



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE MORDAZAS CÓNICAS
PARA LA FABRICACIÓN DE UNA BRIDA A BASE DE NYLON**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico

AUTORES: DANIEL EFRÉN GALLARDO LALANGUI
DAVID FERNANDO TENESACA ZARI

TUTOR: LUIS MARCELO LÓPEZ LÓPEZ

Cuenca – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Daniel Efrén Gallardo Lalangui con documento de identificación N° 0750088510 y David Fernando Tenesaca Zari con documento de identificación N° 0106040264; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 3 de octubre del 2024

Atentamente,



Daniel Efrén Gallardo Lalangui
0750088510



David Fernando Tenesaca Zari
0106040264

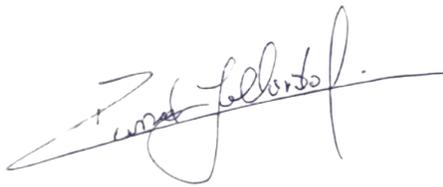
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Daniel Efrén Gallardo Lalangui con documento de identificación N° 0750088510 y David Fernando Tenesaca Zari con documento de identificación N° 0106040264, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 3 de octubre del 2024

Atentamente,



Daniel Efrén Gallardo Lalangui
0750088510



David Fernando Tenesaca Zari
0106040264

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Marcelo López López con documento de identificación N° 0102906971, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE MORDAZAS CÓNICAS PARA LA FABRICACIÓN DE UNA BRIDA A BASE DE NYLON", realizado por Daniel Efrén Gallardo Lalangui con documento de identificación N° 0750088510 y David Fernando Tenesaca Zari con documento de identificación N° 0106040264, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 3 de octubre del 2024

Atentamente,



Ing. Luis Marcelo López López, Ph.D
0102906971

Dedicatoria

Daniel Efrén

Para:

Papá y mamá, por su eterno amor y dedicación; han sido la fuerza motriz de esta realización.

David Fernando

Dedico este trabajo primero a mi madre que ha sido pilar fundamental a lo largo de toda mi vida, a mi padre y abuelo que han logrado inculcarme grandes valores para mi vida estudiantil y profesional.

De igual manera a mi abuela, tíos y primos, ya que han sido parte de mi formación durante toda mi vida. Soy quien soy, gracias a todos ustedes.

Por último, y no menos importante, dedico este momento a Dios que ha sido mi guía total en estas instancias.

Agradecimientos

Daniel Efrén

A,

Rommel Gallardo

Maritza Lalangui

Luis López

José Olmedo y Karina Gallardo

Jorge Gallardo y Doris García

Diego Gallardo y Paola De La Torre

Taller Tenesaca y sus colaboradores

Efrén Oliverio Gallardo Moreno, con especial cariño

David Fernando

A,

Diana Zari

Rolando Tenesaca

Luis López

Felipe Zari

Amalia Suquitana

Edwin Zari

Fernanda Zari

Taller Tenesaca y sus colaboradores

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XVII
Abstract	XVIII
1 Introducción	1
2 Problema	3
2.1 Antecedentes	3
2.2 Descripción del problema	3
2.3 Importancia y alcances	4
2.4 Delimitación	4
2.4.1 Espacial o geográfica	4
2.4.2 Temporal	4
2.4.3 Sectorial o institucional	4
2.5 Problema General	5
2.6 Problemas Específicos	5
3 Objetivo	6
3.1 Objetivo General	6
3.2 Objetivos Específicos	6
4 Hipótesis	7
4.1 Hipótesis General	7
4.2 Hipótesis Específicas	7
5 Revisión de la literatura o fundamentos teóricos	8

5.1	Inyección de Polímeros: Parámetros Técnicos	9
5.1.1	Variables que intervienen en el proceso	10
5.1.1.1	Capacidades de inyección	10
5.1.1.1.1	Capacidad de inyección	10
5.1.1.1.2	Capacidad de plastificación	11
5.1.1.1.3	Presión de inyección	12
5.1.1.1.4	Fuerza de cierre	13
5.1.1.2	Temperaturas de inyección	14
5.1.1.2.1	Temperatura de fusión del plástico	14
5.1.1.2.2	Temperatura de enfriamiento	15
5.1.1.3	Tiempos de inyección	16
5.1.1.3.1	Tiempo de llenado	17
5.1.1.3.2	Tiempo de enfriamiento	17
5.1.1.3.3	Tiempo de reinicio	18
5.1.1.3.4	Tiempo total del ciclo de inyección	18
5.1.1.4	Contracción volumétrica en polímeros	19
5.2	Diseño de Moldes para la Inyección de Polímeros	20
5.2.1	Sistema de alimentación	20
5.2.2	Sistema de refrigeración	20
5.2.2.1	Sistema de refrigeración por aire	21
5.2.2.2	Sistema de refrigeración por agua	21
5.2.3	Sistema de expulsión	22
5.2.3.1	Configuración de las varillas expulsoras	23
5.3	Elementos Finitos de Modelos por Inyección	24
5.3.1	Simulación mediante MOLDFLOW	25
5.3.2	Simulación mediante Solidworks	25
5.3.3	Simulación mediante Ansys	26
5.4	Nylon PA6	26
6	Marco metodológico	29
6.1	Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon	30
6.1.1	Material a inyectar	31
6.1.2	Cantidad de piezas a producir	31
6.1.3	Inyectora	32
6.1.4	Presupuesto de diseño (Automatización del molde)	32

6.1.5	Complejidad de la geometría de la pieza	32
6.2	Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos . . .	33
6.2.1	Descripción de la pieza a producir	33
6.2.2	Selección del material a inyectar	35
6.2.3	Diseño del molde	35
6.2.3.1	Material del molde	35
6.2.3.2	Material del molde	36
6.2.3.3	Sistema de alimentación	37
6.2.3.3.1	Disposición de cavidades	37
6.2.3.3.2	Disposición de canales de distribución	38
6.2.3.3.3	Disposición de canales de estrangulación	40
6.2.3.4	Sistema de refrigeración	41
6.2.3.4.1	Posicionamiento de los canales de refrigeración	41
6.2.3.5	Sistema de expulsión	42
6.2.3.5.1	Posicionamiento de los palillos de expulsión	42
6.2.3.6	Placa móvil	44
6.2.3.7	Placa fija	45
6.2.3.8	Anillo de compuerta	46
6.2.3.9	Bebedero	47
6.2.3.10	Cajón base	48
6.2.3.11	Cajón de expulsores	49
6.2.3.12	Eje de separación	50
6.2.3.13	Paralelas	51
6.2.3.14	Expulsores	52
6.2.3.15	Bujes	53
6.2.3.16	Separación placa móvil 1	54
6.2.3.17	Separación placa móvil 2	55
6.2.3.18	Soporte de bujes	55
6.2.3.19	Sujeción placa fija	56
6.2.3.20	Sujeción placa móvil	56
6.2.3.21	Soporte guía	57
6.2.4	Cálculos generales	58
6.2.4.1	Datos de entrada:	58
6.2.4.2	Masa de plástico a inyectar:	58
6.2.4.3	Número de cavidades:	59

6.2.4.4	Capacidad de inyección	59
6.2.4.4.1	Cálculo de la fuerza de cierre:	59
6.2.4.4.2	Capacidad de inyección:	60
6.2.4.4.3	Capacidad de plastificación:	61
6.2.4.4.4	Presión de inyección:	63
6.2.4.5	Tiempo de ciclo de inyección	63
6.2.4.5.1	Tiempo de llenado	64
6.2.4.5.2	Tiempo de reinicio	64
6.2.4.5.3	Tiempo de enfriamiento	65
6.2.4.6	Contracción volumétrica del elemento a inyectar	66
6.3	Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon	66
6.3.1	Evaluación mediante MOLDFLOW	66
6.3.1.1	Geometría del elemento a inyectar	66
6.3.1.2	Parámetros del material a inyectar	66
6.3.1.3	Parámetros de la máquina inyectora	67
6.3.1.4	Parámetros del material configurado en MOLDFLOW	67
6.3.1.5	Simulación	68
6.3.1.5.1	Tiempo de llenado	72
6.3.1.5.2	Presión de inyección	73
6.3.1.5.3	Tiempo de refrigeración	74
6.3.1.5.4	Temperatura de fusión	75
6.3.1.5.5	Contracción volumétrica en la expulsión	76
6.3.1.5.6	Porcentaje de capa solidificada en la expulsión	77
6.3.1.5.7	Rechupes	78
6.3.2	Evaluación mediante SOLIDWORKS	79
6.3.2.1	Parámetros del material configurado en SOLIDWORKS	80
6.3.2.2	Simulación	80
6.3.2.2.1	Tiempo de llenado	83
6.3.2.2.2	Presión de inyección	84
6.3.2.2.3	Tiempo de refrigeración	85
6.3.2.2.4	Temperatura de fusión	86
6.3.2.2.5	Contracción volumétrica	87
6.3.2.2.6	Porcentaje de capa solidificada en la expulsión	88
6.3.2.2.7	Rechupe	89
6.3.2.3	Estimación de rechupes	89

6.3.3	Evaluación mediante ANSYS	90
6.3.3.1	Parámetros del material configurado en ANSYS	91
6.3.3.2	Simulación	91
6.3.3.2.1	Tiempo de llenado	93
6.3.3.2.2	Presión de inyección	94
6.3.3.2.3	Temperatura de fusión	95
6.3.3.2.4	Presión estática	96
6.3.3.2.5	Vorticidad	97
7	Resultados	99
7.1	Resultados del objetivo específico 1: Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	99
7.2	Resultados del objetivo específico 2: Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos.	99
7.2.1	Fuerza de cierre	100
7.2.2	Capacidad de inyección	101
7.2.3	Capacidad de plastificación	101
7.2.4	Presión de inyección	101
7.3	Resultados del objetivo específico 3: Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	103
7.3.1	Tiempo de llenado	103
7.3.2	Presión de inyección	104
7.3.3	Temperatura de fusión	106
7.3.4	Tiempo de refrigeración	107
7.3.5	Contracción volumétrica	107
7.3.6	Tabla de resultados final	109
8	Conclusiones	110
9	Recomendaciones	111
	Referencias	114
	ANEXOS	115

Lista de Tablas

Tabla 5.1	Temperaturas para el procesamiento de polímeros	15
Tabla 5.2	Temperaturas de enfriamiento para moldes	16
Tabla 5.3	Contracción en% de plásticos	19
Tabla 5.4	Sistemas de expulsión en moldes	23
Tabla 5.5	Propiedades físicas del Nylon PA6	28
Tabla 5.6	Propiedades mecánicas del Nylon PA6	28
Tabla 6.1	Tabla de ponderación (Selección de material de construcción general) . .	35
Tabla 6.2	Tabla de ponderación (Selección de material para construcción de placas de moldeo)	36
Tabla 6.3	Tabla de ponderación (Alternativas de tipo de sistema de moldeo)	37
Tabla 6.4	Tabla de ponderación (Alternativas de tipos de canales de distribución) .	39
Tabla 6.5	Tabla de ponderación (Alternativas de tipos de canales de estrangulamiento)	40
Tabla 6.6	Placa móvil	45
Tabla 6.7	Placa fija	46
Tabla 6.8	Anillo de compuerta	47
Tabla 6.9	Bebedero	48
Tabla 6.10	Cajón base	49
Tabla 6.11	Cajón de expulsores	50
Tabla 6.12	Eje de separación	51
Tabla 6.13	Espesor soporte	52
Tabla 6.14	Expulsores	53
Tabla 6.15	Bujes	54
Tabla 6.16	Separación placa móvil 1	54
Tabla 6.17	Separación placa móvil 2	55
Tabla 6.18	Soporte de bujes	55
Tabla 6.19	Sujeción placa fija	56
Tabla 6.20	Sujeción placa móvil	56
Tabla 6.21	Soporte guía	57
Tabla 6.22	Datos de entrada para cálculos generales	58

Tabla 6.23	Parámetros del material para la inyección de la pieza	67
Tabla 6.24	Parámetros de inyección en función del diseño del molde	67
Tabla 6.25	Parámetros del material ingresados para la simulación en MOLDFLOW .	68
Tabla 6.26	Tiempo de llenado	73
Tabla 6.27	Presión de inyección	74
Tabla 6.28	Tiempo de refrigeración	75
Tabla 6.29	Temperatura de fusion	76
Tabla 6.30	Contraccion volumetrica	77
Tabla 6.31	Porcentaje de capa solidificada en la expulsión	78
Tabla 6.32	Rechupes	79
Tabla 6.33	Resultados de simulación en MOLDFLOW	79
Tabla 6.34	Parámetros del material simulado en SOLIDWORKS	80
Tabla 6.35	Configuración de llenado	81
Tabla 6.36	Configuración de mallado	81
Tabla 6.37	Configuración de mallado	82
Tabla 6.39	Tabla general de mallado	83
Tabla 6.40	Tiempo de llenado	84
Tabla 6.41	Presión de inyección	85
Tabla 6.42	Tiempo de refrigeración	86
Tabla 6.43	Temperatura de fusion	87
Tabla 6.44	Contraccion volumetrica	88
Tabla 6.45	Porcentaje de capa solidificada	89
Tabla 6.46	Rechupes	90
Tabla 6.47	Resultados de simulación en MOLDFLOW	90
Tabla 6.48	Parámetros del material simulado en ANSYS	91
Tabla 6.49	Tiempo de llenado	94
Tabla 6.50	Presión de inyección	95
Tabla 6.51	Temperatura de fusion	96
Tabla 6.52	Presión estatica	97
Tabla 6.53	Vorticidad	98
Tabla 6.54	Resultados de simulación en ANSYS	98
Tabla 7.1	Parámetros para el diseño	99
Tabla 7.2	Partes características del molde	100
Tabla 7.3	Tabla resumen de cálculos analíticos	101
Tabla 7.4	Tabla de resultados de tiempo de llenado	103
Tabla 7.5	Comparación Moldflow y Solidworks	104

Tabla 7.6	Comparación Moldflow y Ansys	104
Tabla 7.7	Comparación Solidworks y Ansys	104
Tabla 7.8	Tabla de resultados de presión de inyección	105
Tabla 7.9	Comparación Moldflow y Solidworks	105
Tabla 7.10	Comparación Moldflow y Ansys	105
Tabla 7.11	Comparación Solidworks y Ansys	106
Tabla 7.12	Tabla de resultados de temperatura de fusión	106
Tabla 7.13	Comparación Moldflow y Solidworks	106
Tabla 7.14	Comparación Moldflow y Ansys	107
Tabla 7.15	Comparación Solidworks y Ansys	107
Tabla 7.16	Tabla de resultados de tiempo de refrigeración	107
Tabla 7.17	Tabla de resultados de contracción volumétrica	108
Tabla 7.18	Comparación Moldflow y Solidworks	108
Tabla 7.19	Comparación Moldflow y resultado analítico	108
Tabla 7.20	Comparación Solidworks y resultado analítico	109
Tabla 7.21	Tabla de resultados final	109
Tabla 9.1	Matriz de consistencia	116

Lista de Figuras

Figura 2.1	Ubicación geográfica	5
Figura 5.1	Diseño de moldes de inyección	8
Figura 5.2	Sistemas principales de un molde de inyección	9
Figura 5.3	Presión de inyección	13
Figura 5.4	Representación esquemática de varias varillas de expulsión	24
Figura 6.1	Metodología del Proceso	30
Figura 6.2	Pieza a generar	33
Figura 6.3	Aplicación de la pieza a producir	34
Figura 6.4	Modelo 3D de la pieza a inyectar	34
Figura 6.5	Distribución de cavidades	38
Figura 6.6	Disposición de canales de distribución	39
Figura 6.7	Disposición de canales de estrangulación	41
Figura 6.8	Posicionamiento de los canales de refrigeración	42
Figura 6.9	Posicionamiento de los canales e refrigeración	42
Figura 6.10	Posicionamiento de los canales de refrigeración	43
Figura 6.11	Posicionamiento de los canales de refrigeración	44
Figura 6.12	Asistente para importación (unidades)	68
Figura 6.13	Asistente para importación (opciones avanzadas)	69
Figura 6.14	Tipo de análisis	70
Figura 6.15	Secuencia de análisis	70
Figura 6.16	Selección de material	71
Figura 6.17	Propiedades del material seleccionado	71
Figura 6.18	Perfil de compactación	72
Figura 6.19	Resolución del procedimiento del modelo del análisis	72
Figura 6.20	Datos de entrada para asistente de simulación	92
Figura 6.21	Parámetros de material a inyectar	92
Figura 6.22	Configuración de tipo, calidad y convergencia de mallado	93

Figura 7.1	Ensamble de placa fija	102
Figura 7.2	Ensamble de placa móvil	103

Resumen

El Proyecto de Titulación propuesto presenta como objetivo principal el diseño y la simulación de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una pieza plástica para abastecer a una empresa de línea blanca de la ciudad de Cuenca. El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo por medio de una metodología de tipo aplicada y con enfoque cuantitativo, considerando que el diseño y la simulación de este trabajo parte de parámetros iniciales numéricos producto del estudio previo sobre moldes de inyección, donde primero se concibe una propuesta acoplada a la necesidad, y luego consigo se definen los sistemas de alimentación, refrigeración y expulsión más adecuados para el diseño; se establecen geometrías de cada uno de los componentes del molde así como el dimensionamiento de acuerdo a las características de la inyectora con la que se trabajó.

Se evalúa el sistema de alimentación del molde de inyección propuesto haciendo uso de software especializado de ingeniería, donde comprobamos el comportamiento de la pieza al momento de la inyección por medio de la simulación con elementos finitos, obteniendo resultados que se contrastan en Moldflow, Solidworks y Ansys, y que a la vez, se sustentan analíticamente con cálculos que avalan la simulación. Se presenta una comparativa entre los valores teóricos y simulados, a los que se les añade los resultados reales obtenidos luego de la construcción del molde de inyección.

Palabras clave: Inyección, Molde, Polímero, Nylon, Plástico.

Abstract

The main objective of the proposed Degree Project is the design and simulation of an injection mold with conical jaws for the manufacture of a plastic part to supply a white goods company in the city of Cuenca. The development of this work was carried out through an applied methodology with a quantitative approach, considering that the design and simulation of this work is based on initial numerical parameters resulting from the previous study on injection molds, where it is first conceived a proposal coupled to the need, and then the most appropriate feeding, cooling and expulsion systems for the design are defined; Geometries of each of the mold components are established, as well as the sizing according to the characteristics of the injector with which they worked.

The feeding system of the proposed injection mold is evaluated using specialized engineering software, where we check the behavior of the part at the time of injection through simulation with finite elements, obtaining results that are contrasted in Moldflow, Solidworks and Ansys, and at the same time, are supported analytically with calculations that support the simulation. A comparison is presented between the theoretical and simulated values, to which are added the real results obtained after the construction of the injection mold.

Keywords: Injection, Mold, Polymer, Nylon, Plastic.

1. Introducción

De acuerdo a Indemat (2024), la fabricación de piezas industriales es un proceso fundamental en la industria moderna, ya que estas piezas son elementos clave en la producción de maquinaria, equipos y componentes utilizados en diversos sectores. Guerra (2023) dice que, la fabricación industrializada es un enfoque innovador que utiliza tecnologías avanzadas, como la robótica, inteligencia artificial y automatización, para optimizar los procesos de producción, y fabricar partes y piezas de alta calidad de manera más rápida y rentable; y la industria del plástico no se queda atrás, para Dianny (2023), debe existir una red de proveedores que lleven la ingeniería a otro nivel, esto es gracias a contar con la tecnología e innovación que proporcionan las maquina-herramientas para el desarrollo de piezas. Por otro lado, Aceromafe (2021) menciona que en la búsqueda de un termoplástico para utilizarlo como fibra, se debe elegir la seda sintética o nylon, que por sí solo tiene una buena resistencia y durabilidad al desgaste y/o abrasión, pero también puede combinarse con metales para ofrecer otras soluciones, y a la vez, el nylon fundido permite crear piezas a medida para aplicaciones especiales. De acuerdo a Edwin (2009), en la actualidad la industria de la inyección de plásticos ha avanzado a pasos agigantados junto con el desarrollo de la tecnología, es por esto que los dueños de empresas deben actualizar constantemente sus máquinas de producción para competir en un mercado cada vez más estricto en cuanto a calidad y economía. Para Daniel (2017), el proceso de inyección de plásticos ha crecido en la industria, debido a los beneficios técnicos y económicos obtenidos con referencia a otros procesos de transformación de materiales. Alfonso y Ortiz (2021) detallan que, la inyección de plásticos es un proceso semicontinuo que consiste en fundir, mezclar e inyectar un polímero con el fin de producir de piezas plásticas, principalmente se implementa para transformar la materia, donde los polímeros pasan de estado sólido a líquido y finalmente regresan a estado sólido. Ahora, para el caso de las bridas de plástico, según menciona Aguirre (2024), para uso en exteriores serán más reforzadas y resistentes a los rayos UV, por lo que durarán mucho más. La mayoría de las bridas de plástico están hechas para uso en interiores y se descomponen rápidamente a la luz solar. Para David (2022), en la naturaleza es posible encontrar moléculas con mayor o menor peso molecular. Habitualmente, las moléculas orgánicas con alto peso molecular se denominan macromoléculas. Dentro del grupo de las macromoléculas se incluyen los polímeros o materiales poliméricos. De

acuerdo a Agustín (2011), el nylon es uno de los polímeros más comunes usados como fibra que en todo momento encontramos, como en nuestra ropa, pero también en otros lugares, en forma de termoplástico. De acuerdo a E. Aguilar y Valdez (1996), el hecho de producir una pieza plástica desde su idea hasta obtener un producto final, implica muchas funciones y relaciones matemáticas complejas que no sería económico realizar sin la ayuda de una computadora. Aquí juega un papel fundamental los software especializados en ingeniería, donde por medio de la simulación se pueden contrastar resultados de un diseño específico. Para Arribillaga (2015), cada vez es mayor la utilización de piezas poliméricas, sustituyendo estas las piezas fabricadas con materiales más convencionales. Esto se debe a las buenas propiedades que tienen, como por ejemplo la resistencia a la corrosión y también está relacionado con su bajo peso y con el coste de fabricación. Es por ello que el estudio de los moldes para la fabricación de piezas poliméricas por inyección de plástico tiene gran importancia. Arreaga (2009) dice que, al diseñar un molde para una pieza moldeada por inyección, es importante mantener en la mente que la meta es producir piezas con la mejor calidad, en un ciclo tan corto como sea posible, con chatarra mínima. Para lograr esta meta, se necesitará de un molde que tenga una temperatura de molde uniforme, un relleno equilibrado, y esté ventilado adecuadamente.

2. Problema

2.1. Antecedentes

Taller Tenesaca es una empresa cuencana dedicada a la matricería y al mantenimiento industrial con más de 30 años posicionados en el mercado. Sus inicios fueron como artesanos calificados en el mantenimiento y actividades dentro de la mecánica industrial, pero con el paso del tiempo y los cambios continuos en la demanda y la aceptación de sus productos, Taller Tenesaca crece y expande sus servicios a distintas empresas de la ciudad obligando a adquirir nueva maquinaria y personal, ampliar sus instalaciones y abrirse a nuevos proyectos, entre ellos la inyección de plásticos que tomó fuerza y llegó a convertirse en una de sus actividades principales. La necesidad de producir y comercializar piezas a base de polímeros, impulsa la compra de diferentes inyectoras y en un inicio, también, de los moldes requeridos; pero con la llegada de nuevas industrias y nuevos productos, deciden fabricar sus propios moldes con la adquisición de una máquina electroerosión y los gastos que involucraban comprarlos. Así nace el proyecto que se presenta, partiendo de una necesidad y de un requerimiento de una empresa de línea blanca que busca abastecerse de una pieza determinada que se solventa por medio del diseño del molde propuesto en este trabajo.

2.2. Descripción del problema

Taller Tenesaca enfrenta una demanda significativa en la fabricación de un tipo particular de brida que se confecciona a partir de materiales de nylon. Estas bridas están diseñadas específicamente como elementos de sujeción, y su producción se lleva a cabo de manera continua para abastecer a una empresa de renombre en la industria de electrodomésticos.

Para lograr esto, el taller enfrenta un desafío significativo en términos de tiempo de inyección, ya que las máquinas inyectoras tienen una disponibilidad variable que se ve compartida con otros procesos de producción. Es por eso que, para llevar a cabo este objetivo, se requiere realizar un exhaustivo análisis de los procesos y métodos de inyección disponibles para el tipo de pieza que se pretende diseñar.

2.3. Importancia y alcances

La importancia del Proyecto de Titulación que se expone radica principalmente en la aplicación práctica del mismo, ya que un molde de inyección es una herramienta fundamental en la fabricación de piezas de plástico, permitiendo a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante su carrera en un contexto práctico y real, por ejemplo en áreas como diseño mecánico, materiales, manufactura, y técnicas de simulación. Además, este Proyecto se estableció en colaboración con una reconocida empresa del sector, lo que brinda al estudiante la oportunidad de trabajar en estrecha colaboración con la industria, lo que facilita la transferencia de conocimiento y experiencia práctica.

El alcance de este trabajo se propone en función del tiempo para su desarrollo, por ello que se plantea presentar la propuesta de un diseño y la simulación por medio de software especializado de ingeniería.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El Proyecto tendrá lugar para y acogiendo un requerimiento de "Taller Tenesaca", empresa de la ciudad De Cuenca, en la provincia del Azuay; ubicado en la calle José María Landa y Ramírez, atrás del Centro de Revisión Técnica Vehicular de Mayancela, como se observa en la Figura 2.1.

2.4.2. Temporal

Este trabajo se desarrollará en el período académico 63, comprendido entre los meses de octubre-enero de 2023, con un alcance de 240 horas efectivas, de acuerdo al cronograma que establezca la Jefatura de Titulación y Consejo de Carrera.

2.4.3. Sectorial o institucional

El proyecto que se presenta tiene relación directa en el sector industrial de Cuenca, para beneficio directo de "Taller Tenesaca", empresa privada dedicada a la inyección de plásticos como proveedores de distintas instituciones de la ciudad.

Figura 2.1

Ubicación geográfica



Nota: Se observa la ubicación geográfica de la empresa "Taller Tenesaca" de acuerdo a Google Maps.

2.5. Problema General

- ¿Se podrá diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocidos de estos instrumentos?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se establecerán los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon?
- ¿Es posible diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos?
- ¿Es factible evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon?

3. Objetivo

3.1. Objetivo General

- Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocido de estos instrumentos.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.
- Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos.
- Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- Se diseñará un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocido de estos instrumentos.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se establecerán los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.
- Se diseñará un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos.
- Se evaluará mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.

5. Revisión de la literatura o fundamentos teóricos

En el ámbito de la ingeniería de polímeros, para el diseño de moldes para la producción de componentes específicos emerge como un elemento central que determina la calidad y la precisión del proceso; este marco teórico se sumerge en el propósito de concebir y perfeccionar un molde de inyección destinado a la fabricación de bridas de nylon con mordazas cónicas, donde la complejidad inherente a este empeño radica no solo en la ingeniería de un molde capaz de reproducir fielmente la forma deseada, sino también en la consideración cuidadosa de los aspectos mecánicos y térmicos que intervienen en la transformación del nylon en una pieza funcional. Se explorarán las teorías fundamentales detrás del diseño de moldes para mordazas cónicas, con el objetivo de proporcionar una base sólida para el desarrollo de estos que marque una optimización y viabilidad en la manufactura de piezas poliméricas (Ver Figura 5.1).

Figura 5.1

Diseño de moldes de inyección.



Nota: En la Figura se observa prototipos para el diseño de moldes así como el uso de software especializados de ingeniería, de acuerdo a Engineering (2021).

5.1. Inyección de Polímeros: Parámetros Técnicos

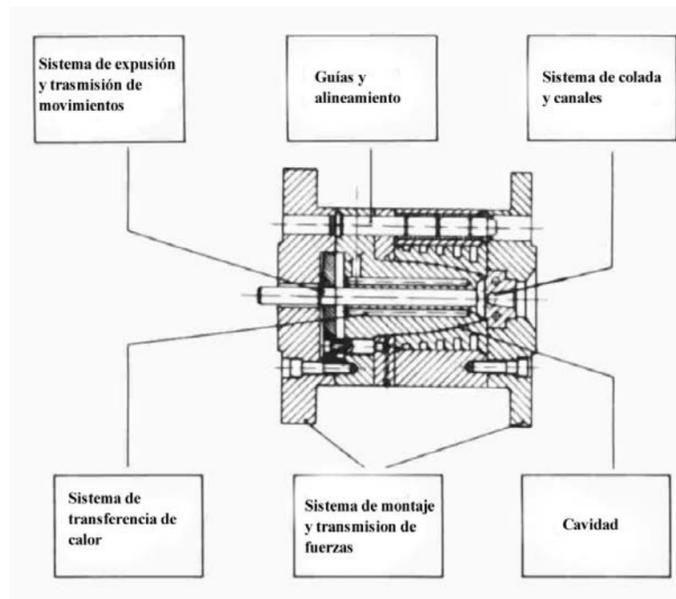
De acuerdo a ?, para fabricar piezas en plástico se acude a diversos procesos, tales como, inyección, soplado, extrusión, termoformado, rotomoldeo e inmersión, siendo la inyección el proceso que se utiliza para la fabricación de productos con altas propiedades mecánicas y gran estabilidad dimensional, requiriendo de una máquina inyectora, un molde, periféricos y materia prima.

Castro (2023) dice que, en la manufactura contemporánea, los sistemas avanzados de inyección de polímeros desempeñan un papel esencial en la producción eficiente de componentes plásticos de alta complejidad, considerando que estas tecnologías, que han evolucionado en respuesta a las demandas de precisión y rendimiento, son particularmente relevantes en la fabricación de componentes específicos, como las bridas de nylon; es por eso que la contribución de estos sistemas a la formación de productos sofisticados subraya la importancia de comprender a fondo sus aplicaciones en el contexto de la ingeniería de polímeros (ver Figura 5.2).

Beltrán y Marcilla (2011) dicen que, el proceso puede dividirse en dos fases; en la primera tiene lugar la fusión del material y en la segunda la inyección del mismo en el molde. La manera de realizar estas dos fases es lo que distingue unas máquinas de otras.

Figura 5.2

Sistemas principales de un molde de inyección.



Nota: En la Figura se observan los principales sistemas que hacen parte de un molde de inyección, de acuerdo a Beltrán y Marcilla (2011), donde consta dos partes esenciales: la cavidad, que forma la cara exterior del producto, y el núcleo, que forma la cara interior.

5.1.1. Variables que intervienen en el proceso

De acuerdo a Beltrán y Marcilla (2011), se considera que en el proceso de inyección intervienen de forma directa o indirecta del orden de 200 variables diferentes, sin embargo, para simplificar, estas variables se las clasifica en 4 categorías: capacidad (presión y fuerza de cierre), temperatura, tiempo y contracción del material, pero, se resalta también que lamentablemente, estas variables no son independientes y un cambio en una de ellas afectará a las otras.

