo de fabricación	0.10	X		X
<b>Total</b>	<b>0.70</b>		<b>0.80</b>	<b>1</b>

Fuente: Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz la mejor alternativa para el sistema de cierre de molde es un actuador de cilindro neumático.

### 5.3.2.7. Matriz de ponderación para la selección de la disposición de inyección

Se procede a evaluar las alternativas, mediante los criterios de ponderación.

**Tabla 5.19.** Matriz de ponderación para la configuración de la disposición de inyección

→ <b>Formas</b> ↓ <b>Criterios</b>	<b>F.P.</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
		<b>Horizontal</b>	<b>Vertical</b>	<b>Lateral</b>
		<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>	<b>Valor = 1</b>
Manufactura	0.40	X	X	X
Mantenimiento	0.10	X		
Facilidad de operación	0.10	X	X	
Eficiencia	0.15	X		X
Seguridad	0.15	X	X	
Costo de fabricación	0.10	X	X	
<b>TOTAL</b>		<b>1</b>	<b>0.75</b>	<b>0.55</b>

Fuente: Autores

Ponderando los criterios de selección en la matriz, la mejor alternativa para la configuración de la disposición de la inyección de la máquina es en sentido horizontal.

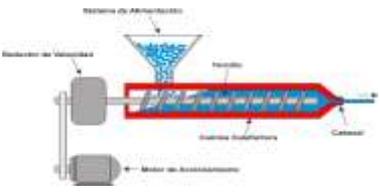
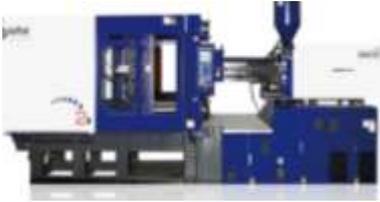
## 5.4. Diseño de detalle

### 5.4.1. Estructura de la máquina de inyección para termoplásticos

En base a la metodología realizada se establece la siguiente configuración para el diseño de la máquina inyectora mostrada en la siguiente tabla.

**Tabla 5.20.** Configuración de la maquina inyectora para termoplásticos

<b>Sistema</b>	<b>Configuración</b>	<b>Ilustración</b>
Sistema de alimentación	Tolva cilíndrica	
Sistema de fundición de material	Por resistencias	

Sistema de inyección	Husillo	
Sistema de cierre de molde	Neumático	
Sistema de potencia.	Con motor eléctrico	
Sistema de empuje de inyección	Hidráulico	
Configuración de la disposición de la inyección de la máquina	Horizontal	

**Realizado por:** Autores

#### 5.4.2. Parámetros de diseño

En función al análisis de llenado ideal de la pieza por el método de elementos finitos, se tienen los siguientes parámetros para el diseño de máquina.

**Tabla 5.14.** Parámetros de diseño

Presión de inyección máxima	90 MPa
Tiempo de llenado máximo	1.10 segundos
Temperatura máxima de inyección	255 °C
Velocidad de inyección:	380.70 m/s
Volumen de inyección	187.06 cm <sup>3</sup>
Masa de inyección	213.24 gramos
Materia prima a procesar	NYLON PA6 – LLDPE IN34
Tamaño máximo para el molde y piezas	Longitud de recorrido de flujo máximo = 150 mm Espesor de pared mínimo = 0.7 mm
Área proyectada	20270.88 mm <sup>2</sup>

**Realizado por:** Autores

### 5.4.3. Diseño de elementos mecánicos de la máquina inyectora

Se calculan y diseñan cada uno de los elementos que conforman los sistemas de la máquina de inyección de materiales termoplásticos en base a configura la tabla 5.14. Se realiza una memoria de cálculo para el dimensionamiento de cada uno de los sistemas

#### 5.4.3.1. Sistema de inyección

El sistema de inyección está constituido por el cilindro, el tornillo helicoidal de inyección, la boquilla, tales elementos se procede a dimensionar y seleccionar.

##### 5.4.3.1.1. Cálculos en el cilindro

Para el diseño del cilindro de inyección se calcula los siguientes factores del tornillo helicoidal de inyección que sirven para determinar la capacidad volumétrica del cilindro:

- Paso del tornillo helicoidal de inyección
- Angulo de hélice de canal
- Anchura de la cresta del diente
- Holgura del filete

#### Paso del tornillo helicoidal de inyección

Se analiza el paso diametral, y se obtiene lo siguiente:

$$t = 2 \times p_x$$

$$t = 2 \times 14.44$$

$$t = 28,89mm$$

#### Angulo de hélice del canal

El ángulo de hélice en los canales del husillo se obtiene en función del paso total del husillo y del diámetro mayor.

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{t}{\pi \times D} \right)$$

$$\varphi = 1,66mm$$

### **Anchura de la cresta del diente**

Se obtiene al ancho de la cresta del diente en cada las 3 zonas del husillo.

$$e = \frac{0.12 \times D}{3}$$

$$e = \frac{0.12 \times 40}{3}$$

$$e = 0,16mm$$

### **Holgura del filete**

La medida de la cresta del filete del husillo y la superficie interior del cilindro es:

$$\delta h = 0,002 \times D$$

$$\delta h = 0,002 \times 40$$

$$\delta h = 0,008mm$$

### **Calculo del volumen**

Calculado los parámetros descritos anteriormente, se determinan los cálculos del flujo volumétrico que puede soportar el cilindro en función del material a usar.

### **Flujo de arrastre**

Es la cantidad de material que puede ser traslado en el interior del cilindro, es el mayor componente provocado por la rotación del husillo.

$$\alpha = \frac{\pi \times m \times D \times h \times \left( \frac{t}{m} - e \right) \times \cos^2(\varphi)}{2}$$

$$\alpha = \frac{\pi \times 1 \times 40 \times 8,5 \times \left( \frac{28,89}{1} - 1,6 \right) \times \cos^2(12,95)}{2}$$

$$\alpha = 13842,30373mm^3$$

### Flujo de presión

El flujo de presión es el que se opone al flujo en el sistema en toda la longitud del cilindro.

$$\beta = \frac{m \times h_1^3 \times \left( \frac{t}{m} - e \right) \times \text{sen}(\varphi) \times \cos(\varphi)}{12 \times L}$$

$$\beta = \frac{1 \times h_1^3 \times \left( \frac{28,89}{1} - 1,6 \right) \times \text{sen}(12,95) \times \cos(12,95)}{12 \times L}$$

$$\beta = 0,609853787 \text{mm}^3$$

### Flujo de filtración

Es el que disminuye la producción por pérdidas de material en las holguras del husillo-cilindro.

$$\gamma = \frac{\pi^2 \times D^2 \times \delta^3 \times \tan(\varphi)}{10 \times e \times L}$$

$$\gamma = 0,000232333 \text{mm}^3$$

### Constante total de la forma geométrica de la cabeza perfiladora

El coeficiente de la forma geométrica de la cabeza se obtiene dividiendo en cada una de las zonas del husillo con cada uno de los diámetros, tomando en cuenta que se tiene un canal cónico.

$$k = \frac{3 \times \pi \times D_o^3 \times D_1^3}{128 \times L \times (D_o^2 \times D_o^2 \times D_1^2 + D_1^2)}$$

$$k = 31,50974683 \text{mm}^3$$

### Flujo volumétrico

La producción total en el cilindro de inyección se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$Q = \left( \frac{\alpha \times k}{k + \beta + \gamma} \right) \times n$$

$$Q = 113,1615179 \text{cc} / \text{seg}$$

### Calculo de potencia

Para un valor de  $n= 100$  rpm y un valor del factor de proporcionalidad  $K= 66,7$  se calcula la potencia de trabajo, que se expresa por la siguiente expresión.

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

$$N = \frac{100 \times \pi \times 40^3}{66,7^2}$$

$$N = 0,5026548kW$$

### Flujo de compresión

El flujo de compresión es el resultado de la división entre la altura del filete en la zona de alimentación y la zona de transición.

$$\varepsilon = \frac{h_1}{h_2}$$

$$\varepsilon = 4$$

### Flujo másico

La variación de la masa en todas las zonas del cilindro se establece por el producto del flujo volumétrico y la holgura del filete y se expresa en función de la siguiente expresión:

$$\dot{m} = Q \times \delta$$

$$\dot{m} = 129,00413g / s$$

### Presión máxima

La presión máxima de inyección se genera en zona delantera del husillo la cual debe ser lo suficientemente capaz de llenar el mole.

Para el cálculo se asuma que  $Q = 0$  es decir que no existe flujo de arrastre.

$$P_{\max} = \frac{6 \times \pi \times D \times L_d \times N \times \mu}{h_2 \times \tan(\varphi)}$$

$$P_{\max} = 90,19515103Mpa$$

### Presión de operación

Es la presión a la que se opera el sistema antes del comienzo del ciclo de inyección.

$$P_{op} = \frac{2 \times \pi \times \mu \times D^2 \times n \times h_2 \times \text{sen}(\varphi) \times \text{cos}(\varphi)}{\left( \frac{h_2^4}{4 \times h_1} + \frac{D \times h_1^3 + \text{sen}^2(\varphi)}{3 \times L} \right)}$$

$$P_{op} = 80,3737023 \text{Mpa}$$

### Esfuerzos en la pared del cilindro de inyección

El cilindro de inyección conduce fluidos con altas presiones en su interior, por ello se presentan esfuerzos radiales y tangenciales y cuyo valor dependerá del radio del cañón.

La pared del cilindro está sometida a un estado de tensión biaxial, el esfuerzo radial y tangencial se determinan en base a la hipótesis de deformación longitudinal, es decir se analiza la sección transversal del cilindro para determinar si permanece plana después de que el elemento es sometido a una carga o esfuerzo.

Se designan los radios internos, externos del cilindro y la presión máxima para demostrar la existencia de los esfuerzos. Si tenemos un valor positivo de esfuerzo indicara tracción caso contrario si es negativo tendremos compresión.

### Esfuerzo tangencial

$$\sigma_{t1} = \frac{P_{\max} \times r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \times \left( 1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right)$$

$$\sigma_{t1} = \frac{90,19515103 \times 20^2}{22^2 - 20^2} \times \left( 1 + \frac{22^2}{20^2} \right)$$

$$\sigma_{t1} = 845,84 \text{Mpa}$$

### Esfuerzo radial

$$\sigma_{r1} = \frac{P_{\max} \times r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \times \left( 1 - \frac{r_o^2}{r_i^2} \right)$$

$$\sigma_{r1} = \frac{90,19515103 \times 20^2}{22^2 - 20^2} \times \left( 1 - \frac{22^2}{20^2} \right)$$

$$\sigma_{r1} = -24 \text{Mpa}$$

### Esfuerzo equivalente

El esfuerzo de deformación máximo equivalente en la pared del cilindro de inyección es:

$$\begin{aligned}\sigma_{eq} &= \sigma_{ti} - \sigma_{ri} \\ \sigma_{eq} &= 845,84 - (-24) \\ \sigma_{eq} &= 869,84 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

#### 5.4.3.1.2. Selección del cilindro

Para el cilindro, se seleccionó una tubería estructural redonda de  $1\frac{3}{4}$ " de 44.50 mm de diámetro y un espesor de 2mm, según la norma de fabricación NTE INEN 2415, la cual tiene las siguientes características:

- Recubrimiento negro galvanizado,
- Norma de calidad ASTM 500 B
- Espesores: desde 1.50 a 6.00 mm.

**Nota:** El datasheet se encuentra citado en el ANEXO X.

#### 5.4.3.1.3. Calculo de la boquilla de inyección

##### Presión de contacto

La presión de contacto entre la boquilla y la cavidad del molde se determina mediante la fuerza tangencial que actúa en el husillo en la línea inyección y se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}P_{cont} &= \frac{F_{tan}}{\pi \times \text{sen}(\alpha_b) \times D_{medio} \times l_{apoyo}} \\ P_{cont} &= \frac{54333,59}{\pi \times \text{sen}(43,363423) \times 19 \times 18} \\ p_{cont} &= 73,65 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

## **Coefficiente de seguridad**

Se calcula el coeficiente de seguridad en la línea de inyección de la boquilla.

$$C_s = \frac{Re}{P_{cont}}$$

$$C_s = \frac{850}{73,65}$$

$$C_s = 11,54$$

### **5.4.3.1.4. Cálculos en el tornillo helicoidal de inyección**

Es uno de los elementos más complejos de dimensionar para lo cual se deben analizar cada uno de los factores de diseño.

#### **Diámetro**

Según la norma NTN INEN-ISO 294-1, menciona que el tornillo debe ser del tipo apropiado para el material de moldeo (por ejemplo, longitud, diámetro, altura del filete, relación de compresión) y recomienda usar un tornillo con un diámetro comprendido entre 18mm y 40mm. [20]. Por lo cual se selección un diámetro de 40mm, ya que es el utilizado por varios fabricantes de máquinas de medio tonelaje.

#### **Longitud del tornillo**

La propiedad que define al husillo es la relación  $\frac{L}{D}$ , siendo L la longitud del tornillo y D el diámetro, la relación  $\frac{L}{D}$  se encuentra en el rango de  $\frac{12,5}{1}$  hasta  $\frac{25}{1}$

Se estimo una relación de  $\frac{12,5}{1}$ , que permite plastificar la mayoría de los materiales termoplásticos, teniendo la siguiente longitud:

$$L_t = \text{relación} \frac{L}{D} \times \varnothing_h$$

$$L_t = \frac{12,5}{50} \times 40$$

$$L_t = 500mm$$

### **Recorrido del husillo**

Se determino la longitud de recorrido en base al volumen de inyección y al radio máximo del husillo.

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

$$R_h = \frac{187069,567}{\pi \times 20^2}$$

$$R_h = 148,8652mm$$

Se asumió una longitud de recorrido de 150 mm para el comienzo de los cálculos, pero se determina que el valor calculado de Rh aproximado al valor asumido.

### **Coefficiente de seguridad**

$$C_s = \frac{Re}{\sigma_{eq}}$$

$$C_s = \frac{850}{869,84}$$

$$C_s = 0,98$$

El husillo este definido por tres zonas principales las cuales son:

- Zona de alimentación
- Zona de transición
- Zona de dosificación

Para lo cual se calculó la longitud en cada una de las zonas, para posteriormente obtener los radios en de cada zona.

### **Longitud de la zona de alimentación**

$$L_a = 0,5 \times L$$

$$L_a = 0,5 \times 500$$

$$L_a = 250mm$$

### **Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de alimentación**

$$r_{h1} = \frac{Di}{2}$$

$$r_{h1} = \frac{23}{2}$$

$$r_{h1} = 11,5mm$$

### **Longitud de la zona de transición**

$$L_t = 0,3 \times L$$

$$L_t = 0,3 \times 500$$

$$L_t = 150mm$$

### **Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de transición**

$$r_{h2} = r_{h3} - \tan(\varphi) \times L_t$$

$$r_{h2} = 14,75mm$$

### **Longitud de la zona de dosificación**

$$L_d = 0,2 \times L$$

$$L_d = 0,2 \times 500$$

$$L_d = 100mm$$

### **Radio del tornillo helicoidal de inyección en la zona de dosificación**

$$r_{h3} = r_{h4} - \tan(\varphi) \times L_d$$

$$r_{h3} = 16,7mm$$

### **Volumen de dosificación**

Es la cantidad de volumen necesario para el paso de material en la zona de dosificación del husillo y se calcula mediante los radios  $r_{h3}$  y  $r_{h4}$  por la longitud de dosificación del tornillo.

$$V_d = \pi \times (r_{h4}^2 + r_{h4}^2 \times r_{h3}^2 + r_{h3}^2) \times L_d$$

$$V_d = 94,61cc$$

### Volumen de transición

$$V_t = \pi \times (r_{h3}^2 + r_{h3}^2 \times r_{h3}^2 + r_{h3}^2) \times L_t$$

$$V_t = 116,68cc$$

### Volumen de alimentación

Es el volumen necesario para alimentar de materia prima al husillo en la zona de alimentación, se calcula mediante el radio  $r_{h2}$  y por la longitud de alimentación del tornillo.

$$V_a = \pi \times (r_{h2}^2 + r_{h2}^2 \times r_{h2}^2 + r_{h2}^2) \times L_a$$

$$V_a = 135,99cc$$

### Volumen total del alma

Se obtiene por la suma de los volúmenes en las tres zonas del husillo.

$$V_{total} = V_a + V_t + V_d$$

$$V_{total} = 135,99 + 116,68 + 94,61$$

$$V_{total} = 347,28cc$$

### Cálculo de los filetes

#### Longitud del filete

Se calcula por medio del diámetro del husillo y el ángulo de hélice.

$$L_f = \sqrt{\left(\frac{D}{\tan(\varphi)}\right)^2 + D^2}$$

$$L_f = \sqrt{\left(\frac{40}{\tan(12,95)}\right)^2 + 40^2}$$

$$L_f = 178,53856mm$$

### **Volumen del filete**

Es el resultado del producto de la longitud de filetes, la profundidad de canal por el ancho de la cresta.

$$V_f = L_f \times e \times h_1$$

$$V_f = 178,53856 \times 1,6 \times \left( \frac{8,5}{1000} \right)$$

$$V_f = 2,42812442cc$$

### **Volumen de filete en zona de alimentación**

En fusión del número de filetes y el volumen se tiene el volumen para el filete en la zona de alimentación del husillo.

$$V_{fa} = V_f \times N^\circ \text{ filetes}$$

$$V_{fa} = 2,42812442 \times 18$$

$$V_{fa} = 43,706239cc$$

### **Volumen de filete en zona de transición**

En fusión del número de filetes y el volumen se tiene el volumen para el filete en la zona de transición del husillo.

$$V_{ft} = V_f \times N^\circ \text{ filetes}$$

$$V_{ft} = 2,42812442 \times 10$$

$$V_{ft} = 24,28124416cc$$

### **Volumen de dosificación**

En fusión del número de filetes y el volumen se tiene el volumen para el filete en la zona de dosificación del husillo.

$$V_{fd} = V_f \times N^\circ \text{ filetes}$$

$$V_{fd} = 2,42812442 \times 7$$

$$V_{fd} = 16,99687091cc$$

### **Volumen total del filete**

El volumen total del filete en toda la longitud del husillo es:

$$V_{tf} = V_{fa} + V_{ft} + V_{fd}$$

$$V_{tf} = 43,70623949 + 24,28124416 + 16,99687091$$

$$V_{tf} = 84,9843546cc$$

### **Volumen total del husillo**

Calculados los volúmenes del alma y de los filetes en cada una de las zonas su puede decir que el volumen total del husillo es:

$$V_{th} = V_{fa} + V_{ft} + V_{fd} + V_t$$

$$V_{th} = 84,9843546 + 347,28$$

$$V_{th} = 432,26cc$$

### **Masa del husillo**

Con el volumen total del husillo se puede calcular la masa tomando en cuenta el material seleccionado el cual es un acero AISI 1020, se obtiene el valor de  $7800 \text{ kg/m}^3$  de densidad del material.

$$m_h = \delta' \times V_{th}$$

$$m_h = (7800 \times 432,26) \times \frac{1}{1000}$$

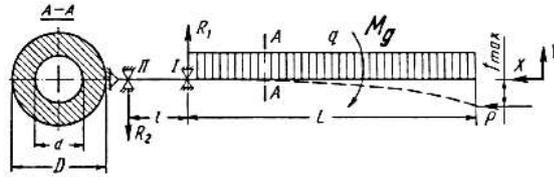
$$m_h = 3,37163769kg$$

### **Cálculo de los esfuerzos en el husillo**

El cálculo de esfuerzos en el tornillo tiene el objetivo comprobar las dimensiones ya establecidas y determinar la flecha máxima posible.

En el husillo actúan una fuerza axial P, el momento de rotación Mg, y la carga originada por el peso del husillo q.

La acción de la carga  $q$  y la fuerza axial  $P$  originan la flecha del husillo  $f$  tal como se ilustra en la siguiente figura.



**Figura 5.4.** Cargas que actúan en el tonillo helicoidal de inyección

**Realizado por:** Autores

### Fuerzas que actúan en el husillo

Para determinar los esfuerzos en el tornillo se deben calcular los siguientes parámetros:

- Torque del husillo  $M_g$
- Relación de diámetro del husillo  $\mu$
- Sección transversal del husillo  $A$
- Momento de inercia del husillo  $J$
- Rado de inercia del husillo  $R_i$
- Esbeltez del husillo  $\lambda$
- Torque del husillo

El momento del husillo se obtiene mediante el uso de la ecuación empírica de Savgorodny.

$$M_g = 9550 \times \frac{N}{n}$$

$$M_g = 48,004N \times m$$

### Relación de diámetros

Se calcula el factor  $\mu$  o determinada como la relación entre los diámetros del tornillo.

$$u = \frac{D_i}{D_{i2}}$$

$$u = \frac{23}{36}$$

$$u = 0,6389$$

### Sección transversal del husillo

Como siguiente paso se obtiene la sección transversal, en función del  $D_{i2}$  del husillo que es de 36 mm.

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \times (1 - u^2)$$

$$A = \frac{\pi \times 36^2}{4} \times (1 - 0,6389^4)$$

$$A = 0,000602m^2$$

### Momento de inercia

Después se calcula el momento de inercia con el  $D_{i2}$  del husillo

$$J = \frac{\pi \times D^4}{4} \times (1 - u^4)$$

$$J = \frac{\pi \times 36^4}{4} \times (1 - 0,6389^4)$$

$$J = 6,87E - 08m^4$$

### Radio de inercia

El siguiente paso es el cálculo del radio de inercia tomando el área de la sección transversa y el momento de inercia

$$R_i = \sqrt{\frac{J}{A}}$$

$$R_i = \sqrt{\frac{6,87E - 08}{0,000602}}$$

$$R_i = 0,01068m$$

### Esbeltez del husillo

El cálculo de la esbeltez del husillo  $\lambda$ , tomando en cuenta la constante de los materiales plásticos de mayor densidad  $\alpha = 2$ .

$$\lambda = \frac{2 \times L}{R_i}$$

$$\lambda = \frac{2 \times 500}{0,00001068}$$

$$\lambda = 93,6329$$

### **Fuerza tangencial**

Una vez determinados los para parámetros iniciales para el cálculo de esfuerzos en el husillo se determina el valor la fuerza tangencial.

$$F = A \times P_{\max}$$

$$F = 0,000602 \times 90,19515103 \times 1000$$

$$F = 54,33359kN$$

### **Tensión tangencial**

La tensión tangencial máxima en todas las zonas el husillo es de:

$$\tau = \frac{16 \times M_g}{\pi \times D^3 \times (1 - u^4)}$$

$$\tau = \frac{16 \times 48004}{\pi \times 40^3 \times (1 - 0,6389^4)}$$

$$\tau = 4,583688893Mpa$$

### **Carga repetida**

La carga está definida por diferencia entre la masa y el peso del husillo, cuyos valores se obtuvieron anteriormente.

$$q = \frac{m_h}{L}$$

$$q = \frac{3371,63769}{500}$$

$$q = 6,743275383kg / m$$

### Momento de flexión máximo

Se calcula el momento de flexión máximo en función de la carga que actúa a lo largo del husillo en todas las zonas del proceso de inyección.

$$M_f = \frac{q \times L^2}{2}$$

$$M_f = \frac{6,743275383 \times 500^2}{2 \times 10^6}$$

$$M_f = 0,842909423 \text{ kg} \times m$$

### Momento de resistencia

El momento de resistencia con respecto al eje neutro se determina en función de:

$$W_o = \frac{\pi \times D^3}{32} \times (1 - u^4)$$

$$W_o = \frac{\pi \times 0,04^3}{32} \times (1 - 0,6389^4)$$

$$W_o = 5,23634E - 06 m^3$$

### Tensión normal en el husillo

La tensión normal en todas las zonas del husillo es de:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M_f}{W_o}$$

$$\sigma = \frac{54,33359}{0,000602} + \frac{0,842909423}{(5,23634E - 06) \times (9,8)}$$

$$\sigma = 106,6209588 \text{ Mpa}$$

### Tensión resultante

La tensión máxima resultante es de:

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

$$\sigma_r = \sqrt{106,6209588^2 + 4 \times 4,583688893^2}$$

$$\sigma_r = 107,0143433 \text{ Mpa}$$

### **Flecha máxima**

La deformación máxima al aplicar carga totalmente distribuida a lo largo del husillo se determina por:

$$\zeta = \frac{q \times L^4}{8 \times \kappa \times J}$$

$$\zeta = \frac{6,743275383 \times 0,5^4}{8 \times 2 \times 10^{11} \times 6,87E-08}$$

$$\zeta = 3,83356E-06mm$$

#### **5.4.3.1.5. Selección del material para el tornillo helicoidal de inyección**

Para el tornillo helicoidal de inyección se seleccionó un acero AISI 1020 con un diámetro de 50mm y una longitud de 10mm, el cual posee las siguientes ventajas:

- Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado.
- Buena ductilidad
- Excelente soldabilidad

#### **Aplicaciones:**

Fabricación de piezas estructurales o de maquinaria como ejes, eslabones, pasadores, piñones para transmisión de cadena, etc.

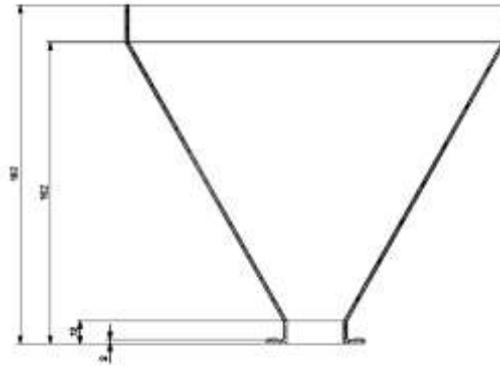
#### **Maquinabilidad**

Este acero puede ser mecanizado fácilmente en estado recocido, templado o revenido, tomando como referencia al 12L14 (100% de maquinabilidad). ANEXO XI.

#### **5.4.3.1.6. Sistema de alimentación**

##### **Volumen de la tolva**

La tolva se encarga de almacenar la materia prima a procesa en forma de pellets, las dimensiones de la tolva se determinan en función del volumen de almacenamiento, por su forma tiene una base cilíndrica que facilita la caída de material en el interior del cilindro por acción de la gravedad.



**Figura 5.5.** Tolva Cilíndrica

**Realizado por:** Autores

$$V_{tolva} = \pi \left[ r_{ext}^2 \times h_1 + \frac{h_2}{3} \times (r_{ext}^2 + r_{ext}^2 \times r_{int}^2 + r_{int}^2) + r_{int}^2 \times h_3 \right]$$

$$V_{tolva} = \pi \left[ 203^2 \times 20 + \frac{150}{3} \times (203^2 + 203^2 \times 33,5^2 + 33,5^2) + 33,5^2 \times 10 \right]$$

$$V_{tolva} = 10342,0916mm^3$$

#### **5.4.3.1.7. Selección del material para la Tolva cilíndrica y la base**

Para el cuerpo de la tolva se seleccionó plancha galvanizada ASTM A36. ANEXO XII

Se selecciono tubería estructural redonda de  $1\frac{1}{2}$ " de 38.10 mm de diámetro y un espesor de 2mm, según la norma de fabricación NTE INEN 2415, la cual tiene las siguientes características: recubrimiento negro galvanizado, Norma de calidad ASTM a 500 gramos, espesores: desde 1.50 a 6.00 mm ANEXO X.

#### **5.4.3.1.8. Sistema de fundición de material**

#### **Calculo de calor y potencia requerida para la selección de las resistencias eléctricas**

Se determina la cantidad de mase de material a fundir por las niquelinas en el interior del cilindro en función del volumen total de los filetes y la densidad del termoplástico más difícil de procesar en este caso en el NYLON PA6.

$$m = \delta_{PA} \times V$$

$$m = 1,14 \times 84,9843546$$

$$m = 96,88216421g$$

El calor necesario para fundir los materiales termoplásticos se determina por la masa a fundir el coeficiente de transferencia de calor del material y la diferencia de temperaturas; se tiene lo siguiente:

$$Q_{PA} = m \times c_p \times \Delta T$$

$$Q_{PA} = 96,88216421 \times 1,646 \times 0,3$$

$$Q_{PA} = 47,84041269 \text{ kJ}$$

### Potencia requerida para quemar la masa del polímero

La potencia requerida para fundir toda la masa de polímero es de:

$$P = c_T \times l \times \Delta T$$

$$P = c_T \times l \times \Delta T$$

$$P = 30,9 \text{ w}$$

### Tiempo de fundición

El tiempo de función del material antes de comenzar el proceso de inyección es:

$$t = \frac{Q_{PA}}{W}$$

$$t = \frac{47,84041269}{30,9}$$

$$t = 154,823342 \text{ s}$$

#### 5.4.3.1.9. Selección de resistencia eléctrica

Mediante el uso de un catálogo de la empresa POLIMEX, se seleccionó la resistencia eléctrica que sea capaz de fundir 97 gramos de termoplástico en 155 segundos, en función de la potencia requerida, el diámetro del cilindro y la longitud de fundición del material.

De acuerdo al catálogo en el Anexo XV se tiene:

Resistencias de banda aislada con mica	4
Diámetro de la banda	7/8 a 30 pulg.
Ancho de la banda	5/8 a 12 pulg.
Potencias	45 W/pulg <sup>2</sup> . 7 W/cm <sup>2</sup> .
Tenciones	120 – 240 V

**Realizado por:** Autores

#### 5.4.3.1.10. Sistema de accionamiento y empuje axial

Es el encargado del accionamiento radial y del empuje axial del tornillo helicoidal de inyección en el interior de cilindro, para inyectar el material a la cavidad del molde. Se realizó el cálculo y la selección del motor eléctrico del engranaje y del actuador hidráulico.

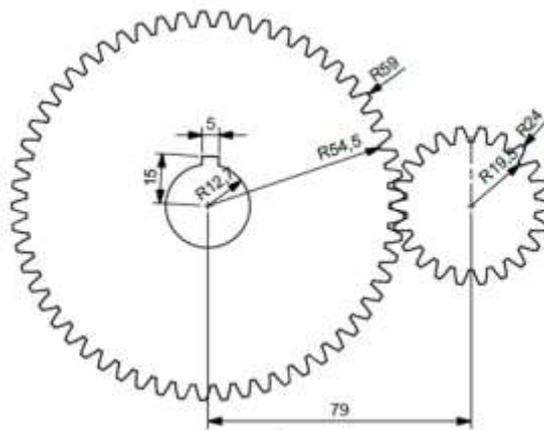
#### Motor eléctrico

Las revoluciones por minutos recomendados para la rotación del husillo son de 0 – 200 rpm para que no exista una sobrepresión y evitar que el cilindro explote, por lo cual se optó por una velocidad de rotación de 100 rpm.

Se seleccionó un motor de trifásico de 1 HP de 220V de la marca ABB.

**Nota:** Se anexa el datasheet del motor eléctrico en el anexo XIII.

#### Engranajes



**Figura 5.6.** Engranaje de transmisión de potencia

**Realizado por:** Autores

Los datos del diseño de los engranajes son los siguientes:

da_aw	79 mm
da_b	20 mm
da_d	114mm
da_da	118 mm
da_df	109 mm
dajdw	114 mm
da_z	57 su
da_z2	22 su

Se selecciono un acero estructural AISI 1020 de 120 mm de diámetro y 100 mm de longitud, las características ya fueron descritas con anteriormente. ANEXO XI.

#### 5.4.3.1.11. Actuador de empuje de inyección

Es el encargado del avance y retroceso del husillo al momento de la inyección, por lo que requiere una fuerza de empuje.

#### Fuerza de empuje del actuador

Con la presión de la masa fundida obtenida en función del espesor de pared y la longitud de recorrido se tiene la fuerza de empuje del actuador.

$$F_t = \frac{P_{MF} \times \pi \times D^2}{4000}$$

$$F_t = 101KN$$

#### 5.4.3.1.12. Selección del actuador para el sistema de empuje de inyección axial

En base al catálogo de actuadores hidráulicos de la empresa HI-FORCE se seleccionó un actuador de hidráulico de la serie HSS108 el cual tiene las siguientes características.

- Capacidades de 4,5 a 109 toneladas
- Longitudes de carrera de 206 mm
- Presión de trabajo 700 bar
- Peso 5 Kg

**Nota:** En el Anexo XVI se encuentra el datasheet del actuador.

#### 5.4.3.1.12. Sistema de cierre de molde

#### Fuerza de cierre de molde

Se calcula la fuerza de cierre de molde en función del área proyectada y la presión máxima de inyección que es de 90 MPa la cual garantiza el llenado satisfactorio de la pieza.

La fuerza de cierre de molde debe ser superior a la de empuje de inyección ya que si es inferior puede existir problemas de llenado que afectarían directamente al proceso productivo.

$$F_M = A_p \times p_{\max}$$

$$F_M = 20279,88 \times 90$$

$$F_M = 1824,379kN$$

Con este valor de la fuerza de cierre, se demuestra que está en el rango de una máquina de tonelaje medio. Cumpliendo la clasificación dada en la tabla, es decir:

$$250 \geq F_M \leq 4000kN$$

#### 5.4.3.1.13. Selección de actuadores para el sistema de cierre

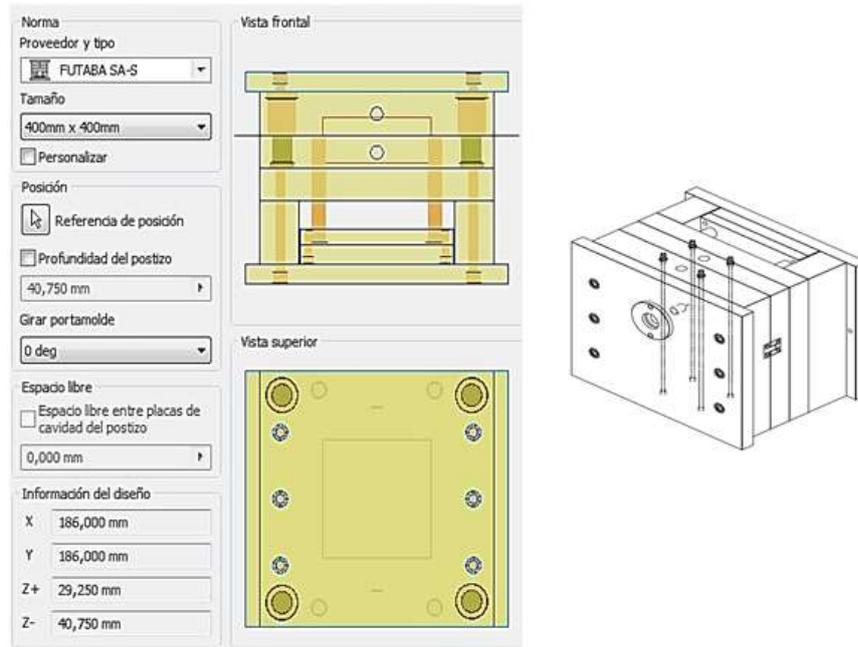
En base al catálogo de actuadores hidráulicos de la empresa HI-FORCE se seleccionó dos actuadores de hidráulicos de la serie HHR306 el cual tiene las siguientes características.

- Capacidades de 33 a 247 toneladas
- Longitud de carrera de 51 a 305 mm
- Presión de trabajo 700 bar
- Peso de 17.6 Kg

**Nota:** En el Anexo XVII se encuentra el datasheet del actuador.

#### 5.4.3.1.14. Selección de molde

Mediante un software de selección de moldes se eligió como mejor alternativa el molde normalizado de dos placas FUTABA SA-S 400X400 mm en función del área proyectada que es de  $20270,88mm^2$



**Figura 5.7.** Selección del molde estándar en software

**Fuente:** Software de selección de molde

**Nota:** Las características técnicas se especifican en el anexo XIV.

### 5.3.3. Especificaciones de la máquina de inyección

En la siguiente tabla, se describe las especificaciones de la máquina de inyección para termoplásticos, detallando cada sistema.

**Tabla 5.22.** Las especificaciones de la máquina de inyección

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
<b>SISTEMA DE INYECCION</b>	Diámetro del husillo	mm	40
	Relación L/D	L/D	12.5
	Volumen teórico de inyección	cm <sup>3</sup>	187.06
	Peso máximo de inyección	g	213.24
	Presión máxima. de inyección	MPa	90
	Capacidad de inyección	cm <sup>3</sup> /s	113.16
	Carrera de inyección	mm	148.86
	Velocidad de inyección	m/s	0 – 380.70
	Velocidad de giro del husillo	rpm	0-100
<b>SISTEMA DE CIERRE</b>	Fuerza de cierre	KN	2606.79
	Recorrido de apertura	mm	80
	Máximo de molde	mm	400X400
	Carrera de expulsión	mm	70
	Numero de expulsores	ud	2
<b>OTROS</b>	Potencia del motor	KW	1
	Peso de la maquina	Ton	0.43
	Dimensiones de la maquina (L x A x Alto)	mm	2146.3X530X785.7

**Realizado por:** Autores

### 5.3.4 Análisis de esfuerzos para el conjunto de la máquina de inyección

Para el análisis se toman en cuenta los pesos de cada uno de los componentes de la máquina que se muestran en la tabla 3.15.

**Tabla 5.23.** Masa Total del conjunto de la máquina de inyección

ELEMENTO	CTD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA(KG)
16	6	IFI 502 - M4x0,7 x 8	Tornillo autorroscante de cabeza hex. dentada - Tipo D - Métrico	Acero, suave	0,002
15	2	ANSI B 18.6.7 M / IFI 513 - M10x1,5 x 20	Tornillo para maquinaria de cabeza hex. bridada dentada	Acero, suave	0,026
14	8	ANSI B 18.6.7 M / IFI 513 - M5x0,8 x 20	Tornillo para maquinaria de cabeza hex. bridada dentada	Acero, suave	0,005
13	8	AS 1427 - M6 x 40	Tornillos métricos para maquinaria ISO	Acero, suave	0,011
12	4	Abrazadera de cilindro		Hierro, fundido	0,024
11	4	Niquelina 31 W		Acero, galvanizado	0,073
10	1	Engranaje recto1		Acero, medio	1,784
9	1	Engranaje recto2		Acero, medio	3,031
8	1	Cilindro		Acero inoxidable	0,808
7	1	Tornillo helicoidal		Acero, medio	6,673
6	1	MOLDE FUTABA SA-S 400X400mm		Acero inoxidable	383,456
5	2	Actuador hidráulico HHR306 de 33-247Ton		Generic	17,6
4	1	Actuador hidráulico HSS108 de 4.5 -109Ton		Generic	5
3	1	Mesa		Acero ASTM A500B	36,073
2	1	Motor 1HP	Motor eléctrico trifásico	Generic	11
1	1	Tolva		Acero inoxidable	0,844
				MASA TOTAL	466,41
				PESO TOTAL	4570,818 N
				ESFUERZO	5 MPa

. Realizado por: Autores

Se obtiene una fuerza de 4570,818 Newtons la fuerza que se aplica sobre la viga se lo considera como carga puntual; se tienen los siguientes resultados:

### Deformación en el eje X

V: CARGA ESTRUCTURAL DE CIERRE MOLDE  
Directional Deformation 2  
Type: Directional Deformation(X Axis)  
Unit: mm  
Global Coordinate System  
Time: 1  
Customs  
Max: 3.7916e-5  
Min: -0.39599

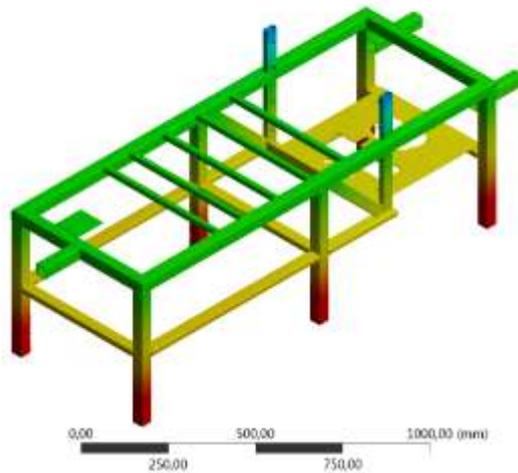
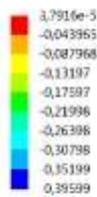


Figura 5.8. Deformación en el eje X

Realizado por: Autores

### Deformación Total

V: CARGA ESTRUCTURAL DE CIERRE MOLDE  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
Customs  
Max: 0.40665  
Min: 0

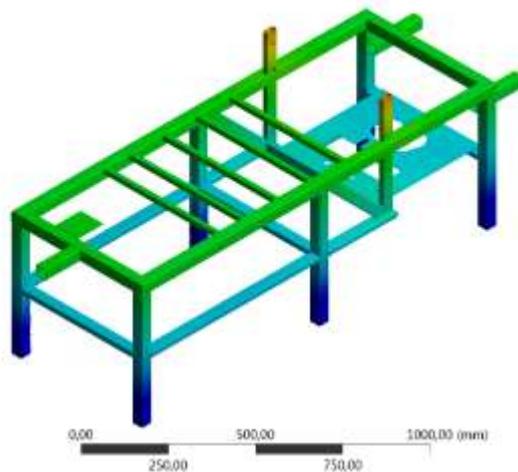
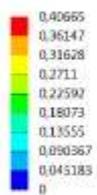


Figura 5.9. Deformación Total

Realizado por: Autores

## Factor de seguridad

V: CARGA ESTRUCTURAL DE CIERRE MOLDE  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
Time: 1  
Custom  
Max: 15  
Mín: 0.95962

15
11,49
7,5738
4,4697
0,95962

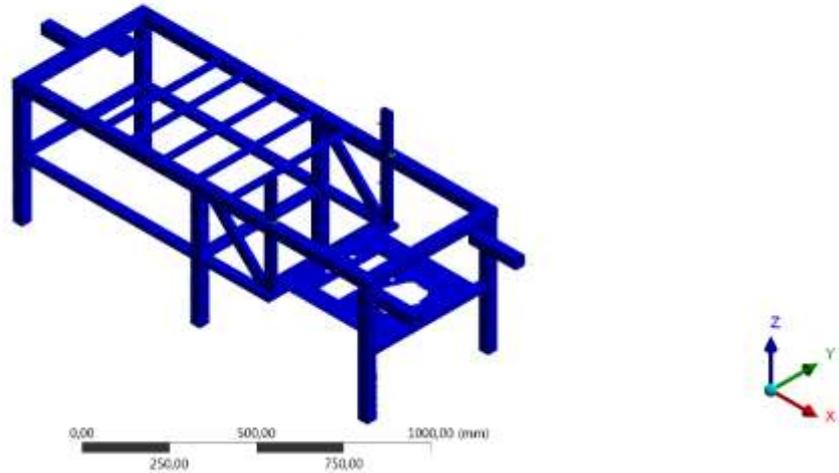


Figura 5.10. Factor de seguridad

Realizado por: Autores

**Conclusión:** La estructura soporta el peso total de los elementos de la maquina ya que tiene una deformación máxima de 0.4 mm al momento que actúan todas las fuerzas sobre el conjunto, además se tiene un factor de seguridad de 15 que garantiza la seguridad estructural y la vida de servicio del conjunto.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

### 6.1. Presupuesto

A continuación, se ilustra el análisis de precios que corresponde para la construcción de cada conjunto que conforma la máquina de inyección, considerando la clasificación de los dos grupos de costos, los cuales son:

- **Costos directos**
- **Costos Indirectos**

En los costos directos se presentan los siguientes subconjuntos:

- Materiales para la construcción de la estructura
- Materiales para la construcción del cilindro

- Materiales para la construcción del tornillo helicoidal de inyección
- Materiales para la construcción de la tolva
- Materiales para la construcción del engrane
- Elementos de control
- Elementos de sujeción y fijación

Por otra parte, en los costos indirectos se detallan valores como:

- Transporte
- Alimentación
- Gastos operativos

### 6.1.1. Costos Directos

Valores que inciden en la fabricación de un bien o producto, en un determinado tiempo. Es decir, una relación más directa con el producto, en este caso la máquina de inyección de termoplásticos.