5.1.1.1. Capacidades de inyección

En relación con la maquinaria, Beltrán y Marcilla (2011) dicen que es fundamental tener en cuenta ciertos aspectos iniciales que son las primeras consideraciones al definir una máquina de inyección; entre estos factores clave se incluyen: la capacidad de inyección, la capacidad de plastificación, la presión máxima de inyección y la fuerza de cierre máxima.

5.1.1.1.1. Capacidad de inyección

Según Buchwald (1996), se entiende por capacidad de inyección al volumen máximo calculado de barrido (o volumen atrapado en la unidad de émbolo) en pulgadas cúbicas que puede desplazarse en un solo movimiento del émbolo o del tornillo, asumiendo que no existe derrame y excluyendo la rotación del tornillo que utiliza para desplazar el volumen adicional.

En una situación real, ? dice que la capacidad de inyección viene determinada por el diámetro y la carrera del pistón o husillo de inyección, así como por el tipo de molde utilizado, la temperatura que alcanza el polímero fundido, la presión a que se inyecta y otras variables, por eso cuando se emplea un molde que es difícil de llenar, la capacidad real de inyección de la máquina es siempre algo menor que la indicada por el fabricante.

Buchwald (1996) propone para el cálculo analítico de la presión de inyección:

$$Q = P \cdot n \quad (5.1)$$

donde,

P = peso del material por ciclo

ρ = densidad del material

V = volumen de la pieza

5.1.1.1.2. Capacidad de plastificación

De acuerdo a Aponte y Valderrama (2019), la capacidad de plastificación es otro dato muy importante para evaluar las posibilidades de una máquina de inyección; sin embargo, no es fácil expresar numéricamente este concepto, siendo así se puede definir, aunque ambiguamente, como la cantidad máxima de material que la máquina es capaz de plastificar por unidad de tiempo. Para comprender mejor este criterio, Catari y Villasante (2018) dicen que es preciso aclarar que por “plastificar” un polímero debe entenderse el calentar este lo suficiente para que alcance una temperatura a la que pueda ser inyectado, y esta aclaración mantiene la ambigüedad de la definición anterior, por lo cual, videntemente, la capacidad de plastificación depende de la eficacia de calefacción de la cámara de plastificación y de las propiedades térmicas del polímero que se calienta.

Para ?, no hay método universalmente aceptado que indique las condiciones en que debe medirse la capacidad de plastificación de una máquina; como en el caso de la capacidad de inyección, cada fabricante indica en el catálogo de sus máquinas la capacidad de plastificación de este expresado como caudal máximo plastificado de un material en unas condiciones de procesado determinadas, por lo general poliestireno (en kg/h o g/s), de modo que solo sirve como guía para hacer comparaciones aproximadas entre máquinas de diversa procedencia.

? define a la capacidad de plastificación como la cantidad máxima de material que es capaz de suministrar el tornillo, por hora, cuando plastifica el material, y la calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = V \cdot F \quad (5.2)$$

donde,

Q = capacidad de plastificación

V = volumen de plastificación por ciclo

F = frecuencia de inyección

Según Birtlh (s.a.), la unidad de inyección de la máquina tiene una capacidad máxima de inyectar material en el molde en cada ciclo, y se recomienda que la máquina trabaje entre un 20% y un 80% de este valor; para esto, para el volumen de plastificación por ciclo ocupa:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot L \cdot N \quad (5.3)$$

donde,

V = volumen de plastificación por ciclo

D = diámetro del tornillo

L = longitud efectiva del tornillo

N = número de ciclos por minuto

5.1.1.1.3. Presión de inyección

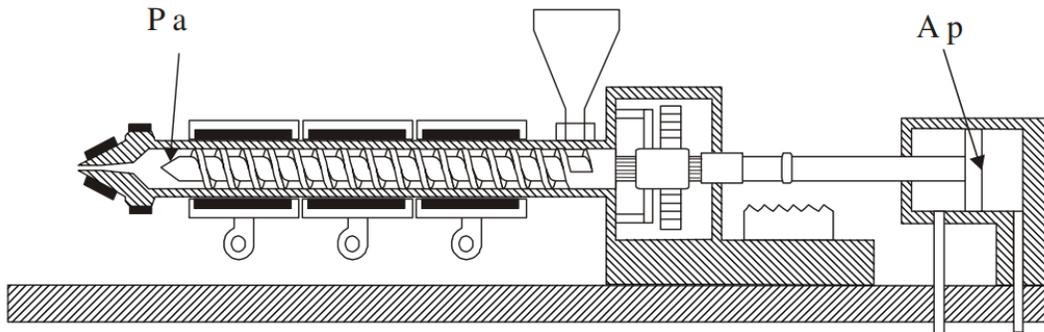
Para Beltrán y Marcilla (2011), la presión de inyección es una característica mejor definida que se entiende por la medida en la cara delantera “a” del pistón de inyección o husillo (ver Figura 5.3) que está actuado por un pistón hidráulico al que es solidario, la fuerza en ambas caras “A” y “a” será la misma, y si “p” es la presión de la línea hidráulica y “P” la presión de inyección se cumplirá:

$$P = p \left(\frac{A}{a} \right) \quad (5.4)$$

Beltrán y Marcilla (2011) mantiene que la presión “p” en la línea puede medirse y la relación de superficies entre las caras de los pistones (A/a) es una característica de construcción de la máquina, por eso se dice que las máquinas convencionales se construyen con relaciones A/a entre 8 y 9 generalmente y en los catálogos de los fabricantes, generalmente figura la máxima presión de inyección que es posible desarrollar. Por otra parte, ? menciona que la presión de inyección no es la misma que la presión de compactación que se desarrolla en las cavidades de moldeo, la cual es bastante menor y puede tener valores solamente del 20% de la presión de inyección y aun menores, dependiendo de las características del molde, de las condiciones de moldeo y del polímero utilizado.

Figura 5.3

Presión de inyección.



Nota: En la Figura se muestra la posición en la que se determina la presión de inyección, “P”, y la presión del sistema hidráulico, “p”, que actúa sobre el tornillo, de acuerdo a Beltrán y Marcilla (2011).

5.1.1.1.4. Fuerza de cierre

De acuerdo a Gutierrez (2020), la fuerza de cierre disponible es el tonelaje de cierre que la máquina es capaz de realizar, razón por la cual la máquina necesita tener suficiente fuerza de cierre para mantener el molde cerrado para soportar la presión plástica que se está desarrollando dentro de las cavidades del molde y colada fría, por esto, en general, se recomienda calcular la fuerza de cierre que necesita cada proceso individual en lugar de ejecutarla al máximo de la máquina.

Para Fonseca (2018), esta fuerza viene a ser la que hace posible la unión de las dos placas en donde se va a realizar el llenado del material, por lo que la misma debe ser mayor que la fuerza de inyección para que se pueda realizar el proceso y no se abra el molde; para esto presenta ecuación que la rige para su cálculo analítico:

$$F = P \cdot A \quad (5.5)$$

donde,

F = fuerza de cierre

A = área de la superficie de las piezas

P = presión de inyección

5.1.1.2. Temperaturas de inyección

Para ?, las diferentes temperaturas de inyección en el proceso de moldeo por inyección juegan un papel crucial en la calidad y la integridad de las piezas plásticas fabricadas, considerando que, durante este proceso, se manejan diversas temperaturas en distintas etapas, desde la fusión del material hasta la solidificación en el molde, por eso se dice que la temperatura de fusión del material plástico debe ser lo suficientemente alta para garantizar una buena fluidez y llenado del molde, pero también se debe controlar la temperatura para evitar problemas como la degradación del material o la formación de defectos en la pieza final; por otro lado, la temperatura del molde también es fundamental, ya que influye en la velocidad de solidificación del material y, por lo tanto, en la calidad de la pieza moldeada, es por eso que en conjunto, el manejo preciso de las temperaturas de inyección es esencial para obtener piezas plásticas de alta calidad con las propiedades deseadas.

5.1.1.2.1. Temperatura de fusión del plástico

? dice que, la temperatura de fusión es la temperatura real del polímero cuando sale de la boquilla y entra en el molde.

Según Escobar, Caicedo, Buñay, y Palacios (2022), la temperatura de fusión del plástico se relaciona con la temperatura del conjunto alimentador, dosificador, boquilla, y cada una de estas debe controlarse y asignarse de forma independiente, por ello, a medida que el material fluye hacia la boquilla, pierde calor por conducción con el material en la boquilla y al mismo tiempo surge a través del calor de fricción presente con el movimiento, ya que dependiendo de las condiciones de moldeo, esta energía puede ser mayor o menor que la pérdida de transferencia de calor, por esto es bien conocido que la temperatura del material fundido está directamente relacionada con su viscosidad, por lo tanto, cuanto más calor pierde el material aumenta su viscosidad y su dificultad de inyección, esto hace que aumente la presión requerida para el proceso y aumenta el consumo de energía, razón por la cual se debe tener cuidado con el material para que no llegue al estado de degradación térmica o descomposición por temperatura. La Tabla 5.1 muestra los rangos de temperatura aceptables para el proceso de inyección de polímeros, de acuerdo a Escobar y cols. (2022).

Tabla 5.1

Temperaturas para el procesamiento de polímeros.

Material	Temperatura (°C)
PP	200-300
PS	180-260
PVC	160-180
PMMA	185-250
PA	230-280
PC	280-310
ABS	180-245
SAN	180-280
POM	180-225

Nota: La Tabla muestra las temperaturas de fusión de distintos polímeros, que son cruciales para controlar la viscosidad y fluidez del material, impactando directamente en la calidad y propiedades finales del producto, de acuerdo a Escobar y cols. (2022).

5.1.1.2.2. Temperatura de enfriamiento

Escobar y cols. (2022) dice que es la temperatura a la que se encuentra la superficie de la cavidad de moldeo y que debe ser lo suficientemente baja para enfriar el material fundido y conseguir que solidifique (ver Tabla 5.2). Para T_c , esta temperatura varía a lo largo del molde y depende de varios parámetros (temperatura del fluido refrigerante, temperatura del material, características térmicas del molde, etc.), pero a efectos prácticos se evalúa como el valor medio a lo largo de toda la cavidad y la velocidad a la que se enfría el plástico es un factor muy importante, puesto que va a condicionar la morfología del material y, por tanto, sus propiedades físicas, mecánicas, ópticas, etc.

Tabla 5.2*Temperaturas de enfriamiento para moldes.*

Material	Temperatura (°C)
PP	15-65
PS	10-40
PVC	10-65
PMMA	80-105
PA 6	20-100
PA 66	20-100
PC	80-110
ABS	40-90
SAN	40-90

Nota: En la Tabla se observan las temperaturas óptimas de enfriamiento para moldes en el proceso de inyección de plástico. Estas seguran la formación eficiente y precisa de las piezas moldeadas, de acuerdo a Escobar y cols. (2022).

5.1.1.3. Tiempos de inyección

De acuerdo a Bustos (2016), los tiempos de los ciclos de inyección estarán limitados por el número de cavidades con el que sea diseñado el molde de inyección. Beltrán y Marcilla (2011) dice que, sería deseable tener un número alto de cavidades a fin de aumentar al máximo el volumen producido por cada ciclo de inyección, pero esto no siempre es conveniente, ya que en algunos casos la complejidad de los sistemas de llenado, refrigeración y expulsión en el molde hace que su operación sea difícil de controlar y que las piezas obtenidas tengan defectos asociados a problemas en el llenado de algunas cavidades, por esto, a medida que aumenta el número de piezas a inyectar por ciclo, aumenta la probabilidad de tener diferencias dimensionales, de acabado superficial y de propiedades mecánicas entre productos, por otro lado, un número muy alto de cavidades puede elevar sustancialmente el costo de manufactura del molde o complicar innecesariamente el control del llenado de los canales, además, el número de unidades que es posible producir por ciclo está restringido por parámetros técnicos de la máquina inyectora, tales como capacidad de plastificación, capacidad de inyección y fuerza de cierre; el número de cavidades estará restringido por la cantidad de piezas que se desea producir por año; por ello, según detallan Herrera y Zarate (2018), el número de cavidades de moldeo se puede obtener mediante:

$$Cu = \frac{\text{Piezas} * \text{año}}{200 \cdot \left(\frac{3600}{Ti \times 2}\right) \cdot 1.75} \quad (5.6)$$

donde,

Piezas * año = piezas requeridas anualmente

Ti = tiempo de inyección

Cu = número de cavidades

5.1.1.3.1. Tiempo de llenado

Bozzelli (2019) define al tiempo de llenado como el tiempo desde el inicio de la inyección hasta que el husillo alcanza la posición de transferencia, llenando del 90–99.9% de la parte en volumen.

Para Domingo (s.a.), el tiempo de llenado es el punto principal de la curva de viscosidad: los plásticos cambian la viscosidad si cambia el tiempo de llenado y son sensibles al corte; es decir, las resinas cambian la viscosidad drásticamente con los cambios en la velocidad de inyección, es por esto que para hacer partes idénticas, se necesita mantener constante el tiempo de llenado.

5.1.1.3.2. Tiempo de enfriamiento

De acuerdo a ?, el tiempo de enfriamiento de las piezas moldeadas por inyección generalmente se refiere al período desde el momento en que el plástico fundido llena la cavidad del molde de inyección hasta el momento en que las piezas se pueden sacar abriendo el molde; el tiempo estándar para sacar las piezas abriendo el molde suele ser el momento en que las piezas se han solidificado por completo y tienen una cierta resistencia y rigidez, para que no se deformen y agrieten al ser expulsados en la apertura. Boretech (2018) detalla para el cálculo analítico la expresión que se presenta a continuación:

$$t_K = \frac{t_L^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \ln \left(\frac{4}{\pi} \right) \left(\frac{\theta_M - \theta_W}{\theta_E - \theta_W} \right) \quad (5.7)$$

donde,

t_K : temperatura de enfriamiento

t_L : temperatura de llenado

α : difusividad térmica del material

θ_M : temperatura de elaboración del plástico

θ_W : temperatura del molde

θ_E : temperatura de desmoldeo

5.1.1.3.3. Tiempo de reinicio

Para Alonso (2011), el proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas, es por eso que este tiempo se define como la suma del tiempo de apertura del molde, del cierre del mismo y del tiempo de la expulsión de la pieza; para esto:

$$t_R = t_{\text{apertura}} + t_{\text{cierre}} + t_{\text{expulsión}} \quad (5.8)$$

5.1.1.3.4. Tiempo total del ciclo de inyección

Según menciona ?, el moldeo por inyección es un proceso cíclico. El ciclo de moldeo se compone principalmente del tiempo de almacenamiento del material, el tiempo de mantenimiento de la presión de inyección, el tiempo de enfriamiento, el tiempo de apertura y cierre del molde y el tiempo de expulsión y retiro. En este proceso, el enfriamiento del producto y la medición y almacenamiento del tornillo se realizan al mismo tiempo, y el mayor valor de los dos se toma en el cálculo del ciclo de moldeo. Para obtener el tiempo total del ciclo de inyección analíticamente, basta con sumar los tiempos estudiando anteriormente, como se observa en la siguiente expresión:

$$t_T = t_L + t_R + t_K \quad (5.9)$$

donde,

t_T = tiempo total del ciclo de inyección

t_L = tiempo de llenado

t_R = tiempo de reinicio

t_K = tiempo de enfriamiento

5.1.1.4. Contracción volumétrica en polímeros

Para [?], al diseñar cualquier pieza para moldeo por inyección, es importante considerar la contracción y la tasa de contracción del material y la geometría asociada del componente. Para [?], la contracción plástica es el cambio dimensional que se produce en una pieza moldeada cuando se enfría después de la inyección.

[?] dice que la mayor parte de la contracción de piezas de plástico se produce mientras aún se encuentra dentro de la herramienta de moldeo durante la etapa de enfriamiento, pero se produce una pequeña contracción después de la expulsión, ya que la pieza continúa enfriándose.

[?] dice que tras la expulsión, la mayor parte del exceso de calor ya se ha disipado y se ha producido la mayor parte de la contracción, entonces la pieza puede continuar encogiéndose muy ligeramente durante varias horas o incluso días hasta que la temperatura y el contenido de humedad se estabilicen para igualar los del entorno circundante, es por ello que como resultado, para mantener la consistencia y la estabilización adecuada de la pieza, la inspección dimensional debe esperar al menos un día después de la expulsión de la pieza. De acuerdo a [?], algunos valores de porcentaje de contracción se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3

Contracción en % de plásticos.

Material	% de contracción
Poliamida 6	1-1.5
Poliamida 6 + fibra de vidrio 0.5	0.5
Poliamida 6.6	1-2
Poliamida 6.6 + fibra de vidrio 0.5	0.5
Polietileno baja densidad	1.5-3
Polietileno alta densidad 66	2-3
Poliestileno	0.5-0.6
Estireno-acrilonitrilo	0.4-0.6
Polimetacrilato	0.3-0.6
Policarbonato	0.8

Nota: En la Tabla se observan los porcentajes de contracción de acuerdo al material, que equivale a la reducción de volumen que experimenta el material plástico durante el enfriamiento y solidificación en el molde, de acuerdo a [?].

5.2. Diseño de Moldes para la Inyección de Polímeros

5.2.1. Sistema de alimentación

De acuerdo a ?, la disposición y la forma (tipo) del sistema de alimentación son de importancia para la calidad de la pieza, eligiendo apropiadamente dicho sistema se puede influir en el tiempo de inyección, reducir desperdicios, trabajos de acabado y ahorro del material.

Para Guevara y Loor (2015), el tipo de alimentación está determinado por varios factores; primero por lo que significa conducir la masa de moldeo hacia la cavidad del molde con mayor rapidez, sin obstáculos, por el camino más corto con mínimas pérdidas de calor y presión y evitando todo lo posible las discontinuidades de fluidez (las soldaduras en la pieza).

De acuerdo a ?, en piezas de gran superficie que deben ser inyectadas en varios puntos, hay que cuidar, de que la masa tenga iguales recorridos de flujo a fin de que se mezcle en iguales condiciones en todos los frentes de llenado (fluidez homogénea); el sistema de alimentación se elegirá de modo que la mazarota tenga el mínimo peso, pueda separarse fácilmente de la pieza y no perjudique el aspecto de la misma.

5.2.2. Sistema de refrigeración

En el moldeo por inyección, para ?, la mayor parte del ciclo de fabricación es el enfriamiento, ya que la fase de enfriamiento del ciclo de fabricación es aproximadamente el 60-70 por ciento del ciclo, y reducir esto en una pequeña cantidad permitirá que sus operaciones de producción produzcan más productos en menos tiempo.

Para garantizar que se pueda lograr un tiempo de enfriamiento mínimo, ? dice que primero se debe tener el diseño correcto del sistema de enfriamiento del molde de inyección y el mejor método de enfriamiento.

Para ?, al diseñar un nuevo sistema de enfriamiento de moldes de inyección, se deben abordar varios problemas para maximizar el enfriamiento y reducir el tiempo del ciclo:

- Todos los canales de enfriamiento del molde deben estar cerca de la parte más gruesa que se está formando.
- Si los canales de enfriamiento en el molde son mayores de 8 mm, deben mantener el mismo

diámetro en el molde.

- No tenga un canal de enfriamiento grande dentro del molde, es mejor agregar varios canales más pequeños para distribuir uniformemente el refrigerante.
- Al diseñar moldes, utilice materiales conductores para mejorar el enfriamiento. Esto ayudará a la transferencia de calor de la pieza a medida que se enfría en el molde.
- Asegúrese de que ambas mitades del molde de inyección estén completamente frías. Solo enfriar la mitad o parte del molde de inyección aumenta la posibilidad de deformaciones parciales a medida que se enfría.

De acuerdo a ?, existen dos métodos estándar para los sistemas de refrigeración: refrigeración por aire o refrigeración por agua.

5.2.2.1. Sistema de refrigeración por aire

Para Andrade (2019), el uso de un sistema de enfriamiento por aire implica un evaporador para eliminar el calor del sistema de inyección, luego se usa un condensador enfriado por aire para eliminar el calor del evaporador, lo que puede esperar del sistema de enfriamiento por aire es un ventilador de admisión para dirigir el aire más frío al molde y un ventilador de extracción para eliminar el aire caliente del molde; el sistema de enfriamiento por aire transfiere el calor del agua que fluye en la línea de ensamblaje de la máquina de moldeo por inyección al aire alrededor de la línea de ensamblaje en el enfriador; debido a que el aire no transmite calor como lo hace el agua, este aire enfriado por ventilador generalmente consume un 10 por ciento más de electricidad.

Hernández (2021) dice que un sistema de enfriamiento por aire descargará aire caliente en su planta, por lo tanto, es mejor instalar un refrigerador enfriado por aire fuera del edificio o donde no haya aire acondicionado y a medida que aumenta el flujo de aire, el sistema de enfriamiento de aire se vuelve polvoriento y debe ser mantenido y limpiado regularmente para mantener un alto nivel de rendimiento, por esta razón en términos de espacio, un enfriador enfriado por aire puede ocupar técnicamente cualquier espacio abierto o plano, requiriendo menos espacio total que una unidad enfriada por agua que requiere una torre de enfriamiento.

5.2.2.2. Sistema de refrigeración por agua

? dice que un sistema de enfriamiento de agua, también conocido como prensa en caliente, funciona transfiriendo agua congelada a través de tuberías que atraviesan la cavidad del molde y se encuentran fuera de la compuerta del corredor, donde estas líneas de agua estarán más

cerca del exterior de la superficie del producto moldeado para asegurar un enfriamiento uniforme y prevenir la deformación de la superficie del producto, por lo tanto, el agua en la línea de enfriamiento se trata químicamente para evitar que el moho y las bacterias crezcan o contaminen la línea.

? recalca que los dos tipos de flujo que atraviesan estas líneas de agua son laminar y turbulento, y describen la forma en que fluye el agua, tomando en cuenta que el flujo laminar describe el flujo de agua a través de una línea recta, por lo que el agua en el centro del flujo no toca la superficie interna de la línea; es ahí donde el enfriamiento turbulento es más eficiente porque hay más superficie de agua en contacto con la cavidad calentada.

Para esto, ? remite que el sistema de refrigeración por agua deja condensado fuera del molde, producto que se debe a que la temperatura del molde es más baja que el punto de rocío del aire circundante y, en climas más cálidos o húmedos, se recomienda elevar la temperatura del agua congelada cuando se utiliza un sistema de refrigeración por agua para evitar que el agua de condensación quede en el exterior del molde.

Coronel (2015) recomienda una fuente de enfriamiento externa, como una torre o un condensador evaporativo, para un refrigerador enfriado por agua, para que la torre de enfriamiento bombee el agua caliente al enfriador.

5.2.3. Sistema de expulsión

Según menciona ?, después de realizar la tarea de inyección de material en el molde, y alcanzado la temperatura de desmoldeo, se prosigue a expulsar la pieza; por lo regular son utilizados medios mecánicos como varillas expulsoras, aunque también existen medios hidráulicos y neumáticos.

Para Brigos (2021), en esta operación de expulsión (varillas expulsoras) se debe garantizar que la pieza a expulsar, quede del lado de la platina móvil, esto se logra mediante resaltes o implementando una diferencia de temperaturas.

? dicen que el sistema de expulsión más conocido es el que opera con varillas expulsoras que separan la pieza del núcleo.

La Tabla 5.4 muestra los sistemas de expulsión más utilizados, según las características de trabajo, de acuerdo a ?:

Tabla 5.4

Sistemas de expulsión en moldes.

Tipo	Uso
Sistema de expulsión anular	Piezas pequeñas
Sistema de placa expulsora	Piezas con simetría de rotación
Sistema de desmoldeo simultáneo en varios planos	Piezas grandes y profundas
Sistema de eyectores de plato	Piezas profundas

Nota: La Tabla muestra distintos tipos de sistemas de expulsión en moldes, responsables de expulsar la pieza moldeada del molde una vez que se ha solidificado, facilitando así la extracción y el proceso de fabricación subsiguiente, de acuerdo a ?.

? considera importante cuidar que los eyectores estén situados en partes donde no se vea deteriorada, ni modificada la geometría de la pieza, así mismo si se trata de una pieza que contiene rincones difíciles o nervaduras se debe buscar colocar en estos lugares las varillas de expulsión, ya que en estos se dificulta la expulsión (requieren mayor fuerza de expulsión).

5.2.3.1. Configuración de las varillas expulsoras

? dicen que se utilizan varillas expulsoras (pernos de empuje) nitruradas o templadas, según sea el tipo de utilización.

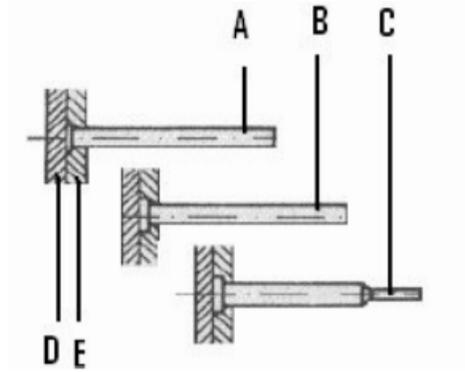
Para realizar un buen diseño del sistema de expulsión, ? propone varios puntos que deben de ser tomados en cuenta y estos son:

- Carrera de apertura y de expulsión
- Fuerza de expulsión de la máquina
- Colocación de puntos de expulsión de la pieza
- Tipo de expulsores, diseño, dimensiones y acabados
- Diseño de las placas de expulsión y retención
- Retorno de la placa de expulsión

El diseño de las varillas varía según la aplicación y se tiene la siguiente clasificación, de acuerdo a ? (ver Figura 5.4):

Figura 5.4

Representación esquemática de varias varillas de expulsión.



Nota: En la Figura se observan la representación esquemática de varias varillas de expulsión, componentes que aplican fuerza para sacar la pieza del molde, garantizando así una extracción eficiente y continua de las piezas moldeadas, de acuerdo a ?

- A. Varilla de cabeza cónica y vástago cilíndrico. ? dice que se utilizan cuando no hay especiales exigencias en cuanto a la transmisión de fuerza, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- B. Varilla de cabeza cilíndrica y vástago cilíndrico. ? dice que se utilizan cuando hay especiales exigencias en cuanto a grandes fuerzas de eyección, se emplean con diámetros de 3 a 16 mm y una longitud de hasta 400 mm.
- C. Varilla de cabeza cilíndrica y espiga en el extremo. ? dice que se utilizan cuando la superficie de ataque sobre la pieza es muy pequeña y la fuerza necesaria reducida a la vez que el vástago con espiga aumenta la resistencia al pandeo; se emplean con diámetros de 1.5 a 3 mm y una longitud de hasta 200 mm.

5.3. Elementos Finitos de Modelos por Inyección

Para Benitez, Vargas, y Montealegre (2020), la simulación mediante elementos finitos de la inyección de polímeros es una herramienta computacional poderosa y ampliamente utilizada en la industria del moldeo por inyección, este enfoque permite predecir y optimizar el proceso de fabricación de piezas plásticas al modelar el flujo del material, la transferencia de calor y la distribución de tensiones en el molde; al proporcionar información detallada sobre el

comportamiento del material y las condiciones del proceso, la simulación por elementos finitos permite dentro de la ingeniería mejorar la calidad de las piezas, reducir los tiempos de desarrollo y minimizar los costos de producción.

5.3.1. Simulación mediante MOLDFLOW

De acuerdo a Autodesk (2024), el software de simulación Autodesk® Moldflow® proporciona información sobre moldeo por inyección y compresión de plástico para mejorar la calidad de las piezas fabricadas.

Mientras tanto, para Archiexpo (s.a.), el software de simulación Moldflow® permite solucionar los problemas del moldeo por inyección y compresión de plásticos, donde las herramientas avanzadas y una interfaz de usuario simplificada le ayudan a abordar los retos de fabricación, como el alabeo de las piezas, la eficiencia de los canales de refrigeración y la reducción del tiempo de ciclo.

5.3.2. Simulación mediante Solidworks

De acuerdo a ?, SOLIDWORKS® Plastics ofrece una simulación fácil de usar para analizar piezas de plástico y moldes de inyección, ya que simula cómo fluye el plástico derretido durante el proceso de moldeo por inyección para predecir defectos relacionados con la fabricación, de modo que pueda evaluar rápidamente la capacidad de fabricación de la pieza mientras diseña.

Con SOLIDWORKS® Plastics se predice y evita defectos de fabricación en diseños de piezas de plástico y moldes de inyección, eliminando costosas repeticiones, mejorando la calidad de las piezas y reduciendo el tiempo de comercialización.

? dice que, SOLIDWORKS Plastics ofrece herramientas de simulación de ingeniería asistida por computadora (CAE) que predicen cómo fluye el plástico fundido durante el proceso de moldeo por inyección, el método de fabricación utilizado para producir más del 80% de todos los productos plásticos y donde la capacidad de predecir cómo fluirá el plástico permite la predicción de defectos relacionados con la fabricación, ahora, al poder predecir estos defectos, los usuarios pueden cambiar la geometría del molde, las condiciones de procesamiento o el material plástico utilizado para minimizar los defectos potenciales, ahorrando energía, recursos naturales, tiempo y dinero.

5.3.3. Simulación mediante Ansys

Hendrickson (2017) dice que, por medio de Ansys Discovery Live, los ingenieros pueden comenzar a ver los resultados de la simulación segundos después de importar una geometría, sin necesidad de un sistema informático de alto rendimiento, esto se debe a que toda la informática la maneja la tarjeta gráfica (GPU), que tiene miles de procesadores ejecutándose en paralelo, sin pausar la simulación, pueden cambiar el diseño y la física y ver los resultados inmediatamente, esta interactividad y retroalimentación instantánea permiten a los ingenieros experimentar con más variables al principio de la etapa de exploración digital del proceso de diseño, lo cual es vital para desarrollar productos exitosos en un mercado altamente competitivo.

Para ?, Ansys Discovery Live ofrece simulación instantánea en 3-D, fuertemente acoplada al modelado de geometría directa, que permite la exploración de diseño interactivo y la innovación rápida de productos, con este software de simulación es posible conseguir una experiencia interactiva con la que manipular geometría, tipos de materiales o entradas de física, y ver instantáneamente cambios en el rendimiento.

5.4. Nylon PA6

Según menciona Broncesval (2024), el nylon 6 o policaprolactama es una poliamida semicristalina, que, a diferencia de la mayoría de los otros nylons, el nylon 6 no es un polímero de condensación, sino que está formado por polimerización de apertura de anillo.

Esto para Broncesval (2024) lo convierte en un caso especial en la comparación entre polímeros de condensación y adición, ya que su competencia con el nailon 6,6 y el ejemplo que dio también han dado forma a los aspectos económicos de la industria de las fibras sintéticas.