**Tabla 6.1. Materiales para la construcción de la estructura**

Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor
Tubería estructural cuadrada 40x40x2	ASTM 500 B	mm	6000	26\$	25\$
Tubería estructural cuadrada 40x40x3	ASTM 500 B	mm	6000	31\$	31\$
Tubería estructural rectangular 40x20x2	ASTM 500 B	mm	12000	22\$	44\$
Tubería estructural cuadrada 20x20x2	ASTM 500 B	mm	6000	12\$	12\$
Plancha de Acero Negro Laminado en caliente 150 x 6 x 2	ASTM A36	mm	1220 x 6000 x 2	38\$	38\$
Plancha de Acero Negro Laminado en caliente 80 x 5 x 2	ASTM A36	mm			
Plancha de Acero Negro Laminado en caliente 40 x 5 x 2	ASTM A36	mm			
				<b>TOTAL</b>	<b>150</b>

**Tabla 6.2 Elementos para la construcción del cilindro**

Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor
Tubo estructural redondo 1 3/4" Ø, espesor 2 mm	A-500B	mm	6000	41\$	43\$
Tubo estructural redondo, 1 1/2" Ø espesor 2mm	A-500B	mm	6000	36\$	37\$
				<b>TOTAL</b>	<b>80</b>

**Tabla 6.3 Elemento para la construcción del tornillo helicoidal de inyección**

Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor
Eje	AISI 1020	mm	50 Ø, 1000mm	200\$	200\$
				<b>TOTAL</b>	<b>200\$</b>

**Tabla 6.4 Elemento para la construcción del engrane**

Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor
Eje	AISI 1020	mm	120 Ø, 100mm	27\$	27\$
				<b>TOTAL</b>	<b>27\$</b>

**Tabla 6.5 Elementos para la construcción de la tolva**

Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor
Plancha laminada galvanizada	ASTM A36	mm	1220 x 6000 x 2	25\$	25\$
				<b>TOTAL</b>	<b>25\$</b>

**Tabla 6.6 Elementos de control**

<b>Elemento</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Valor</b>
Motor M3BP 71ME 2	ABB	1 HP	1	120\$	120\$
Niquelinas	POLIMEX	31 W	4	45\$	180\$
Actuador hidráulico HSS108	HI-FORCE	4.5 a 109 Ton	1	538,85\$	538,85\$
Actuador hidráulico HHR306	HI-FORCE	33 a 247 Ton	2	892,44\$	1784,88
Molde	FUTABA	400X400	1	4500\$	4500\$
				<b>TOTAL</b>	<b>7.123,73</b>

**Tabla 6.7 Elementos de sujeción y fijación**

<b>Elemento</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Valor</b>
Tornillos para maquinaria de cabeza hexagonal bridada dentada	M5x0.8 x20	8	0.25	2.00
Tornillos para maquinaria de cabeza hexagonal bridada dentada	M10x1.5x20	2	0.50	1.00
Tornillos métricos para maquinaria ISO	M6x40	8	0.40	3.20
Tornillo autorroscante de cabeza hexagonal dentada-Tipo D- Métrico	M4x0.7x8	6	0.30	1.80
Tuercas hexagonales ISO métricas MB	Tipo 12	2	0.75	1.50
			<b>TOTAL</b>	<b>9,50</b>

### 6.1.2. Costos indirectos

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

**Tabla 6.8 Costos Indirectos**

Descripción	Valor
Gastos operativos	500
Transporte	50
Alimentación	30

**Fuente:** Autores

### 6.1.3. Costo Total

En la siguiente tabla se enlista los rubros de acuerdo a los costos directos e indirectos que corresponde para la implementación de la máquina de inyección.

**Tabla 6.9. Costo directo e indirecto**

	CONJUNTO	VALOR \$
<b>COSTO DIRECTO</b>	Estructura	150
	Cilindro	80
	Tornillo helicoidal de inyección	200
	Tolva	25
	Engrane	27
	Elementos de control	7123,73
	Elementos de sujeción y fijación	9,50
<b>TOTAL DE COSTO DIRECTO</b>		7615,23
<b>COSTO INDIRECTO</b>	Gastos operativos	500
	Transporte	50
	Alimentación	30
<b>TOTAL DE COSTO INDIRECTO</b>		580
<b>TOTAL</b>		<b>8195,23</b>

**Fuente:** Autores

## Análisis de VAN - TIR

En la tabla 6.10 se muestra la viabilidad que tienen el proyecto en el mercado.

**Tabla 6.10.** Flujo de Caja Anual

AÑOS	0	1	2	3	4	5
<b>Inversión</b>	-					
<b>Capital de Trabajo</b>	(8.195,23)					
<b>Gastos Legales</b>	-					
<b>INGRESOS</b>		11.063,56	11.063,56	11.063,56	11.063,56	11.063,56
(-) COSTOS OPERACIONALES		(8.621,89)	(8.621,89)	(8.621,89)	(8.621,89)	(8.621,89)
(-) Depreciación y Amortización		-	-	-	-	-
<b>UTILIDAD OPERACIONAL</b>		<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>
(-) Intereses		-	-	-	-	-
(-) Otros Gastos		-	-	-	-	-
<b>Utilidad antes de Obligaciones</b>		2.441,67	2.441,67	2.441,67	2.441,67	2.441,67
(-) Participación Trabajadores		-	-	-	-	-
(-) Impuesto a la Renta		-	-	-	-	-
<b>FLUJO DESPUÉS DE OBLIGACIONES</b>		2.441,67	2.441,67	2.441,67	2.441,67	2.441,67
(-) Pago de Capital Prestado		-	-	-	-	-
(+) Depreciación y Amortización		-	-	-	-	-
<b>(=) FLUJO NETO</b>	<b>(8.195,23)</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>	<b>2.441,67</b>
					<b>VAN</b>	<b>\$3.697,66</b>
					<b>TIR</b>	<b>14,95%</b>

**Fuente:** Autores

## 6.2. Impactos técnicos, sociales y ambientales

### 6.2.1. Impactos epistemológicos

El uso de la dinámica de fluidos a través de computador CFD en el estudio de los fluidos garantiza resultados confiables. Con ello, se puede llevar a cabo la implementación y diseño de componentes de un sistema para mejorar su funcionamiento. Además, se logra visualizar el comportamiento de un fluido y predecir los patrones de flujo presentes en un sistema. Mediante el uso de la CFD se cuenta con la ventaja de poder manipular a conveniencia cada componente del medio en estudio y sus condiciones de operación, esto con gran ahorro de dinero, tiempo y esfuerzo.

### **6.2.2. Impactos técnicos**

La máquina de inyección de termoplásticos tiene como función producir diferentes piezas con gran precisión de forma continua y con gran rapidez. La calidad del producto se ve reflejada en el estudio pre-procesamiento y post procesamiento de llenado de la pieza a crear, determinando así parámetros de caracterización del elemento a inyectar.

### **6.2.3. Impactos ambientales**

La simulación por elementos finitos permite lograr predecir las condiciones de trabajo de un sistema o sus componentes bajo distintas condiciones de trabajo sin la necesidad de datos experimentales de campo lo que permite un ahorro significativo de dinero en la implementación y se evita dañar el medio ambiente con diseños que realmente tendrá una gran utilidad y no quedará como material obsoleto.

### **6.2.4. Impactos Sociales**

El estudio realizado presenta una visión a corto plazo, la cual es la realización de un laboratorio de investigación aplicada a los polímeros, en este particular estudio presenta las características para el comienzo del mismo y liderar competitivamente este campo, tanto, en la provincia y a nivel nacional.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

El análisis y simulación del llenado y del proceso de inyección por el método de elementos finitos FEM-FEA, permitió determinar los parámetros característicos del proceso en toda la línea de inyección, evaluando el comportamiento del material en el interior de la cavidad del molde, logrando obtener criterios de los problemas de llenado que afectan directamente a la calidad de la pieza inyectada.

Se configuraron las condiciones de contorno en el software FEM-FEA para los diferentes ensayos realizados donde se establecieron los valores de las variables del proceso de inyección es decir: materiales, presiones, temperaturas, velocidades y el punto de inyección en el elemento a analizar (engranaje), se obtuvieron resultados en el simulador de los parámetros del ciclo de inyección como la temperatura de avance de pared en el molde, presión en el interior del molde, tiempo de inyección, etc.

Se determinaron las velocidades de inyección a la salida del inyector para los materiales utilizados en el ensayo: NYLON PA6, LLDPE, equivalentes a las presiones de inyección de 35-70-90 MPa los valores de las velocidades son: 174.6, 349.8, 380.7 m/s, donde se obtuvieron los tiempos de llenado en el molde del engrane para cada material, los cuales son:

NYLON PA6: 31.27, 2.66, 1.10 segundos.

LLDPE IN34: 76.75, 37,25, 32,16 segundos.

Se discretizó un volumen de control, mediante el mallado más adecuado para la física de estudio es la base de la simulación en ingeniería mediante elementos finitos puesto que la fidelidad y la precisión son dos puntos fundamentales para la simulación CFD. Las geometrías complejas necesitan horas de cálculos manuales extensos, que son reemplazados por algoritmos matemáticos de alto orden computados por un software FEM. Nuestra simulación fue realizada con una métrica “Skewness” de promedio 0.22 para elementos tetraédricos por la adaptabilidad a las curvas complejas que poseen los componentes del sistema simulado y un número total de 1852228 elementos y 2090701 nodos, para todos los ensayos

En el ensayo de llenado del NYLON PA6 en el software FEM-FEA al simular las condiciones de contorno correspondientes a las presiones de inyección de 70 y 90 MPa se obtuvieron piezas de buena calidad que no presentan problemas de llenado y tienen una masa completa de 213.24

gramos. Pero para el LLDPE IN34 a las presiones correspondientes de 70-90 MPa se obtuvieron piezas que se llenaban completamente pero no garantizan una calidad aceptable.

En el ensayo de seguridad estructural al engranaje inyectado con el NYLON PA6 se obtuvo un esfuerzo a la flexión de 5.59 MPa el cual es inferior al del material que es de 76 MPa, se obtuvo con un factor de seguridad mínimo de 4.58 y un máximo de 15 lo que garantiza que el elemento no fallara con el tiempo de uso o cuando se ejerza una carga igual o superior de 612.5 N, mientras que en el engrane inyectado con LLDPE IN34 se obtuvo un valor de esfuerzo a la flexión de 5.59 MPa el cual es inferior al del material pero se tiene un factor de seguridad min de 0.82 y un max de 15 lo que indica que el elemento fallara con el tiempo de uso o si se le aplica una carga superior a los 612.5 N.

Con los valores ideales de las variables del proceso de inyección (presión, velocidad, temperatura de inyección y tiempo de llenado) obtenidas del ensayo de llenado por el método de elementos finitos se diseñó un modelo de máquina de inyección de materiales termoplásticos que garantiza el llenado, manufactura y producción de piezas de buena calidad con una masa que oscile entre los 200 a 300 gramos.

Se generó un diseño de detalle para la máquina en función a la casa de la calidad QFD donde se establecen los requerimientos y objetivos de diseño en una función global, para posteriormente seleccionar las alternativas más adecuadas y dar solución a cada uno de los sistemas que constituyen la máquina de inyección.

Se establecieron los parámetros para el diseño de la máquina iniciando desde el peso máximo de la pieza 213.24 gramos, el tamaño de la pieza en función del espesor de pared de 0.7mm y la longitud de recorrido de 148.86, los materiales a inyectar son el NYLON PA6 y el LLDPE IN34, la presión de inyección es de 90MPa con un tiempo de llenado máximo de 3 segundos. Se obtuvo una fuerza de cierre de molde 2,606.79 KN en las condiciones más críticas.

La máquina de inyección puede producir otro tipo de piezas ya que se copla a cualquier tipo de molde, pero con la condicionante de que no se exceda el volumen y el peso máximo de inyección previsto y establecido por las especificaciones técnicas,

Se diseñó una máquina de inyección con un bajo costo de manufactura y construcción, ya que se presupuestó un total de \$10000, siendo más económica que las máquinas disponibles en el mercado y de similares características que inician con un costo de \$40000 de acuerdo con la marca.

## **7.2. Recomendaciones**

Dado el primer paso en la investigación del proceso de moldeo por inyección por el método de elementos finitos, se recomienda:

Emplear el método de elementos finitos FEM para determinar el comportamiento de los parámetros geométricos en la contracción de los materiales empleados en este proyecto como lo es el NYLON PA6 y el LLDPE IN34 y otros tipos de termoplásticos.

El método de elementos finitos es una de las aplicaciones numéricas de más uso en la ingeniería, por ello se recomienda investigar más sobre los softwares FEM-FEA y su aplicación en el campo de la inyección plástica, con el objetivo mejorar el proceso de la manufactura de piezas y elementos plásticos.

Determinar de forma experimental el tiempo de vida de los engranajes para establecer relación con los ensayos realizados.

Fijar los parámetros de las condiciones de contorno y de procesamiento en cada uno de los ensayos lo más semejantes a la realidad del proceso de moldeo por inyección, ya que al tratarse de un proceso complejo algún error de configuración podría otorgar aproximaciones sin sentido.

Para el diseño mecánico de la maquina partir de los datos de las variables ideales del proceso de inyección obtenidas en el ensayo de llenado de la pieza por el método de elementos finitos.

Implementar elementos que permitan la automatización eléctrica-electrónica de cada uno de los sistemas y mecanismos que constituyen la máquina de inyección.

Instalar y colocar un sistema de refrigeración en el molde, para garantizar la producción continua de piezas.

El diseño presentado en este trabajo esta apto a ser mejorado en cada uno de los sistemas o accionamientos de la maquina ya sea mecánico, hidráulico o térmico.

El trabajo realizado debe ser culminado con la fabricación y puesta en marcha de la máquina de inyección.

## **8. REFERENCIAS**

- [1] CINE-UNESCO, «SENESCYT,» [En línea]. Available: <https://www.puce.edu.ec/intranet/documentos/PISP/PISP-Areas-Subareas->

- Conocimiento-UNESCO-Manual-SNIESE-SENESCYT.pdf. [Último acceso: 20 Julio 2018].
- [2] V. R. C. R. AM Shaik, «Development of modular manufacturing systems—a review,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. 789-802, 2015.
- [3] P. L. R. V. S. & R. D. Rajiv, «Financial feasibility and value engineering principles integrated quality function deployment for a manufacturing organization: A case study.,» *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 12, pp. 71-88, 2014.
- [4] M. E. Correa, «Aplicación del método QFD para el diseño de un envase de geometría especial en el proceso de termoformado,» D - Universidad de La Rioja, La Rioja - España, 2015.
- [5] H. H. P. K. S. I. R. G. P. S. G. P. P. D. G. a. S. A. Hari Abdul Hadi, «THE IMPLEMENTATION OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD),» ComTech, Nicaragua, 2017.
- [6] C. F. Nohemi, «Simulacion CFD EN ASYS FLUENT PARA ANALIZAR EL PATRON DE FLUJO DE LOS GASES DE COMBUSTION DENTRO DE UNA CHIMENEA Y ASI DETERMINAR LA UBICACIÓN DEL PUERTO DEL MUESTREO,» UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, MEXICO D.F., 2016.
- [7] Jesús Manuel F. Fernández Oro, *Técnicas numéricas en ingeniería de fluidos: introducción a la dinámica de fluidos computacional (CFD) por el método de volúmenes finitos*, Oviedo, España: Editorial Reverté, 2012.
- [8] C. d. N. W. Encyclopedia, «New World Encyclopedia,» Nueva Enciclopedia Mundial, 04 27 2013. [En línea]. Available: <http://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Celluloid&oldid=968829>. [Último acceso: 13 06 2018].
- [9] Polvoleno, «Polvoleno,» Polvoleno, 07 08 2016. [En línea]. Available: <http://www.polvoleno.com/descargas/plasticos/polpgop.pdf>. [Último acceso: 10 05 2018].
- [10] A. M. y. J. A. Francisco Javier Castany, *Diseño y desarrollo de componentes de plástico inyectados I*, Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2013.
- [11] Marlenys Ysacura, Danny Labrador, y Yadani Crespo, *Polímeros y biomoléculas*, Benito Juárez: El Cid Editor | apuntes, 2009.
- [12] P. Dominick V. Rosato, *Plastics Processing Data Handbook*, U.S.A.: Chapman / Hall, 1997.
- [13] A. M. G. Maribel Beltrán Rico, *Tecnología de polimeros. Procesado y Propiedades. Tema 5. Inyección*, San Vicente del Raspeig, Alicante: Unión de Editoriales Universitarias Españolas, 2012.

- [14] L. GmbH, «Designing with engineering Plastics,» *Licharz engineering Plastics*, p. 156, 2016.
- [15] Francisco Javier Castany, Arantza Martínez, y Arantza Martínez, Diseño y desarrollo de componentes de plástico inyectados II: la pieza, Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2014.
- [16] Daniel Frenkler, Henryk Zawistowski, Hot runners in injection moulds, Shrewsbury, UK: Rapra technology Ltd., 2001, p. 54.
- [17] A. International, «Standard Specification for Polyethylene Plastics Extrusion Materials for Wire and Cable D 1248-05,» ASTM, Estados Unidos, 2005.
- [18] H. Belofsky, *Plastics: Product Design and Process Engineering*, New York: Hanser, 1995.
- [19] W. Mink, *El Plastico en la Industria: Tratado Práctico Inyeccion de Plasticos*, Mexico D.F.: Gustavo Gilí, 1990.
- [20] NTE INEN-ISO 294-1, «PLÁSTICOS MOLDEO POR INYECCIÓN DE PROBETAS DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS,» Quito, 2014.
- [21] F. R. P. d. León, «Reconstrucción y Semi-Automatización de la Máquina de Inyección de Plástico de Laboratorios de Ingeniería Mecánica,» Universidad de las Américas Puebla, Puebla, 2007.
- [22] J. Fred W. BILLMEYER, *Ciencias de los Polímeros*, New York: Reverté S.A., 1975.
- [23] J. M. L. Romero, *Transformación de materiales termoplásticos (UF0726)*, Antequera, Málaga: IC EDITORIAL, 2013.
- [24] D. O. Kazmer, *Injection Mold Design Engineering*, U.S.A.: Hanser Gardner Publications, Inc., 2007.
- [25] E. Thomazi, «*Molde de Inyección,*» Universidade Federal do Piauí, Brazil, 2016.
- [26] B. S.A., «Braskem S.A.,» *Poliolefinas. Catalogo de productos y propiedades.*, p. 36, 2018.
- [27] I. B. C.A., «IVAN BOHMAN C.A.,» *Catálogo de Productos*, vol. III, p. 403, 2018.
- [28] Gonzales, *La casa de la calidad*, 2001.
- [29] Riba, *Diseño Conceptual*, 2002.
- [30] Pedro Antonio Martínez Pineda, David Leonel Molina Fuente, Almicar Leonel Rivera Portillo, «Diseño y construcción de una máquina de inyección de termoplásticos para fines didácticos,» Universidad del Salvador, San Salvador, 2002.
- [31] E. M. A. Bary, *Handbook of plastic films*, Shrewsbury: Rapra Technology Limited, 2003.

- [32] David Ignacio Machuca Sánchez y Miriam Hervás Torres, Configuración de moldes, matrices y cabezales de equipos para la transformación de polímeros: operaciones de transformación de polímeros termoplásticos (UF0724), Antequera , Malaga : IC EDITORIAL, 2013.
- [33] Vicent Fombuena Borràs, Octavio Ángel Fenollar Gimeno, y Néstor Montañes Moñoz, Caracterización de materiales poliméricos, Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
- [34] Sandra Taboada Pirotte y Luis Adargoma Suárez García, Desarrollo de un producto en material plástico por inyección (I), Las Palmas: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica, 2015.
- [35] M. P. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, Santa Fe: McGraw-Hill España, 2007.
- [36] Segundo Barroso Herrero, José Ramón Gil Bercero y Ana María Camacho López, Introducción al conocimiento de los materiales y sus aplicaciones, Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2008.
- [37] Rafael Balart Gimeno, David García Sanoguera, y Juan López Martínez, Técnicas experimentales de análisis térmico de polímeros, Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [38] A. Vigilante, Trabajo de campo: polímeros, Benito Suárez: El Cid Editor | apuntes, 2009.
- [39] L. A. M. Soberón, Plásticos industriales y su procesamiento, Chiclayo: El Cid Editor, 2007.
- [40] V. S. Villegas, «Aplicacion del moldeo por inyeccion en la industria plástica,» Mexico, 2013.
- [41] L. A. M. Soberón, Plásticos industriales y su procesamiento, El Cid Editor, 2007.