De acuerdo a Broncesval (2024), las fibras de nailon 6 son resistentes y poseen una alta resistencia a la tracción, así como elasticidad y brillo, esto es a prueba de arrugas y altamente resistentes a la abrasión y productos químicos como los ácidos y los álcalis; las fibras pueden absorber hasta un 2.4% de agua, aunque esto reduce la resistencia a la tracción. La temperatura de transición vítrea de Nylon 6 es de 47 °C.

Como fibra sintética, Broncesval (2024) dice que el Nylon 6 es generalmente blanco, pero se puede teñir en un baño de solución antes de la producción para obtener diferentes resultados de color.

Para Granda (2016), todos los nylons pueden reforzarse con fibras de vidrio, perlas de vidrio y fibras de carbono para mejorar su rendimiento mecánico y térmico; los materiales rellenos que contienen PTFE y disulfuro de molibdeno están disponibles para materiales de rodamientos con una fricción adecuadamente baja y un desgaste mejorado.

Broncesval (2024) dice que las fibras de Nylon se utilizan en textiles, sedales y alfombras, las películas de Nylon se utilizan para el envasado de alimentos, que ofrecen tenacidad y baja permeabilidad al gas, y junto con su resistencia a la temperatura, para el envasado de alimentos para hervir en la bolsa.

Broncesval (2024) considera que los compuestos de moldeo y extrusión encuentran muchas aplicaciones como sustitutos de piezas metálicas, por ejemplo, en componentes de motores de automóviles, los colectores de admisión en Nylon son resistentes, resistentes a la corrosión, más ligeros y más baratos que el aluminio (una vez que se cubren los costos de las herramientas) y ofrecen un mejor flujo de aire debido a un orificio interno suave en lugar de uno áspero.

Para Broncesval (2024), sus propiedades de autolubricación lo hacen útil para engranajes y rodamientos, el aislamiento eléctrico, la resistencia a la corrosión y la tenacidad hacen que el nylon sea una buena opción para piezas de alta carga en aplicaciones eléctricas como aislantes, cajas de interruptores y las abrazaderas de cable ubicuas; otra aplicación importante es para carcasas de herramientas eléctricas.

A continuación, en las Tablas 5.5 y 5.6, se muestran las propiedades físicas y mecánicas del Nylon 6, respectivamente.

Tabla 5.5*Propiedades físicas del Nylon PA6.*

Propiedades físicas	Norma	Unidades	Valores
Peso específico	ISO 1183	g/cm ³	1.14
Absorción del agua a la saturación	ISO 62	%	9.5
Absorción de humedad a 23 °C - 50% RH	ISO 62	%	3

Nota: En la Figura se observa la Tabla de propiedades físicas del Nylon PA6, de acuerdo a Broncesval (2024).

Tabla 5.6*Propiedades mecánicas del Nylon PA6.*

Propiedades mecánicas	Norma	Unidades	Valores
Límite elástico	ISO 527	MPa	90/45
Alargamiento en el rendimiento	ISO 527	%	4.5/20
Alargamiento hasta la rotura	ISO 527	%	- / ≥ 250
Módulo de tracción	ISO 527	MPa	3000/1000

Nota: La Tabla muestra las propiedades mecánicas del Nylon PA6, de acuerdo a Broncesval (2024).

A. Aguilar (s.a.) dice que la difusividad térmica es una propiedad específica de cada material para caracterizar conducción de calor en condiciones no estacionarias, este valor describe cuán rápido un material reacciona a un cambio de temperatura y que para predecir procesos de enfriamiento o para simular campos de temperatura, la difusividad térmica debe ser conocida; es un requisito para resolver la Ecuación Diferencial de Fourier para conducción de calor en condiciones no estacionarias; para el caso del Nylon 6 se la puede obtener como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (5.10)$$

6. Marco metodológico

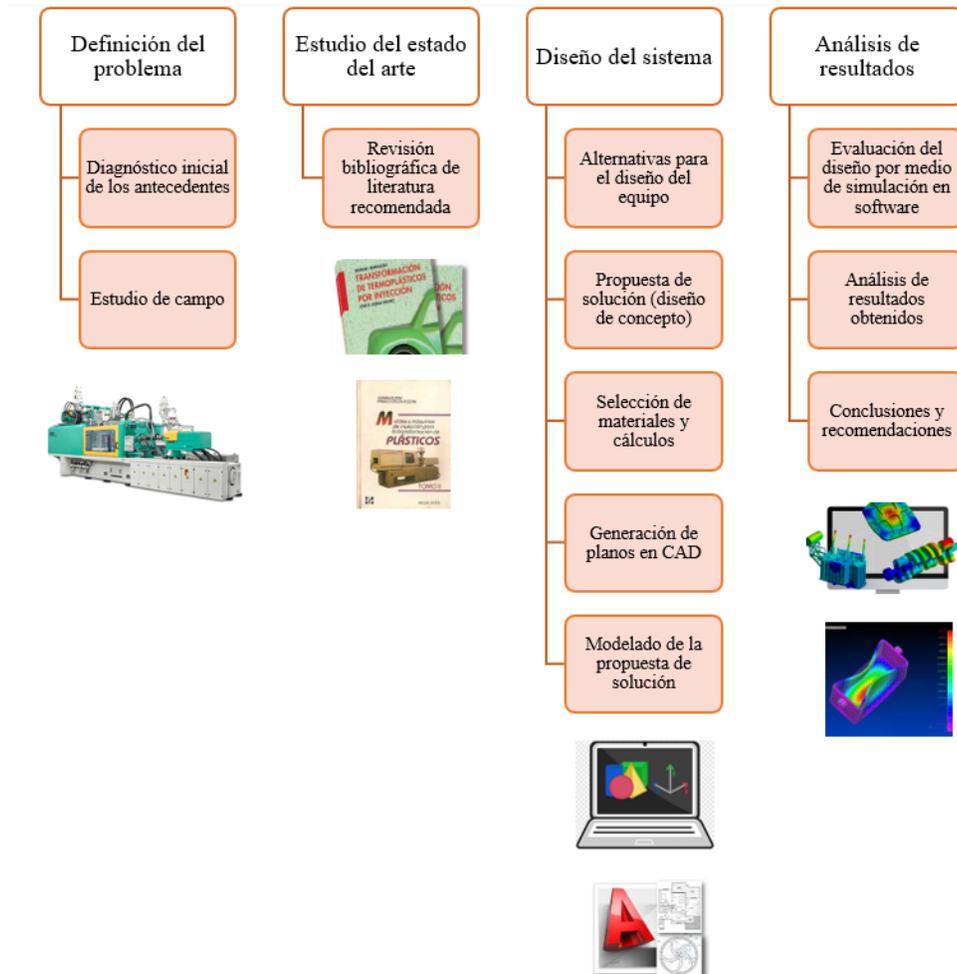
Con el propósito de concebir un molde eficiente y acorde a las especificaciones y necesidades de la empresa, el presente proyecto adopta un enfoque cuantitativo, fundamentado en datos numéricos y de índole aplicada, para adaptarse a un entorno industrial real. Este enfoque se caracteriza por su orientación pragmática hacia la resolución de problemas concretos en la práctica industrial.

El alcance del proyecto abarca las dimensiones exploratoria, descriptiva y correlacional. En esta perspectiva, se explorarán diversas alternativas de diseño, se describirán con detalle los conceptos teóricos aplicados y se establecerán correlaciones entre distintos parámetros relevantes. Este enfoque multidimensional asegura una comprensión exhaustiva de los factores clave que influyen en el diseño del molde.

La Figura 6.1 ilustra la metodología empleada para guiar el proceso de investigación propuesto, proporcionando una visión clara de las etapas y enfoques que se seguirán en el desarrollo del proyecto.

Figura 6.1

Metodología del Proceso.



Nota: Se observa la Metodología del Proceso que se establece por etapas que corresponderán al desarrollo del trabajo. Estas fases se describen en función de los objetivos específicos que determinarán la finalidad del Proyecto.

6.1. Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon

En el desarrollo del primer objetivo específico de esta investigación, se debe establecer los parámetros esenciales para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas destinado a la fabricación de bridas de nylon. Este paso inicial se erige como la piedra angular que dará forma al proceso de producción, incidiendo directamente en la eficiencia, viabilidad económica y calidad del producto final. Los cinco parámetros clave que guiarán el análisis y decisión son: el material a inyectar, la cantidad proyectada de piezas a producir, las características técnicas

de la máquina de inyección, el presupuesto designado para el diseño del molde y, finalmente, la complejidad geométrica de la pieza. Se buscará la sinergia precisa que optimice cada elemento en función de los objetivos delineados, marcando así el inicio de una etapa determinante en la consecución de un molde de inyección eficiente y adaptado a las exigencias específicas de la producción de bridas de nylon.

6.1.1. Material a inyectar

El diseño del molde propuesto se encuentra específicamente orientado a la inyección del Nylon PA6, según las especificaciones detalladas en el Anexo C. Esta ampliación contempla un enfoque integral que permitirá evaluar la versatilidad y adaptabilidad del diseño ante diferentes materiales, contribuyendo así a una comprensión más completa de su rendimiento en diversas condiciones de inyección; vale recalcar que la selección de los materiales va de acuerdo a recomendación y los recursos disponibles en Taller Tenesaca, así como de los proveedores de los mismos.

La definición del material a inyectar radica principalmente en dos puntos fundamentales:

- **La contracción:** Dimensionado de macho (núcleo) y hembra (cavidad), el primero como la parte móvil del molde que crea la forma interna de la pieza y la segunda como la parte estacionaria del molde que crea la forma externa de la pieza.

Contracción	1.5 – 2.5%
-------------	------------

- **El índice de fluidez:** Dimensionado de los canales de alimentación, que permiten que el material fundido fluya desde la máquina de inyección hasta la cavidad del molde, donde se forma la pieza plástica. Mientras más fluido sea el material, menor serán los canales.

índice de fluidez	$\frac{35 \text{ cm}^3}{10 \text{ min}}$
-------------------	--

6.1.2. Cantidad de piezas a producir

Se pretende lograr una producción que satisfaga el suministro para un mes, alcanzando un total de 15,000 piezas. Considerando la limitación de la máquina que también está destinada a ser utilizada para otros moldes, se propone organizar la producción de las piezas en una semana. Por esta razón, se plantea el diseño de un molde con 6 cavidades, lo que permitiría generar el doble de piezas en comparación con un molde de tres, y hasta el triple en comparación con un molde de 2. La elección de un molde de 6 cavidades no solo ampliaría la capacidad de producción, sino que también ofrecería una disposición más eficiente de las mismas en el molde, optimizando así el rendimiento general del proceso de inyección,

Piezas mensuales	15000
------------------	-------

6.1.3. Inyectora

Se destacan dos puntos que se detallan a continuación:

- **Capacidad de inyección de la máquina:** Se refiere a la cantidad de material que la máquina es capaz de inyectar en la cavidad del molde en un solo ciclo. Se mide generalmente en términos de peso de material plástico, expresado en gramos, que la máquina puede procesar por unidad de tiempo. Se debe verificar que el peso total, de acuerdo al número de cavidades y a la masa rota (peso/pieza + peso/masa), sea menor a la capacidad de la máquina.

Capacidad de inyección	110 g
------------------------	-------

- **Dimensiones de la máquina:** De acuerdo a la carrera de apertura, entre barras y la altura máxima, se debe determinar las dimensiones del molde.

Dimensión de la platina del molde	615x615 mm
Distancia entre tirantes	410x410 mm
Carrera de apertura del molde	360 mm
Altura máxima del molde	450 mm
Altura mínima del molde	150 mm
Carrera de expulsión	120 mm
Dimensión mínima del molde	290x290 mm

6.1.4. Presupuesto de diseño (Automatización del molde)

Es necesario asegurar la minimización de los costos de producción, por lo cual se sugiere automatizar en el diseño del molde propuesto. Esto permitiría eliminar la intervención humana y, como resultado, reducir los costos asociados a la mano de obra.

6.1.5. Complejidad de la geometría de la pieza

Los sistemas que definen la complejidad de la geometría de la pieza a inyectar se erigen en tres:

- Sistema de expulsión
- Sistema de refrigeración
- Sistema de alimentación

Sistema de expulsión	Mordazas cónicas
Sistema de alimentación	Central

El diseño del sistema de refrigeración debe ser de acuerdo a la ubicación del macho y la hembra, con el fin de garantizar menor tiempo de enfriamiento de las piezas moldeadas.

6.2. Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos

6.2.1. Descripción de la pieza a producir

Como requerimiento para una empresa de línea blanca de la ciudad, se solicita a Taller Tenesaca la fabricación de una brida específica como herramienta de sujeción. Esta se observa en la Figura 6.2, misma que se facilita como muestra para su futura producción.

Figura 6.2

Pieza a generar.



Nota: En la Figura se muestra la pieza a generar, una brida deshidratador que sirve como elemento de sujeción para los distintos procesos de producción que lleva consigo una prestigiosa empresa de línea blanca de la ciudad.

La pieza a inyectar, una brida que lleva el nombre de "Brida deshidratador", fue entregada a Taller Tenesaca junto con varias muestras para su respectivo análisis previo, y así, diseñar un molde apto para su producción. Esta tiene la función de elemento de sujeción, mismo que permite el agarre de objetos que, a nivel industrial, son indispensables. En la Figura 6.3 se detalla un ejemplo de su uso.

Figura 6.3

Descripción de la pieza a producir.

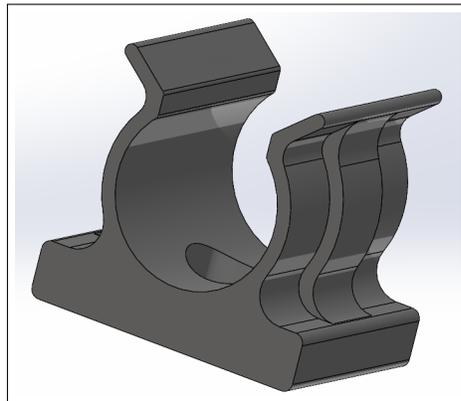


Nota: En la Figura se observa la función de la brida deshidratador, que sirve como elemento de sujeción para el agarre de objetos como el que se muestra. Es un dispositivo utilizado para asegurar o sujetar dos elementos o partes de manera firme.

Conocida la pieza y su función, se procedió a tomar medidas de la misma para su posterior modelado, puesto que los planos, en la ficha técnica que se nos fue proporcionada, no eran lo suficientemente claros. El dimensionado y modelo 3D fue realizado por medio de diseño asistido por computador (CAD), como se puede ver en la Figura 6.4. Adicionalmente, en el Anexo G se especifica a detalle el plano en 2D generado en el mismo programa.

Figura 6.4

Modelo 3D de la pieza a inyectar.



Nota: La Brida deshidratador modelada en Solidworks, de acuerdo a la toma precisa de sus medidas reales.

6.2.2. Selección del material a inyectar

El diseño del molde que se plantea corresponde para la fabricación de una pieza de Grilon; esto corresponde como disposición de la empresa a quien se les abastecerá estas piezas. Por ello, la selección del polímero debe ser precisa, en este caso del Nylon a utilizar. Para esto se tomará una poliamida PA6 con el que ya se trabaja en Taller Tenesaca, luego, por supuesto, del estudio correspondiente de sus características, mismas que cumplen con una buena resistencia mecánica así como de tenacidad, lo que es crucial para una brida de sujeción que debe ser capaz de soportar fuerzas en muchos casos, así como resistir tensiones y cargas. Además, del fácil procesamiento del Nylon PA6 y su durabilidad y longevidad (ver Anexo C)

6.2.3. Diseño del molde

Se detalla a continuación el diseño del molde de inyección por medio del modelado de cada uno de los particulares que lo conforman.

6.2.3.1. Material del molde

Tabla 6.1

Tabla de ponderación (Selección de material de construcción general).

Criterios	Acero P20 - St-37	Acero 4140	Acero inoxidable
Aplicación	5	3	1
Costo	3	5	1
Maquinabilidad	5	5	3
Accesibilidad	4	5	3
Mantenibilidad	5	1	5
TOTAL	22	19	13

Excelente = 5 Muy buena = 4 Buena = 3 Regular =2 Mala = 1

Nota: La Tabla presenta la comparacion entre los distintos tipos de materiales para la construccion general del molde.

6.2.3.2. Material del molde

Tabla 6.2

Tabla de ponderación (Selección de material para construcción de placas de moldeo).

Criterios	Acero St-37	Acero P20	Acero M238 N	Acero Inoxidable
Costo inicial	3	4	2	4
Dureza y resistencia al desgaste	4	3	5	3
Capacidad de pulido	3	4	3	4
Tratamientos térmicos	4	4	5	3
Tiempo de mecanizado	3	4	3	2
Vida útil del molde	4	4	5	3
Conductividad térmica	3	3	4	4
Resistencia a la corrosión	2	3	4	3
Disponibilidad del material	4	3	3	4
Facilidad de mantenimiento	3	3	4	3
TOTAL	33	34	38	33

Excelente = 5 Muy buena = 4 Buena = 3 Regular =2 Mala = 1

Nota: La Tabla presenta la comparacion entre los distintos tipos de materiales para la construccion de las placas de moldeo.

6.2.3.3. Sistema de alimentación

Tabla 6.3

Tabla de ponderación (Alternativas de tipo de sistema de moldeo).

Criterios	Molde de colada caliente	Molde de placas	Molde de 3 placas	Molde de 4 placas
Costo inicial	3	4	2	5
Tiempo de ciclo	4	3	5	3
Complejidad geométrica	3	4	3	5
Ciclos de producción	4	4	5	3
Flexibilidad para cambios	3	4	3	5
Durabilidad y mantenimiento	4	4	5	3
Eficiencia en la refrigeración	3	3	4	5
Inserciones y componentes	2	3	4	5
Requisitos de espacio	4	3	3	5
Requisitos de material	3	3	4	5
TOTAL	32	38	33	37
Excelente = 5 Muy buena = 4	Buena = 3	Regular =2	Mala = 1	

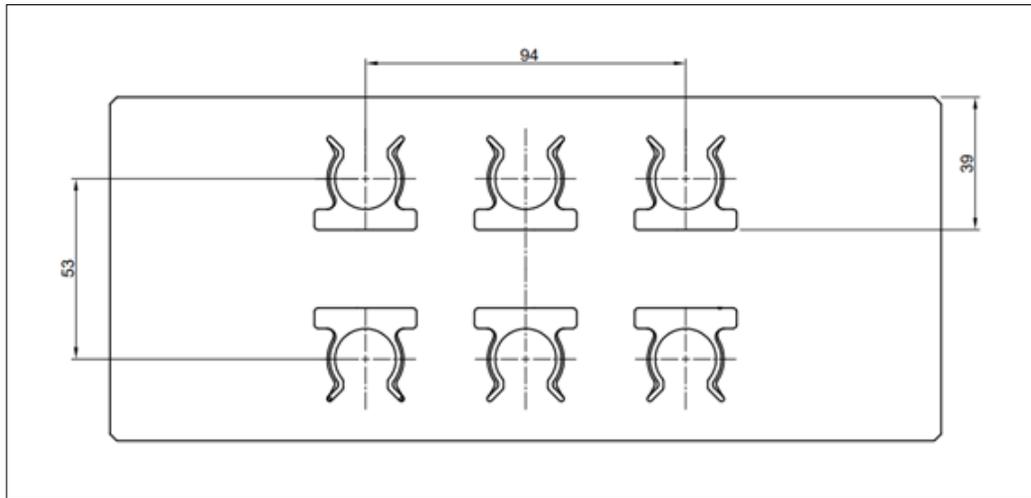
Nota: La Tabla presenta la comparacion entre los distintos tipos de sistema de moldeo.

6.2.3.3.1. Disposición de cavidades

La disposición de cavidades en una configuración de cuadrícula sigue un diseño geométrico limpio y estructurado, la implementación de esta distribución se guía por consideraciones específicas para garantizar una uniformidad efectiva. En la figura 6.5 se muestra la disposición de cavidades establecida.

Figura 6.5

Distribución de cavidades.



Nota: En la figura se muestra la distribución de cavidades.

6.2.3.3.2. Disposición de canales de distribución

La disposición de los canales de distribución constituye una fase crítica en la optimización del proceso de fabricación de componentes plásticos. Este proceso estratégico está centrado en la configuración eficiente de la red logística que canaliza el material plástico fundido hacia las cavidades del molde. En la figura 6.6 se muestra la disposición de los canales de distribución.

Tabla 6.4

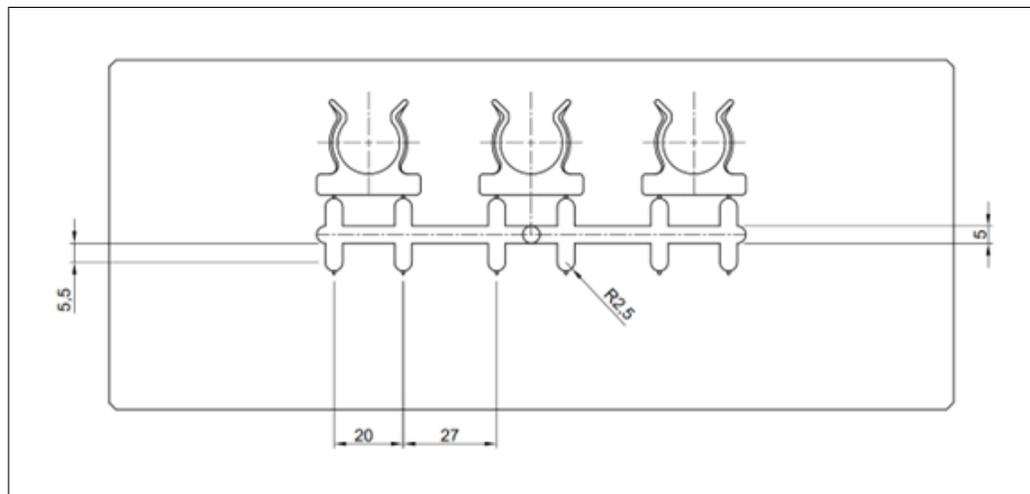
Tabla de ponderación (Alternativas de tipos de canales de distribución).

Criterios	C. rectangular	C. Trapezoidal	C. Circular	C. semicircular
Facilidad de fabricación	3	5	2	4
Distribución uniforme de material	4	3	5	2
Reducción de residuos	3	4	2	3
Eficiencia en la refrigeración	4	4	3	3
Minimización de obstrucciones	3	5	2	4
Facilidad de limpieza	4	5	3	3
Resistencia a la corrosión	3	4	2	4
Costo de fabricación	3	2	2	5
Estética	4	5	3	3
Adaptabilidad a diferentes geometrías	4	5	3	4
TOTAL	31	30	35	42
Excelente = 5 Muy buena = 4 Buena = 3 Regular = 2 Mala = 1				

Nota: La Tabla presenta la comparacion entre los distintos tipos de canales de distribucion.

Figura 6.6

Disposición de canales de distribución.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los canales de distribución.

6.2.3.3.3. Disposición de canales de estrangulación

La precisión de dimensiones óptimas de los canales de estrangulamiento, contribuyen a un control preciso del flujo de material durante el proceso de inyección y, por ende, a la calidad y consistencia de las piezas moldeadas. En la figura 6.7 se muestra la disposición de los canales de distribución.

Tabla 6.5

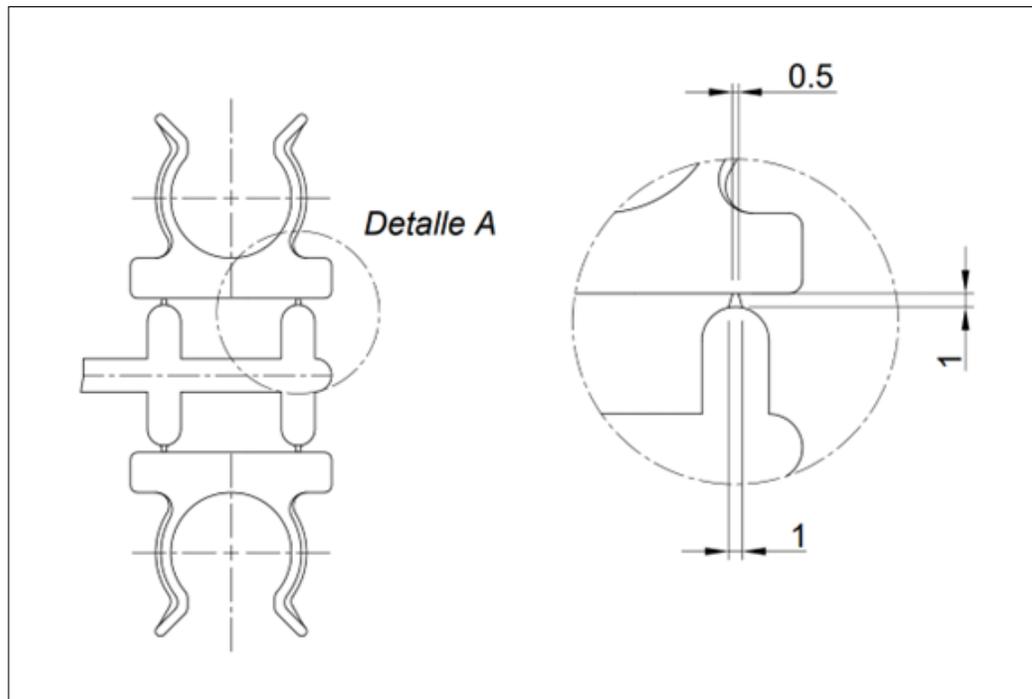
Tabla de ponderación (Alternativas de tipos de canales de estrangulamiento).

Criterios	Entrada Cónica	Entrada de Canal o Directa	Entrada de Diafragma
Facilidad de instalación	3	5	2
Costo inicial	4	3	5
Mantenimiento	3	4	2
Eficiencia energética	4	4	3
Flexibilidad de diseño	3	5	2
Durabilidad	4	5	3
Estética	3	4	2
Adaptabilidad a terrenos	3	2	2
Resistencia a obstrucciones	4	5	3
Cumplimiento normativo	4	5	3
TOTAL	35	42	27
Excelente = 5 Muy buena = 4	Buena = 3	Regular =2	Mala = 1

Nota: La Tabla presenta la comparación entre los distintos tipos de canales de estrangulamiento.

Figura 6.7

Disposición de canales de estrangulación.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los canales de estrangulación.

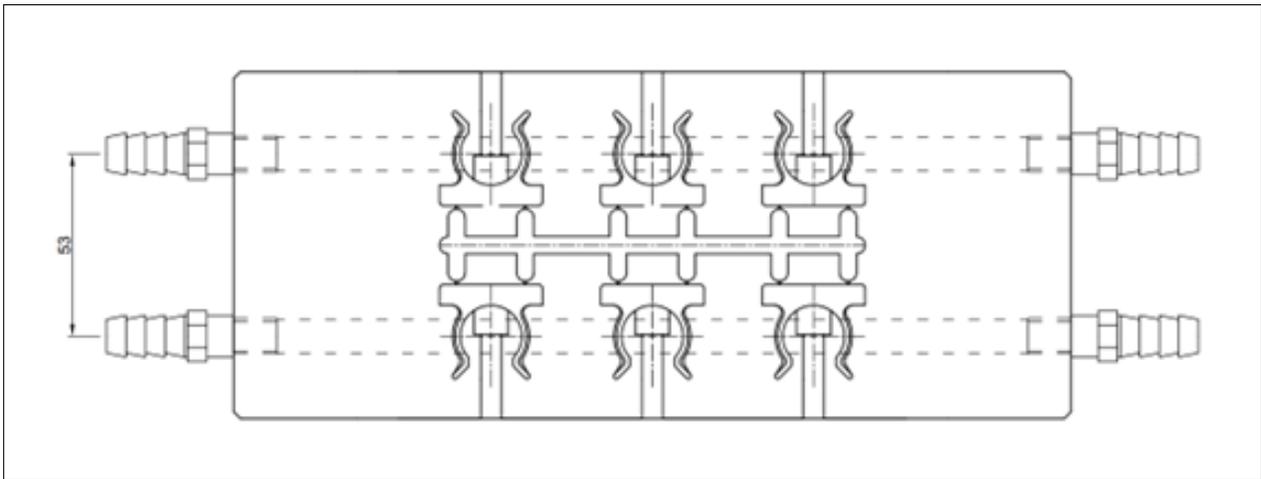
6.2.3.4. Sistema de refrigeración

6.2.3.4.1. Posicionamiento de los canales de refrigeración

El posicionamiento de los canales de refrigeración en un molde de inyección es una consideración crítica, la variabilidad en la geometría del molde influirá directamente en la configuración y disposición óptima de las líneas de refrigeración para garantizar una refrigeración uniforme y eficiente en todas las áreas críticas del molde. En las figuras 6.8 y 6.9 se muestra la disposición de de los canales de refrigeración establecida desde diferentes perspectivas.

Figura 6.8

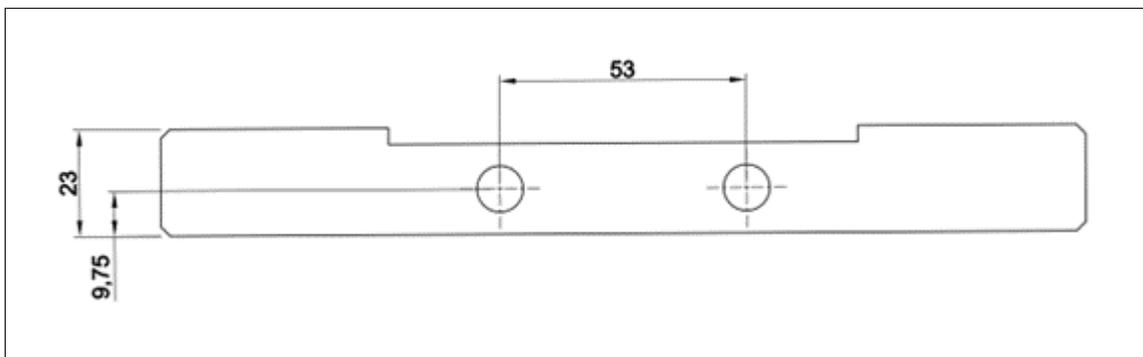
Posicionamiento de los canales de refrigeración.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los canales de refrigeración desde una perspectiva superior.

Figura 6.9

Posicionamiento de los canales e refrigeración.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los canales de refrigeración desde una perspectiva frontal.

6.2.3.5. Sistema de expulsión

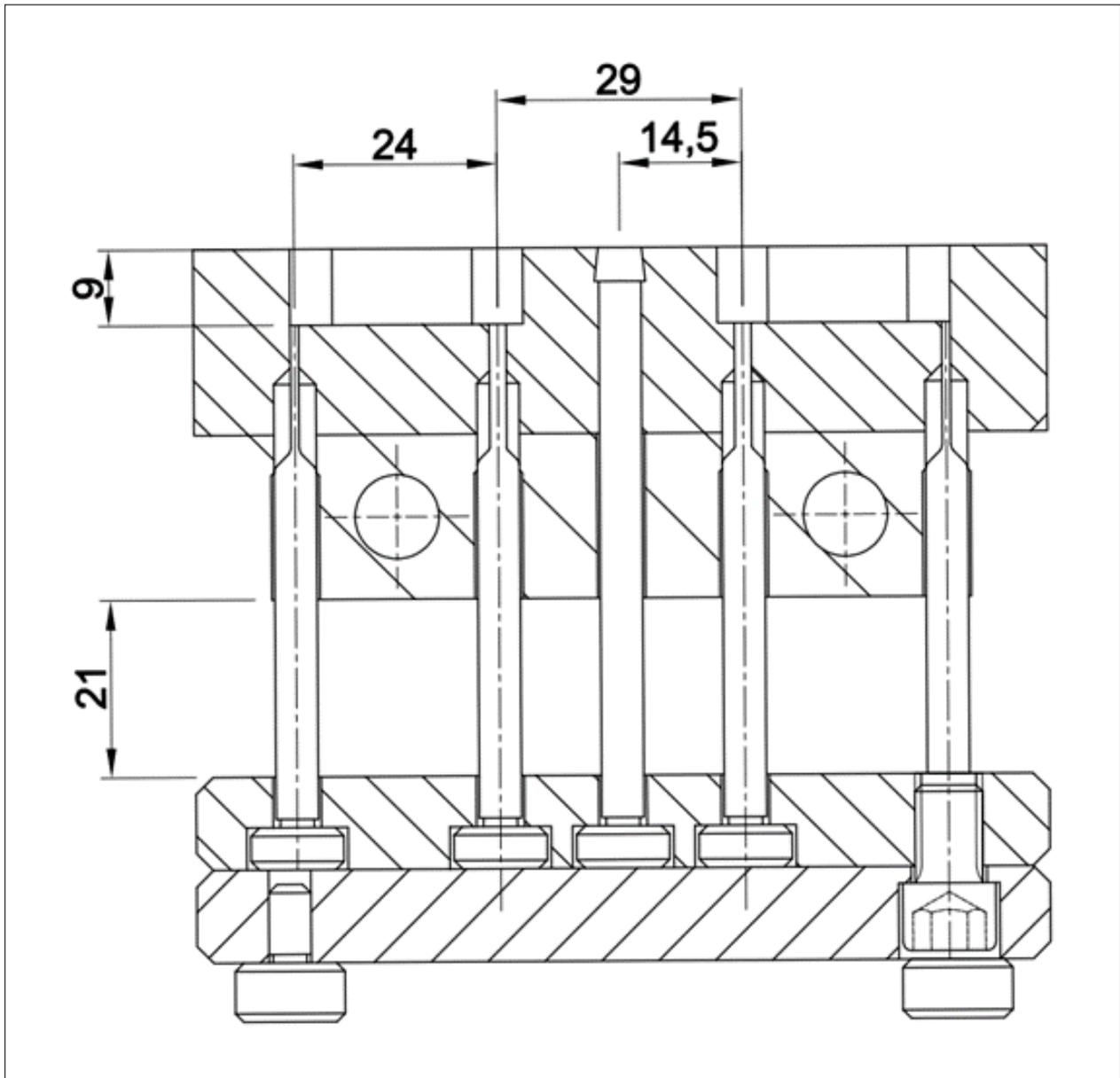
6.2.3.5.1. Posicionamiento de los palillos de expulsión

Para realizar la disposición de los palillos de expulsión es esencial tener información sobre la distancia entre la pieza a inyectar y la placa de expulsión, ya que esta medida influirá directamente en la longitud de los expulsores, una vez determinada la longitud de los expulsores,

el siguiente paso consiste en estimar el diámetro que tendrán estos expulsores, se ha establecido una estimación inicial de valores que varían entre 1 mm y 2 mm. En las figuras 6.10 y 6.11 se muestra la disposición de los canales de refrigeración establecida desde diferentes perspectivas.

Figura 6.10

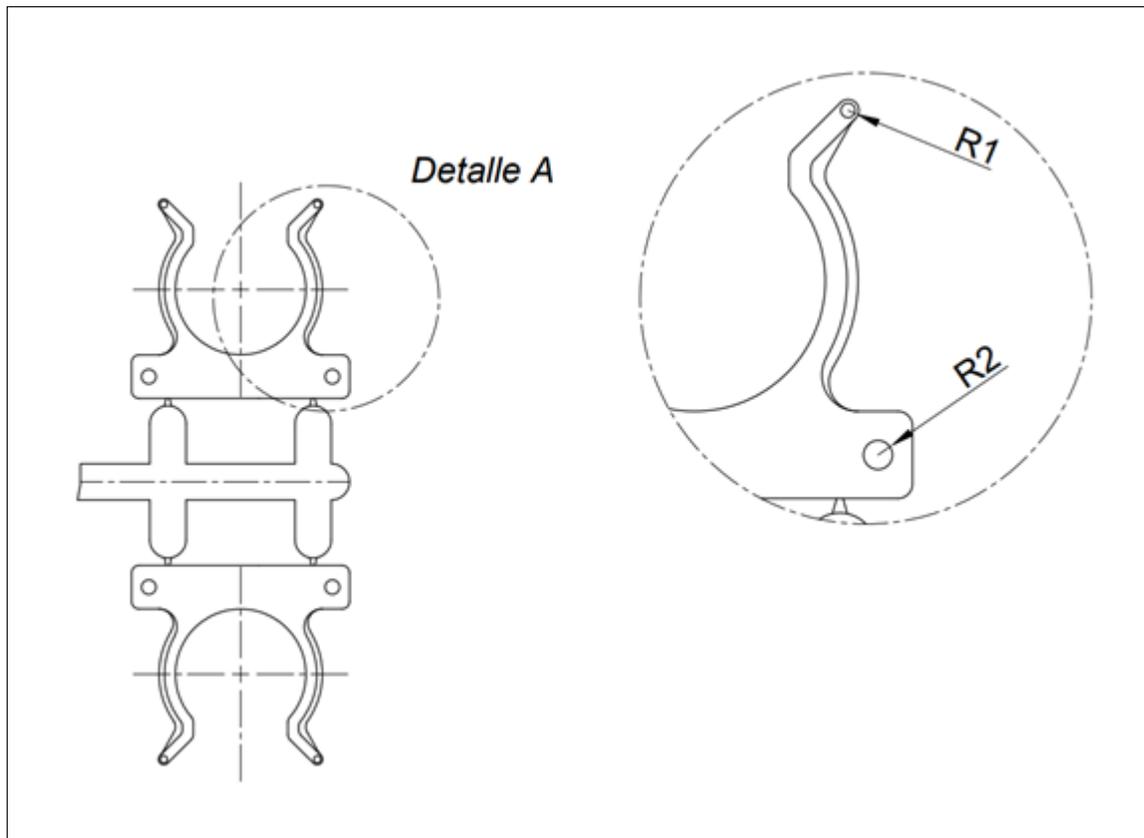
Posicionamiento de los canales de refrigeración.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los palillos de expulsión, se debe tener en cuenta que la cota C1 = 21 mm tiene que ser siempre mayor a la cota C2 = 9 mm, para que se logre la correcta expulsión.

Figura 6.11

Posicionamiento de los canales de refrigeración.



Nota: En la figura se muestra la disposición de los agujeros guías de los palillos de expulsión posicionados en las cavidades.

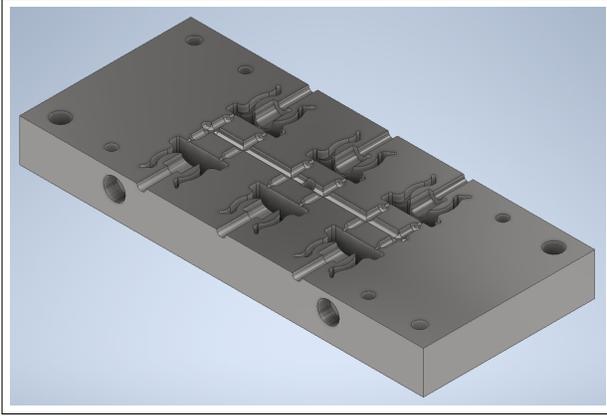
6.2.3.6. Placa móvil

Para ?, la placa móvil es la parte del molde que se mueve durante el ciclo de inyección. Contiene las cavidades del molde, que son las partes del molde que forman la parte externa de la pieza moldeada. La placa hembra se coloca en la placa móvil para formar las características externas de la pieza moldeada y permite que el material fundido se inyecte en las cavidades del molde para crear la forma deseada. Este diseño se hace y recomienda en acero, para nuestro caso en particular, un acero al carbón M2 para resistir las altas presiones y temperaturas del proceso de inyección, la placa fija presenta una geometría precisa y compleja que refleja la configuración interna de la pieza final. Mediante el uso de software CAD avanzado, se ha modelado esta placa con exactitud, asegurando la reproducibilidad precisa de la forma deseada en cada ciclo de producción. Se recomienda ser tratada con recubrimientos especiales para su construcción, para mejorar la resistencia al desgaste y la durabilidad, contribuyendo así a la calidad y longevidad

del molde. En la Figura 6.6, se presenta el modelado tridimensional de la placa móvil.

Tabla 6.6

Placa móvil.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: Nitrurado

Función: Abrir y cerrar el molde, permitiendo la extracción de la pieza moldeada

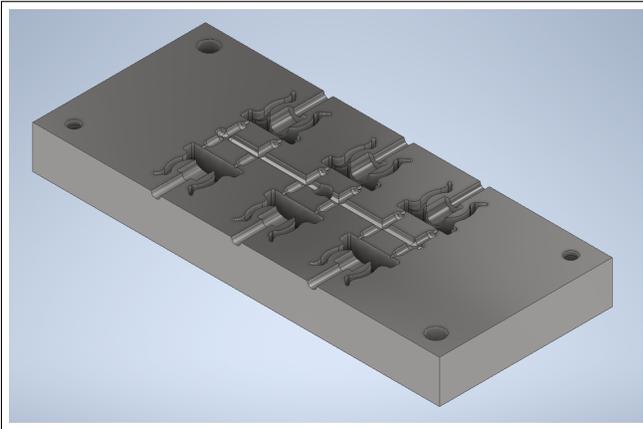
Nota: En la Figura muestra la placa móvil, que es la parte del molde que contiene las cavidades y se mueve durante el ciclo de inyección para formar las características externas de la pieza moldeada.

6.2.3.7. Placa fija

Para ?, la placa fija del molde de inyección (ver 6.7) constituye la mitad dinámica del sistema y alberga el núcleo, definiendo así la forma externa de la pieza moldeada. Del mismo modo que la hembra o placa fija, se recomienda y diseña con acero al carbón M2 para soportar las demandas del proceso de inyección, Esta, como todas las partes que componen al molde, se modelan con precisión mediante software CAD, garantizando una reproducción exacta y consistente de la geometría externa deseada en cada ciclo de producción. Su capacidad para desplazarse permite la apertura y cierre del molde, facilitando la extracción de la pieza moldeada. Se recomienda para una construcción, que la superficie sea tratada con recubrimientos especiales para mejorar la resistencia al desgaste y la durabilidad, contribuyendo así a la eficiencia y longevidad del molde.

Tabla 6.7

Placa fija.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: Nitrurado

Función: Proporciona soporte estructural y alinea los componentes del molde

Nota: En la Figura se muestra la placa fija, misma que proporciona estabilidad estructural y alberga el núcleo, formando las características internas de la pieza moldeada.

6.2.3.8. Anillo de compuerta

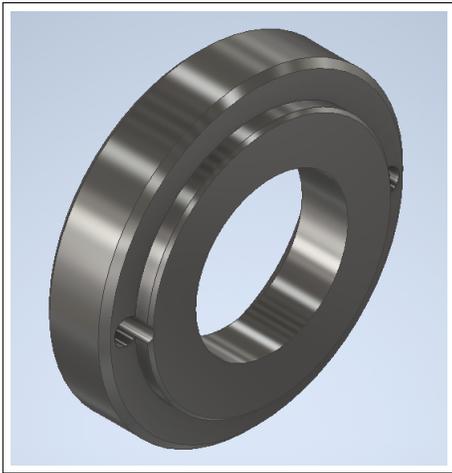
Para ?, el anillo de compuerta en el diseño de un molde de inyección constituye una pieza esencial del sistema de compuertas, un componente crítico para la introducción controlada y direccionada del material plástico fundido hacia la cavidad del molde. Se construye típicamente con aceros endurecidos de alta resistencia a las temperaturas y presiones extremas asociadas con el proceso de inyección y, para nuestro caso, como las anteriores partes ya descritas, se hace uso de acero al carbón M2 como material base. Este anillo presenta una geometría específica que facilita la distribución uniforme del plástico fundido (ver Figura 6.8).

Se diseña con precisión utilizando software CAD, el anillo de compuerta asegura una entrada eficiente del material plástico y contribuye a minimizar problemas como desigualdades en el llenado, deformaciones o defectos en las piezas moldeadas. La superficie del anillo de compuerta puede ser tratada con recubrimientos especiales para mejorar la resistencia al desgaste, prolongando así la durabilidad y eficacia del componente en el ciclo repetitivo de la producción por inyección.

Este componente desempeña un papel crucial en la optimización del proceso de inyección, influyendo directamente en la calidad y consistencia de las piezas finales fabricadas en el molde.

Tabla 6.8

Anillo de compuerta.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: s/t

Función: Guía y controla el flujo del material fundido hacia la cavidad del molde

Nota: En la Figura se muestra el anillo de compuerta correspondiente al diseño del conjunto que conecta con el bebedero.

6.2.3.9. Bebedero

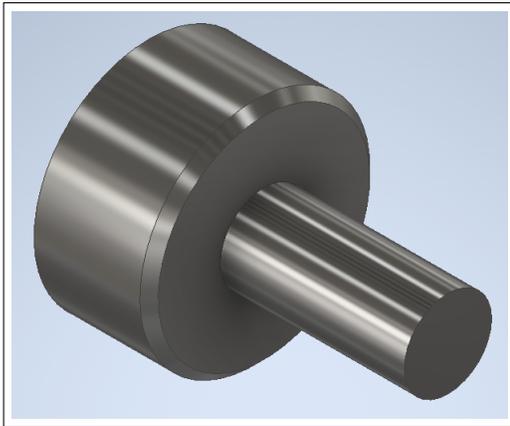
Para el bebedero es un elemento clave en el diseño del molde de inyección, se erige como la entrada principal por donde fluye el material plástico fundido hacia la cavidad del molde. Se construyen con materiales resistentes al calor y a la corrosión, para el diseño de esta Tesis, con acero al carbón M2. El bebedero desempeña un papel fundamental en el control del flujo del plástico durante el proceso.

Presenta una geometría específica (ver Figura 6.9) que asegura la distribución uniforme del material plástico en la cavidad del molde. Su forma y ubicación estratégicas buscan minimizar la formación de defectos, como marcas de flujo o puntos de unión no deseados en las piezas moldeadas.

Contribuye a la eficiencia del proceso de inyección, garantizando un llenado uniforme y controlado de la cavidad del molde. La elección de materiales de alta resistencia y el diseño preciso son esenciales para optimizar la durabilidad y la calidad del bebedero a lo largo de múltiples ciclos de producción.

Tabla 6.9

Bebedero.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: s/t

Función: Suministra el material fundido directamente a la cavidad de moldeo para la formación de la pieza

Nota: En la Figura se muestra el modelo tridimensional del bebedero, diseñado por medio de software CAD.

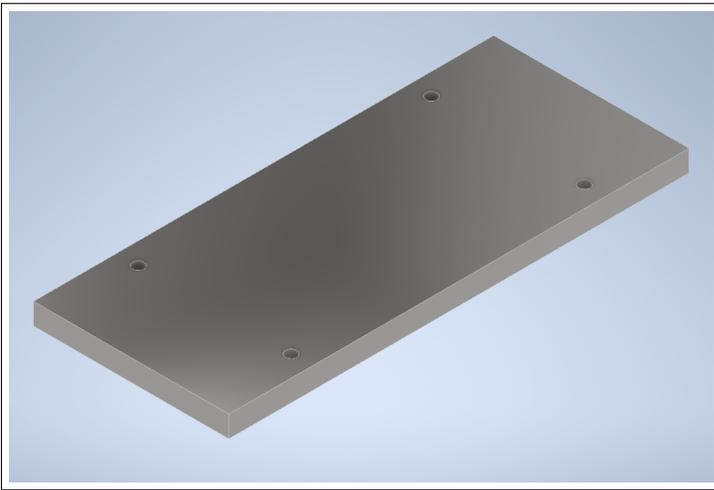
6.2.3.10. Cajón base

De acuerdo a Gutiérrez (2006), el cajón base en el diseño de un molde de inyección se presenta como una estructura fundamental que sustenta y alinea los diferentes componentes del molde. Para el diseño de esta pieza, como las siguientes desde ahora, se propone como material base al hierro, resistente para garantizar estabilidad y durabilidad y a la vez para minimizar costos. El cajón base cumple una función esencial en la integridad estructural del molde.

El cajón base asegura una alineación precisa de las placas fija y móvil, proporcionando la base sobre la cual se montan los demás elementos del molde. Su geometría específica y su resistencia a las fuerzas y presiones involucradas en el proceso de inyección son esenciales para mantener la estabilidad del molde durante ciclos repetidos de producción. Se observa su modelo en la Figura 6.10.

Tabla 6.10

Cajón base.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: Templado

Función: Proporciona la base sólida y estable donde se montan los expulsores del molde

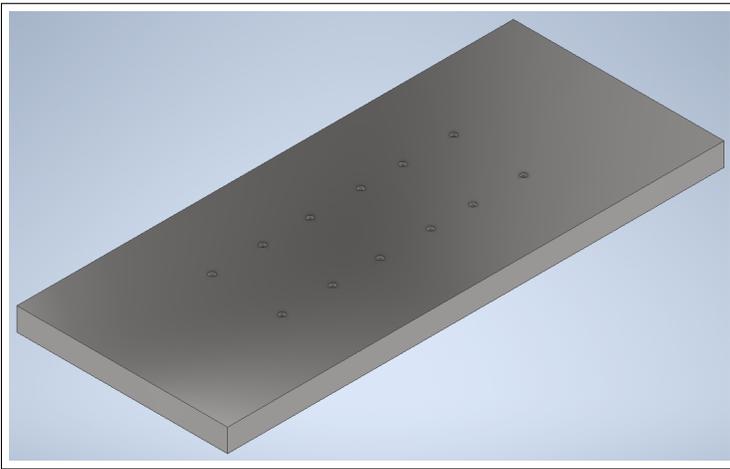
Nota: En la Figura se muestra el modelo del cajón base que corresponde al molde de inyección que se propone como Proyecto de Titulación.

6.2.3.11. Cajón de expulsores

El cajón de expulsores en el diseño del molde estará encargado de albergar y guiar los sistemas de expulsión; asegura la alineación correcta y el movimiento suave de los elementos como las varillas y los pernos. Su geometría específica se adapta a la disposición de los expulsores y contribuye a una operación eficiente del sistema. Se observa en la Figura 6.11

Tabla 6.11

Cajón de expulsores.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: Templado

Función: Impulsa la pieza moldeada fuera del molde después del ciclo de inyección

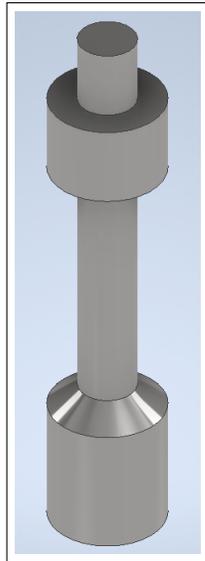
Nota: En la Figura se muestra el modelo del cajón de expulsores que se diseñó como parte del molde de inyección propuesto.

6.2.3.12. Eje de separación

Este eje actúa como un punto de pivote alrededor del cual se lleva a cabo el movimiento de las placas del molde. Se diseña con hierro para reducir costos y manteniendo un material resistente para garantizar estabilidad y durabilidad (ver Figura 6.12).

Tabla 6.12

Eje de separación.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Encargado de perforar el agujero pasante en la brida, facilita la colocación de un tornillo para asegurar la sujeción

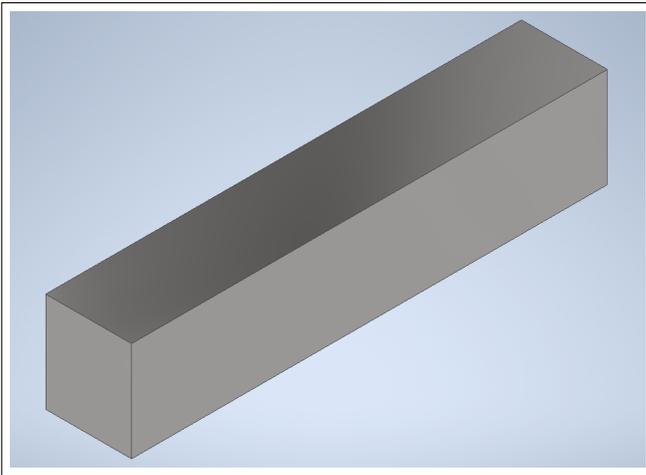
Nota: En la Figura se muestra el modelo del eje de separación que se diseñó como parte del molde de inyección propuesto.

6.2.3.13. Paralelas

Es el grosor de la estructura de soporte que sostiene y refuerza diferentes componentes del molde, como las placas fija y móvil, así como otros elementos clave. Se diseña con hierro y es un aspecto crítico que tiene un impacto directo en su resistencia, estabilidad y durabilidad. Se observa en la Figura 6.13.

Tabla 6.13

Espesor soporte.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Asegura el espacio del sistema de expulsión entre placas y proporciona robustez al molde

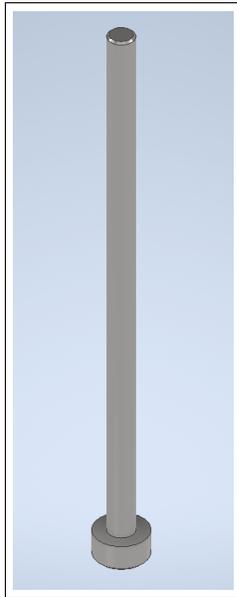
Nota: En la Figura se muestra el modelo del espesor soporte que se determina, teniendo en cuenta la geometría específica del molde y la elección del hierro como material base.

6.2.3.14. Expulsores

En la Figura 6.14 se observa el modelo propuesto para los expulsores. El diseño abarca 24 de ellos, 12 de 3 mm de diámetro y 12 de 1 mm.

Tabla 6.14

Expulsores.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: Normalizado

Función: Desalojan la pieza moldeada del molde una vez finalizado el proceso de inyección

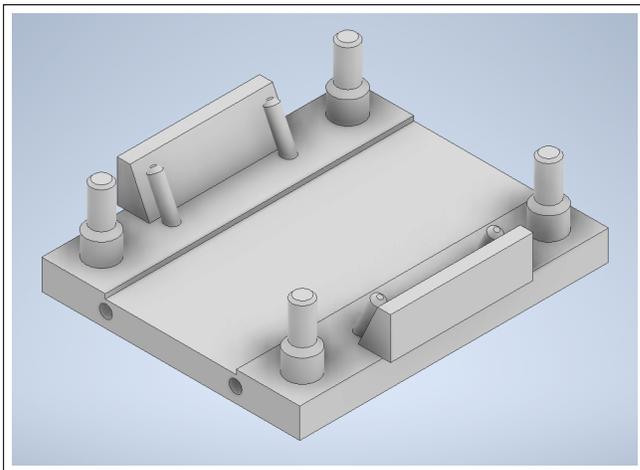
Nota: En la Figura se muestra el modelo 3D de los expulsos.

6.2.3.15. Bujes

Se diseñan los bujes como componentes cilíndricos que se utilizan para guiar y alinear diferentes partes móviles del molde, como las placas fija y móvil, así como los elementos de expulsión. Estos bujes desempeñan un papel crucial en el aseguramiento de una operación suave y precisa del molde durante los ciclos de inyección. Vale recalcar que para este diseño se hace uso de acero al carbón M2. Se observa en la Figura 6.15

Tabla 6.15

Bujes.



Material: Acero al carbón M2

Tratamiento térmico: Templado

Función: Guiar y soportar los componentes móviles, asegurando un movimiento suave y preciso durante el ciclo de inyección

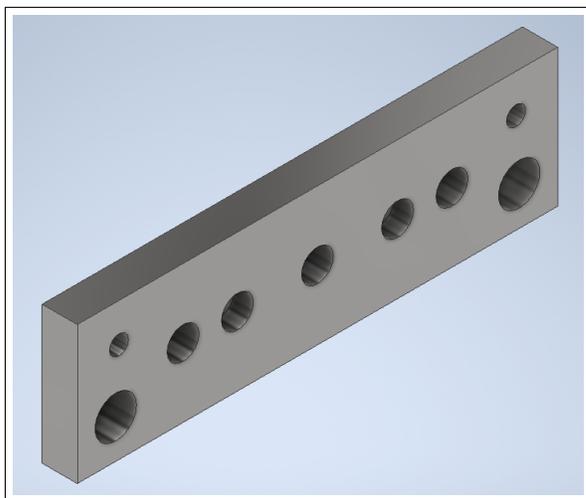
Nota: En la Figura se muestra el modelo de los bujes para lo que corresponde el diseño del molde de inyección de mordazas.

6.2.3.16. Separación placa móvil 1

En la Figura 6.16 se observa el sólido de la separación para la placa móvil 1.

Tabla 6.16

Separación placa móvil 1.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Parte clave de las mordazas que empujan y permiten hacer el agujero pasante en la brida

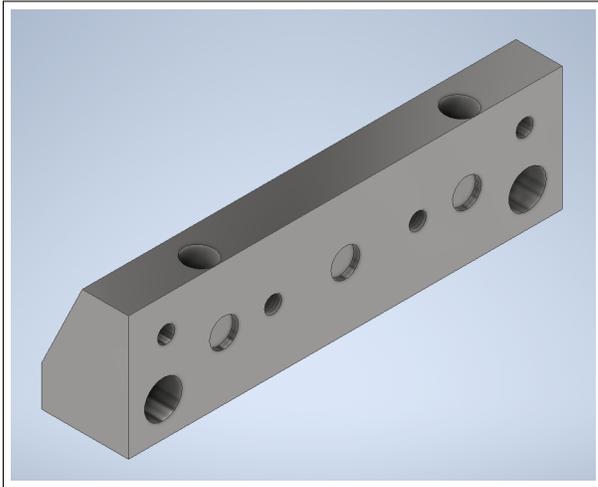
Nota: En la Figura se muestra el modelo de la separación para la placa móvil 1.

6.2.3.17. Separación placa móvil 2

En la Figura 6.17 se observa el sólido de la separación para la placa móvil 2.

Tabla 6.17

Separación placa móvil 2.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Parte clave de las mordazas que empujan y permiten hacer el agujero pasante en la brida

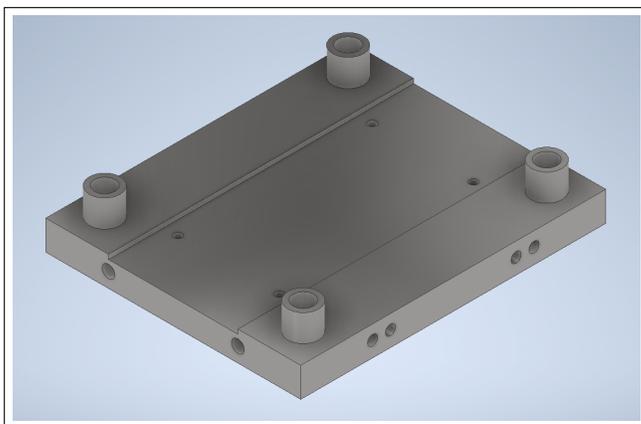
Nota: En la Figura se muestra el modelo de la separación para la placa móvil 2.

6.2.3.18. Soporte de bujes

En la Figura 6.18 se muestra el sólido creado para el soporte de los bujes.

Tabla 6.18

Soporte de bujes.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Garantiza la alineación adecuada y el movimiento suave de los componentes móviles.

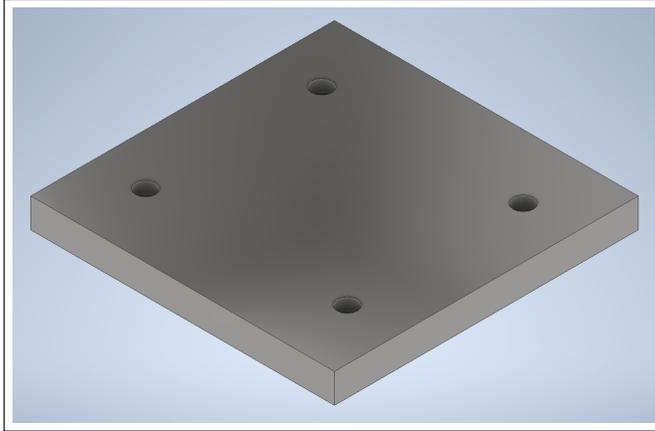
Nota: En la Figura se muestra el modelo para el soporte de bujes.

6.2.3.19. Sujeción placa fija

En la Figura 6.19 se muestra el sólido creado para la sujeción de la placa fija.

Tabla 6.19

Sujeción placa fija.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Sostiene la placa fija del molde en su posición adecuada.

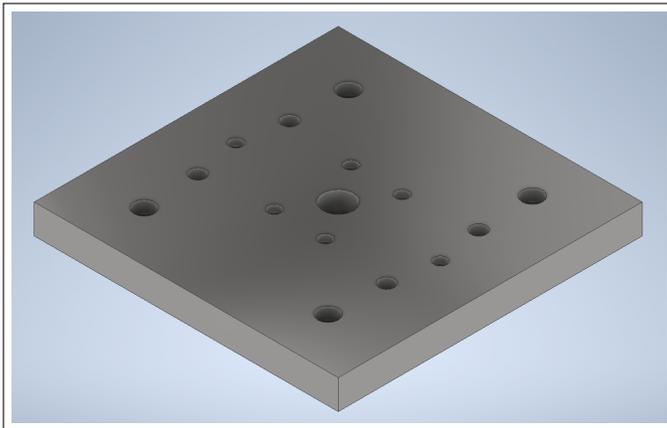
Nota: En la Figura se muestra el modelo para la sujeción de la placa fija.

6.2.3.20. Sujeción placa móvil

En la Figura 6.20 se muestra el sólido creado para la sujeción de la placa móvil.

Tabla 6.20

Sujeción placa móvil.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Sostiene la placa móvil del molde en su posición adecuada.

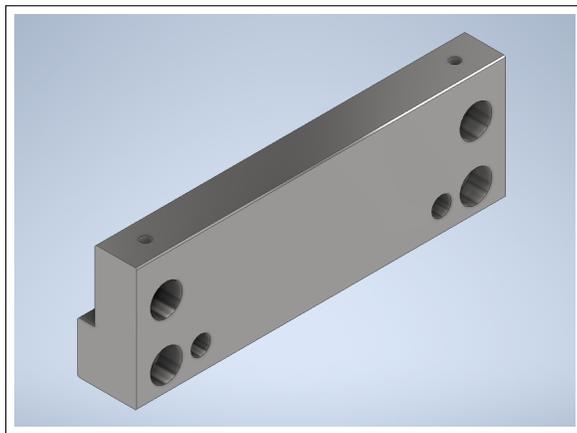
Nota: En la Figura se muestra el modelo para la sujeción de la placa móvil.