**ANEXOS**

**ANEXO I. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES  
TERMOPLÁSTICOS**

Resin Material	Impact Strength Notched Izod, ft-lb/in., $\frac{1}{2}$ in. bar	Tensile Strength, psi $\times 10^3$	Tensile Modulus, psi $\times 10^3$	Elongation, (%)	Flexural Strength, psi $\times 10^3$	Compressive Strength, psi $\times 10^3$
1. Acetal	1.2-2.3	8.8-10	400-410	12-75	13-14	18
2. ABS	1.0-9.5	3.5-10.5	200-450	10-100	5-15	5-11
3. Acrylic	0.4	8.7-10.5	380-430	3-6	14-16	14-17
4. Acrylic high impact	0.5-2.3	5.5-8	225-330	23-38	8.5-12	7-12
5. Cellulose acetate	5-5.6	2.3-8.1	—	10-70	2.2-11.5	2.2-10.9
6. Cellulose acetate butyrate	0.8-6.3	2.6-6.9	—	40-88	1.8-9.3	2.1-9.4
7. Cellulose propionate	0.9-10.2	1.8-7.3	—	30-100	2.8-11	3-9.6
8. Chlorinated polyether	0.4	6	160	60-160	5	—
9. Chlorotrifluoroethylene	3.5	6	150-190	60-190	8-10	6-12
10. Ethyl cellulose	1.7-6	2.3-6.5	—	10-40	3-6.7	—
11. Ethyl vinyl acetate	No break	20-40	3.0-15	500-1500	—	—
12. FEP	No break	2-3.2	60-80	350	—	—
13. Nylon 6	0.9-4	9.5-12.4	200-450	25-300	9-16.6	4-11
14. Nylon 6/6	0.9-2	11.2-13.1	410-480	60-300	14.6	5-13
15. Nylon 6/10	—	7-8.5	160-280	50-300	10.5	4-6
16. Polyallomer	1.5-12	2.9-4.2	100-170	400-650	4-5	—
17. Polycarbonate	2-3	8-9	345	75	11-13.5	12.5
18. Polyethylene low density	No break	1-2.4	14-38	20-800	—	—
19. Polyethylene medium density	No break	1.7-2.8	50-80	80-600	—	—
20. Polyethylene high density	0.5-23	2.8-5	75-160	10-800	1-4	0.8-3.6
21. Polyethylene high molecular weight	>20	5.4	102	525	3.5	2.4
22. Polypropylene	0.5-15	2.3-5	150-250	10-700	4.5-6	6-8
23. Polystyrene	0.25-0.65	5-9	400-500	1-2.5	7-15	11.5-16
24. Polystyrene high impact	0.7-1.5	3.5-8	300-400	10-40	5.5-12.5	8-16
25. Polyurethane	No break	4.5-8	—	100-600	0.7-1	20
26. Poly(vinyl chloride) (flexible)	Varied	1-4	—	100-450	—	—
27. Poly(vinyl chloride) (rigid)	0.4-22	6-9	200-600	5-40	8-15	10-11
28. Poly(vinyl dichloride) (rigid)	0.8-6.3	7.5-8.8	348-450	65	14.2-17	—
29. Styrene acrylonitrile (SAN)	0.3-55	10-12	500	1-3.2	17	15-17.5
30. TFE fluorocarbon	No break	2-5	50-100	75-400	—	4-1.2
31. Ionomer	5.7-14	3.5-5.5	28-40	300-450	—	—
32. Phenoxy	1.5-12	8-9.5	350-410	50-100	12-14.5	—
33. Polyphenylene oxide	—	—	—	50-80	—	—

## ANEXO II. PROPIEDADES DE LA FAMILIA DE TERMOPLÁSTICOS TÉCNICOS O DE INGENIERÍA

Filler or Reinforcement	Chemical Resistance	Heat Resistance	Electrical Insulation	Impact Strength	Tensile Strength	Dimensional Stability	Stiffness	Hardness	Lubricity	Electrical Conductivity	Thermal Conductivity	Moisture Resistance	Processability	Recommended For use in*
Alumina, tabular	●	●	●	●		●	●					●	●	S/P
Aluminum powder										●	●			S
Aramid	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●	S/P
Bronze							●	●		●	●			S
Calcium carbonate	●	●	●	●		●	●	●					●	S/P
Carbon black		●				●	●			●	●		●	S/P
Carbon fiber										●	●			S
Cellulose				●		●	●	●						S/P
Alpha cellulose			●			●						●		S
Coal, powdered	●											●		S
Cotton			●	●	●	●	●	●						S
Fibrous glass	●	●	●	●	●	●	●	●				●		S/P
Graphite	●				●	●	●	●	●	●	●			S/P
Jute				●			●							S
Kaolin	●	●	●			●	●	●	●			●	●	S/P
Mica	●	●	●			●	●	●	●			●		S/P
Molybdenum disulfide							●	●	●			●	●	P
Nylon	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●	S/P
Orlon	●	●	●	●	●	●	●	●				●	●	S/P
Rayon			●	●	●	●	●	●						S
Silica, amorphous			●									●	●	S/P
Sisal fibers	●			●		●	●	●				●		S/P
Fluorocarbon						●	●	●	●					S/P
Talc	●	●	●			●	●	●	●			●	●	S/P
Wood flour			●			●								S

\*P = thermoplastic, S = thermoset.

ANEXO III. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO DE  
INGENIERIA

Crystalline	Amorphous
<i>Acetal</i>	<i>Polycarbonate</i>
Best property balance	Good impact resistance
Stiffest unreinforced thermoplastic	Transparent
Low friction	Good electrical properties
<i>Nylon</i>	<i>Modified PPO</i>
High melting point	Hydrolytic stability
High elongation	Good impact resistance
Toughest thermoplastic	
Absorbs moisture	
<i>Glass reinforced</i>	Good electrical properties
High strength	
Stiffness at elevated temperatures	
<i>Mineral reinforced</i>	
Most economical	
Low warpage	
<i>Polyester (glass reinforced)</i>	
High stiffness	
Lowest creep	

## ANEXO IV. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

### VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala
Variables del proceso de inyección.	Independiente	Son parámetros fundamentales de funcionamiento y operación de una máquina de moldeo por inyección para que pueda cumplir un ciclo de trabajo.	Se definen como factores que influyen directamente en la marcha y operatividad de una máquina inyectora de plásticos, con la finalidad de condicionar el proceso de inyección para obtener una alta eficiencia.	Presión de inyección.	Presión en la cavidad del molde	MPa	Absoluta
					Presión del sistema neumático de accionamiento del husillo.	MPa	Absoluta
					Presión de mantenimiento o compactación (holding pressure)	MPa	Absoluta
					Presión de retroceso del husillo (back pressure)	MPa	Absoluta
					Presión inicial o de llenado	MPa	Absoluta
				Volumen de inyección.	Volumen de en la cavidad del molde.	cm <sup>3</sup>	Absoluta
					Volumen de la pieza moldeada, al final del ciclo.	cm <sup>3</sup>	Absoluta
				Velocidad de inyección.	Velocidad de plastificación o de rotación del husillo.	rpm	Absoluta
					Velocidad lineal o de avance del husillo.	mm	Absoluta
				Temperatura de inyección.	Temperatura en el cilindro de inyección.	°C	Absoluta
					Temperatura de la masa fundida (del material).	°C	Absoluta
					Temperatura del molde	°C	Absoluta

**Fuente:** Autores

### VARIABLE DEPENDIENTE

Variables	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala
Calidad de un producto termoplástico o inyectado.	Dependiente	Es el conjunto de propiedades y características de un producto plástico inyectado que tiene la capacidad de satisfacer necesidades, gustos y preferencias, o de cumplir con expectativas en el consumidor.	Se define como la capacidad que tiene un producto plástico inyectado para cumplir con las especificaciones implícitas o explícitas según un parámetro, o un cumplimiento de requisitos de calidad.	Características del material	Densidad		Absoluta
					Masa	gramos	Absoluta
					Volumen	cm <sup>3</sup>	Absoluta
					Viscosidad		Absoluta
				Conformidad	Apariencia de la pieza con respecto al llenado.	cm <sup>3</sup>	Absoluta
				Seguridad estructural y predicción de la vida de servicio	Seguridad estructural: Deformación de la pieza Esfuerzo máximo de tensión Esfuerzo máximo de flexión Esfuerzo Von Misses	% deforma mm	Absoluta
					Predicción de la vida de servicio: Factor de seguridad Medir carga cíclica el engrane: Rpm-hora		Absoluta
				Manufactura	Resistencia a las líneas de flujo: Líneas de flujo de presión Líneas de flujo de velocidad Líneas de flujo de temperatura	Mpa	Absoluta
					Rebabas (exceso de material. Presión, tiempo inyec)	Numero de rebabas	Absoluta
					Viscosidad de turbulencia		

**Fuente:** Autores

## ANEXO V. PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES DEL MATERIAL TERMOPLÁSTICO PARA ALTA Y BAJA DENSIDAD

### Simulación 1

Para la simulación 1, se utiliza material termoplástico de alta densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descrita en la siguiente tabla.

**Tabla V.1.** Valores de las variables del proceso de inyección simuladas

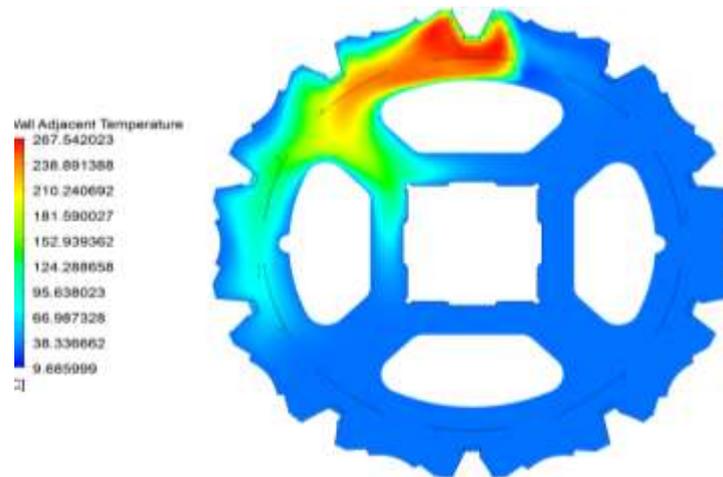
<b>Variables del proceso de inyección a simular.</b>	
Presión	35 MPa
Velocidad de inyección	174.6 m/s
Temperatura	255 °C
Densidad	1.14 g/cm <sup>3</sup>

**Realizado por:** Autores

### Análisis de la simulación

#### Temperatura de avance en las paredes del molde

Esta temperatura determina la solidificación del material una vez finalizado el proceso de inyección, se puede identificar que en las zonas de color rojo existe una mayor temperatura es decir que el material se encuentra en estado líquido a 267.54 °C en el punto de inyección, mientras que en las zonas de color azul-celeste se ilustra que el material se ha solidificado completamente. Se determina que existen problemas de solidificación, compactación y presencia de rebabas en la pieza en el punto del inyector una vez finalizado el proceso, al existir una presión de retroceso puede succionar el material en la zona líquida y provocar huecos y desperdicio de material.

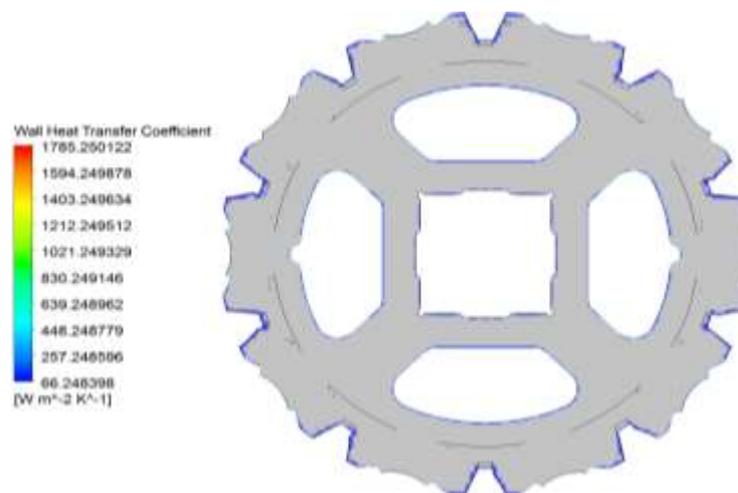


**Figura V.1.** Temperatura de avance en las paredes del molde

**Realizado por:** Autores

### **Coefficiente de transferencia de calor**

El coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y las paredes del molde depende de las variables del proceso de inyección, ya que es el que controla las características macro-microestructurales del tamaño del grano. Se puede determinar que la transferencia de calor en las zonas de color gris es cero por que el fluido se está enfriando, se tiene un valor de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  en la zona de inyección ya que el fluido se encuentra caliente lo que puede causar problemas de contracción, solidificación y rechupes por falta de refrigeración.



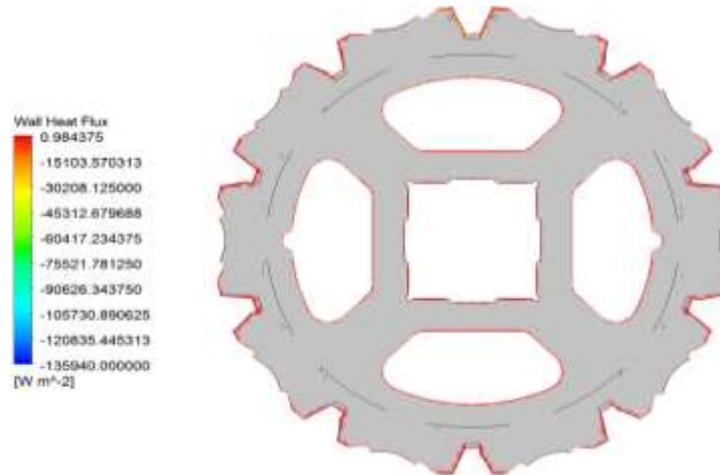
**Figura V.2.** Temperatura de avance en las paredes del molde

**Realizado por:** Autores

### **Flujo de calor**

El flujo de calor se aplica a las paredes del molde, en la zona de color gris se puede observar que el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa

o despreciable, mientras que en la zona de color rojo se tiene un valor de  $0.98 \frac{W}{m^2}$  de tasa de transferencia de calor lo que demuestra que la tasa de transferencia de calor es mínima y no se está transmitiendo mucho calor del molde hacia el exterior.

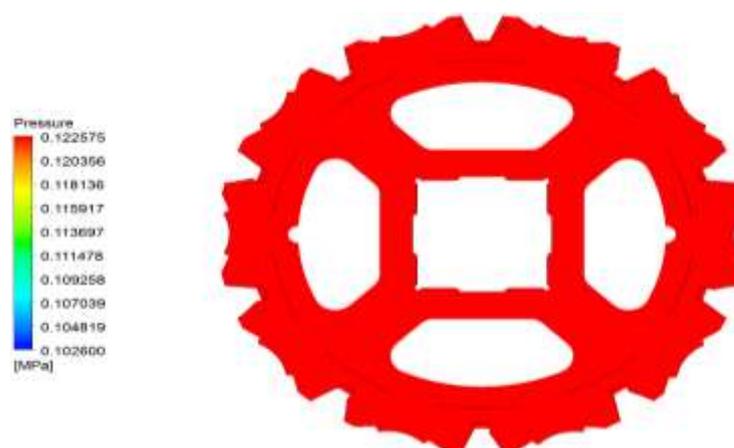


**Figura V.3.** Flujo de calor

**Realizado por:** Autores

### **Presión en el molde**

La presión interna el molde es a la que se encuentra la pieza al final del proceso y simboliza un 20% de la presión real es decir que la presión en el molde es 0.12 MPa lo que representa el 0.34% de la presión máxima de inyección que es de 35MPa, se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.



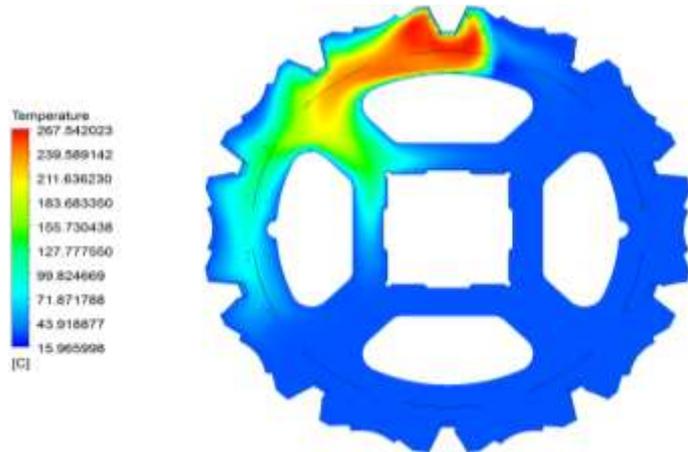
**Figura V.4.** Presión en el molde

**Realizado por:** Autores

### **Temperatura de inyección**

Se tiene una temperatura de inyección al final del proceso de 267.54 °C esto se debe al tiempo del ciclos de trabajo del proceso ya que se mantuvo a una temperatura constante, se puede

observar que en la zona de color azul se tiene una menor temperatura es decir que el material se está solidificando, pero en la zona de color rojo se identifica mayor concentración de temperatura en el punto de inyección, por lo que se concluye que en la zona de más temperatura pueden aparecer hundimientos y rebabas por falta de compactación de material, por lo que se debe colocar un enfriador en esa zona.

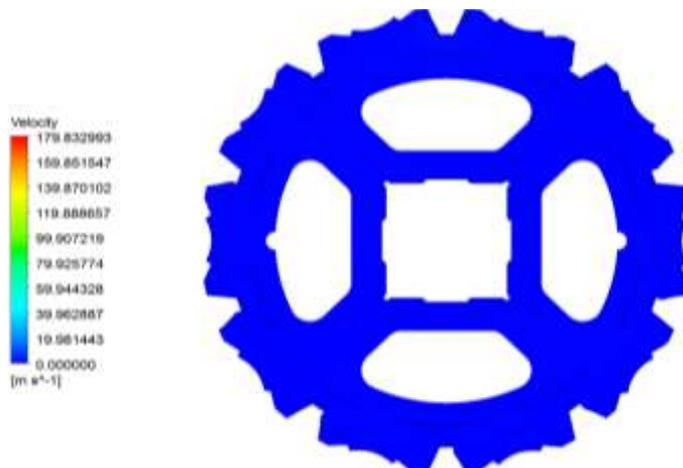


**Figura V.5.** Temperatura de inyección

**Realizado por:** Autores

### **Velocidad de inyección**

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de  $179.83 \frac{m}{s}$  es decir que la velocidad no fue constante al momento del llenado, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el. Al tener un valor bajo de velocidad pueden aparecer marcas de las líneas de flujo del material en la pieza inyectada.

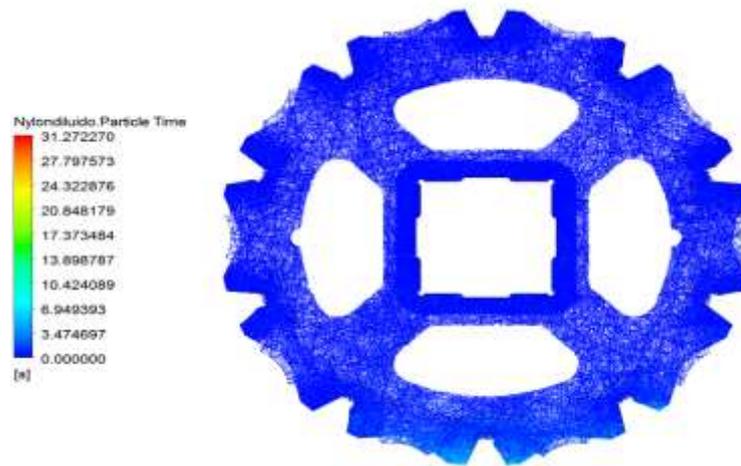


**Figura V.6.** Velocidad de inyección

**Realizado por:** Autores

## Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 31.27 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección configuradas el fluido tiende a demorarse hasta llenar completamente el molde. El tiempo de llenado debe ser bajo para garantizar piezas aceptables, se puede identificar que al tener un tiempo de llenado elevado aparecen porosidades, hundimientos y espacios huecos sin llenar.



**Figura V.7.** Tiempo de llenado

**Realizado por:** Autores

## Simulación 2

Para la simulación 2, se utiliza material termoplástico de alta densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descritos en la siguiente tabla.

**Tabla V.2.** Valores de las variables para el proceso de inyección

<b>Variables del proceso de inyección a simular.</b>	
Presión	70 MPa
Velocidad de inyección	349.8 m/s
Temperatura	255 °C
Densidad	1.14 g/cm <sup>3</sup>

**Realizado por:** Autores

## Análisis de simulación

### Temperatura de avance en las paredes del molde

Se tiene una temperatura máxima de avance pared de 255 °C finalizado el ciclo de inyección, se observa que en las zonas de color azul-celeste el material se ha solidificado completamente en toda la pieza incluido el punto de inyección, es decir que elimina los problemas de solidificación, compactación y la presencia de rebabas con lo que se llega a un llenado satisfactorio.