6.2.3.21. Soporte guía

Este componente se diseña para proporcionar guía y alineación precisa entre diferentes partes móviles del molde, como las placas fija y móvil, o cualquier otro elemento que necesite un movimiento controlado. Es esencial para mantener la estabilidad y la precisión en el funcionamiento del molde de inyección. Su diseño y ubicación estratégica son factores clave para el rendimiento efectivo del molde en la producción de piezas plásticas de alta calidad. Se muestra en la Figura 6.21

Tabla 6.21

Soporte guía.



Material: Hierro

Tratamiento térmico: s/t

Función: Soportan y alinean las guías de las mordazas del molde.

Nota: En la Figura se muestra el modelo para el soporte guía.

6.2.4. Cálculos generales

6.2.4.1. Datos de entrada:

Tabla 6.22

Datos de entrada para cálculos generales.

Descripción	Valor
Material a inyectar	Grilon BFZ 3 Natural - PA6
Contracción	1.3
Densidad del sólido	1.12 g/cm ³
Conductividad térmica	0.28 W/(m·°C)
Capacidad calorífica específica	1670 J/(kg·°C)
Temperatura adecuada del molde	75 ° C
Temperatura procesado recomendada	260 °C
Temperatura de desmoldeo	60 °C

Nota: Se observan los datos de donde partirá el desarrollo de los cálculos generales, tomados del Anexo C. Por los Autores.

6.2.4.2. Masa de plástico a inyectar:

$$\begin{aligned}M_{\text{pieza}} &= V \cdot \rho \cdot n & (5.10) \\M_{\text{pieza}} &= 6.76 \text{ cm}^3 \cdot 1.06 \text{ g/cm}^3 \cdot 6 \\M_{\text{pieza}} &= 42.994 \text{ g}\end{aligned}$$

Donde,

M_{pieza} = masa de plástico a inyectar

V = volumen de la pieza

ρ = densidad del material

n = número de piezas que se inyectaran a la vez

El volumen de la pieza se obtiene directamente dentro de las propiedades del software donde fue modelada, mientras que la densidad del material, de la ficha técnica de este (ver Anexo C).

6.2.4.3. Número de cavidades:

$$Cu = \frac{\text{Piezas} * \text{año}}{200 \cdot \left(\frac{3600}{Ti \times 2}\right) \cdot 1.75} \quad (5.1)$$
$$Cu = \frac{180000}{200 \cdot \left(\frac{3600}{20s \times 2}\right) \cdot 1.75}$$
$$Cu = 5.71$$

Donde,

Piezas * año = piezas requeridas anualmente

Ti = tiempo de inyección

Cu = número de cavidades

Taller Tenesaca estima un total de producción de 180000 piezas por año para abastecer de 15000 piezas mensualmente a la empresa de línea blanca a la que sirve como proveedor. El tiempo de inyección se obtuvo simulando el modelo de la pieza en Moldflow. El resultado de 5.71 cavidades se aproxima a las 6 que se plantea para el diseño del molde, por lo que cumple.

6.2.4.4. Capacidad de inyección

6.2.4.4.1. Cálculo de la fuerza de cierre:

$$F = P \cdot A \quad (5.9)$$
$$F = 6.741 \times 10^6 \text{ Pa} \times 0.004521 \text{ m}^2 \times (6) \times \frac{1 \text{ kg}}{9.91 \text{ N}} \times \frac{1 \text{ Tn}}{1000 \text{ kg}}$$
$$F = 18.622 \text{ Tn}$$

Donde,

F = fuerza de cierre

A = área de la superficie de las piezas

P = presión de inyección

El resultado de la fuerza de cierre obtenida es menor a la de la inyectora (ver Anexo F), haciendo posible el proceso de inyección.

$$18.622 \text{ Tn} < 122 \text{ Tn}$$

La presión de inyección se obtiene por medio de simulación con el modelo 3D de la pieza a inyectar en Moldflow, mientras que el área de la superficie de la pieza, a través del software CAD por la que fue modelada. Esta última se multiplica por seis, ya que es la cantidad que se inyectara por ciclo.

6.2.4.4.2. Capacidad de inyección:

$$Q = P \cdot n \quad (5.5)$$

$$Q = 7.166 \text{ g} \times 6$$

$$Q = 42.996 \text{ g}$$

Donde,

Q = capacidad de inyección

P = peso del material por ciclo

n = número de cavidades

El peso del material por ciclo es la cantidad de material plástico que se inyecta en una sola cavidad en un ciclo de moldeo. Se calcula utilizando la densidad del material plástico y el volumen de la pieza. Se detalla a continuación:

$$P = \rho \cdot V \quad (5.12)$$

$$P = 1.06 \text{ g/cm}^3 \cdot 6.76 \text{ cm}^3$$

$$P = 7.166 \text{ g}$$

Donde,

P = peso del material por ciclo

ρ = densidad del material

V = volumen de la pieza

El resultado de la capacidad de inyección obtenida es menor a la de la inyectora (ver Anexo F), cumpliendo y permitiendo el proceso de inyección.

$$42.996 \text{ g} < 110 \text{ g}$$

6.2.4.4.3. Capacidad de plastificación:

$$Q = V \cdot F \tag{5.6}$$

$$Q = 982.083 \frac{\text{g}}{\text{ciclo}} \cdot \frac{1}{30} \frac{\text{ciclo}}{\text{segundo}}$$

$$Q = 32.74 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Donde,

Q = capacidad de plastificación

V = volumen de plastificación por ciclo

F = frecuencia de inyección

El volumen de plastificación por ciclo se refiere al volumen de plástico que la máquina puede fundir y plastificar en un solo ciclo de operación. Durante este proceso, el plástico se funde y se convierte en una masa plastificada que está lista para ser inyectada en el molde. Se calcula a continuación:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot L \cdot N \quad (5.7)$$

$$V = \pi \left(\frac{3.2 \text{ cm}}{2} \right)^2 \cdot 5.76 \text{ cm} \cdot 2$$

$$V \approx 926.493 \text{ cm}^3$$

$$V = 926.493 \text{ cm}^3 \cdot 1.06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$V \approx 982.083 \text{ g}$$

Donde,

V = volumen de plastificación por ciclo

D = diámetro del tornillo

L = longitud efectiva del tornillo

N = número de ciclos por minuto

El diámetro y la longitud efectiva del tornillo son tomados de la ficha técnica de la inyectora dispuesta para el desarrollo de este Trabajo de Titulación (ver Anexo F) y, el número de ciclos por minuto de la simulación propuesta en Moldflow que con la pieza a inyectar establece un rango de tiempo de entre 30 y 35 segundos, tomando 2 ciclos por minuto como lo más desfavorable.

La frecuencia de inyección es la cantidad de ciclos de inyección que la máquina de moldeo por inyección puede realizar en un período de tiempo determinado, generalmente se expresa en ciclos por segundo o ciclos por minuto. Se calcula aquí:

$$\text{Frecuencia de Inyección} = \frac{\text{Número de Ciclos}}{60 \text{ s}} \quad (5.11)$$

$$\text{Frecuencia de Inyección} = \frac{2 \text{ ciclos}}{60 \text{ s}}$$

$$\text{Frecuencia de Inyección} = \frac{1}{30} \text{ ciclos/s}$$

Multiplicando el volumen de plastificación por ciclo por la frecuencia de inyección, se obtiene la capacidad total de plastificación por unidad de tiempo que da 32.74 g/s, siendo esta menor a la de la inyectora (ver Anexo F) y haciendo posible el proceso de inyección:

$$32.74 \text{ g/s} < 35 \text{ g/s}$$

6.2.4.4.4. Presión de inyección:

$$P = F/A$$

$$P = \frac{1200000 \text{ N}}{91504.663 \text{ mm}^2}$$

$$P = 13.114 \text{ MPa}$$

Donde,

P = presión de inyección

F = fuerza de sujeción de la máquina

A = área transversal del canal de inyección

El área de la sección transversal del canal de inyección se obtiene por medio del software CAD con el que fue diseñado, mientras que la fuerza de sujeción de la máquina de la ficha técnica de la inyectora (ver Anexo E).

El resultado obtenido es el adecuado para realizar el proceso de inyección, considerando que su valor es menor al nivel máximo de presión al que va a inyectar la máquina seleccionada, cumpliendo así:

$$13.114 \text{ Mpa} < 229 \text{ Mpa}$$

6.2.4.5. Tiempo de ciclo de inyección

$$t_T = t_L + t_R + t_K \tag{5.2}$$

$$t_T = 1.25 \text{ s} + 6 \text{ s} + 10.180 \text{ s}$$

$$t_T = 17.43 \text{ s}$$

El tiempo total del ciclo de inyección es producto de la suma del tiempo de llenado (t_L), el tiempo de reinicio (t_R) y el tiempo de enfriamiento (t_K). Se obtiene cada uno a continuación:

6.2.4.5.1. Tiempo de llenado

$$t_L = \frac{\dot{m}}{W}$$
$$t_L = \frac{10 \text{ g/s}}{8 \text{ g}}$$
$$t_L = 1.25 \text{ s}$$

Donde,

t_L = tiempo de llenado

\dot{m} = caudal másico del material

W = peso de la pieza a inyectar

El caudal másico del material se puede observar en el Anexo B, mientras que el peso del elemento a inyectar fue tomado físicamente con la pieza real por medio de una balanza.

6.2.4.5.2. Tiempo de reinicio

$$t_R = T_{\text{apertura}} + T_{\text{cierre}} + T_{\text{expulsión}} \quad (5.4)$$

$$t_R = 2 \text{ s} + 2 \text{ s} + 2 \text{ s}$$

$$t_R = 6 \text{ s}$$

El tiempo de reinicio es la suma del tiempo de apertura, el de cierre y el de expulsión. Para máquinas inyectoras estándar, se dispone de 2 segundos para cada uno de estos tiempos, por lo que el total de reinicio es igual a 6 segundos.

6.2.4.5.3. Tiempo de enfriamiento

$$t_K = \frac{t_L^2}{\pi^2 \cdot \alpha} \ln\left(\frac{4}{\pi}\right) \left(\frac{\theta_M - \theta_W}{\theta_E - \theta_W}\right) \quad (5.3)$$
$$t_K = \frac{(1.25^2)}{(\pi^2 \cdot 0.139 \text{ m}^2/\text{s})} \ln\left(\frac{4}{\pi}\right) \left(\frac{260^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C}}{80^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C}}\right)$$
$$t_K = 10.180 \text{ s}$$

Donde,

t_K : temperatura de enfriamiento

t_L : temperatura de llenado

α : difusividad térmica del material

θ_M : temperatura de elaboración del plástico

θ_W : temperatura del molde

θ_E : temperatura de desmoldeo

Las temperaturas de elaboración del plástico, del molde y la de desmoldeo se pueden observar en las Tablas 5.1 y 5.2, mientras que la difusividad térmica del material es un valor que se calcula a continuación:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (5.13)$$
$$\alpha = \frac{0.25 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.00106 \text{ kg/cm}^3 \cdot 1700 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}}$$
$$\alpha = 0.139 \text{ m}^2/\text{s}$$

Donde,

α : difusividad térmica del material

C_p : calor específico del material

ρ : densidad del material

k : conductividad térmica del material

Las variables utilizadas para el cálculo de la difusividad térmica del material son seleccionadas de la ficha técnica del Nylon PA6 utilizado para el diseño del molde propuesto (ver Anexo C).

6.2.4.6. Contracción volumétrica del elemento a inyectar

$$\begin{aligned} \text{Contracción volumétrica (\%)} &= \left(\frac{V_i - V_f}{V_i} \right) \times 100\% \\ \text{Contracción volumétrica (\%)} &= \left(\frac{7439.432 \text{ mm}^3 - 6763.12 \text{ mm}^3}{7439.432 \text{ mm}^3} \right) \times 100 \\ \text{Contracción volumétrica (\%)} &= 9\% \end{aligned}$$

Donde,

V_i = volumen inicial de la pieza antes del proceso de moldeo

V_f = volumen final de la pieza después del proceso de moldeo

6.3. Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon

Para la evaluación del diseño del molde de inyección y específicamente el sistema de alimentación directa de la pieza a obtener se utilizó tres software especializados de ingeniería en inyección mediante elementos finitos, a continuación se detalla la simulación en cada uno de ellos.

6.3.1. Evaluación mediante MOLDFLOW

El procedimiento de simulación se inicia mediante la definición de los parámetros de entrada, que incluyen la geometría y parámetros de la pieza, así como las condiciones de operación del proceso de moldeo por inyección, estos parámetros son fundamentales para establecer un modelo preciso que represente fielmente el comportamiento del material durante el proceso de inyección.

6.3.1.1. Geometría del elemento a inyectar

La geometría de la pieza se describe mediante un modelo tridimensional, el cual se generó utilizando el software de diseño asistido por computadora (AutoCAD), este modelo define la forma y dimensiones exactas de la pieza que se desea inyectar. (Ver Anexo F)

6.3.1.2. Parámetros del material a inyectar

La Tabla 6.23 presenta los parámetros del material utilizados en la máquina inyectora Haitian MA 1200S (Ver Anexo B).

Tabla 6.23*Parámetros del material para la inyección de la pieza.*

Parámetro	Valor	Cargar en Moldflow
Material a inyectar	Grilon BFZ 3 Natural - PA6	✓
Contracción del material	10-12%	X
Densidad del material	1.12 g/cm ³	X
Temperatura de fusión	222 °C	✓
Índice de fluidez	30 $\frac{g}{10min}$	X

Nota: La Tabla presenta los valores de los parámetros del material que fueron utilizados en la configuración de la máquina para la inyección. Los datos fueron obtenidos de la ficha técnica del material que se presenta en el Anexo B.

6.3.1.3. Parámetros de la máquina inyectora

A continuación la Tabla 6.24 presenta los parámetros configurados en la máquina en función del diseño del molde propuesto.

Tabla 6.24*Parámetros de inyección en función del diseño del molde.*

Parámetro	Valor	Cargar en Moldflow
Presión máxima inyección	140 Mpa	✓
Tiempo de inyección de la máquina	12 s	X
Tiempo de máquina con molde abierto	5.60 s	✓
Tiempo de refrigeración	22 s	X
Temperatura de refrigeración	45 ° C	✓
Tiempo total de ciclo	34 s	X
Caudal másico	10 g/s	X

Nota: La Tabla presenta los valores de los parámetros que fueron utilizados en la configuración de la maquina inyectora.

6.3.1.4. Parámetros del material configurado en MOLDFLOW

En la tabla 6.48 se presentan los parametros del material utilizado para la evaluacion mediante Moldflow.

Tabla 6.25

Parámetros del material ingresados para la simulación en MOLDFLOW.

Descripción	Valor	Cargar en Moldflow
Material a inyectar	Zytel 151L NC010 - PA612	✓
Contracción del material	13-14%	X
Densidad del material	0.9 g/cm ³	X
Temperatura de fusión	218 ° C	✓
Caudal másico	9 g/s	X

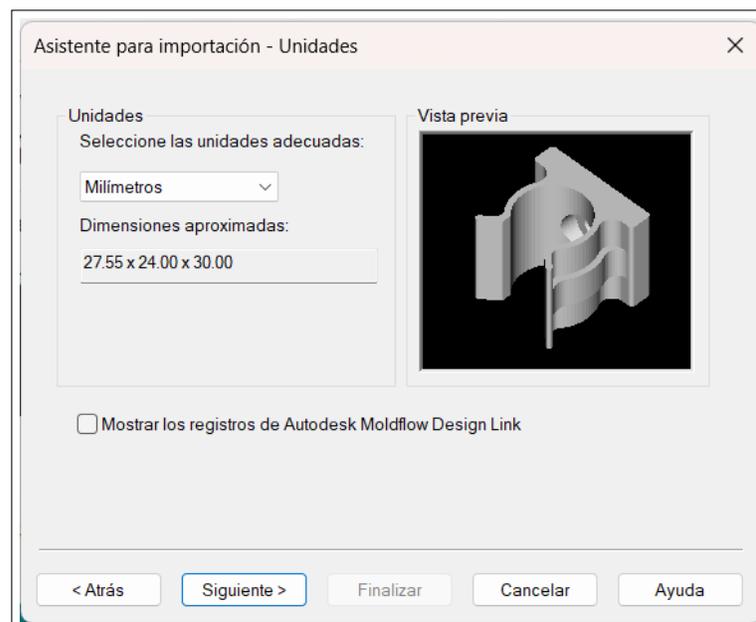
Nota: La Tabla presenta los valores de los parámetros del material que fueron utilizados en la configuración del software. Los datos fueron obtenidos de la ficha técnica del material que se presenta en el Anexo C.

6.3.1.5. Simulación

A continuación las Figuras 6.12, 6.13, 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19, presentan la configuración de los datos en el software.

Figura 6.12

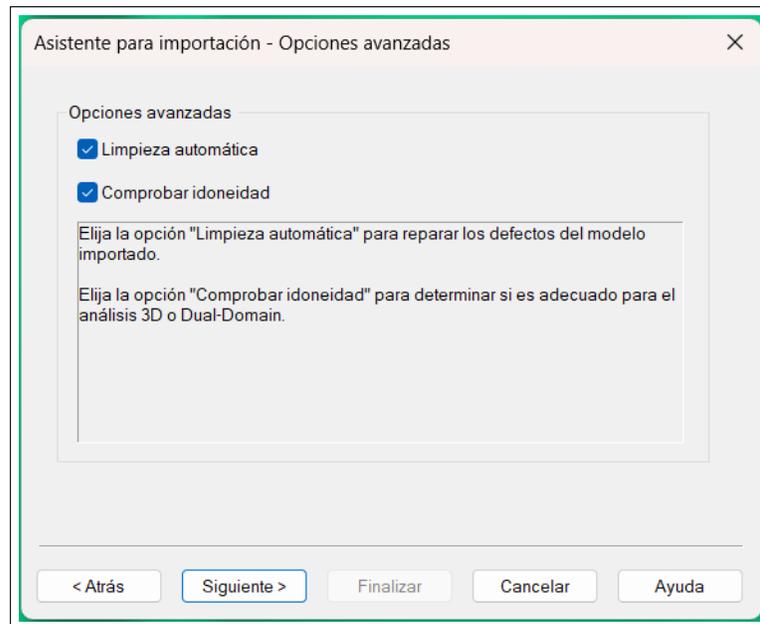
Asistente para importación (unidades).



Nota: En la Figura se muestra la ventana para importar la geometría a inyectar y la selección de unidades de la misma.

Figura 6.13

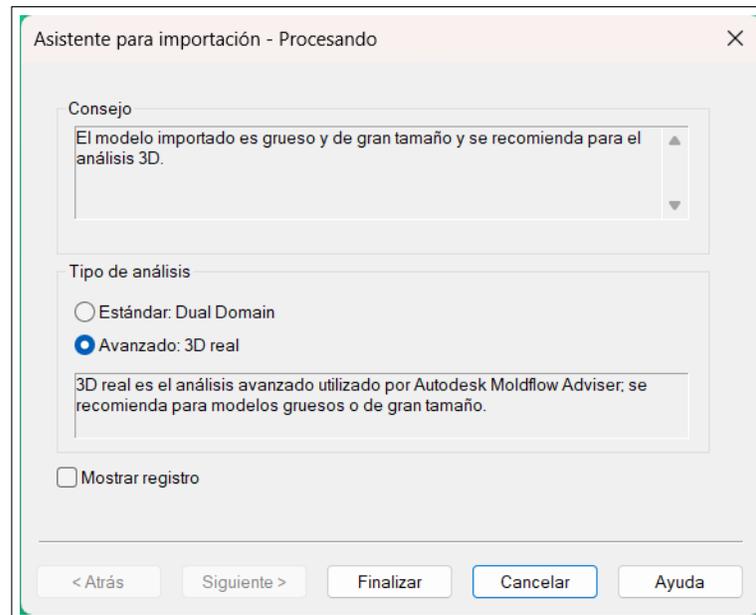
Asistente para importación (opciones avanzadas).



Nota: En la Figura se muestra la ventana para importar la geometría a inyectar, junto a la selección de la limpieza automática de la geometría y la comprobación de idoneidad.

Figura 6.14

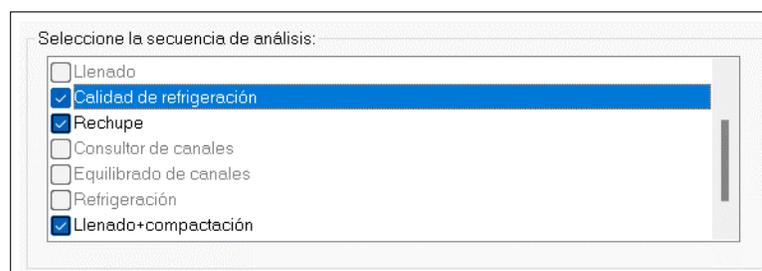
Tipo de análisis.



Nota: En la Figura se muestra la ventana para para la selección del tipo de análisis o mallado.

Figura 6.15

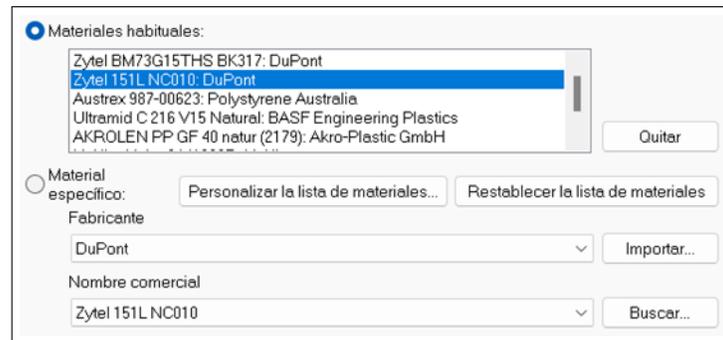
Secuencia de análisis.



Nota: En la Figura se muestra la ventana para configurar las simulaciones a realizar.

Figura 6.16

Selección de material.



Nota: En la Figura se muestra la ventana para para la selección del material.

Figura 6.17

Propiedades del material seleccionado.



Nota: En la Figura se muestra las propiedades del material seleccionado junto con los parámetros configurados.

Figura 6.18

Perfil de compactación.

Perfil de compactación

Automático

Tiempo frente a

Paso	Duración (s)	% presión al final del llenado
10		
11		
12		

Tiempo de refrigeración automático Tiempo (seg.):

Inyección automática + compactación + tiempo de refrigeración Tiempo (seg.):

Desactivar el suavizado de resultados para el análisis de refrigeración Dual Domain

Desactivar la agregación para el análisis de deformación 3D

Nota: En la Figura se muestra la ventana para configurar los parámetros de perfil de compactación.

Figura 6.19

Resolución del procedimiento del modelo del análisis.

Resolución de procesamiento del modelo de análisis

Nivel 0 (estándar) Nivel 1 Nivel 2 Nivel 3 (más alta)

En general, se recomienda usar la configuración predeterminada para la mayoría de los modelos y análisis, lo que proporciona la mejor combinación de velocidad y resolución del análisis.

CUÁNDO SE DEBE CAMBIAR ESTA OPCIÓN:

Una resolución más alta da como resultado un modelo más detallado que tarda más tiempo y utiliza más recursos para el análisis.

Cambie esta opción para garantizar un análisis de alta resolución en modelos que tengan una alta proporción de pequeñas entidades, como redondeos y radios; o bien, si desea:

Recordar la preferencia anterior para todos los modelos

Diámetro de contacto de entrada para modelos 3D (solo pieza)

Automático Diámetro mm

Nota: En la Figura se muestra la ventana para configurar la resolución del procedimiento del análisis.

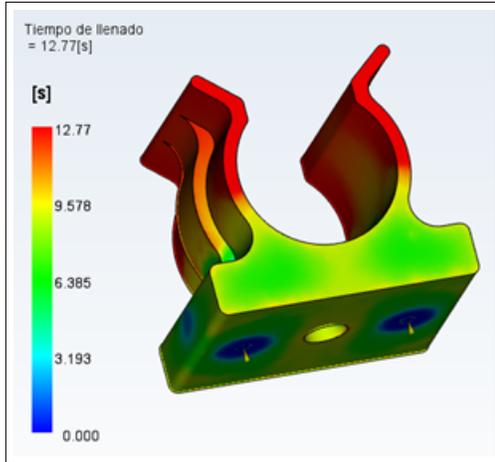
6.3.1.5.1. Tiempo de llenado

En la Tabla 6.26 se indica el tiempo de llenado por inyección, este parámetro es crucial en la fabricación de la pieza, ya que influye directamente en la calidad y la uniformidad de la pieza

final.

Tabla 6.26

Tiempo de llenado.



Tiempo de llenado medio: 6.385 s

Tiempo de llenado final: 12.77 s

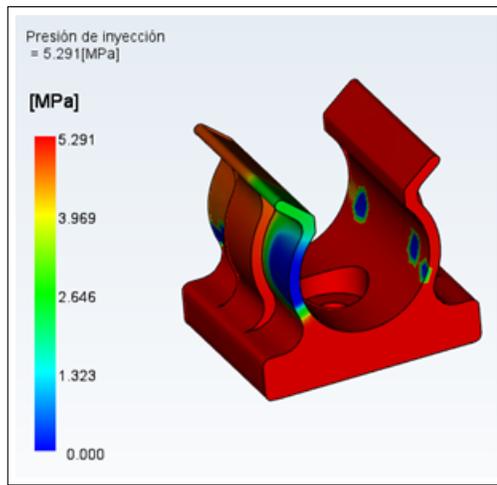
Nota: La Figura muestra la disposición de llenado de la pieza de acuerdo a las distintas zonas por colores, al inicio de la inyección el resultado es de color azul que especifica un tiempo cero, comenzando por las entradas o puntos de inyección, y las últimas áreas en llenarse son de color rojo que especifica el tiempo final de llenado.

6.3.1.5.2. Presión de inyección

La Tabla 6.27 muestra el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado.

Tabla 6.27

Presión de inyección.



Presion media: 2.646 MPa

Presion final: 5.291 MPa

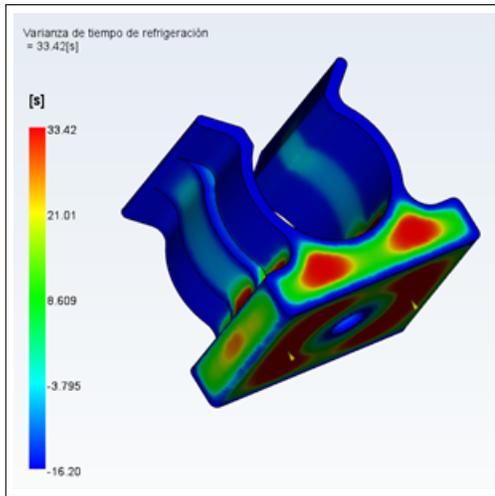
Nota: En la Figura se observa la presión de inyección, un punto crítico que impulsa la eficiencia, precisión y calidad en el proceso de inyección. Por los autores.

6.3.1.5.3. Tiempo de refrigeración

En la Tabla 6.28 se presenta el resultado de la varianza del tiempo de refrigeración, la cual evidencia la diferencia entre el tiempo que el polímero tarda en refrigerarse en cualquier región de la pieza.

Tabla 6.28

Tiempo de refrigeración.



Tiempo medio: 8.609 s

Tiempo final: 33.42 s

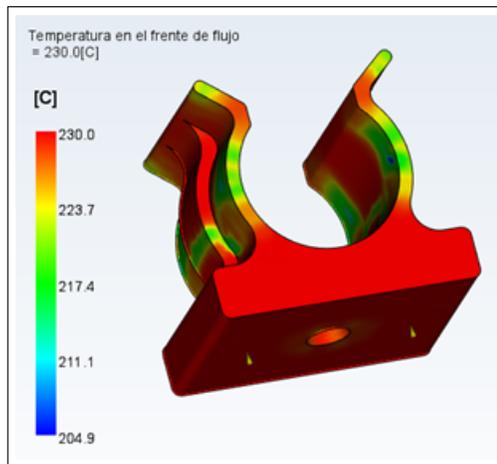
Nota: En la Figura se observa la varianza del tiempo de refrigeración, las áreas que se representan gráficamente como valores positivos (color rojo) tardan más en solidificarse que las áreas que se representan gráficamente como valores negativos (color azul). El valor cero en este resultado gráficamente representan valores neutros (color verde) indica el tiempo medio de solidificación.

6.3.1.5.4. Temperatura de fusión

En la Tabla 6.29 se muestra la temperatura del material fundido justo en el punto donde entra en contacto con el molde durante la fase de llenado, esta temperatura influye significativamente en la calidad y las propiedades finales de la pieza moldeada, como su resistencia, durabilidad y aspecto superficial.

Tabla 6.29

Temperatura de fusion.



Temperatura inicial: 204.9 C

Temperatura media: 217.4 C

Temperatura final: 230 C

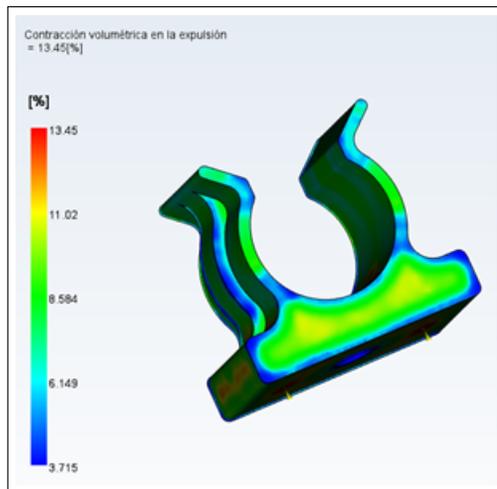
Nota: La Figura muestra el resultado de temperatura en el frente de flujo utiliza un intervalo de colores para indicar desde la región de menor temperatura (de color azul) hasta la región de mayor temperatura (de color rojo).

6.3.1.5.5. Contracción volumétrica en la expulsión

En la Tabla 6.30 se presenta el porcentaje de reducción en el volumen de material una vez que se enfría y solidifica dentro del molde, una comprensión precisa de la contracción volumétrica es esencial para diseñar moldes y configurar procesos que compensen adecuadamente este efecto.

Tabla 6.30

Contracción volumétrica.