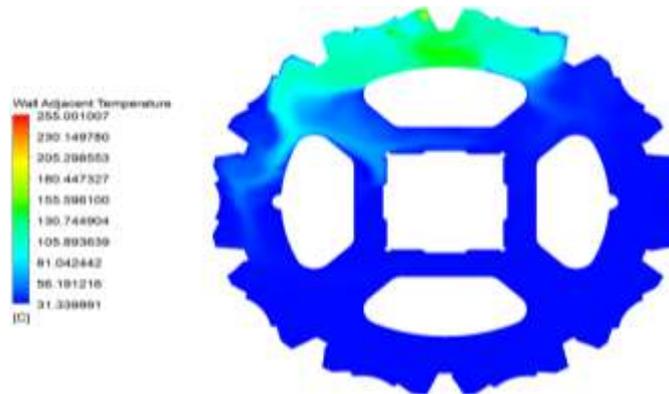


Figura V.8. Temperatura de avance en las paredes del molde

Realizado por: Autores

### 5.2.2.1.2. Coeficiente de transferencia de calor

El coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y las paredes del molde depende de las variables del proceso de inyección, se tiene un valor máximo de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  en toda la zona de inyección ya que el fluido se encuentra caliente, se observa que la transferencia de calor en las zonas de color azul-gris no es tan elevada por que el fluido se está enfriando, y el material se está solidificando y no habrá presencia de rechupes.

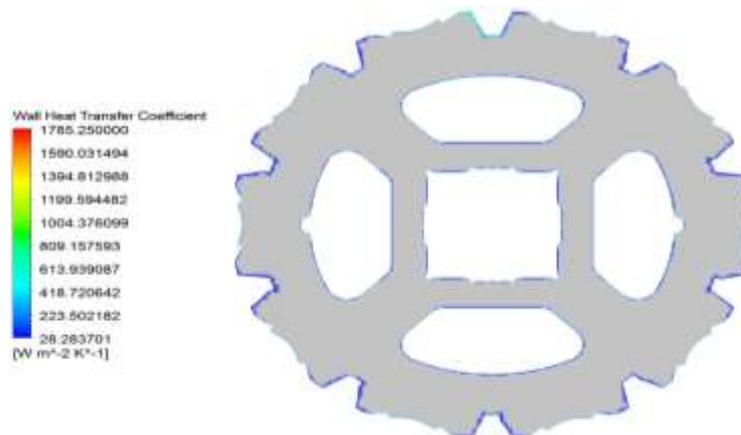


Figura V.9. Coeficiente de transferencia de calor

Realizado por: Autores

### Flujo de calor

El flujo de calor se aplica a las paredes del molde, en la zona de color gris se puede observar que el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa o despreciable, mientras que en la zona de color rojo se tiene un valor de  $89.95 \frac{W}{m^2}$  de tasa de transferencia de calor lo que demuestra que la tasa de transferencia de calor es mínima y no se está transmitiendo mucho calor del molde hacia el exterior.

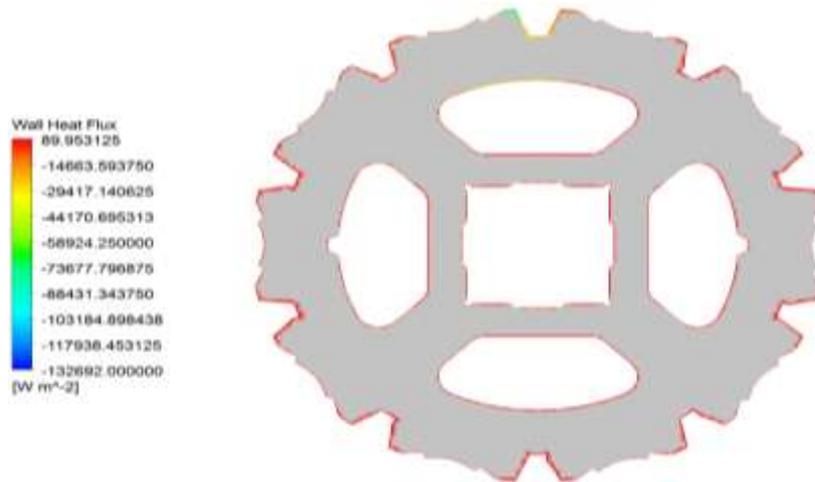


Figura V.10. Flujo de calor

Realizado por: Autores

### Presión en el molde

La presión de inyección en el molde es de 0.20 MPa lo que representa el 0.28% de la presión de inyección máxima que es de 70MPa. Se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.



Figura V.11 Presión en el molde

Realizado por: Autores

### Temperatura de inyección

La temperatura de inyección finalizado completamente el proceso de inyección es de 255 °C esto se debe a el tiempo de los ciclo de trabajo del proceso ya que se mantuvo a una temperatura constante, al existir una mayor presión de inyección no existe mayor concentración de temperatura en el punto de inyección por lo que se observa que en las zonas de color azul-gris se tiene una menor temperatura es decir que el material se está compactando completamente en toda la pieza, lo que elimina el aparecimiento de hundimientos y rebabas.

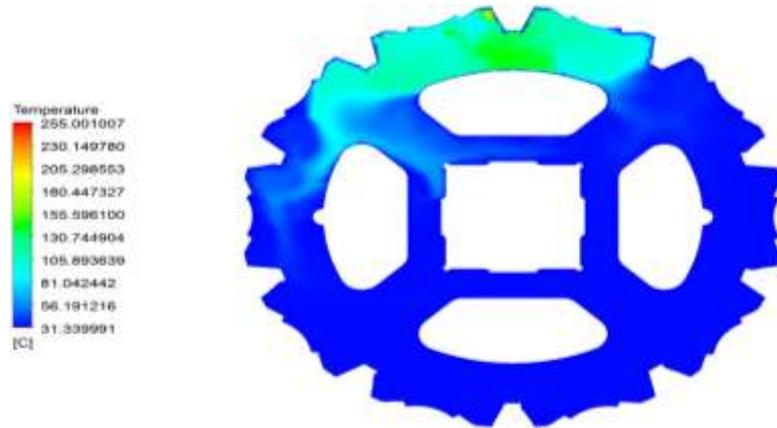


Figura V.12. Temperatura de inyección

Realizado por: Autores

### Velocidad de inyección

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de 478.07  $\frac{m}{s}$  es decir que la velocidad no fue constante al momento del llenado, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el proceso. Al tener un valor elevado de velocidad se eliminan los problemas de presencia de las marcas de las líneas de flujo del material en la pieza inyectada.

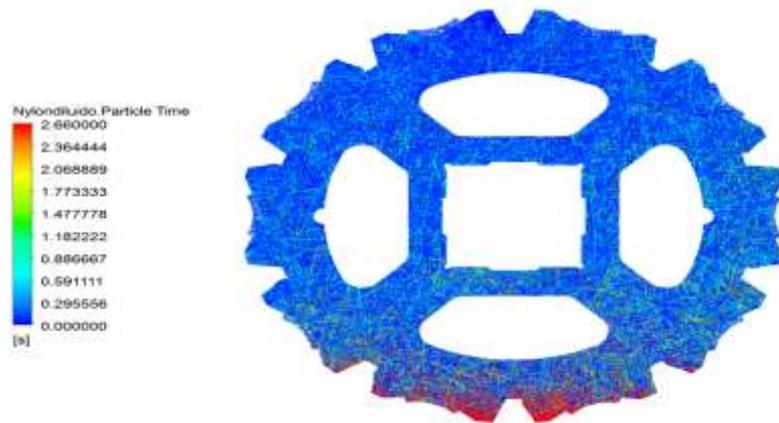


Figura V.13. Velocidad de inyección

Realizado por: Autores

### Tiempo de llenado.

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 2.66 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección ya configuradas el fluido no se demora hasta llenar completamente el molde. Se tiene un tiempo de llenado relativamente bajo lo que garantiza piezas aceptables, eliminando la presencia de huecos, hundimientos, porosidades y los problemas de compactación excesiva de material.



**Figura V.14.** Tiempo de llenado

**Realizado por:** Autores

### Simulación 3

Para la simulación 3, se utiliza material termoplástico de alta densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descritos en la siguiente tabla.

**Tabla V.3.** Valores de las variables para el proceso de inyección

<b>Variables del proceso de inyección a simular.</b>	
Presión	90 MPa
Velocidad de inyección	380.7 m/s
Temperatura	270 °C
Densidad	1.14 g/cm <sup>3</sup>

**Realizado por:** Autores

## Análisis de simulación

### Temperatura de avance en las paredes del molde

La máxima temperatura de pared en el punto de inyección es de 286.13 °C es decir que existe mayor concentración de calor en esa zona debido a que el fluido llena más rápido el molde, el margen de trabajo es muy rápido y no existe un tiempo adecuado de enfriamiento, se puede identificar que en las zonas de color naranja, amarillo y verde existe una temperatura de pared de 257.18 °C es decir que el material se encuentra en estado líquido tendiendo a solidificarse, mientras que en las zonas de color azul se observa que el material se ha solidificado completamente con mayor rapidez, se tiene un llenado satisfactorio pero se debe agregar un tiempo mayor de enfriamiento antes de comenzar un nuevo ciclo.

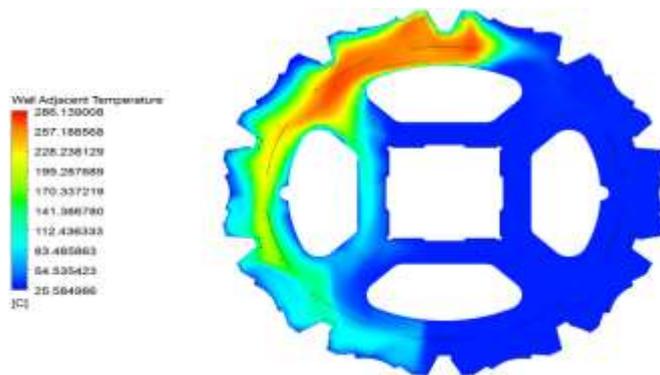


Figura V.15. Temperatura de avance en las paredes del molde

Realizado por: Autores

### Coefficiente de transferencia de calor

Se tiene un valor máximo de coeficiente de transferencia de calor de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  en todo el molde, pero se observa que en las zonas de color azul y celeste y gris la transferencia de calor es muy baja, lo que reduce los problemas de compactación, contracción y solidificación de la pieza.

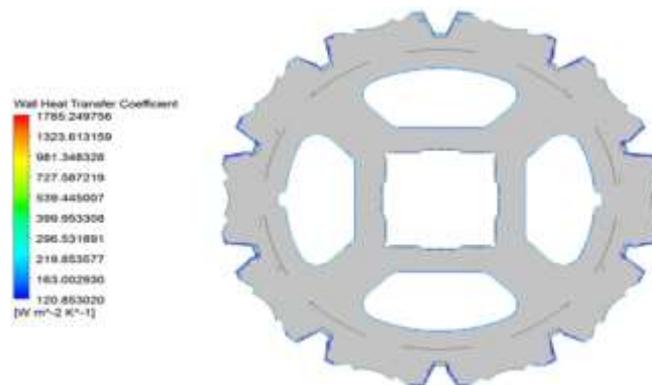


Figura V.16. Coeficiente de transferencia de calor

Realizado por: Autores

### Flujo de calor

El flujo de calor se aplica a las paredes del molde, en la zona de color gris se puede observar que el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa o despreciable, mientras que en la zona de color rojo se tiene un valor de  $573.34 \frac{W}{m^2}$  de tasa de transferencia de calor lo que indica que se está transmitiendo un flujo considerable de calor desde las paredes molde hacia el exterior debido a la elevada presión de inyección, se debe instalar un sistema de enfriamiento de molde en esa zona.

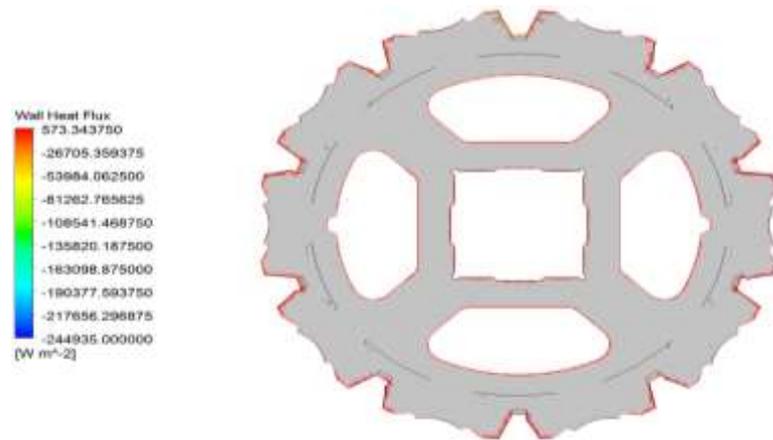


Figura V.17. Flujo de calor

Realizado por: Autores

### Presión en el molde

La presión de inyección en el molde es de 0.16 MPa lo que representa el 0.17% de la presión de inyección máxima que es de 90MPa. Se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.

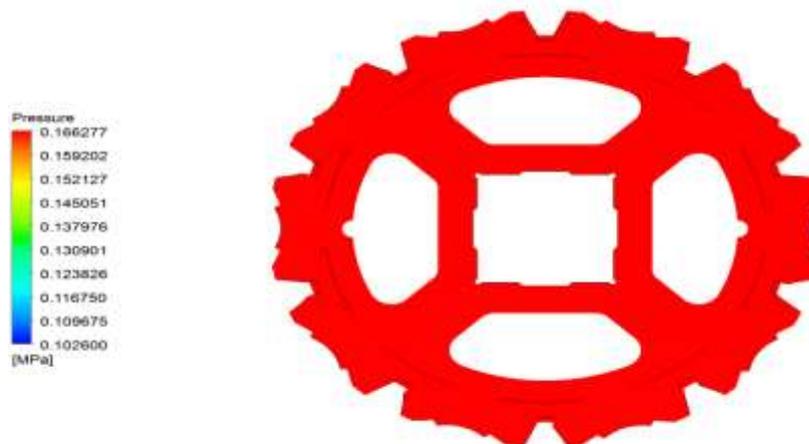


Figura V.18. Presión en el molde

Realizado por: Autores

### Temperatura de inyección

La temperatura máxima en el punto de inyección es de 286.13 °C , esto se debe a la elevada presión de inyección y al tiempo del ciclos de trabajo del proceso, se puede observar que en las zonas de color azul y celeste se tiene una menor temperatura es decir que el material se está compactando completamente, además en las zonas de color naranja, amarillo y verde se puede identificar que el material empieza a compactarse, se concluye que se tiene un llenado satisfactorio pero se debe agregar un tiempo mayor de enfriamiento antes de comenzar un nuevo ciclo.

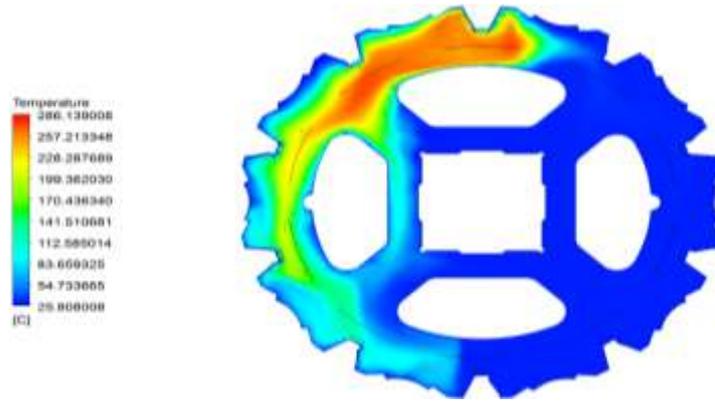


Figura V.19. Temperatura de inyección

Realizado por: Autores

### Velocidad de inyección

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de  $380.70 \frac{m}{s}$  es decir que la velocidad no fue constante al momento del llenado de la pieza, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el ciclo. Se tiene un valor elevado de velocidad de inyección lo que garantiza de que no existan problemas de defectos de punto de colada, burbujas y de marcas de las líneas de flujo del material en la pieza inyectada.

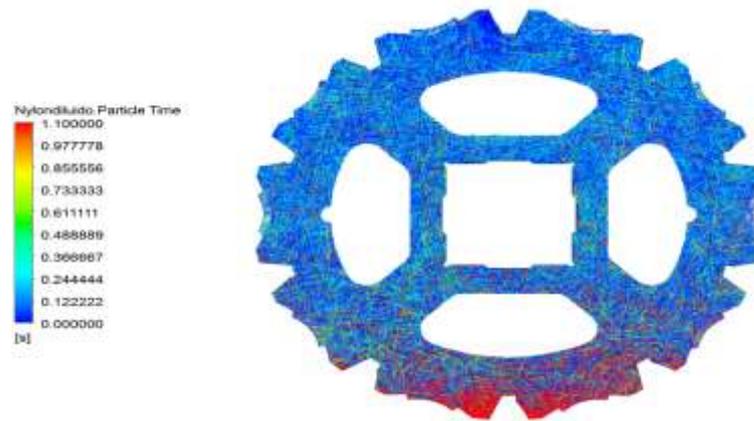


Figura V.20. Velocidad de inyección

Realizado por: Autores

## Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 1.10 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección configuradas el fluido llena rápidamente la pieza en el molde. Se tiene un tiempo de llenado relativamente bajo lo que garantiza piezas aceptables, se puede identificar que el material se compacta completamente, eliminando el apareamiento de porosidades, burbujas, rebabas y espacios huecos sin llenar.



**Figura V.21.** Tiempo de llenado

**Realizado por:** Autores

## Simulación 4

Para la simulación 3, se utiliza material termoplástico de baja densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descritos en la siguiente tabla.

**Tabla V.4.** Valores de las variables para el proceso de inyección

<b>Variables del proceso de inyección a simular.</b>	
Presión	35 MPa
Velocidad de inyección	174.6 m/s
Temperatura	110 °C
Densidad	0,938 g/cm <sup>3</sup>

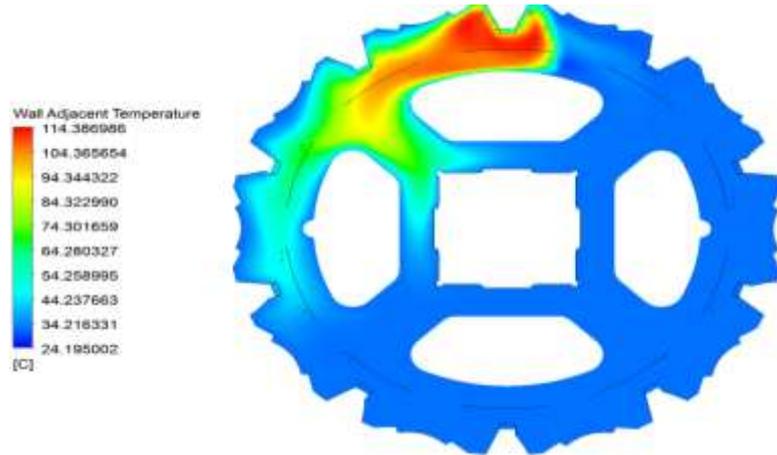
**Realizado por:** Autores

## Análisis de simulación

### Temperatura de avance en las paredes del molde

Esta temperatura determina la solidificación del material una vez finalizado el proceso de inyección, se puede identificar que en las zonas de color rojo existe una mayor temperatura es

decir que el material se encuentra en estado líquido a 114.38 °C en el punto de inyección, mientras que en las zonas de color azul-celeste se ilustra que el material se ha solidificado completamente. Se determina que existen problemas de solidificación, compactación y presencia de rebabas en la pieza en el punto del inyector una vez finalizado el proceso, al existir una presión de retroceso puede succionar el material en la zona líquida y provocar huecos y desperdicio de material.

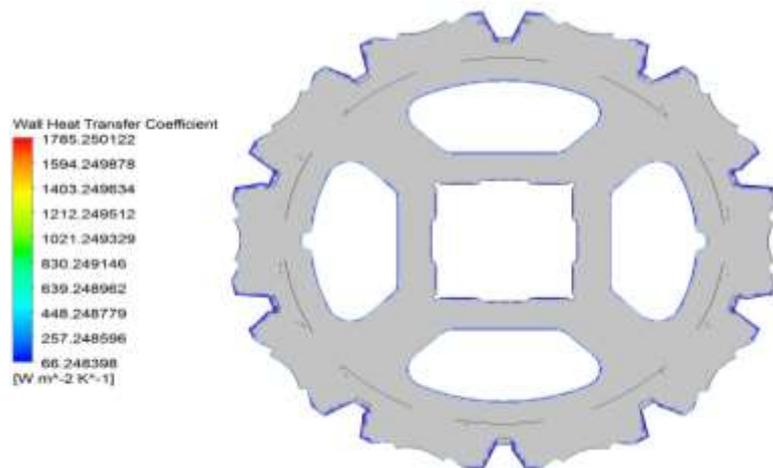


**Figura V.22.** Temperatura de avance en las paredes del molde

**Realizado por:** Autores

### **Coefficiente de transferencia de calor**

El coeficiente de transferencia de calor en la zona de inyección del molde máximo es de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  ya que el fluido se encuentra caliente lo que puede causar problemas de solidificación y rechupes por falta de presión de refrigeración. Se puede determinar que la transferencia de calor en las zonas de color gris no es muy elevada ya que el fluido se está enfriando.