Contracción mínima: 3.72%
Contracción promedio: 8.58%
Contracción máxima: 13.45%

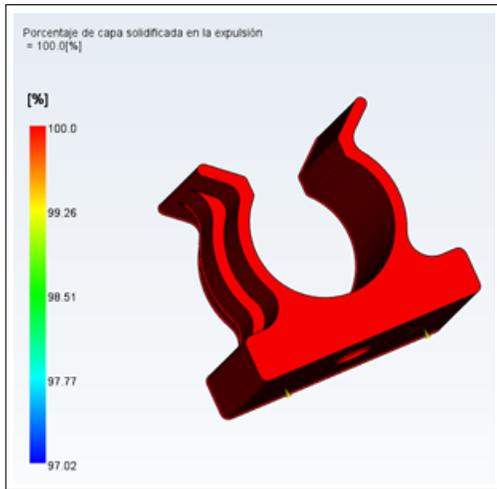
Nota: La Figura muestra el resultado de la Contracción volumétrica en la expulsión, expresada como un porcentaje de disminución del volumen moldeado original. Por los autores.

6.3.1.5.6. Porcentaje de capa solidificada en la expulsión

En la Tabla 6.31 indica la proporción de material que se ha solidificado en la expulsión del molde durante el proceso de inyección. La capa solidificada en la expulsión puede influir en la calidad y la precisión dimensional de la pieza final, así como en la eficiencia del proceso de moldeo.

Tabla 6.31

Porcentaje de capa solidificada en la expulsión.



Porcentaje de solidificación: 100%

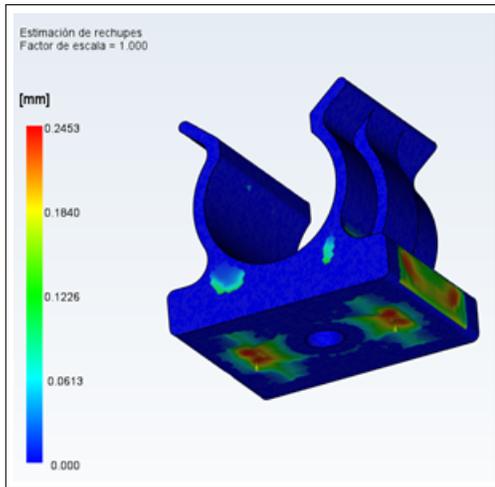
Nota: La Figura representa el porcentaje de espesor solidificado al final del proceso de inyección, es decir, en la expulsión. Por los autores.

6.3.1.5.7. Rechupes

En la Tabla 6.32 indican la presencia y la ubicación de rechupes y vacíos que podrían deberse a características de la cara opuesta de la superficie, los rechupes suelen aparecer en moldeados con secciones más gruesas o en ubicaciones con nervios opuestos, refuerzos o redondeos internos.

Tabla 6.32

Rechupes.



Estimación de rechupes: 0.245 mm

Nota: La Tabla muestra las profundidades resultantes de rechupes en la pieza, estos resultados no indican los rechupes provocados por regiones localmente gruesas.

A continuación en la Tabla 6.33 se presentan los resultados de la simulación en MOLDFLOW.

Tabla 6.33

Resultados de simulación en MOLDFLOW.

Descripción	Valor
Tiempo de llenado	12.77s
Presión de inyección	5.291 MPa
Tiempo de refrigeración	33.42s
Temperatura de fusión	230 ° C
Contracción volumétrica	13.45 %

Nota: La Tabla presenta los resultados obtenidos a partir de la simulación completada en el software MOLDFLOW para realizar la comparación general

6.3.2. Evaluación mediante SOLIDWORKS

El procedimiento de simulación se inicia mediante la definición de los parámetros de entrada, que incluyen la geometría y parámetros de la pieza, así como las condiciones de operación del proceso de moldeo por inyección, estos parámetros son fundamentales para establecer un modelo

preciso que represente fielmente el comportamiento del material durante el proceso de inyección.

6.3.2.1. Parámetros del material configurado en SOLIDWORKS

En la tabla 6.48 se presentan los parametros del material utilizado para la evaluacion mediante Moldflow.

Tabla 6.34

Parámetros del material simulado en SOLIDWORKS.

Descripción	Valor	Cargar en Solidworks
Material a inyectar	Ultramid B35XG8 BK23359 PA6-GF40	✓
Contracción del material	10-12%	X
Densidad del material	1.12 g/cm ³	X
Temperatura de fusión	220 ° C	✓
Índice de fluidez	30 $\frac{g}{10min}$	X

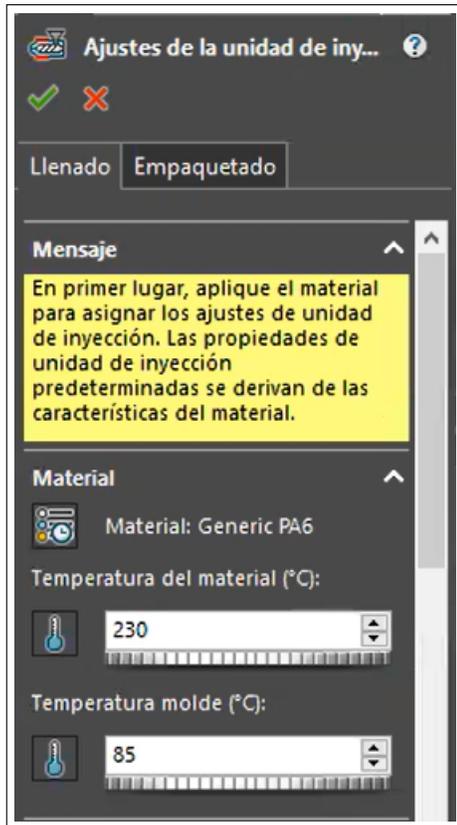
Nota: La Tabla presenta los valores de los parámetros del material que fueron utilizados en la configuración del software. Los datos fueron obtenidos de la ficha técnica del material que se presenta en el Anexo D.

6.3.2.2. Simulación

A continuación las Figuras 6.35, 6.48, 6.48, 6.48, 6.48, 6.48, 6.48 y 6.48, presentan la configuración de los datos en el software.

Tabla 6.35

Tiempo de llenado.



Nota: La Figura muestra la configuración del llenado en el software.

Tabla 6.36

Configuración de mallado.

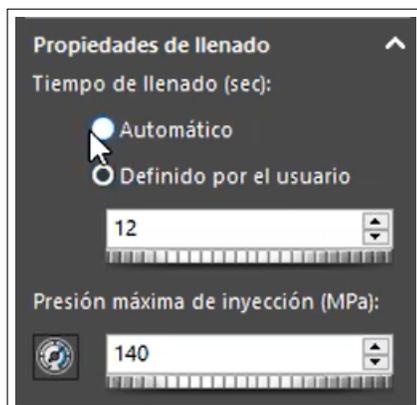
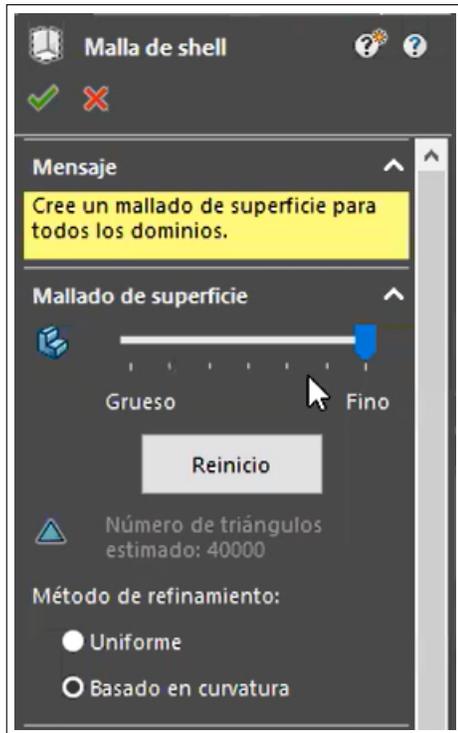


Tabla 6.37

Configuración de mallado.



Nota: La Figura muestra la configuración del mallado en el software.

Tabla 6.38

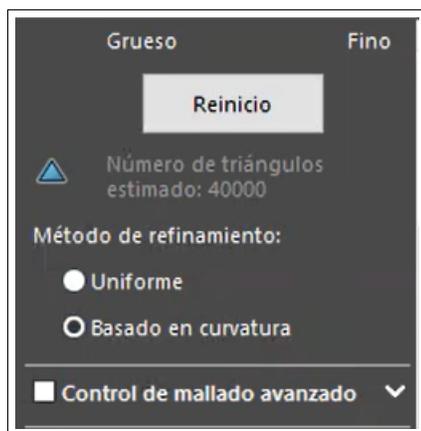
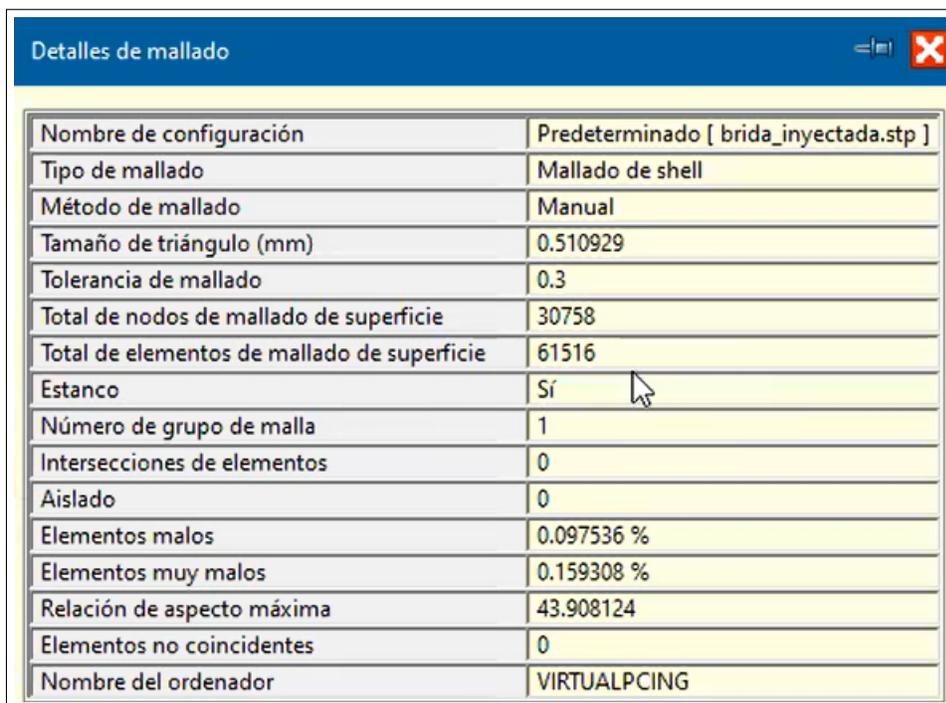


Tabla 6.39

Tabla general de mallado



Detalles de mallado	
Nombre de configuración	Predeterminado [brida_inyectada.stp]
Tipo de mallado	Mallado de shell
Método de mallado	Manual
Tamaño de triángulo (mm)	0.510929
Tolerancia de mallado	0.3
Total de nodos de mallado de superficie	30758
Total de elementos de mallado de superficie	61516
Estanco	Sí
Número de grupo de malla	1
Intersecciones de elementos	0
Aislado	0
Elementos malos	0.097536 %
Elementos muy malos	0.159308 %
Relación de aspecto máxima	43.908124
Elementos no coincidentes	0
Nombre del ordenador	VIRTUALPCING

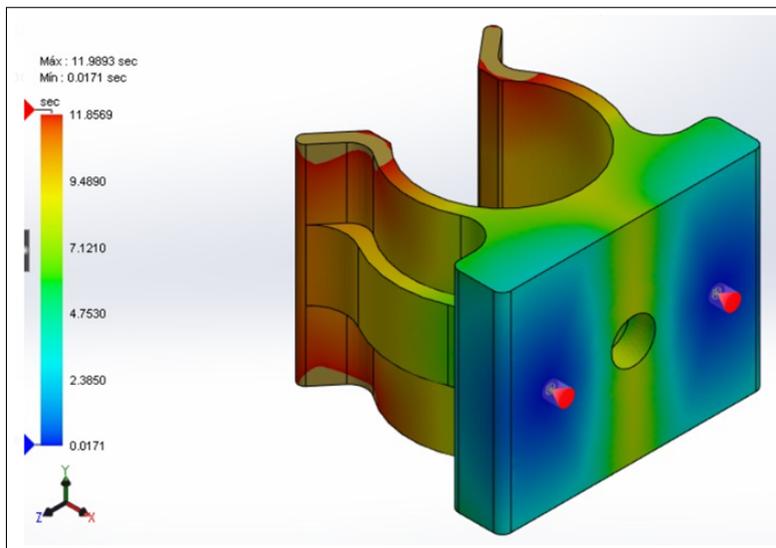
Nota: En la tabla se presenta las generalidades de la configuración necesaria del mallado.

6.3.2.2.1. Tiempo de llenado

En la Tabla 6.40 se indica una representación visual del tiempo de llenado en un proceso de moldeo por inyección, este parámetro es crucial en la fabricación de este tipo de piezas, ya que influye directamente en la calidad y la uniformidad de la pieza final.

Tabla 6.40

Tiempo de llenado.



Tiempo de llenado medio: 4.75 s

Tiempo de llenado final: 11.86 s

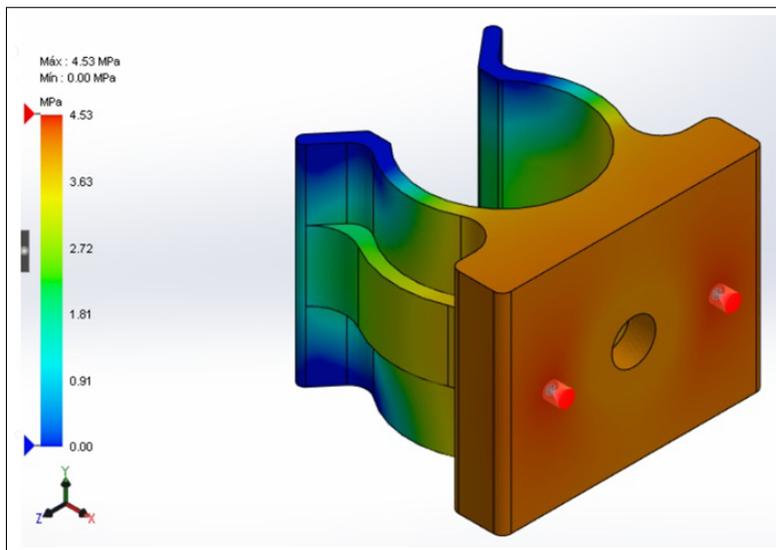
Nota: La Figura muestra la disposición de llenado de la pieza de acuerdo a las distintas zonas por colores, al inicio de la inyección el resultado es de color azul que especifica un tiempo cero, comenzando por las entradas o puntos de inyección, y las últimas áreas en llenarse son de color rojo que especifica el tiempo final de llenado.

6.3.2.2.2. Presión de inyección

En la Tabla 6.41 se presenta el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado.

Tabla 6.41

Presión de inyección.



Presion media: 1.81 MPa

Presion final: 4.53 MPa

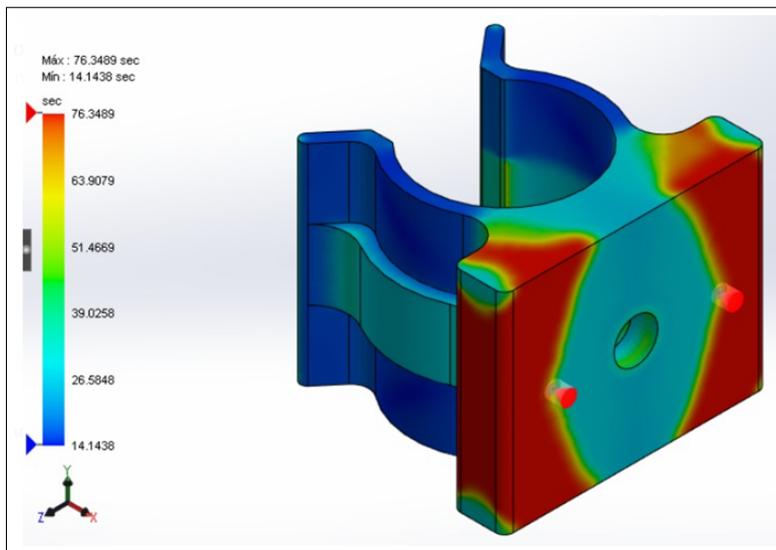
Nota: En la Figura se observa la presión de inyección, un punto crítico que impulsa la eficiencia, precisión y calidad en el proceso de inyección.

6.3.2.2.3. Tiempo de refrigeración

En la Tabla 6.42 se presenta el resultado de la varianza del tiempo de refrigeración, la cual evidencia la diferencia entre el tiempo que el polímero tarda en refrigerarse en cualquier región de la pieza. Por los autores.

Tabla 6.42

Tiempo de refrigeración.



Tiempo mínimo: 14.14 s
Tiempo promedio: 39.03 s
Tiempo máximo: 76.35 s

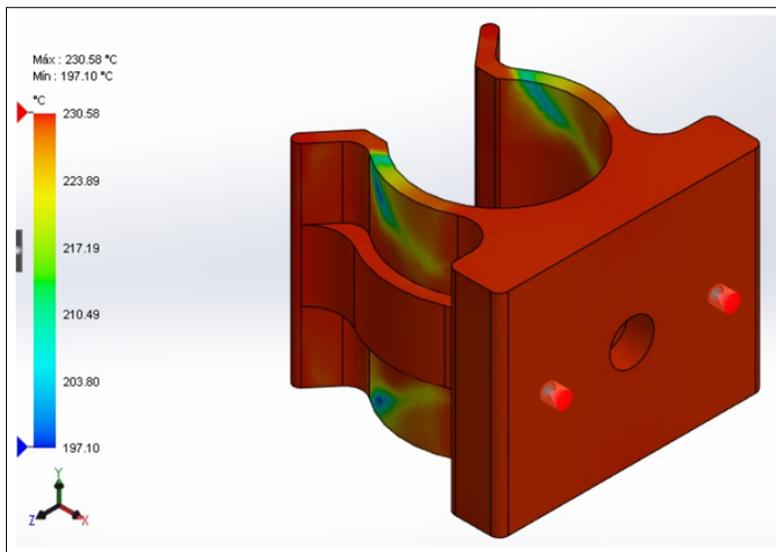
Nota: En la Figura se observa la varianza del tiempo de refrigeración, las áreas que se representan gráficamente como valores positivos (color rojo) tardan más en solidificarse que las áreas que se representan gráficamente como valores negativos (color azul). El valor cero en este resultado graficamente representan valores neutros (color verde) indica el tiempo medio de solidificación.

6.3.2.2.4. Temperatura de fusion

En la Tabla 6.43 se indica la temperatura del material fundido justo en el punto donde entra en contacto con el molde durante la fase de llenado, esta temperatura influye significativamente en la calidad y las propiedades finales de la pieza moldeada, como su resistencia, durabilidad y aspecto superficial.

Tabla 6.43

Temperatura de fusion.



Temperatura inicial: 197.1 C
Temperatura media: 210.49 C
Temperatura final: 230.58 C

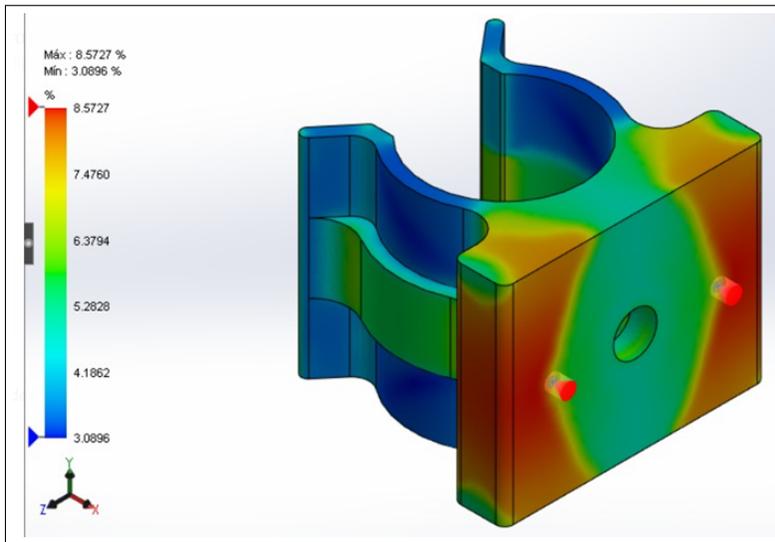
Nota: La Figura muestra el resultado de temperatura en el frente de flujo utiliza un intervalo de colores para indicar desde la región de menor temperatura (de color azul) hasta la región de mayor temperatura (de color rojo).

6.3.2.2.5. Contracción volumétrica

En la Tabla 6.44 se indica el porcentaje de reducción en el volumen de material una vez que se enfría y solidifica dentro del molde, una comprensión precisa de la contracción volumétrica es esencial para diseñar moldes y configurar procesos que compensen adecuadamente este efecto.

Tabla 6.44

Contracción volumétrica.



Contracción mínima: 3.09%
Contracción promedio: 5.28%
Contracción máxima: 8.57%

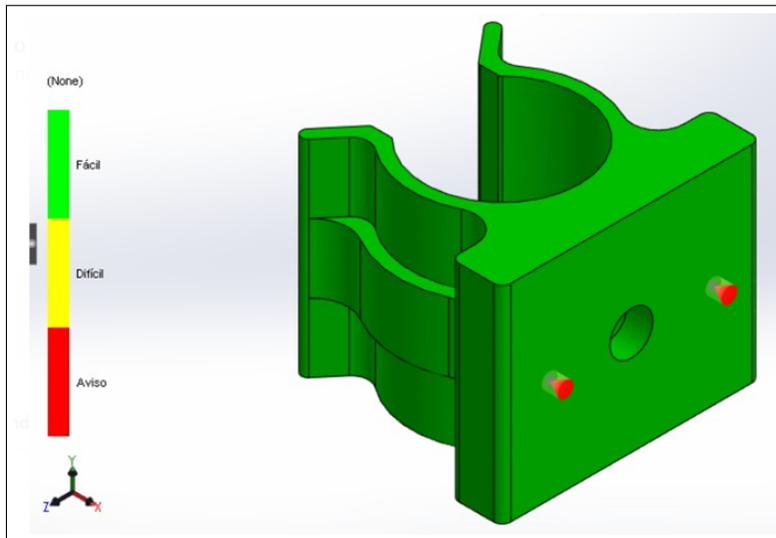
Nota: La Figura muestra el resultado de la Contracción volumétrica en la expulsión, expresada como un porcentaje de disminución del volumen moldeado original. Por los autores.

6.3.2.2.6. Porcentaje de capa solidificada en la expulsión

En la Tabla 6.45 se indica la proporción de material que se ha solidificado en la expulsión del molde durante el proceso de inyección. La capa solidificada en la expulsión puede influir en la calidad y la precisión dimensional de la pieza final, así como en la eficiencia del proceso de moldeo.

Tabla 6.45

Porcentaje de capa solidificada .



Porcentaje de solidificación: 100%

Nota: La Figura representa el porcentaje de espesor solidificado al final del proceso de inyección, es decir, en la expulsión. Por los autores.

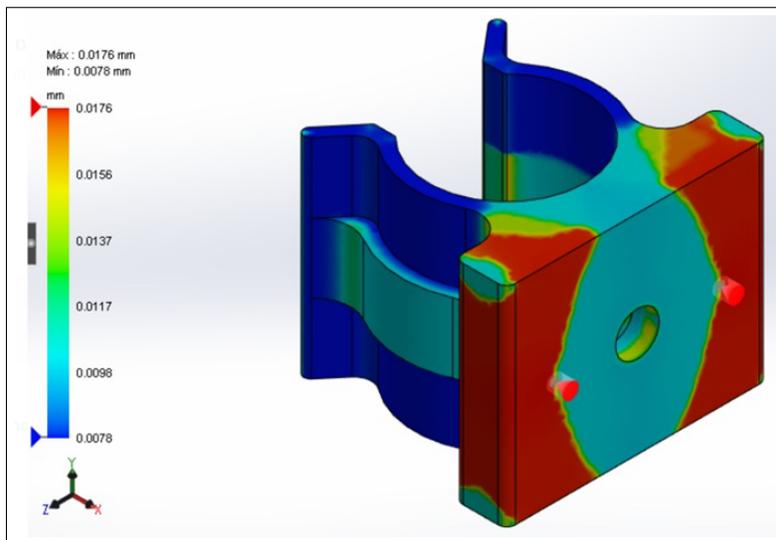
6.3.2.2.7. Rechupe

6.3.2.3. Estimación de rechupes

La Figura 6.46 indican la presencia y la ubicación de rechupes y vacíos que podrían deberse a características de la cara opuesta de la superficie, los rechupes suelen aparecer en moldeados con secciones más gruesas o en ubicaciones con nervios opuestos, refuerzos o redondeos internos.

Tabla 6.46

Rechupes.



Estimación de rechupes: 0.0175 mm

Nota: La Tabla muestra las profundidades resultantes de rechupes en la pieza, estos resultados no indican los rechupes provocados por regiones localmente gruesas.

A continuación en la Tabla 6.47 se presentan los resultados de la simulación en SOLIDWORKS.

Tabla 6.47

Resultados de simulación en SOLIDWORKS.

Descripción	Valor
Tiempo de llenado	11.86s
Presión de inyección	4.53 MPa
Tiempo de refrigeración	45.25s
Temperatura de fusión	225.19 ° C
Contracción volumétrica	8.57 %

Nota: La Tabla presenta los resultados obtenidos a partir de la simulación completada en el software SOLIDWORKS para realizar la comparación general

6.3.3. Evaluación mediante ANSYS

El procedimiento de simulación se inicia mediante la definición de los parámetros de entrada, que incluyen la geometría y parámetros de la pieza, así como las condiciones de operación del

proceso de moldeo por inyección, estos parámetros son fundamentales para establecer un modelo preciso que represente fielmente el comportamiento del material durante el proceso de inyección.

6.3.3.1. Parámetros del material configurado en ANSYS

En la tabla 6.48 se presentan los parámetros del material utilizado para la evaluación mediante ANSYS.

Tabla 6.48

Parámetros del material simulado en ANSYS.

Descripción	Valor
Material a inyectar	Grilon BFZ 3 Natural - PA6
Contracción del material	10-12%
Densidad del material	1.12 g/cm ³
Temperatura de fusión	222 °C
Índice de fluidez	30 $\frac{g}{10min}$

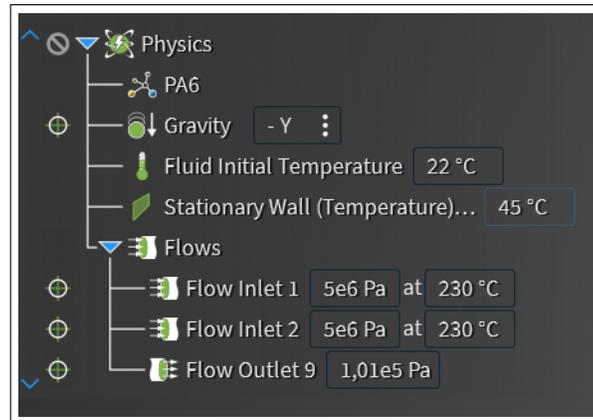
Nota: La Tabla presenta los valores de los parámetros del material que fueron utilizados en la configuración del software. Los datos fueron obtenidos de la ficha técnica del material que se presenta en el Anexo C.

6.3.3.2. Simulación

A continuación, las Figuras 6.20, 6.21 y 6.22, presentan la configuración de los datos en el software.

Figura 6.20

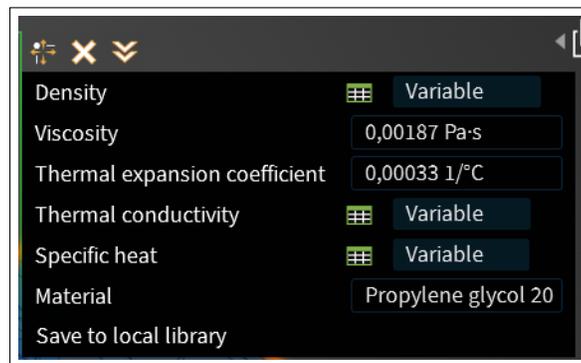
Datos de entrada para asistente de simulación.



Nota: En la Figura se muestra la ventana del asistente de simulación de Ansys, donde se configura la temperatura inicial del molde, la temperatura de la pared estacionaria, así también la temperatura de inyección o salida del fluido.

Figura 6.21

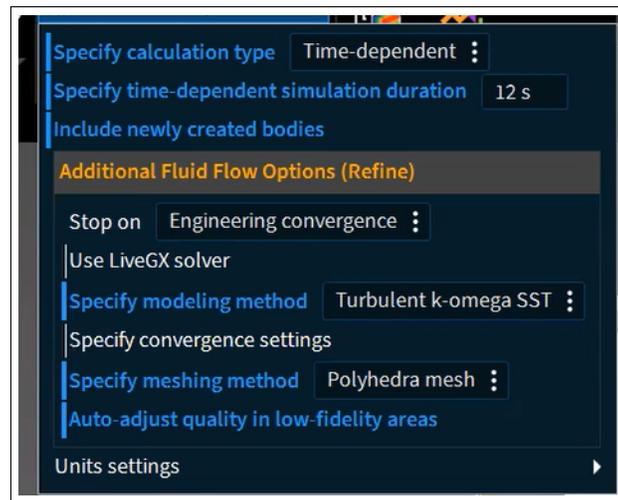
Parámetros de material a inyectar.



Nota: En la Figura se muestra la configuración del material de acuerdo al seleccionado para la simulación. La densidad dependerá de la viscosidad del mismo.

Figura 6.22

Configuración de tipo, calidad y convergencia de mallado



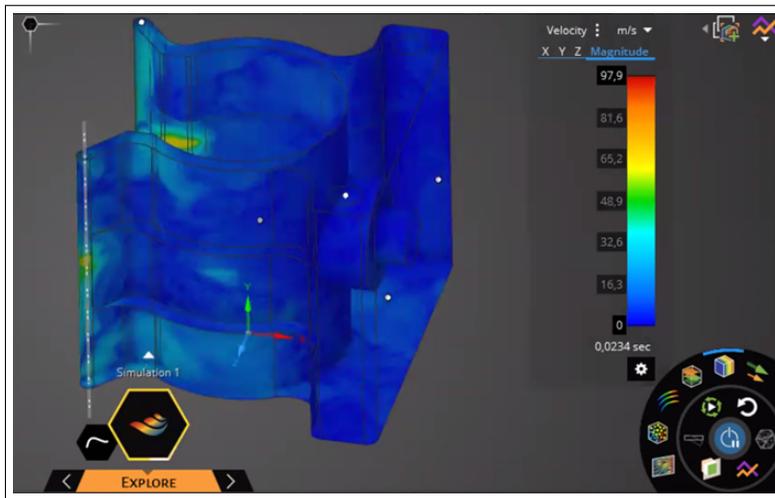
Nota: En la Figura se muestra la configuración de la malla, donde se selecciona una de tipo polihédrica misma que tendrá una Convergencia de Ingeniería.