**Figura V.23.** Coeficiente de transferencia de calor

**Realizado por:** Autores

### Flujo de calor

El flujo de calor se aplica a las paredes del molde, en la zona de color gris se puede observar que el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa o despreciable, mientras que en la zona de color rojo se tiene un valor de  $0.34 \frac{W}{m^2}$  de tasa de transferencia de calor lo que demuestra que la transferencia de calor es mínima y no se está transmitiendo mucho calor del molde hacia el exterior.

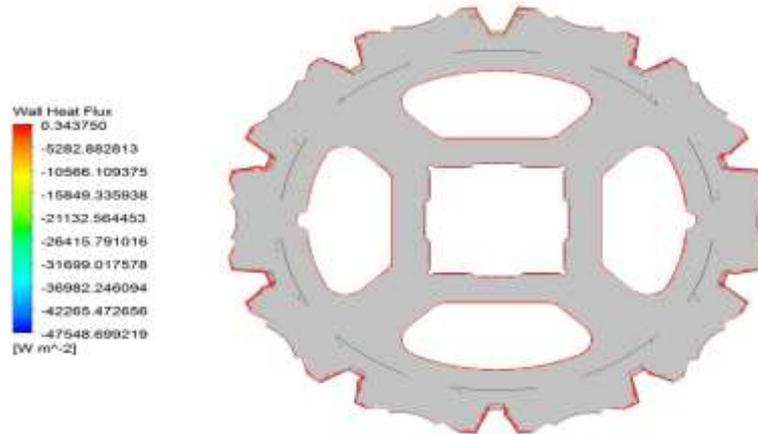


Figura V.24. Flujo de calor

Realizado por: Autores

### Presión en el molde

La presión interna del molde es a la que se encuentra la pieza al final del proceso y simboliza un 20% de la presión real, es decir que la presión en el molde es 0.12 MPa lo que representa el 0.34% de la presión máxima de inyección que es de 35MPa, se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.



Figura V.25. Presión en el molde

Realizado por: Autores

### Temperatura de inyección

Se tiene una temperatura de inyección al final del proceso de 114.38 °C esto se debe al tiempo del ciclo de trabajo del proceso ya que se mantuvo a una temperatura constante, se puede observar que en la zona de color azul se tiene una menor temperatura es decir que el material se está solidificando, pero en la zona de color rojo se identifica mayor concentración de temperatura en el punto de inyección, por lo que se concluye que en la zona de más temperatura pueden aparecer hundimientos y rebabas por falta de compactación de material, por lo que se debe colocar un enfriador en esa zona.

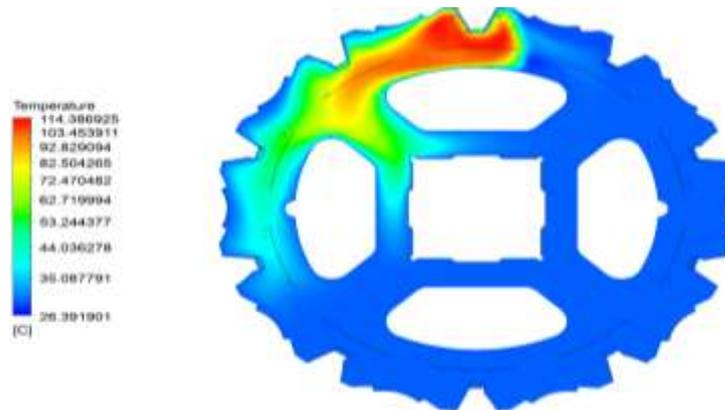


Figura V.26 Tiempo de llenado

Realizado por: Autores

### Velocidad de inyección

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de  $174.60 \frac{m}{s}$  es decir que la velocidad no fue constante al momento del llenado, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el. Al tener un valor bajo de velocidad pueden aparecer marcas de las líneas de flujo y la pieza no se llene completamente.



Figura V.27. Velocidad de inyección

Realizado por: Autores

## Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 31.27 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección configuradas el fluido tiende a demorarse hasta llenar completamente el molde. El tiempo de llenado debe ser bajo para garantizar piezas aceptables, se puede identificar que al tener un tiempo de llenado elevado aparecen porosidades, hundimientos y espacios huecos sin llenar.

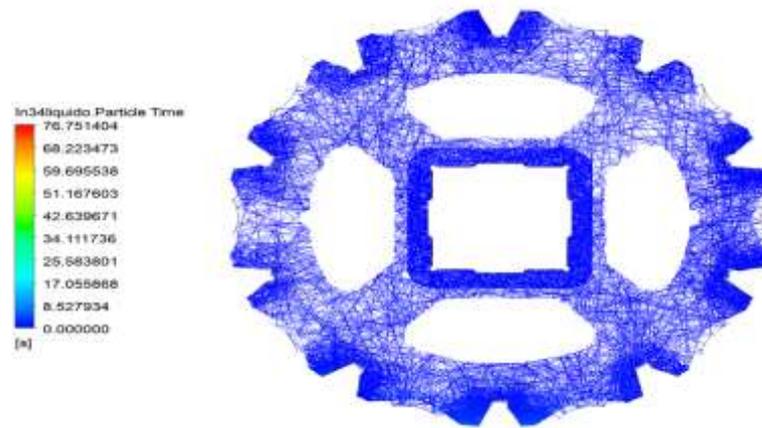


Figura V.28. Tiempo de llenado

Realizado por: Autores

## Simulación 5

Para la simulación 5, se utiliza material termoplástico de baja densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descritos en la siguiente tabla.

Tabla V.5. Valores de las variables para el proceso de inyección

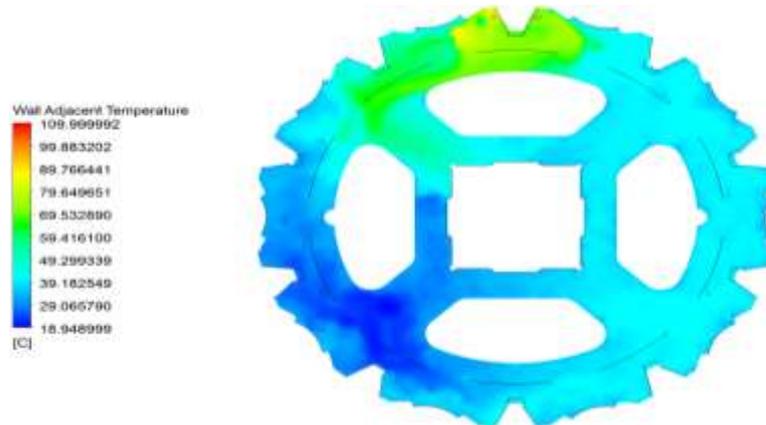
Variables del proceso de inyección a simular.	
Presión	70 MPa
Velocidad de inyección	349.8 m/s
Temperatura	270 °C
Densidad	0,938 g/cm <sup>3</sup>

Realizado por: Autores

## Análisis de simulación

### Temperatura de avance en las paredes del molde

Se tiene una temperatura máxima de avance pared de 110 °C finalizado el ciclo de inyección, se identifica en las zonas de color verde-amarillo una temperatura inferior a la máxima con la que el material empieza a compactarse en el punto de inyección, además se observa que en las zonas de color azul-celeste el material se ha solidificado completamente en toda la pieza incluido el punto de inyección, es decir que elimina los problemas de solidificación, compactación y la presencia de rebabas con lo que se llega a un llenado satisfactorio.

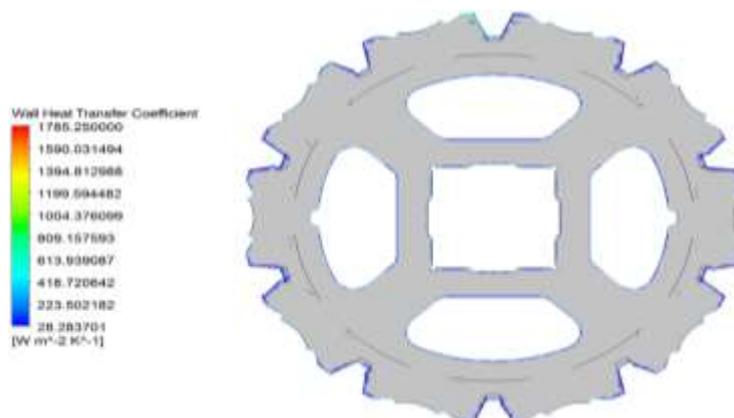


**Figura V.29.** Temperatura de avance en las paredes del molde

**Realizado por:** Autores

### Coefficiente de transferencia de calor

Se tiene un valor máximo de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  en toda la zona de inyección ya que el fluido se encuentra caliente, se observa que la transferencia de calor en las zonas de color azul-celeste-gris no es tan elevada por que el fluido se está enfriando, lo que reduce los problemas de compactación y solidificación de la pieza.



**Figura V.30.** Coeficiente de transferencia de calor

**Realizado por:** Autores

### Flujo de calor

El flujo de calor máximo aplicado a las paredes del molde es de  $969.92 \frac{W}{m^2}$ , lo que indica que la zona de color rojo se tiene una elevada transferencia de calor desde las paredes molde hacia el exterior debido a la elevada presión de inyección, se debe instalar un sistema de enfriamiento de molde en esa zona, mientras que en la zona de color gris el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa o despreciable, compactando completamente el material en esa zona.

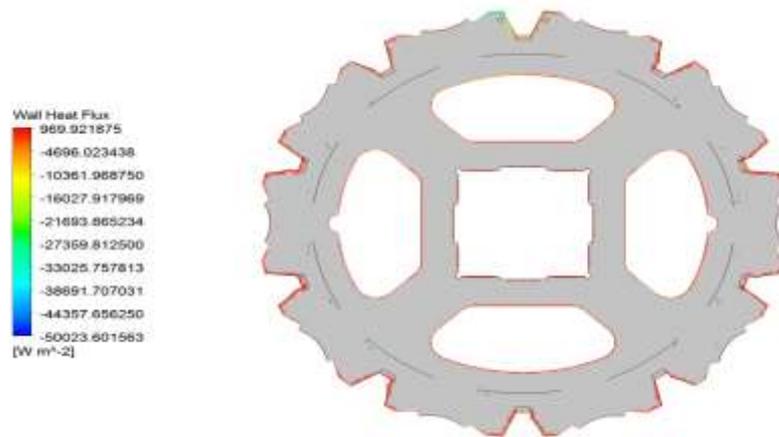


Figura V.31. Flujo de calor

Realizado por: Autores

### Presión en el molde

La presión de inyección en el molde es de 0.19 MPa lo que representa el 0.27% de la presión de inyección máxima que es de 70MPa. Se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.

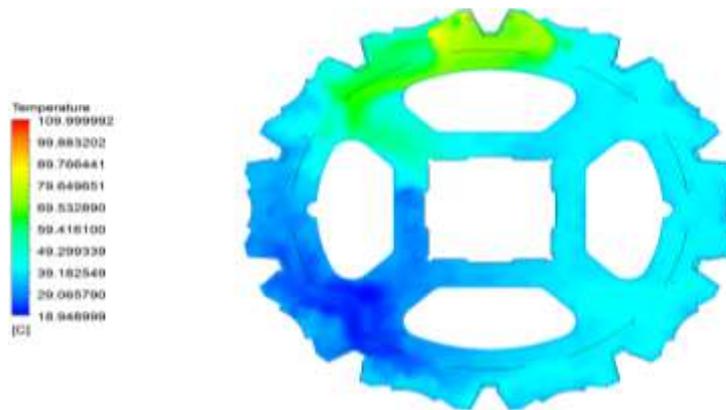


Figura V.32. Presión en el molde

Realizado por: Autores

### Temperatura de inyección

La temperatura de inyección terminada completamente el proceso de inyección es de 110 °C esto se debe a la elevada presión de inyección y al tiempo de los ciclos de trabajo del proceso, se observa que en las zonas de color azul y celeste se tiene una menor temperatura lo que indica que el material se está compactando completamente, además en las zonas de color amarillo-verde se puede identificar que el material empieza a compactarse, lo que reduce la probabilidad de que aparezcan hundimientos y rebabas.



**Figura V.33.** Temperatura de inyección

**Realizado por:** Autores

### Velocidad de inyección

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de  $446.78 \frac{m}{s}$  lo que establece que la velocidad no fue constante al momento del llenado de la pieza, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el ciclo. Se tiene un valor elevado de velocidad de inyección lo que garantiza de que no existan problemas de defectos de punto de colada, brujas y de marcas de las líneas de flujo del material en la pieza inyectada.

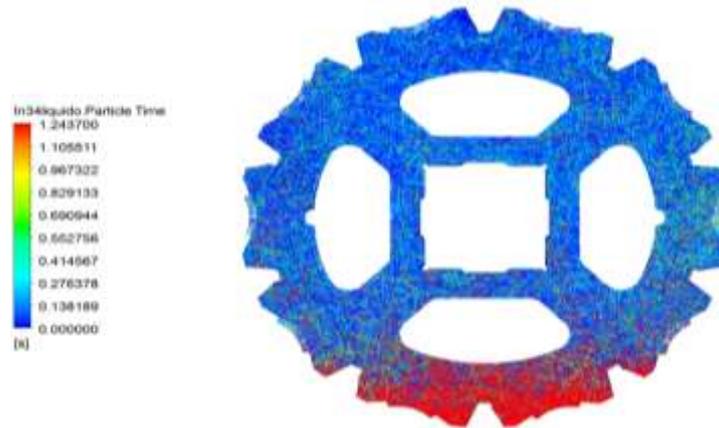


**Figura V.34.** Velocidad de inyección

**Realizado por:** Autores

## Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 1.24 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección ya configuradas el fluido no se demora hasta llenar completamente el molde. Se tiene un tiempo de llenado relativamente bajo lo que garantiza piezas aceptables, eliminando la presencia de huecos, hundimientos, porosidades y los problemas de compactación excesiva de material.



**Figura V.35.** Tiempo de llenado

**Realizado por:** Autores

## Simulación 6

Para la simulación 6, se utiliza material termoplástico de baja densidad. La simulación se la realiza con la configuración de los parámetros del proceso de inyección descritos en la siguiente tabla.

**Tabla V.6.** Valores de las variables para el proceso de inyección

<b>Variables del proceso de inyección a simular.</b>	
Presión	90 MPa
Velocidad de inyección	380.7 m/s
Temperatura	270 °C
Densidad	0,938 g/cm <sup>3</sup>

**Realizado por:** Autores

## Análisis de simulación

### Temperatura de avance en las paredes del molde

La temperatura de pared máxima en el molde es 110 °C, se identifica en las zonas de color verde-amarillo una temperatura inferior a la máxima con la que el material empieza a compactarse en el punto de inyección mientras que en las zonas de color azul-celeste el material se ha solidificado completamente con mayor rapidez, se tiene un llenado satisfactorio eliminando los problemas de solidificación y compactación.

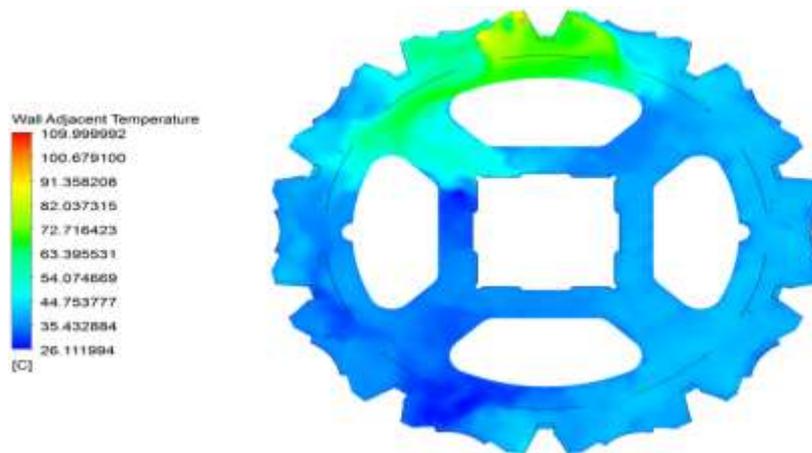


Figura V.36. Temperatura de avance en las paredes del molde

Realizado por: Autores

### Coefficiente de transferencia de calor

Se tiene un valor máximo de coeficiente de transferencia de calor de  $1785.25 \frac{W}{m^2K}$  en todo el molde, pero se observa que en las zonas de color azul y celeste y gris la transferencia de calor es muy baja, lo que reduce los problemas de compactación y solidificación de la pieza.

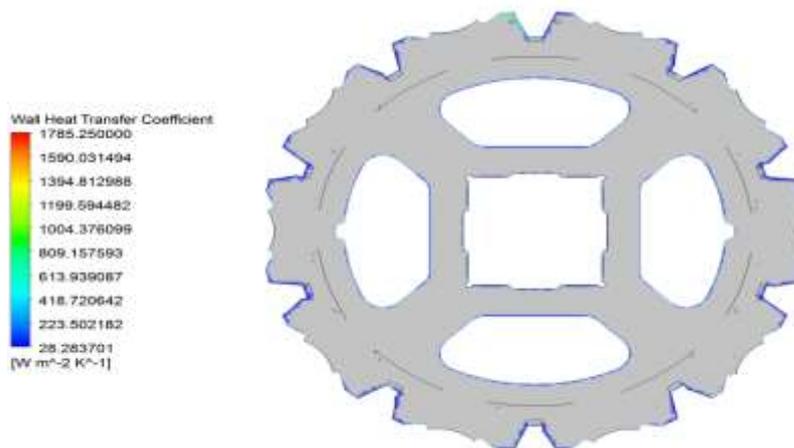
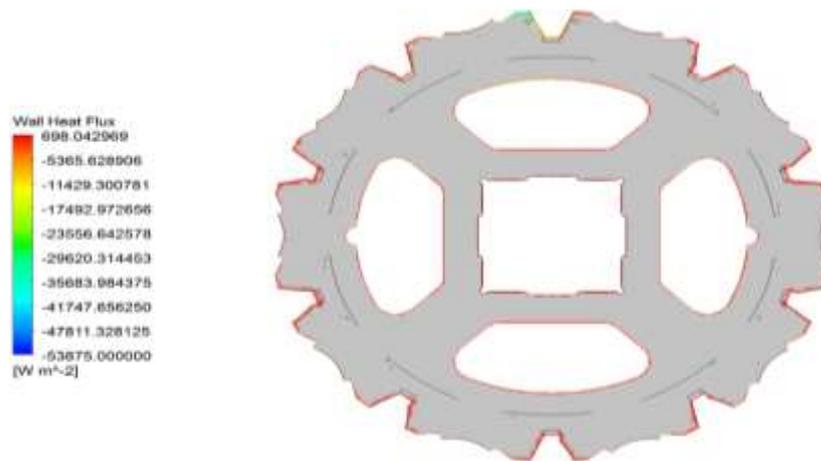


Figura V.37. Coeficiente de transferencia de calor

Realizado por: Autores

### Flujo de calor

El flujo de calor máximo aplicado a las paredes del molde es de  $698.04 \frac{W}{m^2}$ , lo que indica que la zona de color rojo se tiene un valor de transferencia de calor elevado desde las paredes molde hacia el exterior debido a la elevada presión de inyección, se debe instalar un sistema de enfriamiento de molde en esa zona, mientras que en la zona de color gris se puede observar que el material llena el molde y se enfría completamente y la tasa de flujo de calor es negativa o despreciable, compactando completamente el material en esa zona.



**Figura V.38.** Flujo de calor

**Realizado por:** Autores

### Presión en el molde

La presión de inyección en el molde es de 0.21 MPa lo que representa el 0.23% de la presión de inyección máxima que es de 90MPa. Se concluye que esta presión es suficiente para compactar el material en el interior del molde y eliminar los problemas de filtraciones.



**Figura V.39.** Presión en el molde

**Realizado por:** Autores

### Temperatura de inyección

La temperatura de inyección cuando termina completamente el proceso de inyección es de 110 °C esto se debe a la elevada presión de inyección y al tiempo de los ciclos de trabajo del proceso, se puede observar que en las zonas de color azul y celeste se tiene una menor temperatura es decir que el material se está compactando completamente, además en las zonas de color amarillo-verde se puede identificar que el material empieza a compactarse, reduciendo la probabilidad de que aparezcan hundimientos y rechupes, se tiene un llenado satisfactorio.

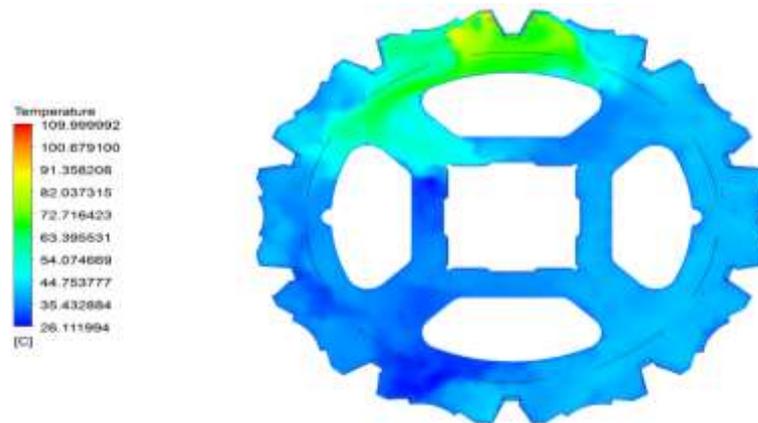


Figura V.40. Temperatura de inyección

Realizado por: Autores

### Velocidad de inyección

La velocidad de flujo a la salida del inyector con la que el material llena completamente el molde es de  $486.68 \frac{m}{s}$  es decir que la velocidad no fue constante al momento del llenado de la pieza, las zonas de color azul indican que la velocidad de inyección es cero una vez finalizado el ciclo. Se tiene un valor elevado de velocidad de inyección lo que garantiza de que no existan problemas de defectos de punto de colada, brujas y de marcas de las líneas de flujo del material en la pieza inyectada.