6.3.3.2.1. Tiempo de llenado

En la Tabla 6.49 se muestra una representación visual del tiempo de llenado en un proceso de moldeo por inyección, este parámetro es crucial en la fabricación de este tipo de piezas, ya que influye directamente en la calidad y la uniformidad de la pieza final.

Tabla 6.49

Tiempo de llenado.



Tiempo de llenado medio: 48.9 s

Tiempo de llenado final: 97.9 s

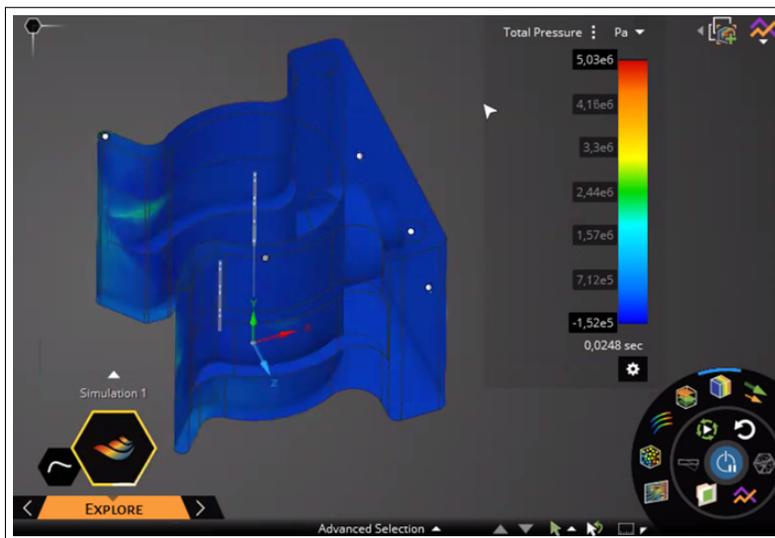
Nota: La Figura muestra la disposición de llenado de la pieza de acuerdo a las distintas zonas por colores, al inicio de la inyección el resultado es de color azul que especifica un tiempo cero, comenzando por las entradas o puntos de inyección, y las últimas áreas en llenarse son de color rojo que especifica el tiempo final de llenado.

6.3.3.2.2. Presión de inyección

En la Tabla 6.50 se muestra el valor de la máxima presión de inyección obtenida antes de que se produzca la conmutación de velocidad/presión durante la fase de llenado.

Tabla 6.50

Presión de inyección.



Presion media: 2.44 MPa

Presion final: 5.03 MPa

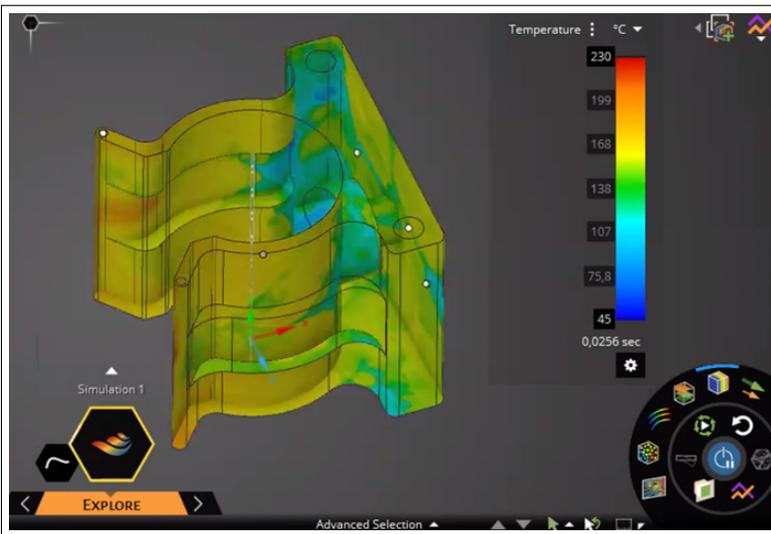
Nota: En la Figura se observa la presión de inyección, un punto crítico que impulsa la eficiencia, precisión y calidad en el proceso de inyección.

6.3.3.2.3. Temperatura de fusion

En la Tabla 6.51 se indica la temperatura del material fundido justo en el punto donde entra en contacto con el molde durante la fase de llenado, esta temperatura influye significativamente en la calidad y las propiedades finales de la pieza moldeada, como su resistencia, durabilidad y aspecto superficial.

Tabla 6.51

Temperatura de fusión.



Temperatura enfriamiento: 45 C

Temperatura media: 138 C

Temperatura final: 230 C

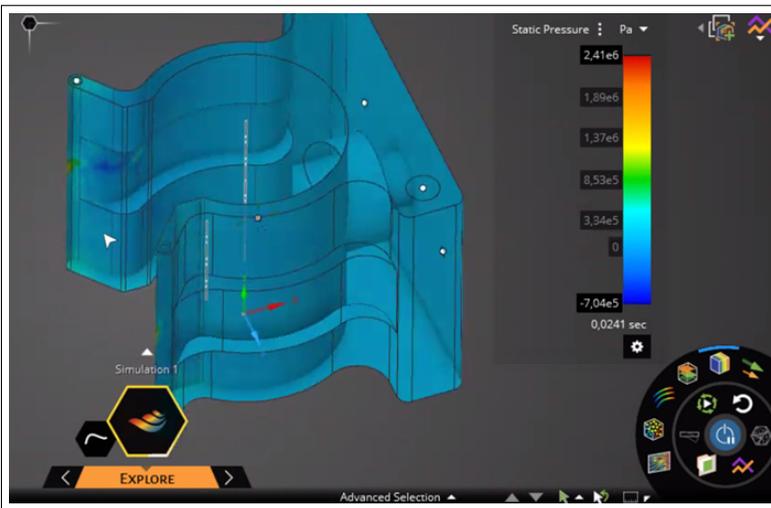
Nota: La Figura muestra el resultado de temperatura en el frente de flujo utiliza un intervalo de colores para indicar desde la región de menor temperatura (de color azul) hasta la región de mayor temperatura (de color rojo).

6.3.3.2.4. Presión estática

En la Tabla 6.52 se indica la presión estática durante el proceso de inyección, que es un parámetro crucial en la fabricación por inyección, ya que influye en la calidad y precisión del producto final.

Tabla 6.52

Presión estática.



Presion media: 1.37 MPa

Presion final: 2.41 MPa

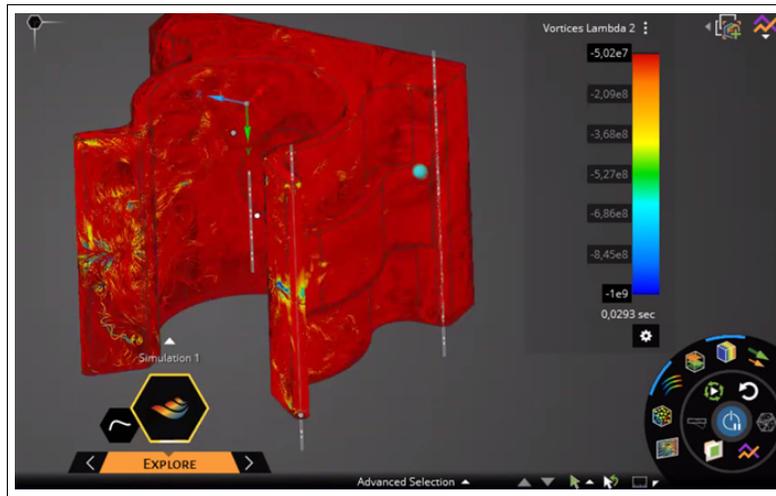
Nota: La Tabla muestra el color en cada área del modelo que representa la pérdida de presión desde los puntos de inyección hasta el área superior de la pieza, es decir, la presión requerida para forzar el flujo de material hasta ese punto. Por los autores.

6.3.3.2.5. Vorticidad

En la Tabla 6.53 se presenta la vorticidad de la pieza a inyectar en un proceso de fabricación específico, la vorticidad es una medida de la rotación del flujo de material dentro del molde durante el proceso de inyección.

Tabla 6.53

Vorticidad.



Nota: La Tabla presenta la vorticidad, que es un característica crucial para comprender la distribución y el comportamiento del material fundido, lo que puede afectar la calidad y la uniformidad de la pieza final.

A continuación en la Tabla 6.54 se presentan los resultados de la simulación en ANSYS.

Tabla 6.54

Resultados de simulación en ANSYS.

Descripción	Valor
Presión de inyección	5.03 MPa
Tiempo de refrigeración	97.9 s
Temperatura de fusión	230 °C
Contracción volumétrica	10.81 %

Nota: La Tabla presenta los resultados obtenidos a partir de la simulación completada en el software SOLIDWORKS para realizar la comparación general

7. Resultados

7.1. Resultados del objetivo específico 1: Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.

El desarrollo del primer objetivo específico del proyecto que se presenta se encuentra dividido en 5 ejes principales: material a inyectar, cantidad de piezas a producir, características de la inyectora, presupuesto de diseño y de la complejidad de la geometría de la pieza. Se resumen sus resultados en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1

Parámetros para el diseño.

MATERIAL		CANTIDAD DE PIEZAS	MÁQUINA			PRESUPUESTO DE DISEÑO	Geometría de la pieza a inyectar		
PA6		15000 mensuales	CAPACIDAD	DIMENSIONES			No hay restricción de presupuesto	S. Expulsión	S. Alimentación
CONTRACCIÓN	INDICE DE FLUIDEZ		160 g	CARRERA DE APERTURA	ENTRE BARRAS	ALTURA MÁXIMA		Mordazas cónicas	Central, para optimizar un llenado uniforme de las cavidades
1.5% a 2.5%	35 cm ³ /10 min			360 mm	410 x 410 mm	450 mm			

Nota: En la Tabla se presentan los parámetros para el diseño.

7.2. Resultados del objetivo específico 2: Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos.

Al diseñar un molde de inyección, es común utilizar una combinación de materiales para optimizar la eficiencia y reducir costos. En nuestro caso, consideramos utilizar hierro en su mayoría, pero partes específicas, necesitarán ser de acero debido a la exposición al calor durante el proceso de inyección. En este caso, para las cavidades, bebedero y núcleos, se recomienda utilizar acero para herramientas, específicamente un acero resistente al desgaste y al calor.

En la Tabla 7.3, se detalla las partes características que conforman a un molde de inyección junto con el material recomendado y seleccionado para el diseño que se plantea.

Tabla 7.2

Partes características del molde.

Descripción	Material recomendado	Tratamiento térmico
Placa móvil	Acero al carbón M2	Nitrurado
Placa fija	Acero al carbón M2	Nitrurado
Anillo de compuerta	Acero al carbón M2	s/t
Bebedero	Acero al carbón M2	s/t
Cajón base	Hierro M2	Templado
Cajón de expulsores	Hierro	Templado
Espesor soporte	Hierro	s/t
Expulsores	Acero al carbón M2	Normalizados
Eje de separación	Hierro	s/t
Bujes	Acero al carbón M2	Templado
Separación de placa móvil 1	Hierro	s/t
Separación de placa móvil 2	Hierro	s/t
Soporte bujes	Hierro	s/t
Sujeción de placa fija	Hierro	s/t
Sujeción de placa móvil	Hierro	s/t
Soporte guía	Hierro	s/t

Nota: En la Tabla se observa la descripción de las partes que conforman a un molde de inyección, mismas que serán modeladas para el posterior diseño; se detalla también el material a usar en cada caso. Por los Autores.

El desarrollo del segundo objetivo específico enmarca la resolución del problema, así como cabida al objetivo principal. Para el diseño del molde se modela cada una de las partes que lo hacen y se calcula las ecuaciones que se han considerado fundamentales para su sustento.

7.2.1. Fuerza de cierre

Parámetro	Analítico	Máquina	Cumple
Fuerza de cierre	18.622 Tn	122 Tn	√

7.2.2. Capacidad de inyección

Parámetro	Analítico	Máquina	Cumple
Capacidad de inyección	42.996 g	110 g	√

7.2.3. Capacidad de plastificación

Parámetro	Analítico	Máquina	Cumple
Capacidad de plastificación	32.74 g/s	35 g/s	√

7.2.4. Presión de inyección

Parámetro	Analítico	Máquina	Cumple
Presión de inyección	13.114 Mpa	229 Mpa	√

En la Tabla 7.3, se muestra el resumen de los cálculos realizados en este proyecto que dan sustento al diseño del molde de inyección propuesto.

Tabla 7.3

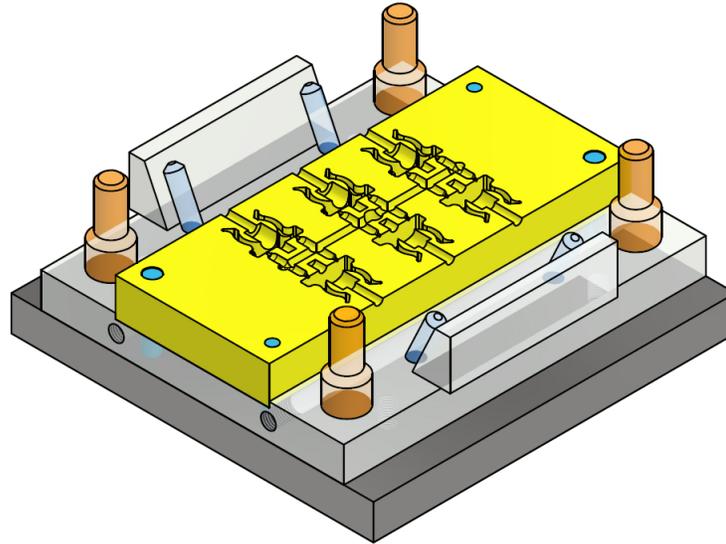
Tabla resumen de cálculos analíticos.

Parámetro	Resultado
Masa de plástico a inyectar	42.994 g
Número de cavidades	6
Fuerza de cierre	18.622 Tn
Capacidad de inyección	42.996 g
Capacidad de plastificación	32.74 g/s
Presión de inyección	13.114 Mpa
Tiempo de llenado	1.25 s
Tiempo de reinicio	6 s
Tiempo de enfriamiento	10.180 s
Tiempo total del ciclo de inyección	17.43 s
Contracción volumétrica del elemento a inyectar	9%

En las Figuras 7.1 y 7.2, se puede observar el diseño total del molde de inyección de mordazas cónicas propuesto, y en el Anexo G el plano del mismo.

Figura 7.1

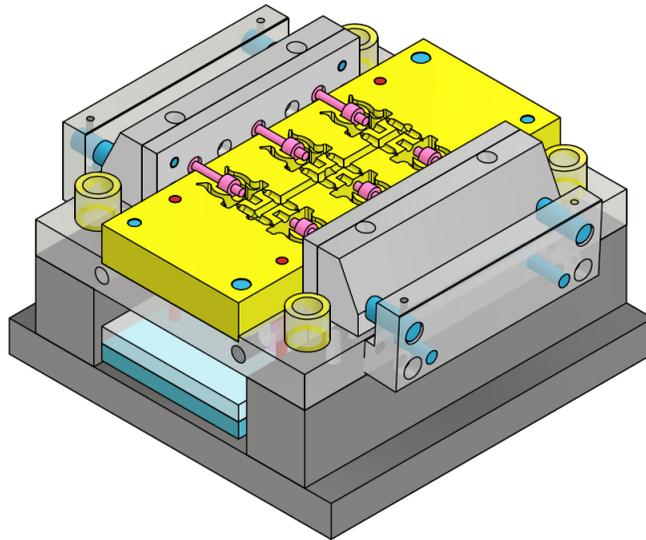
Ensamble de placa fija



Nota: Se muestra el ensamble de cada una de las partes o sólidos que conforman la placa fija del molde. Por los autores.

Figura 7.2

Ensamble de placa móvil



Nota: Se muestra el ensamble de cada una de las partes o sólidos que conforman la placa móvil del molde. Por los autores.

7.3. Resultados del objetivo específico 3: Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de la simulación en los tres software especializados para su evaluación.

7.3.1. Tiempo de llenado

En la Tabla 7.4, se presenta los resultados obtenidos para el Tiempo de llenado en los tres software de simulación.

Tabla 7.4

Tabla de resultados de tiempo de llenado.

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	ANSYS
Tiempo de llenado	12.77 s	11.86 s	97.9 s

Nota: La Tabla presenta los resultados de tiempo de llenado.

Las Tablas 7.5, 7.6 y 7.7, muestran la comparación de resultados entre los tres software que se usaron para la evaluación del sistema de alimentación del molde propuesto. Se estima por medio del cálculo de porcentaje de diferencia entre cada simulación.

Tabla 7.5

Comparación Moldflow y Solidworks.

Moldflow	Solidworks	% de diferencia
12.77 s	11.86 s	7.4%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Solidworks con respecto al Tiempo de llenado.

Tabla 7.6

Comparación Moldflow y Ansys.

Moldflow	Ansys	% de diferencia
12.77 s	97.9 s	53.77%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Ansys con respecto a el Tiempo de llenado.

Tabla 7.7

Comparación Solidworks y Ansys.

Solidworks	Ansys	% de diferencia
11.86 s	97.9 s	56.71%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Solidworks y Ansys con respecto a el Tiempo de llenado.

7.3.2. Presión de inyección

En la Tabla 7.8, se presenta los resultados obtenidos para la Presión de inyección en los tres software de simulación.

Tabla 7.8

Tabla de resultados de presión de inyección.

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	ANSYS
Presión de inyección	5.29 MPa	4.53 MPa	5.03 MPa

Nota: La Tabla presenta los resultados de la simulación de la presión de inyección.

Las Tablas 7.9, 7.10 y 7.11, muestran la comparación de resultados entre los tres software que se usaron para la evaluación del sistema de alimentación del molde propuesto. Se estima por medio del cálculo de porcentaje de diferencia entre cada simulación.

Tabla 7.9

Comparación Moldflow y Solidworks.

Moldflow	Solidworks	% de diferencia
5.29 Mpa	4.53 Mpa	15.48 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Solidworks con respecto a la Presión de inyección.

Tabla 7.10

Comparación Moldflow y Ansys.

Moldflow	Ansys	% de diferencia
5.29 Mpa	5.03 Mpa	5.04 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Ansys con respecto a la presión de inyección.

Tabla 7.11*Comparación Solidworks y Ansys.*

Solidworks	Ansys	% de diferencia
4.53 Mpa	5.03 Mpa	10.49%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Solidworks y Ansys con respecto a la presión de inyección.

7.3.3. Temperatura de fusión

En la Tabla 7.12, se presenta los resultados obtenidos para la Presión de inyección en los tres software de simulación.

Tabla 7.12*Tabla de resultados de temperatura de fusión.*

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	ANSYS
Temperatura de fusión	230 °C	230.58 °C	230 °C

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados de temperatura de fusión.

Las Tablas 7.13, 7.14 y 7.15, muestran la comparación de resultados entre los tres software que se usaron para la evaluación del sistema de alimentación del molde propuesto. Se estima por medio del cálculo de porcentaje de diferencia entre cada simulación

Tabla 7.13*Comparación Moldflow y Solidworks.*

Moldflow	Solidworks	% de diferencia
230 °C	230.58°C	0.25%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Solidworks con respecto a la temperatura de fusión del plástico.

Tabla 7.14

Comparación Moldflow y Ansys.

Moldflow	Ansys	% de diferencia
230 °C	230 °C	0%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Ansys con respecto a la temperatura de fusión del plástico.

Tabla 7.15

Comparación Solidworks y Ansys.

Solidworks	Ansys	% de diferencia
230.58 °C	230 °C	0.25 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Solidworks y Ansys con respecto a la temperatura de fusión del plástico.

7.3.4. Tiempo de refrigeración

En la Tabla 7.16, se presenta los resultados obtenidos para el Tiempo de refrigeración en los tres software de simulación.

Tabla 7.16

Tabla de resultados de tiempo de refrigeración.

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	ANSYS
Tiempo de refrigeración	33.42 s	45.25 s	97.9 s

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados de tiempo de refrigeración.

7.3.5. Contracción volumétrica

En la Tabla 7.17, se presenta los resultados obtenidos para la contracción volumétrica del elemento a inyectar.

Tabla 7.17

Tabla de resultados de contracción volumétrica.

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	Analítico
Contracción volumétrica	13.45 %	8.57 %	9 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados de contracción volumétrica.

Las Tablas 7.18, 7.19 y 7.20, muestran la comparación de resultados entre los software que se usaron para la evaluación y el calculado. Se estima por medio del cálculo de porcentaje de diferencia entre cada simulación

Tabla 7.18

Comparación Moldflow y Solidworks.

Moldflow	Solidworks	% de diferencia
13.45 %	8.57 %	46.37 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y Solidworks con respecto a la contracción del elemento a inyectar.

Tabla 7.19

Comparación Moldflow y resultado analítico.

Moldflow	Analítico	% de diferencia
13.45 %	9 %	39.6 %

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Moldflow y el resultado analítico con respecto a la contracción del elemento a inyectar.

Tabla 7.20*Comparación Solidworks y resultado analítico.*

Solidworks	Analítico	% de diferencia
8.57%	9%	4.89%

Nota: La Tabla presenta la comparación de resultados entre la simulación en Solidworks y el resultado analítico con respecto a la contracción del elemento a inyectar.

7.3.6. Tabla de resultados final

Tabla 7.21*Tabla de resultados final.*

Parámetro	MOLDFLOW	SOLIDWORKS	ANSYS	REAL	CALCULADO
Tiempo de llenado	12.77 s	11.86 s	97.9 s	12 s	1.25 s
Presión de inyección	5.29 Mpa	4.53 MPa	5.03 MPa	7 MPa	13.11 MPa
Tiempo de refrigeración	33.42 s	45.25 s	-	22 s	10.18 s
Temperatura de fusión	230 °C	230.58 °C	230 °C	218 °C	-
Contracción Volumétrica	13.45 %	8.57%	-	-	9%

Nota: La Tabla presenta la comparacion de resultados.

8. Conclusiones

El diseño del molde de inyección presentado se ajusta a la revisión de los parámetros iniciales planteados en concordancia con los requerimientos de Taller Tenesaca, empresa que lo avala, y a la geometría y complejidad de la pieza a inyectar. Las variables calculadas de capacidades (de inyección y plastificación), así como la de fuerza de cierre y presión de inyección, se ajustan a las especificaciones proporcionadas por la ficha técnica de la máquina seleccionada para el proceso de inyección, siendo respectivamente 42.996 g, 32.74 g/s, 18.622 Tn y 13.114 Mpa.

La evaluación, por medio de tres software distintos, permitió corroborar con mayor exactitud los resultados de los mismos, centrándonos en tres parámetros fundamentales: Tiempo de llenado, presión de inyección y temperatura de fusión del plástico a inyectar; existiendo un porcentaje de diferencia de respecto al primero de 7.4% (Moldflow/Solidworks), 53.77% (Moldflow/Ansys) y 56.71% (Solidworks/Ansys). Respecto al segundo, 15.48% (Moldflow/Solidworks), 5.04% (Moldflow/Ansys) y 10.49% (Solidworks/Ansys). Y respecto al tercero de 0.25% (Moldflow/Solidworks), 0% (Moldflow/Ansys) y 0.25% (Solidworks/Ansys), siendo esta última simulación la de menor porcentaje de diferencia, dando una perspectiva más cercana a una posible realidad.

Por último, la contracción volumétrica fue posible reflejarse con el uso de Moldflow y Solidworks, dando como resultado en el primero de ellos una contracción del 13.45% y en el segundo del 8.57%, resultados que se sustenta por medio de un cálculo también donde se obtuvo una contracción del 9%; obteniendo como porcentaje de diferencia entre el resultado de Moldflow y el calculado de 39.6% y respecto a Solidworks y el mismo calculado de 4.89%, concluyendo que para este parámetro, el resultado de Solidworks se acerca más a una posible realidad.

9. Recomendaciones

El diseño de moldes para la inyección de polímeros debe concebirse siempre con el propósito de optimizar los tiempos de inyección, abaratar costos e incrementar los procesos productivos. Por lo tanto, se recomienda emplear una metodología que permita ajustar y comparar diversos parámetros utilizando más de un programa de simulación durante la fase de diseño. Aunque estas simulaciones no aseguran una correspondencia exacta con la realidad, ofrecen una dirección valiosa para la toma de decisiones fundamentadas, y el obtener resultados en más de un software para un mismo análisis de una pieza, fortalecerá la investigación permitiendo al diseñador una perspectiva más clara y cercana a la realidad.

Además, se sugiere para futuras investigaciones o proyectos ejecutar pruebas con una variedad de materiales para la inyección de un componente. Esto permitirá obtener piezas con diversas propiedades, facilitando la elección de la mejor opción del polímero en términos de optimización del proceso de inyección.

Referencias Bibliográficas

- Aceromafe. (2021). Nylon 6pa: ¿cuáles son sus aplicaciones más comunes en la industria? [Disponible en: <https://www.aceromafe.com/aplicaciones-nylon-6pa/>; Accedido el: 10 de mayo de 2024].
- Aguilar, A. (s.a.). Transferencia de calor. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Aguilar, E., y Valdez, J. (1996). Metodología para el diseño de molde de inyección de plástico utilizando pro/moldesign de pro/engineer. *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*.
- Aguirre, A. (2024). Bridas de plástico. [Disponible en: <https://es.sanjoserecycles.org/guide/zip-ties/?embeddedguide=true>; Accedido el: 10 de mayo de 2024].
- Agustín, C. (2011). Nylon. [Disponible en: <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/nylon.html>; el: 10 de mayo de 2024].
- Alfonso, E., y Ortiz, C. (2021). Diseño y simulación de molde de inyección de plástico para las tapas del envase de pegastic de 40 g. *Universidad Libre*.
- Alonso, M. (2011). Inyección de materiales plásticos. [Disponible en: <https://tecnologia.de.los.plasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>; Accedido el: 24 de abril del 2024].
- Andrade, P. (2019). Unidades de climatización para centro de datos. *Ciencia, tecnología y sociedad*.
- Aponte, E., y Valderrama, E. (2019). Automatización de una máquina inyectora ottogalli de dos tornillos para la empresa croydon colombia s.a. *UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS*.
- Archiexpo. (s.a.). Programa de diseño moldflow®. <https://www.archiexpo.es/prod/autodesk/product-1773-948544.html>.
- Arreaga, J. (2009). Consejos para el diseño de moldes de inyección termoendurecida. *Plastic Engineering Company*.
- Arribillaga, H. (2015). Diseño y fabricación de un molde de inyección de plásticos mediante sistemas cad/cam. *Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación*.

- Autodesk. (2024). *Autodesk moldflow: Injection and compression molding plastic simulation software*. Autor.
- Beltrán, M., y Marcilla, A. (2011). Inyección. *Tecnología de polímeros*.
- Benitez, A., Vargas, C., y Montealegre, W. (2020). Simulación de moldeo por inyección basado en el método de volúmenes finitos (fvm). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Birtlh. (s.a.). Máquina de inyección adecuada. <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/DFM/DMPP/DMPP02/es/>
- Boretech. (2018). ¿de qué depende el tiempo de enfriamiento en moldeo por inyección? <https://www.plastico.com/es/noticias/de-que-depende-el-tiempo-de-enfriamiento-en-moldeo-por-inyeccion>.
- Bozzelli, J. (2019). Control de tiempo de llenado en moldeo por inyección: principios. <https://www.pt-mexico.com/columnas/parte-1-la-importancia-de-un-tiempo-de-llenado-consistente>.
- Brigos, M. (2021). Diseño de un molde para la fabricación de una pieza de plástico por inyección. *UNIVERSIDAD Politécnica de Catalunya*.
- Broncesval. (2024). Nylon pa6. <https://www.broncesval.com/plasticos-tecnicos/nylon-pa6-poliamida-6/>.
- Buchwald, D. (1996). Metodología para el diseño de moldes de inyección de plástico utilizando pro/moldesign de pro/engineer. *Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey*.
- Bustos, H. (2016). Metodología para el diseño de un molde para inyección de piezas de plástico. *Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Castro, A. (2023). Moldeo por inyección de plásticos: inyectoras, materiales y tendencias. *Plastics Technology México*.
- Catari, C., y Villasante, A. (2018). Estudio del proceso de inyección para piezas de riego tecnificado aplicando ingeniería inversa. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA*.
- Coronel, H. (2015). Mejoramiento del sistema de enfriamiento, del condensador del minichiller del laboratorio de fluidos del aairnr. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA*.
- Daniel, M. (2017). Diseño de un molde de inyección de plástico-polipropileno para la fabricación de un comedero para perros. *Fundación Universidad de América*.
- David, M. (2022). Desarrollo y optimización de formulaciones de poliamida de origen renovable con comportamiento ignífugo. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Dianny, N. (2023). Abordando los desafíos en la fabricación de piezas. [*Disponible en: https://www.metalmecanica.com/es/noticias/abordando-los-desafios-en-la-fabricacion-de-piezas; Accedido el: 10 de mayo de 2024*].
- Domingo, A. (s.a.). Apuntes de mecánica de fluidos. *Universidad Politécnica de Madrid*.