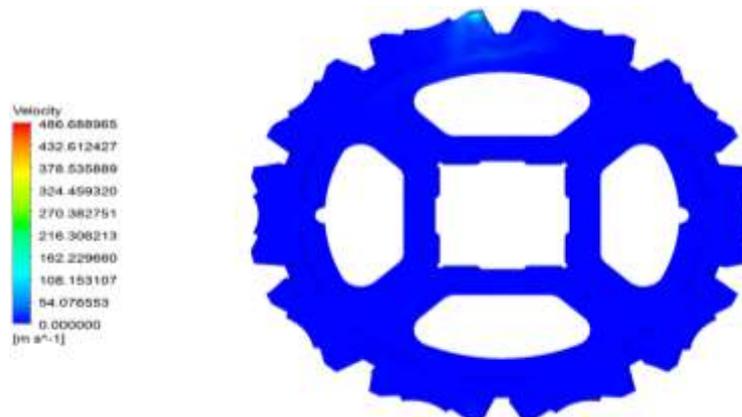
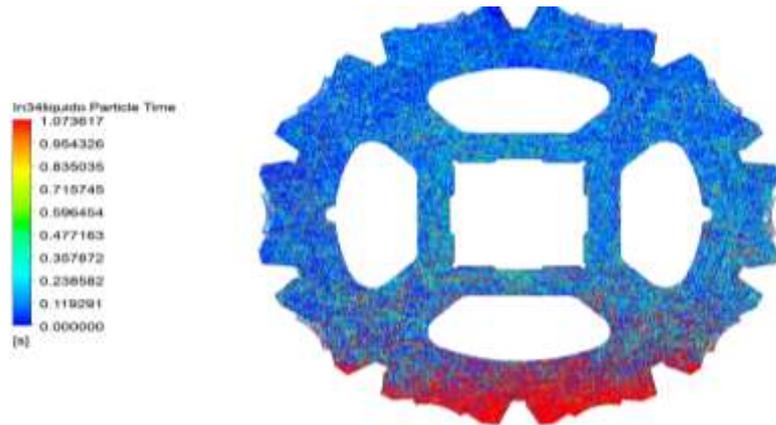


Figura V.41 Velocidad de inyección

Realizado por: Autores

### Tiempo de llenado

El tiempo de llenado máximo para la pieza es de 1.4 segundos, lo que indica que a la presión y velocidad de inyección configuradas se tiene un tiempo de llenado elevado, esto se debe a que el material no es el adecuado para este tipo de piezas, se garantiza un llenado aceptable, pero se puede observar en algunas zonas de la pieza minúsculos espacios sin llenar a los que se los puede despreciar.



**Figura V.42.** Tiempo de llenado

**Realizado por:** Autores

## ANEXO VI. PRESENTACIÓN DE SIMULACIONES DEL ENSAYO ESTRUCTURAL AL ENGRANAJE

### Engranaje con material termoplástico de Alta Densidad Inyectado NYLON PA6

#### Esfuerzo a la flexión

Se tiene un esfuerzo a la flexión máximo de 5.59 Mpa, en la base del engranaje ya que en esa zona actúa directamente la carga cíclica sobre el eje por lo cual abra más fatiga del elemento, mientras que, en los dientes ilustrados por las zonas de color azul, se tiene un mínimo esfuerzo es decir que la fatiga no es considerable, por lo cual el elemento no fallará.

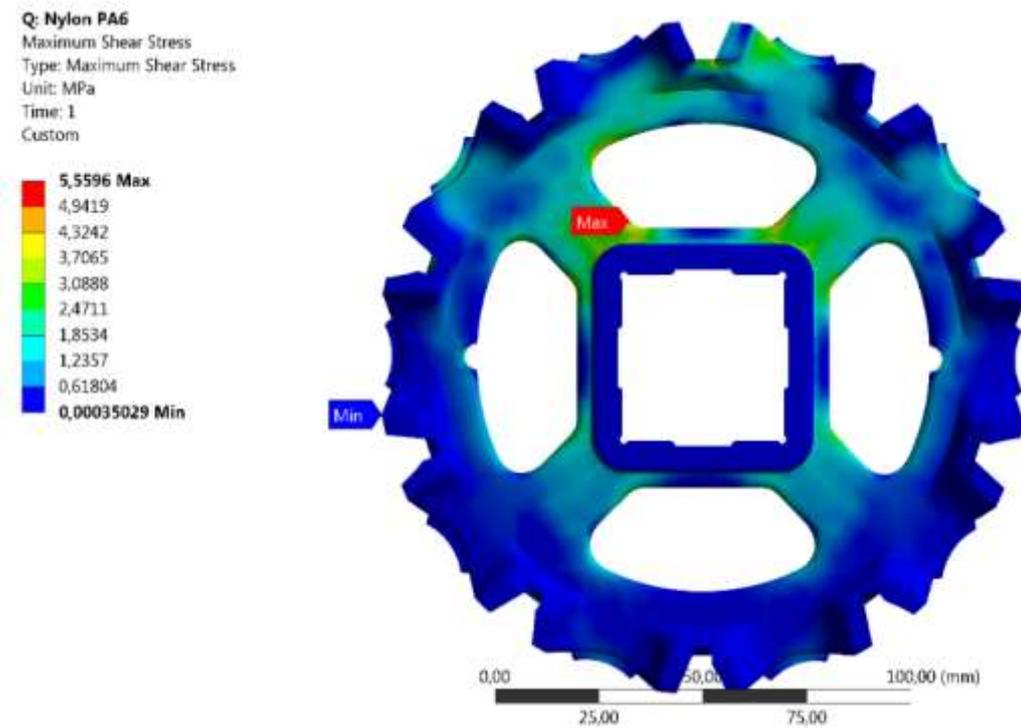
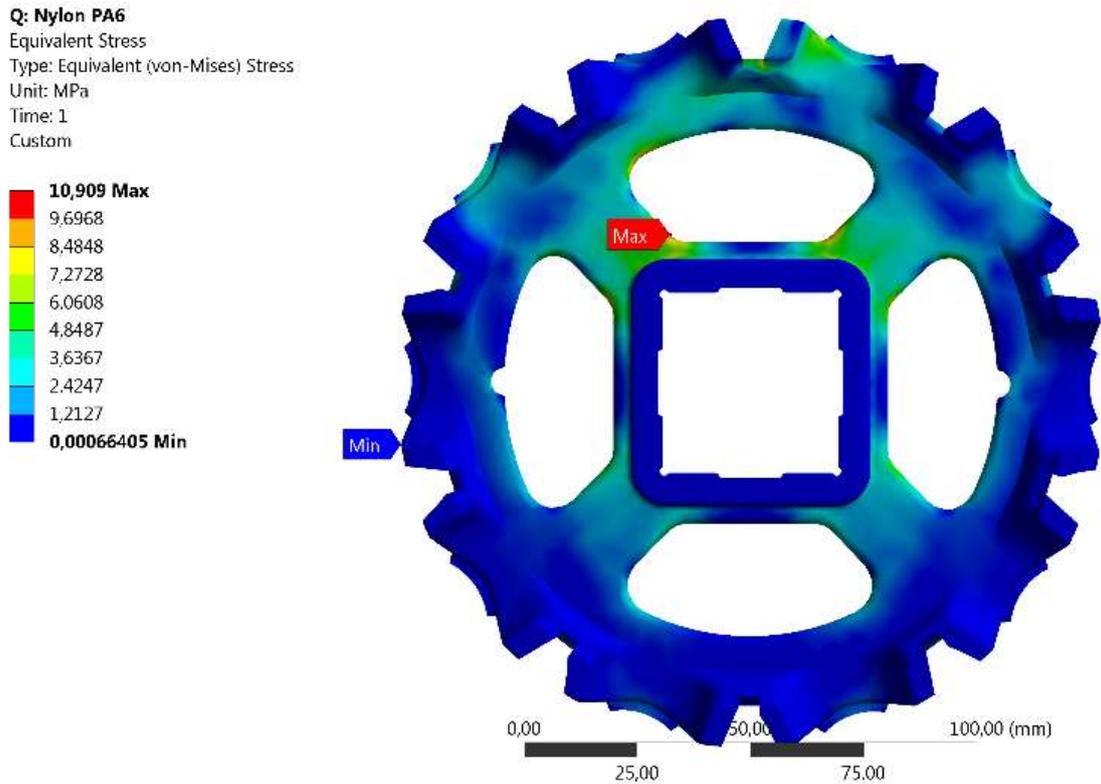


Figura VI.1. Esfuerzo a la flexión

Realizado por: Autores

## Esfuerzo equivalente VON MISSES

Se tiene un esfuerzo a la tensión máximo de 10.90 MPa en la base del engranaje ya que en esa zona actúa directamente la carga cíclica sobre el eje por lo cual abra más fatiga del elemento, mientras que en los dientes ilustrados por las zonas de color azul set tiene un mínimo esfuerzo es decir que la fatiga no es considerable, por lo cual el elemento no fallará.



**Figura VI.2.** Esfuerzo equivalente VON MISSES

**Realizado por:** Autores

## Factor de seguridad

Se tiene un factor de seguridad mínimo de 4.58 en la base del engranaje, mientras que, en la zona de los dientes se tiene un factor de seguridad de 15, es decir que se garantiza la vida útil de elemento durante su uso.

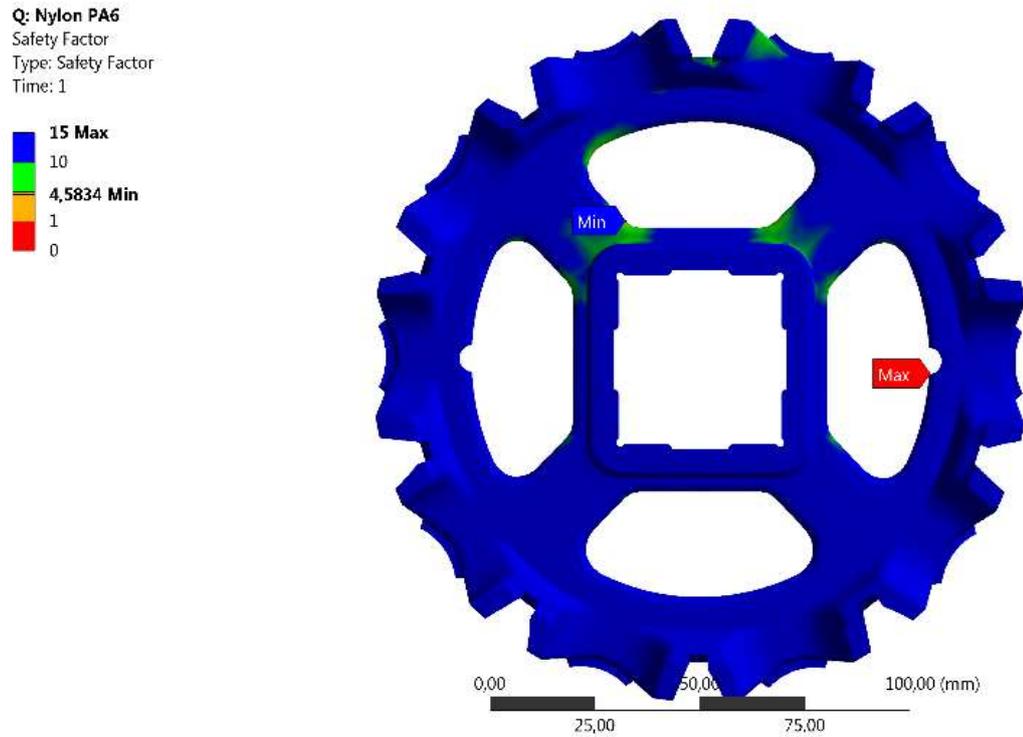


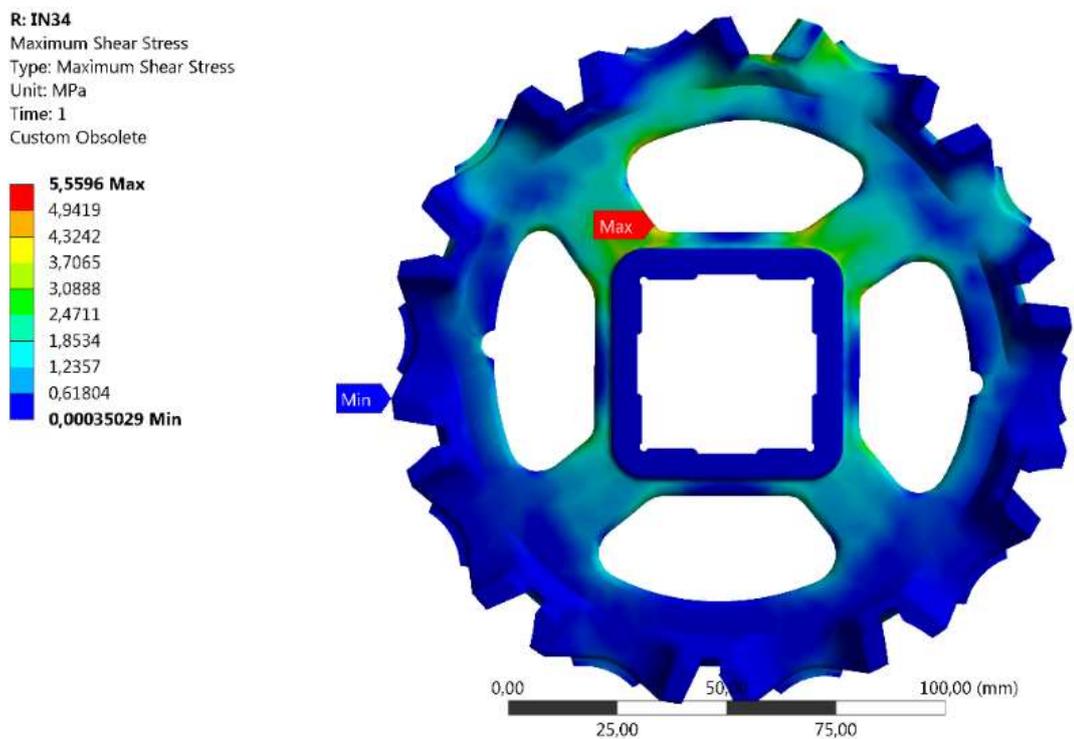
Figura VI.3. Factor de Seguridad

Realizado por: Autores

## Engranaje con material termoplástico de baja densidad inyectado: IN34

### Esfuerzo a la flexión

Se tiene un esfuerzo a la flexión máximo de 5.59 MPa en la base del engranaje ya que en esa zona actúa directamente la carga cíclica sobre el eje por lo que hay más fatiga del elemento, mientras que en los dientes ilustrados por las zonas de color azul-celeste se nota que el esfuerzo es considerable, por lo cual el elemento sufre más fatiga y fallara.

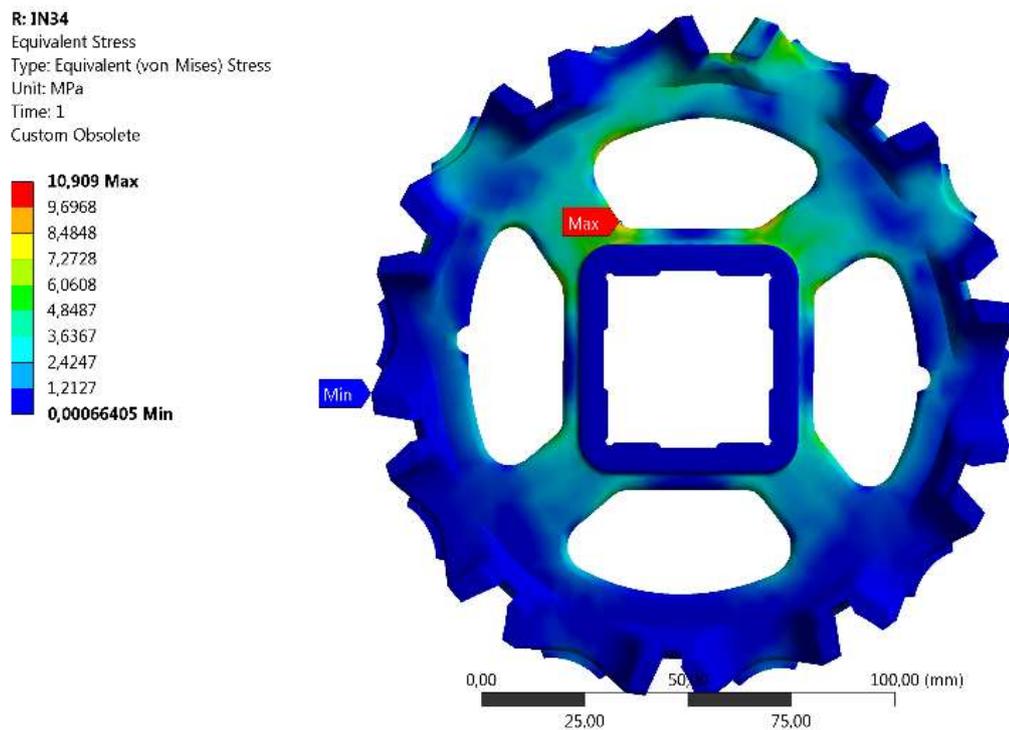


**Figura VI.4.** Esfuerzo a la flexión

**Realizado por:** Autores

## Esfuerzo equivalente VON MISSES

Se tiene un esfuerzo a la tensión máximo de 10.90 MPa en la base del engranaje ya que en esa zona actúa directamente la carga cíclica sobre el eje por lo que hay más fatiga del elemento, mientras que en los dientes ilustrados por las zonas de color azul-celeste se nota que el esfuerzo es considerable, por lo cual el elemento fallara.



**Figura VI.5.** Esfuerzo equivalente VON MISSES

**Realizado por:** Autores

## Factor de seguridad

Se tiene un factor de seguridad mínimo de 0.82 en la base del engranaje, mientras, que en la zona de los dientes se tiene un factor de seguridad de 15, es decir, que no se garantiza la vida útil de elemento durante su uso, ya que existe más fatiga en todas las zonas del elemento.

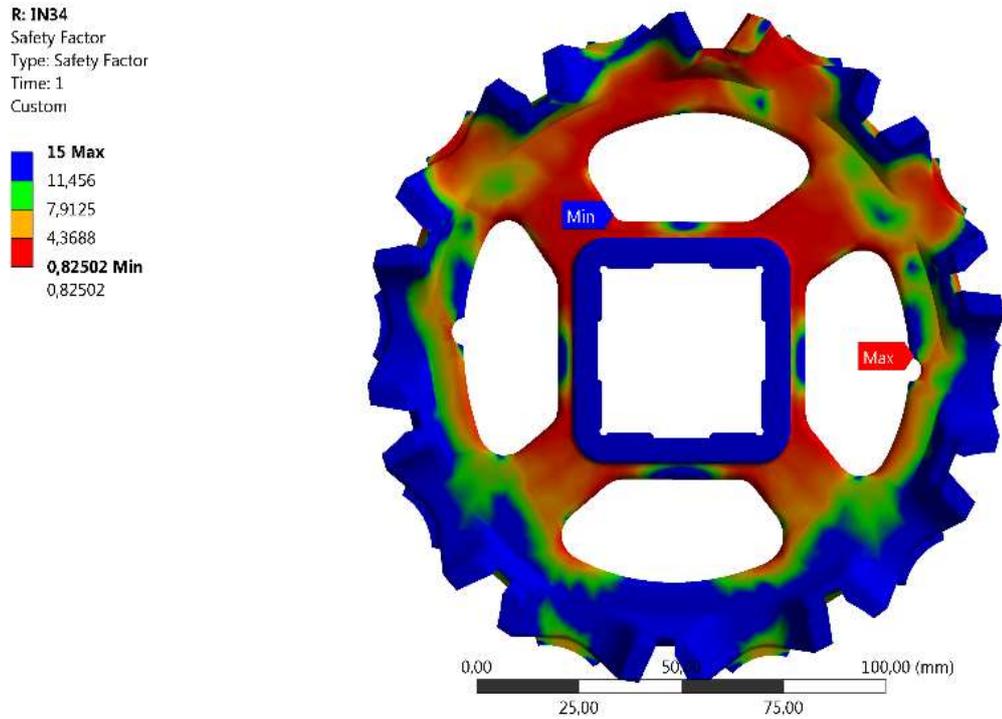


Figura VI.6. Factor de seguridad

Realizado por: Autores

## ANEXO VII. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ENSAYO NYLON PA6

PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

Nylon y teflón

### ► Nylon

#### Información general

Es uno de los polímeros más comunes en su uso. Se denomina técnicamente poliamidas, por los grupos amida en su cadena principal. Todas las poliamidas absorben agua con el tiempo, por lo que se requiere tener cuidado en las medidas finales de las piezas y dejar las tolerancias adecuadas.

La velocidad lineal de deslizamiento sin lubricación no debe ser más de 2m/ s. Existen poliamidas que pueden estar mezcladas con grafito, aceite, bisulfuro de molibdeno, etc. que pueden mejorar el resultado al deslizamiento. Tiene las siguientes características:

- Alta resistencia mecánica.
- Buena resistencia a la fatiga.
- Buena características al deslizamiento.
- Resistencias al desgaste.

Sus nombres comerciales más comunes son: Grilon, Nylon, Ertalon, Sustamid, etc.

#### Medidas en stock

##### Redondo

Redondo (mm)	Peso (kg/m)	Redondo (mm)	Peso (kg/m)
12	0,1	60	3,2
15	0,2	65	3,8
16	0,2	70	4,4
20	0,4	75	5,0
25	0,6	80	5,7
30	0,8	100	9,0
35	1,1	120	12,9
40	1,4	150	20,1
50	2,2	200	35,8
55	2,7		

##### Planchas

Espesor (mm)	Formato	Peso (kg/2000 mm)
5	1000 x 2000	11,4
6	1000 x 2000	13,7
10	1000 x 2000	22,8
12	1000 x 2000	27,4
15	1000 x 2000	34,2
20	1000 x 2000	45,6
25	1000 x 2000	57,0

Nota: las planchas tienen 2000mm de longitud

\* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

## ANEXO VIII. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES TERMOPLÁSTICOS DE ENSAYO LLDPE IN34



Ficha técnica  
Revisión 10 (Feb/17)

### Polietileno lineal de baja densidad IN34

#### Descripción:

IN34 es un polietileno lineal de baja densidad, de estrecha distribución de peso molecular, producido para moldeo por inyección. Ofrece excelente flexibilidad y bajo pandeo.

#### Proceso:

Moldeo por inyección. Mezclas básicas (masterbatches).

#### Aplicaciones:

Tapas con gran área plana, artículos para el hogar, recipientes y piezas de uso general. Mezclas básicas (masterbatches).

#### Propiedades de control:

	Método ASTM	Unidad	Valor
Índice de fluidez (190°C/2,16Kg)	D 1238	g/10 min	48
Densidad	D 792	g/cm <sup>3</sup>	0,938

#### Propiedades típicas:

##### Propiedades de la lámina<sup>a</sup>

	Método ASTM	Unidad	Valor
Resistencia a la tracción en el punto de fluencia <sup>a</sup>	D 638	MPa	18
Resistencia a la tracción en el punto de rotura <sup>a</sup>	D 638	MPa	9
Módulo de Flexión Secante al 1% <sup>b</sup>	D 790	MPa	700
Dureza Shore D <sup>c</sup>	D 2240	-	59
Resistencia al Impacto Izod @23°C <sup>b</sup>	D 256	J/m	40
Temperatura de ablandamiento Vicat @10N <sup>b</sup>	D 1525	°C	110
Temperatura de deflexión térmica @0,455 MPa <sup>b</sup>	D 648	°C	53

NE = No Break. Lámina moldeada por compresión según el método ASTM D 4703. Espesor de placa: a) 3mm, b) 3mm, c) 6mm.

#### Observaciones finales:

1. Esta resina cumple la regulación para polímeros de olefinas del capítulo 177.1520 del CFR 21 de la Food and Drug Administration (FDA), vigente a la fecha de publicación de esta especificación. Los aditivos usados están aprobados por la regulación correspondiente de la FDA.
2. La información de este documento se suministra de buena fe e indica valores típicos obtenidos en nuestros laboratorios y no debe ser considerada como absoluta ni constituye ninguna garantía. Solo las propiedades y valores que constan en el certificado de calidad constituyen la garantía del producto.
3. En algunas aplicaciones, Braskem ha desarrollado resinas a medida para cumplir requisitos específicos.
4. En caso de dudas sobre el uso o para discutir otras aplicaciones, contactar al área de Ingeniería de Aplicaciones de Braskem.
5. Para obtener información acerca de seguridad, manipulación, protección individual, primeros auxilios y eliminación de residuos, consultar la Ficha de datos de seguridad de productos químicos (FDS/SDS). Registro CAS n.º: 25087-34-7.
6. Los valores que constan en este documento pueden cambiar sin previa comunicación de Braskem.
7. Braskem no recomienda el uso de este producto para la fabricación de envases, piezas o cualquier otro tipo de producto usado para almacenar o estar en contacto con soluciones parenterales, o que tengan contacto con el interior del cuerpo humano.
8. La información contenida en esta ficha cancela la emitida previamente sobre este producto.
9. Esta resina no contiene la sustancia Bisfenol A (BPA, CAS#80-05-7) en su composición.

## ANEXO IX. ELEMENTOS PARA ESTRUCTURA DE MÁQUINA



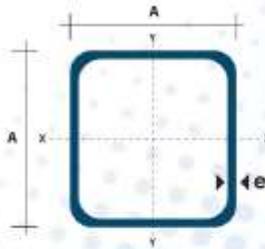
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



#### Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6,00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20,00 mm a 100,00 mm
Espesor	Desde 1,20 mm a 5,00 mm

TUBERÍA



Dimensiones		Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	Ejes X-Xc Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)			I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,45	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,82
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,89
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,08	45,22	3,88
100	5,0	14,40	18,38	270,57	54,11	3,84

## ANEXO X. ELEMENTOS PARA EL CILINDRO DE MÁQUINA



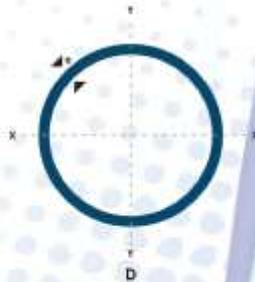
### TUBO ESTRUCTURAL REDONDO



#### Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6.00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 7/8" hasta 3"
Espesor	Desde 1.50 mm a 3.00 mm.

TUBERÍA



[D] Diámetro	Espesor	Peso	Area	I	W	i
Pulgadas	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
7/8"	1.50	0.77	0.98	0.53	0.47	0.73
1"	1.50	0.88	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4"	1.50	1.12	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2"	1.50	1.35	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4"	1.50	1.59	2.02	4.67	2.10	1.52
2"	1.50	1.82	2.32	7.06	2.78	1.74
2 1/2"	1.50	2.29	2.92	14.05	4.42	2.19
3"	1.50	2.76	3.52	24.56	8.45	2.64
1"	2.00	1.15	1.47	1.01	0.80	0.83
1 1/4"	2.00	1.47	1.87	2.08	1.31	1.05
1 1/2"	2.00	1.78	2.27	3.71	1.95	1.29
1 3/4"	2.00	2.09	2.67	6.02	2.71	1.50
2"	2.00	2.41	3.07	9.14	3.60	1.73
2 1/2"	2.00	3.03	3.86	18.29	5.76	2.18
3"	2.00	3.66	4.96	32.11	8.43	2.62
2"	3.00	3.54	4.51	12.92	5.89	1.69
2 1/2"	3.00	4.48	5.70	26.15	8.24	2.14
3"	3.00	5.42	6.90	46.29	12.15	2.59

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

## ANEXO XI. ELEMENTOS PARA EL TORNILLO HELICOIDAL DE INYECCIÓN Y ENGRANAJE

### ACERO SAE 1020

DIN	GK - 20
UNI	G - 20
AFNOR	XC - 20
SAE	1020

#### CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Estado de suministro: Recocido  
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

#### PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRÍAMIENTO
Forja	850 - 1150	Arena seca
Normalizado	880 - 920	Aire
Recocido	660 - 720	Horno
Cementación	900 - 930	Horno/agua
Temple capa cementada	850 - 900	Agua
Revenido capa cementada	180 - 240	Aire

#### APLICACIONES

Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc.



## ANEXO XII. ELEMENTOS PARA LA TOLVA



# PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE



### Especificaciones Generales

**Espesores:** 1,20mm a 150,00mm  
**Rollos:** Ancho 1000mm, 1200mm, 1500mm  
**Planchas:** 4 x 8 pies y a medida.

PLANCHAS

#### Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas				Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-609	
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1	
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33	

#### Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas					Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
ASTM A-568M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,28	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	490 min 550 max	17 min	1-1/2e		

## ANEXO XIII. MOTOR ELÉCTRICO

Moteurs et générateurs ABB

BRAZIL - NBR

### Fiche de données moteur M3BP 71ME 2

Pour les commandes selon les exigences MEPS sélectionnées, ajoutez Code option VC 542 Exécution NBR , Code option : 209 Bobinage spécial

Définition	Données	Unité	Remarques
Code produit	3GBP071350-**L		
Code tension	X		
Id_Calcul	3GZC021007-72		
Type/châssis	M3BP 71ME 2		
Conception	CENELEC		
Classe de rendement	IE3		
Puissance de sortie assignée $P_N$	0.75	kW	
Tension assignée $U_N$	220	V	± 5 % (IEC 60034-1)
Fréquence assignée $f_N$	60	Hz	± 2 % (IEC 60034-1)
Vitesse assignée $n_N$	3415	r/min	
Courant assigné $I_N$	3.28	A	
Courant de démarrage $I_5/I_N$	6.7		
Couple nominal $C_N$	2.1	Nm	
Couple rotor bloqué $C_0/C_N$	2.6		
Couple maximal $C_0/C_N$	3.3		
Rendement - pleine charge 100 %	79.99	%	NBR 17094-1
Rendement - 75 %	79.49	%	
Rendement - 50 %	76.2	%	
Facteur de puissance - pleine charge 100 %	0.75		
Poller CC/CNC	6203-2Z/C3 6202-2Z/C3		
Niveau de pression sonore $L_{pA}$ dB	59	dB(A)	+3dB(A)
Moment d'inertie $J = \frac{1}{2} GD^2$ kgm <sup>2</sup>	0	kg-m <sup>2</sup>	
Poids	11	kg	

## ANEXO XIV. MOLDE DE INYECCIÓN FUTABA

### Features of mold bases

Carefully selected materials used

Consistent quality

Extensive product variations

Low price & short delivery

#### Backing plate

Backing plate is available in two thickness dimensions according to injection pressures.

#### Pitch difference

This guide, which is installed with a different pitch, prevents improper installation.



#### Threaded holes for eye bolts

Threaded holes for eye bolts are machined in this direction and at the symmetrical position.

#### Ⓜ marks

Squareness datum planes are clearly marked with Ⓜ. As the planes are simultaneously machined, there is no datum plane deviation.



#### Name Plate

Company name and the serial number are indicated.



#### Holes for ejector rods

Ejector rod holes are machined on the bottom clamping plate.



#### Spacer type

A spacer type defined by eliminating counterbores from ejector pins is also available.

#### Material

The material for mold plates, stripper plate and runner plate can be changed to prehardened steel and aluminum alloy.

#### High rigidity type

Wider spacer blocks are also available according to injection pressures applied.

## ANEXO XV. RESISTENCIA ELÉCTRICA

### RESISTENCIAS DE CALEFACTORES DE INMERSIÓN

**APLICACIONES TÍPICAS:** El método más eficiente para las instalaciones de calefacción que exigen calor directo para las aplicaciones industriales, comerciales, científicas y militares tales como agua y soluciones acuosas, aceites minerales y vegetales, soluciones alcalinas, ceras, parafinas, tanques para baños limpiadores, para templado, enjuagado de solventes y de limpieza a vapor sobrecalentado.

**CARACTERÍSTICAS:** El diseño básico de los calefactores de inmersión, consiste en elementos de calefacción tubulares en las formas apropiadas y soldados a varios tamaños y tipos de conexiones, bridas o placas. Disponible con termostato de control de temperatura y cajas de terminales resistentes a la humedad y a prueba de explosión. Se utilizan varios materiales de tubo según las diferentes aplicaciones.



#### TAMAÑOS-CAPACIDADES

TAPÓN ROSCADO N.º PT. De ½ a 6 pulg.  
TAMAÑO DE BRIDA: De 2 a 24 pulg., 150 lbs. a 500 lbs.  
ADAPTADOR: De rosca simple o doble de ½ a 1 ½ pulg. (6.4-31.8mm.)  
LARGO: Hasta 6 ft. lineales máximo.  
TUBOS Y POTENCIAS: TENSIONES: 120, 240, 480 V

Cobre-60 W/pulg. <sup>2</sup> / 7W/cm. <sup>2</sup>	Inoxidable-45 W/pulg. <sup>2</sup> / 5W/cm. <sup>2</sup>
Acero-20 W/pulg. <sup>2</sup> / 2W/cm. <sup>2</sup>	Incoloy-60 W/pulg. <sup>2</sup> / 9W/cm. <sup>2</sup>
Inconel-60 W/pulg. <sup>2</sup> / 9W/cm. <sup>2</sup>	Inoxidable-21-45 W/pulg. <sup>2</sup> / 9W/cm. <sup>2</sup>

### RESISTENCIAS DE BANDA AISLADA CON MICA

**APLICACIONES TÍPICAS:** Utilizadas en operaciones que requieren calefacción de superficies cilíndricas tales como cañones de los extrusores de plástico, máquinas inyectoras y de soplado de plásticos, tanques de almacenamiento, barriles, envases para calentar alimentos autoclaves y equipos de moldeo por soplado.

**CARACTERÍSTICAS:** El mecanismo de fijación de las resistencias de cinta, aisladas con mica es una característica exclusiva que consiste en una abrazadera incorporada de baja expansión térmica, la que se sujeta mejor que las abrazaderas separadas o bridas dobladas (prejas). El diseño de las resistencias DURABAND sirve para aplicaciones de hasta 1200°F (650°C) y densidades de potencia de hasta 45W/pulg.<sup>2</sup> / 7W/cm.<sup>2</sup> Los diseños básicos de construcción son unidades de una o dos abrazaderas, expansibles, con varios arreglos para las terminales atornilladas y cables flexibles realizado al diseño del cliente.



#### TAMAÑOS-CAPACIDADES

DIÁMETRO DE LA BANDA: de ½ a 30 pulg.  
ANCHO DE LA BANDA: pulg. de 1/8 a 12.  
POTENCIAS: hasta 45W/pulg.<sup>2</sup> / 7W/cm.<sup>2</sup> dependiendo del tamaño de la resistencia.  
TENSIONES: 120, 240 V.

### RESISTENCIAS DE BANDA AISLADA CON CERÁMICA

**APLICACIONES TÍPICAS:** Utilizadas para satisfacer la necesidad siempre creciente de ahorro de energía y para reducir los costos de operación en las aplicaciones de calefacción de las superficies cilíndricas. Las aplicaciones más comunes son las inyectoras y extrusoras de plásticos, así como los equipos de moldeo por soplado.

**CARACTERÍSTICAS:** Las resistencias de cintas aisladas con cerámica, son la solución para satisfacer la exigencia siempre creciente de ahorro de energía, brindando una reducción del consumo de potencia de 30 al 35%. La flexibilidad de la envoltura metálica brinda facilidad de instalación, permitiendo la utilización de resistencias más anchas y de una sola pieza. Sirve para aplicaciones de hasta 1600°F (875°C) y densidades de potencia de 45W/pulg.<sup>2</sup> / 7W/cm.<sup>2</sup> Hay varios arreglos de terminales atornillados y cables flexibles. Barrenos o cortes a pedido.



#### TAMAÑOS-CAPACIDADES

DIÁMETRO: pulg. de 3 a 15 en una sola pieza.  
ANCHO: pulg. -1 y mayores en incrementos de ½ pulg.  
POTENCIAS: Hasta 45W/pulg.<sup>2</sup> / 7W/cm.<sup>2</sup>, dependiendo del tamaño.  
TENSIONES: 120, 240, 480 V pueden ser conectados en serie para 240 a 480 voltios.

## ANEXO XVI. ACTUADOR HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE EMPUJE DE INYECCIÓN

# Hi-Force<sup>®</sup>

HYDRAULIC TOOLS

**HSS - CILINDROS MULTIFUSOS DE SIMPLE EFECTO**



Capacidades de 4,5 a 109 toneladas

Longitudes de carreras de 25 a 457 mm

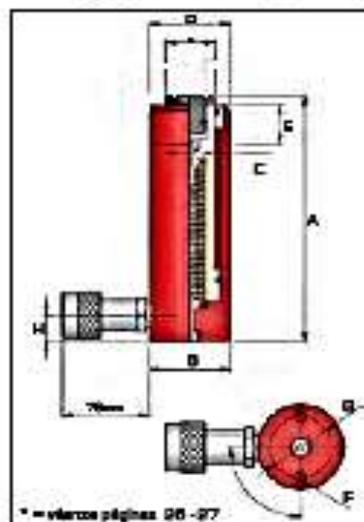
Presión de trabajo 700 bar

La serie HSS de cilindros multifuncionales de simple efecto ofrece la mayor variedad disponible de longitudes de carrera y capacidades de elevación, y proporciona una elección excelente para aplicaciones de mantenimiento, producción, fabricación y construcción. Todos los modelos vienen provistos de rosca de collarín y protector de rosca, elementos de montaje para fijar con facilidad la base del cilindro y el vástago del pistón, lo que convierte a la serie HSS de cilindros multifuncionales en la más versátil y adaptable. Entre las grandes secciones que los utilizan se incluyen el de la generación de energía, del ferrocarril, acerías, minería, estilleras y gas y petróleo.

- >> Retorno por muelle
- >> Vástago del pistón nitrocarbureado
- >> Superficies de deslizamiento de baja fricción
- >> Sellos anti-extrusión
- >> Roscas de collarín que soportan la carga completa
- >> Rosca del vástago del pistón en todos los modelos hasta 30t
- >> Agujeros para montaje de base en todos los modelos [excepto HSS308]
- >> Asientos opcionales para vástago del pistón (pp. 26-27)
- >> Protector de rosca del collarín suministrado de serie



Opciones disponibles en aluminio ligero  
(véase la página 18)



Número modelo	Capacidad toneladas	Carrera mm	Vol. aceite cm <sup>3</sup>	Área eficaz cilindro cm <sup>2</sup>	Peso kg
HSS51	4,5	25	18	8,4	1,0
HSS52	4,5	50	32	8,4	1,2
HSS53	4,5	75	40	8,4	1,4
HSS54	4,5	100	64	8,4	1,5
HSS55	4,5	125	90	8,4	1,9
HSS57	4,5	178	113	8,4	2,0
HSS59	4,5	227	148	8,4	2,4
HSS101	10	25	38	14,4	1,0
HSS102	10	58	91	14,4	2,4
HSS104	10	100	144	14,4	3,0
HSS106	10	150	217	14,4	4,2
HSS108	10	208	297	14,4	5,0
HSS1010	10	250	381	14,4	5,4
HSS1012	10	305	440	14,4	8,2

Dimensiones en mm (salvo especificación en contrario)							
A	B	C	D	E	F	G	H
107	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
132	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
157	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
192	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
207	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
250	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
300	30	24	1 1/8"-18un	20	M8	25	19
100	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
131	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
175	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
225	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
291	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
325	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	19
379	57	35	2 1/4"-14un	27	M10	40	18

## ANEXO XVII. ACTUADOR HIDRÁULICO PARA SISTEMA DE CIERRE DEL MOLDE

# Hi-Force<sup>®</sup>

HYDRAULIC TOOLS

### HHR - CILINDROS DE DOBLE EFECTO Y PISTÓN HUECO



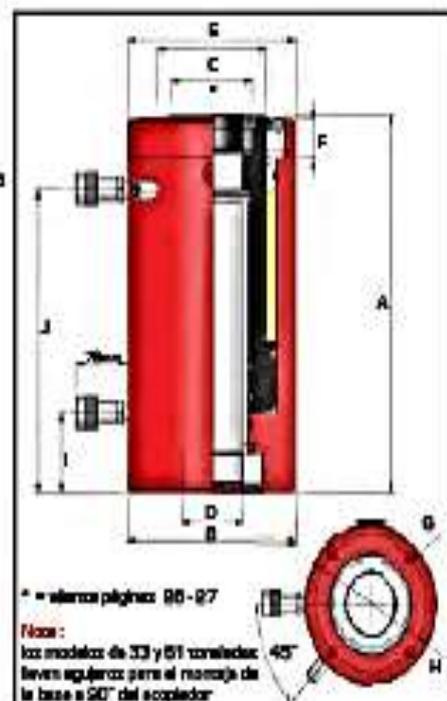
Capacidades de 33 a 247 toneladas

Longitud de carrera de 51 a 305 mm

Presión de trabajo 700 bar

La serie HHR de cilindros de doble efecto y pistón hueco incorpora todas las características de diseño de la serie HHS con el beneficio añadido del diseño del doble efecto, que aumenta en gran medida la velocidad de funcionamiento y el rendimiento, especialmente con las longitudes más largas de carrera. Además, en el modo de operación de retracción del pistón se dispone de una gran fuerza de tracción hidráulica. Aunque en este catálogo se muestran modelos estándar, se pueden solicitar otras opciones de tonelaje y de recorrido.

- >> Diseño de doble efecto
- >> Vástago del pistón nitrocarbureado
- >> Válvula de protección por sobrecarga del área anular interna
- >> Superficies de deslizamiento de baja fricción
- >> Sellos anti-extrusión
- >> Asientos opcionales para vástago del pistón [pp. 28-27]
- >> Protector de la rosca del collarín suministrado de serie



**PLANOS  
DE LA MÁQUINA  
INYECTORA**