- Edwin, M. (2009). Diseño e implementación del sistema de control para una inyectora de plástico. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Engineering, G. (2021). Diseño de moldes de inyección. <https://www.goebel-engineering.com/es/diseño-de-moldes-de-inyección/amp/>.
- Escobar, M., Caicedo, J., Buñay, J., y Palacios, D. (2022). Determinación de los parámetros de inyección para ladrillos plásticos en polipropileno. *Polo del conocimiento*.
- Fonseca, A. (2018). Diseño y construcción de un molde de inyección para el soporte unión entre el casco y la carcasa de la orejera para la empresa halley corporación. *Universidad Técnica de Ambato*.
- Granda, L. (2016). Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de leucaena collinsii y polipropileno. *Universidad de Girona*.
- Guerra, E. (2023). La importancia de la fabricación industrializada en la construcción moderna. [Disponible en: <https://prensa.ec/la-importancia-de-la-fabricacion-industrializada-en-la-construccion-moderna/>; Accedido el: 10 de mayo de 2024].
- Guevara, E., y Loor, B. (2015). Fabricación en fundición gris del tambor en freno para un automóvil ensamblado en el Ecuador. *Escuela Politécnica Nacional*.
- Gutierrez, A. (2020). Fuerza de cierre: Por qué es vital para su proceso de moldeo por inyección y cómo calcularlo. <https://www.plastico.com/es/informacion-comercial/fuerza-de-cierre-por-que-es-vital-para-su-proceso-de-moldeo-por-inyeccion-y>.
- Gutiérrez, D. (2006). Sistema de inyección con colada caliente aplicado en la industria del plástico como herramienta de competitividad. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- Hendrickson, J. (2017). Ansys discovery live: Real-time simulation revolution. *Ansys*.
- Hernández, J. (2021). Diseño e implementación de un sistema de enfriamiento por agua chiller mediante sistema scada para el taller h-frío. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Herrera, J., y Zarate, C. (2018). Diseño de un molde de inyección de plásticos, con base en análisis de llenado, mediante herramientas computacionales cad/cam/cae. *Universidad Santo Tomás*.
- Indemat. (2024). Fabricación de piezas industriales.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 9.1

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocido de estos instrumentos?	Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocido de estos instrumentos.	Se diseñará un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida de nylon, con base en el estudio y desarrollo conocido de estos instrumentos.	- VD : Diseño.	Molde de inyección
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se establecerán los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon?	Establecer los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	Se establecerán los parámetros requeridos para el diseño de un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	- VI : Parámetros requeridos. - VD : Diseño.	Polímeros
¿Es posible diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos?	Diseñar un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos .	Se diseñará un molde de inyección de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon, por medio de los parámetros requeridos establecidos .	- VI : Parámetros requeridos. - VD : Diseño.	Diseño de moldes de mordazas
¿Es factible evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon?	Evaluar mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	Se evaluará mediante elementos finitos el sistema de inyección de un molde de mordazas cónicas para la fabricación de una brida a base de nylon.	- VD : Diseño.	Software especializado de simulación para ingeniería

Nota: La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

Anexo B: Grilon BFZ 3 natural - PA6

CAMPUS® hoja de datos

Grilon BFZ 3 natural - PA6
EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG



Texto del producto

Product-nomenclature: ISO 16396-PA6-I,,M1HR,S18-020N

Product Attributes

Highly flexible, Improved impact resistance, Barrier material

Markets

Electricals & Electronics

Cables & Tubes

Industry & Consumer goods

Hydraulics & Pneumatics, Mechanical Engineering, Power transmission, Tools & Accessories

Packaging

Blow moulded containers, Injectionstretchblowmoulded containers

Approvals

Food Contact

EU Requirements, FDA

Propiedades reológicas	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Índice de fluidez volumétrico, MVR	35 / *	cm ³ /10min	ISO 1133
Temperatura	275 / *	°C	ISO 1133
Carga	5 / *	kg	ISO 1133
Contracción posterior al moldeo, paralelo	1.1 / *	%	ISO 294-4, 2577
Contracción posterior al moldeo, normal	1.4 / *	%	ISO 294-4, 2577
Propiedades mecánicas	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Módulo de tracción	1800 / 600	MPa	ISO 527-1/-2
Esfuerzo de fluencia	50 / 25	MPa	ISO 527-1/-2
Alarg. en límite elástico	4 / 15	%	ISO 527-1/-2
Alarg. nominal a rotura	>50 / >50	%	ISO 527-1/-2
Res. impacto Charpy c/entalla, +23°C	65 / 115	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Res. impacto Charpy c/entalla, -30°C	15 / 15	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Propiedades térmicas	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Temperatura de fusión, 10°C/min	222 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Estabilidad al calor, 1.80 MPa	50 / *	°C	ISO 75-1/-2
Estabilidad al calor, 0.45 MPa	130 / *	°C	ISO 75-1/-2
Coef.de expansión térmica lineal, paralelo	130 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coef.de expansión térmica lineal, normal	150 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Propiedades eléctricas	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Resistividad volumétrica específica	1E12 / 1E11	Ohm*m	IEC 62631-3-1
Resistividad superficial específica	* / 1E12	Ohm	IEC 62631-3-2
Resistencia dieléctrica	42 / 39	kV/mm	IEC 60243-1
Índice comparativo de línea de fuga	- / 600	-	IEC 60112
Otras propiedades	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Absorción de agua	9 / *	%	Sim. to ISO 62
Absorción de humedad	3 / *	%	Sim. to ISO 62
Densidad	1060 / -	kg/m ³	ISO 1183

Grilon BFZ 3 natural - PA6
EMS-GRIVORY | a unit of EMS-CHEMIE AG

Propiedades mecánicas (Film)	Seco / Cond	Unidades	Método de ensayo
Tensión a fluencia, paralelo	22 / *	MPa	ISO 527-3
Tensión a fluencia, normal	20 / *	MPa	ISO 527-3
Alargamiento a fluencia, paralelo	13 / *	%	ISO 527-3
Alargamiento a fluencia, normal	13 / *	%	ISO 527-3
Tensión máxima, paralelo	70 / *	MPa	ISO 527-3
Tensión máxima, normal	60 / *	MPa	ISO 527-3
Alargamiento máximo, paralelo	800 / *	%	ISO 527-3
Alargamiento máximo, normal	700 / *	%	ISO 527-3
Resistencia al desgarro Elmendorf, paralelo	35 / *	N	ISO 6383-2
Resistencia al desgarro Elmendorf, normal	50 / *	N	ISO 6383-2
Resistencia al desgarro Trouser, paralelo	20 / *	N/mm	ISO 6383-1
Resistencia al desgarro Trouser, normal	20 / *	N/mm	ISO 6383-1
Brillo, 60°	60 / *	-	ISO 2813
WVTR, 23°C/85%r.h.	13 / *	g/(m ² *d)	ISO 15106-1/-2
Prop. de transm. de oxígeno, 23°C/0%r.h.	45 / *	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Prop. de transm. de oxígeno, 23°C/85%r.h.	80 / *	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Prop. de transm. de Anhídr. carbónico, 23°C/0%r.h.	150 / *	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2
Prop. de transm. de Anhídr. carbónico, 23°C/85%r.h.	500 / *	cm ³ /(m ² *d*bar)	ISO 15105-1/-2

Características

Procesamiento y forma de entrega

Moldeo por inyección, Otros tipos de extrusión, Moldeo por soplado

Disponibilidad regional

Norteamérica, Europa, Asia Pacífico, América del Sur y Centroamérica, Próximo Oriente/Africa

Forma de suministro

Granulado

EMS-CHEMIE AG Business Unit EMS-GRIVORY Homepage: [EMS-GRIVORY](https://www.ems-grivory.com)

eMail: welcome@emsgrivory.com The values are intended to serve as an aid in preselecting materials and for an overview of the EMS-GRIVORY

product range. The information contained in this publication is based on our present knowledge and experience. The given figures and data are guidance values and do not represent binding material specifications. No warranties of any kind, either express or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are given regarding products, design, data and information. The customer is not released from his obligation to investigate the products fitness and the suitability for the intended application, compliance with legal requirements and intellectual property rights. We reserve the right to change the information at any time and without prior notice. The information in this publication is not to be considered a contractual obligation and any liability whatsoever is expressly declined. For further questions about our products please contact our experts.

Anexo C: Dupont Zytel 151L NC010

PRODUCT INFORMATION

DuPont™ Zytel® 151L NC010

NYLON RESIN

Product Information

DuPont™ Zytel® LCPA long chain polyamide resins provide an innovative and growing portfolio of flexible polymers with excellent thermal, chemical, and hydrolysis resistance. The diverse selection of Zytel® LCPA grades is targeted for a range of performance characteristics, balancing temperature resistance, flexibility and low permeation.

Zytel® 151L NC010 is a lubricated polyamide 612 resin.

General information	Value	Unit	Test Standard
Resin Identification	PA612	-	ISO 1043
Part Marking Code	PA612	-	ISO 11469
Rheological properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Viscosity number	95 ¹⁾ / *	cm ³ /g	ISO 307, 1157, 1628
Molding shrinkage, parallel	1.3 / -	%	ISO 294-4, 2577
Molding shrinkage, normal	1.4 / -	%	ISO 294-4, 2577
Mold Shrinkage, Flow, 3.2mm (0.125in)	1.1 / *	%	-
Mold Shrinkage, Transverse, 3.2mm (0.125in)	1.1 / *	%	-
1: sulphuric acid 96%			
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile Modulus	2400 / 1700	MPa	ISO 527-1/-2
Yield stress	62 / 54	MPa	ISO 527-1/-2
Yield strain	4.5 / 18	%	ISO 527-1/-2
Nominal strain at break	17 / >50	%	ISO 527-1/-2
Flexural Modulus	2100 / 1440	MPa	ISO 178
Charpy impact strength			ISO 179/1eU
73°F	N / N	kJ/m ²	
-22°F	N / 40	kJ/m ²	
Charpy notched impact strength			ISO 179/1eA
73°F	3.5 / 4	kJ/m ²	
-22°F	3.5 / 3	kJ/m ²	
Izod notched impact strength			ISO 180/1A
73°F	4 / 4.5	kJ/m ²	
-22°F	4.5 / 3	kJ/m ²	
Hardness, Rockwell, R-scale	114 / -	-	ISO 2039-2
Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 18°F/min	218 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Glass transition temperature, 18°F/min	65 / 50	°C	ISO 11357-1/-2
Temp. of deflection under load			ISO 75-1/-2
260 psi	62 / *	°C	
65 psi	135 / *	°C	
Vicat softening temperature, 90°F/h, 11 lbf	181 / *	°C	ISO 306
Coeff. of linear therm. expansion, parallel	110 / *	E-6/K	ISO 11359-1/-2
Coeff. of linear therm. expansion			ISO 11359-1/-2
normal	120 / *	E-6/K	
Normal, -40-23°C	90 / *	E-6/K	
Normal, 55-160°C	180 / *	E-6/K	
Parallel, -40-23°C	90 / *	E-6/K	
Parallel, 55-160°C	160 / *	E-6/K	
Thermal conductivity of melt	0.18	W/(m K)	-
Spec. heat capacity of melt	2750	J/(kg K)	-
RTI, electrical			UL 746B
30mil	105 / *	°C	
60mil	105 / *	°C	
120mil	105	°C	

Revised: 2017-08-10

Page: 1 of 9

To find out more, visit [DuPont Performance Polymers](#) or contact nearest DuPont location.

North America

Tel: +1 302 999-4592
Toll-Free (USA): 800 441-0575

Asia Pacific

Tel: +81 3 5521 8600

Europe/Middle East/Africa

Tel: +41 22 717 51 11



Copyright 2017 DuPont. The DuPont Oval Logo is a trademark or registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.

DuPont™ Zytel® 151L NC010

NYLON RESIN

RTI, impact			UL 746B
30mil	65	°C	
60mil	65 / *	°C	
120mil	65	°C	
RTI, strength			UL 746B
30mil	65	°C	
60mil	65 / *	°C	
120mil	65	°C	
Flammability	dry / cond	Unit	Test Standard
Burning Behav. at 60mil nom. thickn.	V-2 / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	1.5 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	yes / *	-	UL 94
Burning Behav. at thickness h	V-2 / *	class	IEC 60695-11-10
Thickness tested	0.85 / *	mm	IEC 60695-11-10
UL recognition	yes / *	-	UL 94
Oxygen index	27 / *	%	ISO 4589-1/-2
Flammability, 3.0mm	V-2 / *	-	IEC 60695-11-10
FMVSS Class	DNI	-	ISO 3795 (FMVSS 302)
Electrical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Relative permittivity			IEC 60250
100Hz	3.6 / 5.1	-	
1MHz	3.2 / 4	-	
Dissipation factor			IEC 60250
100Hz	135 / 700	E-4	
1MHz	160 / 400	E-4	
Volume resistivity	1E13 / 1E11	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	* / 1E12	Ohm	IEC 60093
Electric strength	30 / 30	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index	600 / -	-	IEC 60112
Electric Strength, Short Time, 2mm	21.9 / 21.2	kV/mm	IEC 60243-1
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Humidity absorption, 80mil	1.3 / *	%	Sim. to ISO 62
Water absorption, 80mil	3 / *	%	Sim. to ISO 62
Density	1060 / -	kg/m ³	ISO 1183
Density of melt	900	kg/m ³	-
Film Properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Strain at yield, parallel	4.5 / *	%	ISO 527-3
VDA Properties	Value	Unit	Test Standard
Emission of organic compounds	3.1	µgC/g	VDA 277
Odor test	4.5	class	VDA 270
Injection	Value	Unit	Test Standard
Drying Recommended	yes	-	-
Drying Temperature	80	°C	-
Drying Time, Dehumidified Dryer	2 - 4	h	-
Processing Moisture Content	≤0.15	%	-
Melt Temperature Optimum	250	°C	-
Min. melt temperature	230	°C	-
Max. melt temperature	290	°C	-
Mold Temperature Optimum	70	°C	-
Min. mold temperature	50	°C	-
Max. mold temperature	90	°C	-
Extrusion	Value	Unit	Test Standard
Drying Temperature	75 - 80	°C	-
Drying Time, Dehumidified Dryer	3 - 4	h	-
Processing Moisture Content	≤0.06	%	-
Melt Temperature Optimum	240	°C	-

Revised: 2017-08-10

Page: 2 of 9

To find out more, visit [DuPont Performance Polymers](#) or contact nearest DuPont location.

North America

Asia Pacific

Europe/Middle East/Africa

Tel: +1 302 999-4592

Tel: +81 3 5521 8600

Tel: +41 22 717 51 11

Toll-Free (USA): 800 441-0575



Copyright 2017 DuPont. The DuPont Oval Logo is a trademark or registered trademark of E.I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All rights reserved.

Anexo D: Ultramid B35XG8

CAMPUS® Datasheet

Ultramid® B35XG8 BK23359 - PA6-GF40
BASF



Product Texts

Ultramid® B35XG8 BK23359 is 40% glass reinforced, heat-stabilized FR PA6 grade for injection molding applications. It exhibits 5VA flame rating and the FR is based on red phosphorous. It offers good balance of mechanical properties.

Ultramid® B35XG8 BK23359 is designed for applications requiring good processing, mechanical properties and flammability performance.

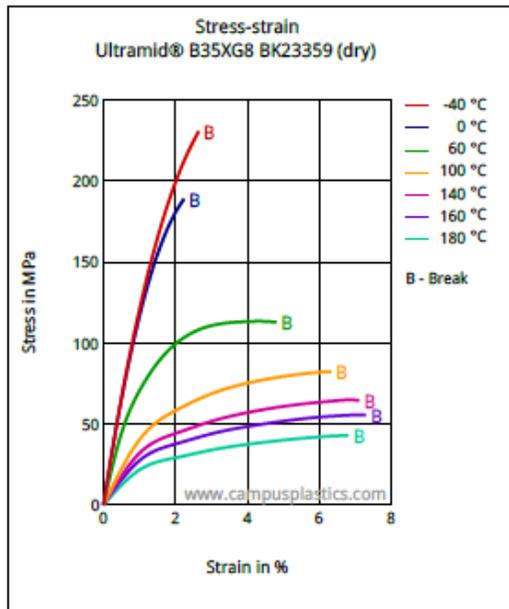
Mechanical properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Tensile modulus	13900 / 10300	MPa	ISO 527-1/-2
Stress at break	165 / 121	MPa	ISO 527-1/-2
Strain at break	2.3 / 3.3	%	ISO 527-1/-2
Charpy impact strength, +23°C	60 / -	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength, +23°C	10 / 12	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Charpy notched impact strength, -30°C	8.5 / 8.8	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Thermal properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Melting temperature, 10°C/min	220 / *	°C	ISO 11357-1/-3
Temp. of deflection under load, 1.80 MPa	206 / *	°C	ISO 75-1/-2
Temp. of deflection under load, 0.45 MPa	218 / *	°C	ISO 75-1/-2

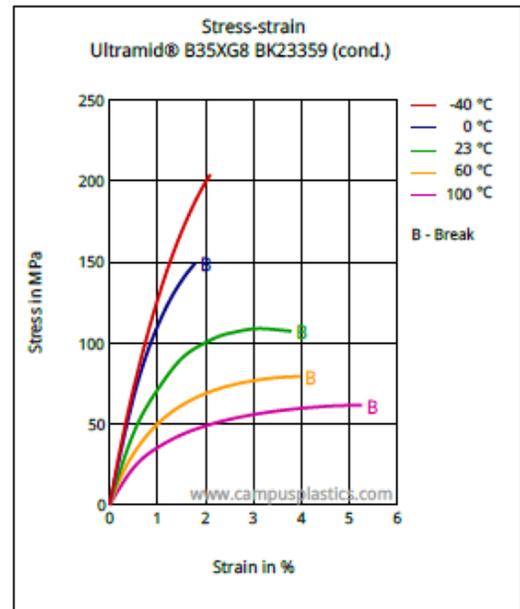
Other properties	dry / cond	Unit	Test Standard
Density	1580 / -	kg/m ³	ISO 1183

Diagrams

Stress-strain



Stress-strain



Anexo E: Haitian Plastics Machinery MA 1200 2S



Mars² Series STANDARD Equipment 600-10,000 kN

- Platen layout Euromap 2
- Mechanical robot interface
- Oil filtration By-pass filter up to 530 tons
- Independent oil filtration (600 - 1,000 tons)
- Fast coupling for ejector pin with European design
- Parts dropping zone with photo cell monitoring (60-250 tons)
- Central lubrication with oil
- Stainless steel hopper
- Standard manifold for 6 zones
- Electrical socket box (3x 400 V - 16 A)
- Set of mold clamps + spare parts box
- Alarm light (3 color light)
- CE certification

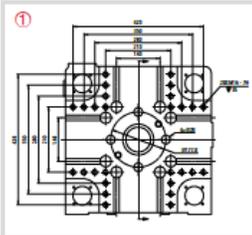


Image 1
Platen layout according to Euromap 2

Image 2
By-pass filter

Image 3
Sockets 3-phase + N + GD (3x 16 A), equipped with circuit breaker

Image 4
Set of 8 mold clamps for T-slot or thread

Image 5
Set of mold clamp and spare parts box (filter, nozzle, screw tips, thermocouple heater bands, tool box)

Image 6
KEBA 1080-12" – standard option for ECO package

Mars² Series ECO Package 600-5,300 kN

OPTIONS INSIDE:

- 2 hydraulics core puller (< 530 tons) ①
- 2 air valves 10 mm ②
- Robot interface Euromap 67

CONTROLLER:

- KEBA 1080-12" with keypad and color screen
- Option: KEBA 2885-15" with color touch screen

PERFORMANCE:

- Reduced servo motor performance by 10-15% compared to "UNIVERSAL pack"
- 1 injection unit per clamping unit



Mars² Series UNIVERSAL Package

OPTIONS INSIDE:

- 2 air valves 10 mm
- Install bearing slide plate for hopper
- Close-loop temperature control on feeding zone
- Standard central lubrication with oil
- Min. and max. mold height with limit switch
- Closed-loop oil temperature control
- 2 hydraulic core puller (up to 4,700 kN)
- 4 hydraulic core puller (from 5,300 kN)
- Proportional valve control mold open/close
- Robot interface Euromap 67 ③
- Glass tube flow meter ④
- Nozzle movement controlled by stroke sensor

CONTROLLER:

- KEBA 1080 with 12" with keypad and color screen
- Option: KEBA 2885-15" with color touch screen ⑤

PERFORMANCE:

- Increased servo motor power (+10-15% compared to "ECO pack")
- Choice of 3 different injection unit sizes per clamping unit



Specification

CLAMPING UNIT	
Clamping force	kN
Mold opening force	kN
Mold platen dimension	mm
Distance between tie bars (h x v)	mm
Mold opening stroke	mm
Max. mold height	mm
Min. mold height	mm
Ejector stroke	mm
Ejector force	kN
Minimum mold dimension (l x w)	mm
INJECTION UNIT	
Screw diameter	mm
Screw LD ratio	LD
Shot size (theoretical)	cm ³
Injection weight (PS)	g
Injection stroke	mm
Injection speed	mm/s
Injection speed rate (PS)	g/s
Injection pressure	Mpa
Plasticizing capacity (PS)	g/s
Screw speed	rpm
Nozzle stroke	mm
Nozzle force	kN
OTHERS	
Maximum hydraulic pressure	bar
Servo motor power	kW
Heating power	kW
Machine dimensions (l x w x h)	m
Machine weight	t
Oil tank capacity	l

Platen dimensions
Moving and fixed platen with the same layout.
The ejector holes Ø is valid only for moving platen.

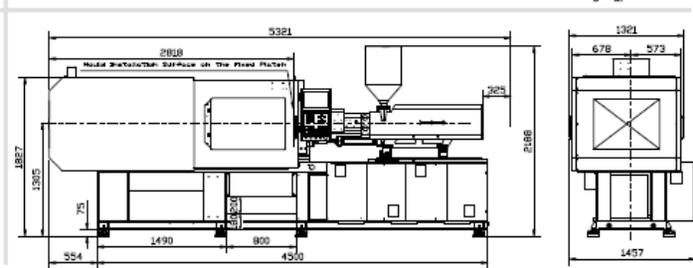
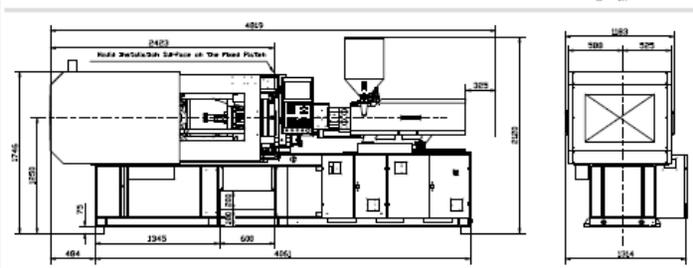
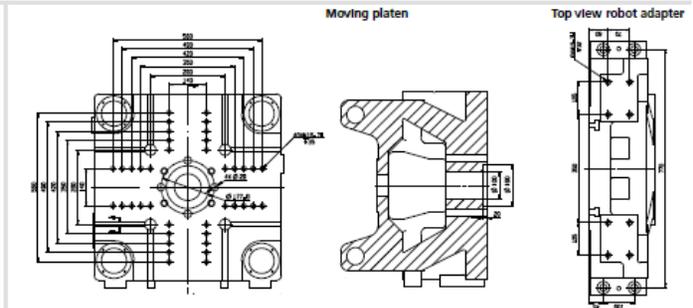
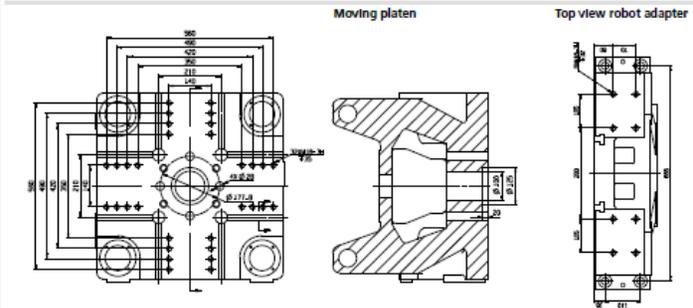
Machine dimensions
We reserve the right to make changes as a result of further technical advantages.

eco cost efficient Mars II S eco Series
600 - 5,300 kN

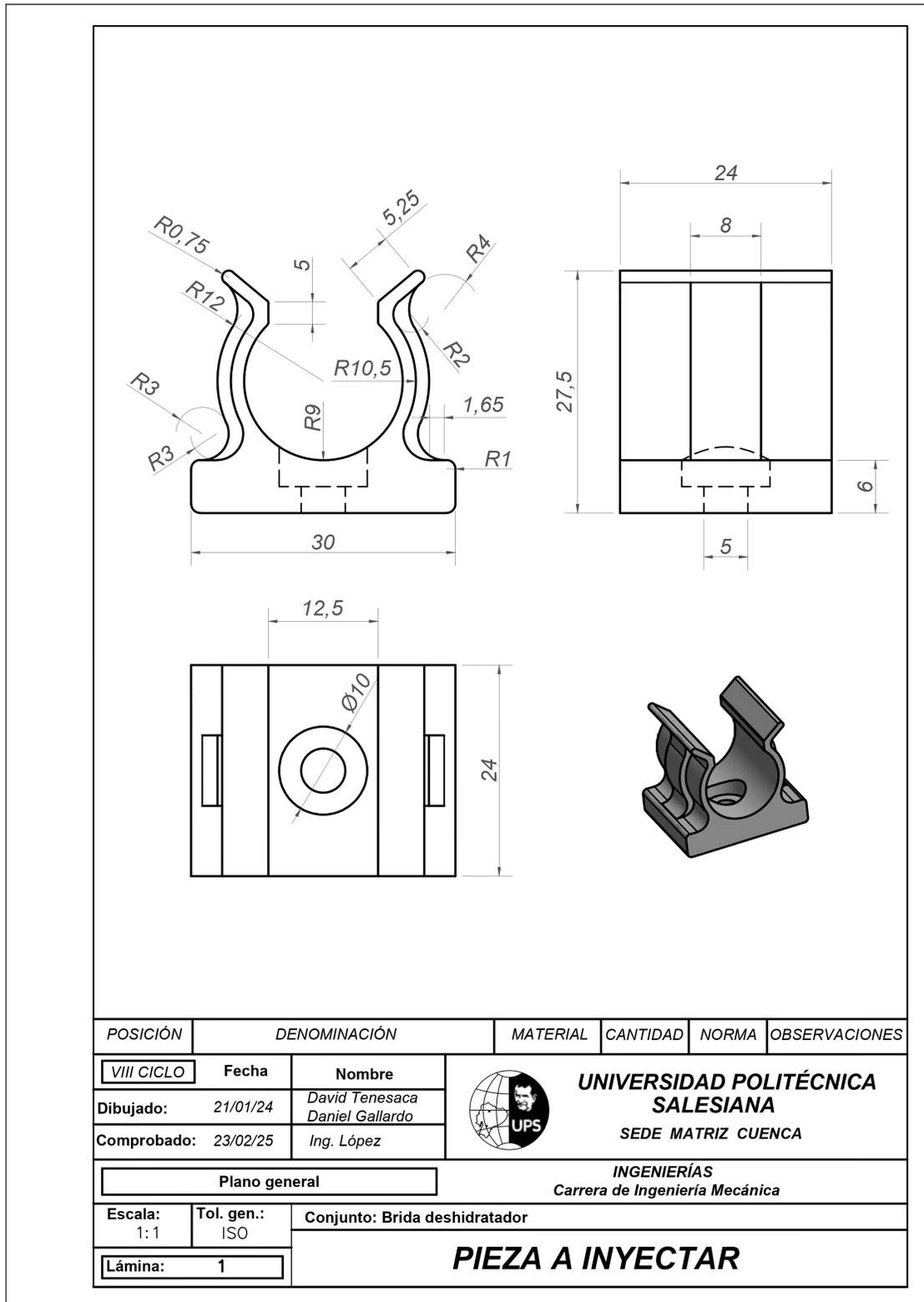
	MA1200 II S											
Clamping force	1200											
Mold opening force	80											
Mold platen dimension	615 x 615											
Distance between tie bars (h x v)	410 x 410											
Mold opening stroke	360											
Max. mold height	450											
Min. mold height	150											
Ejector stroke	120											
Ejector force	33											
Minimum mold dimension (l x w)	290 x 290											
INJECTION UNIT		400					570					
Screw diameter	32	36	40	36	36	40	40	45	45	40	45	50
Screw LD ratio	22.5	20	18	23.3	23.3	21	21	18.7	18.7	22.5	20	18
Shot size (theoretical)	121	153	188	173	173	214	214	270	270	253	320	395
Injection weight (PS)	110	139	172	157	157	194	194	246	246	230	291	359
Injection stroke	170											
Injection speed	120											
Injection speed rate (PS)	90	114	141	92	109	114	135	144	171	137	174	215
Injection pressure	234	185	150	229	229	186	186	147	147	225	178	144
Plasticizing capacity (PS)	12.5	16.5	20.0	14.9	17.8	18.2	21.8	24.1	28.8	21.2	28.1	35.3
Screw speed	0-285											
Nozzle stroke	290											
Nozzle force	24.7											
OTHERS		200					200					
Maximum hydraulic pressure	200											
Servo motor power	13											
Heating power	7.85											
Machine dimensions (l x w x h)	4.55 x 1.32 x 2.09											
Machine weight	4.15											
Oil tank capacity	170											

eco cost efficient Mars II S eco Series
600 - 5,300 kN

	MA1600 II S											
Clamping force	1600											
Mold opening force	105											
Mold platen dimension	700 x 700											
Distance between tie bars (h x v)	470 x 470											
Mold opening stroke	430											
Max. mold height	520											
Min. mold height	180											
Ejector stroke	140											
Ejector force	33											
Minimum mold dimension (l x w)	330 x 330											
INJECTION UNIT		400					570					
Screw diameter	36	40	45	40	40	45	45	50	50	45	50	55
Screw LD ratio	23.3	21	18.7	22.5	22.5	20	20	18	18	22.2	20	18.2
Shot size (theoretical)	173	214	270	253	253	320	320	395	395	334	412	499
Injection weight (PS)	157	194	246	230	230	291	291	359	359	304	375	454
Injection stroke	170											
Injection speed	118											
Injection speed rate (PS)	109	135	171	111	137	141	174	174	215	166	205	248
Injection pressure	229	186	147	225	225	178	178	144	144	223	180	149
Plasticizing capacity (PS)	17.8	21.8	28.8	17.0	21.2	22.6	28.1	28.4	35.3	23.9	30.0	36.7
Screw speed	0-275											
Nozzle stroke	325											
Nozzle force	41.2											
OTHERS		200					200					
Maximum hydraulic pressure	200											
Servo motor power	15											
Heating power	11.45											
Machine dimensions (l x w x h)	5.22 x 1.46 x 2.18											
Machine weight	5.52											
Oil tank capacity	210											



Anexo F: Geometría de la pieza



Anexo G: Diseño de molde de inyección

PIEZA A OBTENER

24	Tapa de núcleo	Al 705	4	50 HRC
23	Esfera + Anillo	Al 705/20	1	50 HRC
22	Placa de núcleo 40 mm	Al 705	4	50 HRC
21	Carro de núcleo	Al 705	1	50 HRC
20	Resaca de eje	Al 705	2	50 HRC
19	Tapa de núcleo 30 mm	Al 705	4	50 HRC
18	Resaca de eje	Al 705	1	50 HRC
17	Anillo de centro	Al 705	1	40 HRC
16	Tapa de núcleo 30 mm	Al 705	4	50 HRC
15	Placa de núcleo	Al 705	2	50 HRC
14	Tapa de núcleo 40 mm	Al 705	4	50 HRC
13	Tapa de núcleo 30 mm	Al 705	4	50 HRC
12	Resaca de eje	Al 705/20	12	50 HRC
11	Resaca de eje	Al 705	2	50 HRC
10	Anillo de centro	Al 705	4	50 HRC
9	Tapa de núcleo 30 mm	Al 705	4	50 HRC
8	Tapa de núcleo 30 mm	Al 705	4	50 HRC
7	Anillo de centro	Al 705	1	50 HRC
6	Resaca de eje	Al 705/20	2	50 HRC
5	Resaca de eje	Al 705/20	2	50 HRC
4	Resaca de eje	Al 705	2	50 HRC
3	Resaca de eje	Al 705/20	12	50 HRC
2	Resaca de eje	Al 705/20	2	50 HRC
1	Resaca de eje	Al 705/20	1	50 HRC

PROYECTO: DISEÑO DE MOLDE DE INYECCIÓN
FECHA: 20/03/2024
ALUMNO: JUAN CARLOS GARCÍA
ASIGNATURA: DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SALAMANCA
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

MOLDE DE INYECCIÓN