

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA**



TESIS

**“DISEÑO GENERATIVO COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN
EN PIEZAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO. CASO DE ESTUDIO:
SOPORTES DE MOTOR PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO
UNIVERSITARIO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA”**

PRESENTA

MIGUEL PUEBLA BLANCO

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E
INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

OCTUBRE, 2022

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



TESIS

**“DISEÑO GENERATIVO COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN
EN PIEZAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO. CASO DE ESTUDIO:
SOPORTES DE MOTOR PARA VEHÍCULO ELÉCTRICO
UNIVERSITARIO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA”**

**PRESENTA
MIGUEL PUEBLA BLANCO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN GESTIÓN E
INNOVACIÓN DEL DISEÑO**

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN, MÉXICO

OCTUBRE DE 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “Diseño generativo como herramienta de optimización en piezas de inyección de plástico. caso de estudio: soportes de motor para vehículo eléctrico universitario de la Facultad de Arquitectura.”, realizada por el alumno **Miguel Puebla Blanco**, matrícula 1342663, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias con Orientación en Gestión e Innovación del Diseño.

El comité de Tesis

MC. Oscar Alejandro González González
Director

Dr. Mario Alberto Bello Gómez
Codirector

Vo.Bo

Dr. María Teresa Cedillo Salazar
Subdirectora de Posgrado e Investigación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Mc. Oscar Alejandro González González por todo el apoyo y guía recibidos para esta investigación.

Al Dr. Mario Alberto Bello Gómez por compartir sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de este trabajo.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado en mis estudios de posgrado a sí mismo a la Facultad de Arquitectura.

Al Centro de Innovación y Diseño (CID) de la Facultad de Arquitectura por abrirme las puertas para vincular la investigación aplicada al Vehículo Eléctrico Universitario (VEU).

Agradezco los apoyos brindados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi esposa la Dra. C. Liliana Torres por darme su amor incondicional que se refleja en la paciencia y apoyo para llevar a cabo esta tarea que me propuse. Eres mi inspiración, gracias por motivarme a continuar en el camino de la investigación científica.

A mi madre Martha Blanco por ser un ejemplo de perseverancia, tus consejos y enseñanzas me han guiado para cumplir mis metas.

Soli Deo Gloria.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Hipótesis	4
1.3 Objetivo	5
1.4 Delimitación y Limitación	5
1.5 Justificación	6
1.6 Método	7
DISEÑO GENERATIVO	9
2.1 Introducción	9
2.2 Factores del DG	12
2.3 Estado del arte del DG	16
2.4 DG en la Industria 4.0.....	18
MECÁNICA DE MATERIALES Y MÉTODOS NUMÉRICOS.....	20
3.1 Resistencia Mecánica y Elasticidad.....	20

3.2 Esfuerzo y Deformación	22
3.3 Modelación Numérica	23
INYECCIÓN DE PLÁSTICO	26
4.1 Introducción	26
4.2 Moldeo por Inyección.....	27
4.3 Diseño de moldes para inyección:	31
4.4 Costo de un molde para inyección de plástico.....	39
4.5 Relación entre la inyección de plástico y el DG.....	40
4.6 Moldeo por Inyección en PYMES de México.....	41
EXPERIMENTACIÓN	44
5.1 Definición del problema	44
5.2 Diseño CAD.....	46
5.3 Simulación estática de esfuerzos por Elemento Finito	48
5.4 Estudio de optimización por DG	52
5.5 Evaluación Mecánica de pieza optimizada por DG.....	58
5.6 Simulación de Inyección.....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
6.1 Resultados de simulación estática de esfuerzos en ensamble original.	62
6.2 Resultados de optimización de soportes mediante DG.....	65

6.3.- Resultados de simulación estática de esfuerzos en ensamble optimizado mediante DG.....	71
6.4.- Resultados de simulación de proceso de inyección mediante MoldFlow Advaiser.....	75
CONCLUSIONES	83
7.1 Conclusiones.....	83
7.2 Recomendaciones	85
7.3 Aportación Científica.....	85
7.4 Aportación Tecnológica.....	86
PERSPECTIVAS.....	87
BIBLIOGRAFÍA	88
RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Metodología para optimización de piezas por inyección de plástico mediante DG.....	7
Figura 2.1.- Comparación de proceso de diseño convencional por ADP y Diseño Generativo.	12
Figura 3.1.- Ejemplo de grafica de relación esfuerzo – deformación.....	22
Figura 3.2.- Discretización por Método de Elemento Finito.....	24
Figura 4.1.- Partes a cotizar de un molde de inyección (Ramírez, 2006).....	29
Figura 4.2.- Proceso General de Inyección de Plástico.	31
Figura 4.3.- Partes de un molde de inyección (Campos B., 2014).	32
Figura 4.4.- Proceso General de Diseño de un molde de inyección de plástico.....	35
Figura 4.5.- Vista explosionada de molde prototipo. (Ruiz Colunga, Alvarado Almanza, Del Campo Vazquez, Rojas Rojas, & Medina Flores, 2015, pág. 5269).....	37
Figura 5.1.- Modelo Tridimensional CAD del VEU.	47
Figura 5.2.- Modelo paramétrico de las partes del VEU en Autodesk Fusion 360. .	48
Figura 5.3.- Restricciones Fijas en soportes.	50
Figura 5.4.- Definición de contactos en Soportes.....	50
Figura 5.5.- Proceso de DG.	52
Figura 5.6.- Geometrías de referencia.	53
Figura 5.7.- Restricciones Fijas.	54

.....	57
Figura 5.8.- Matriz de dispersión para iteraciones de Soporte “A”.....	57
Figura 5.9.- Matriz de dispersión para iteraciones de Soporte “B”.....	57
Figura 6.1.- Estabilidad de malla para simulación de ensamble original.	63
Figura 6.2.- Esfuerzo generado en los soportes con material Acero ASTM A36. ...	64
Figura 6.3.- Esfuerzo generado en los soportes con material PPS.	64
Figura 6.4.- Iteración SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.	68
Figura 6.5.- Ángulos de salida en Iteración SAG1- Outcome 4 Soporte “A”.....	68
Figura 6.6.- Ángulo negativo en Iteración SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.....	68
Figura 6.7.- Parte final SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.	69
Figura 6.8.- Solución G1-55-99 Soporte “B”.	69
Figura 6.9.- Análisis de ángulo de salida en Solución G1-55-99 Soporte “B”.....	70
Figura 6.10.- Parte final G1-55-99 Soporte “B”.....	70
Figura 6.11.- Congruencia de malla para simulación de ensamble optimizado.	71
Figura 6.12.- Esfuerzo generado en los soportes optimizados.	72
Figura 6.13.- Análisis de posición optima de entrada para soporte “A” original.	76
Figura 6.14.- Análisis de posición optima de entrada para soporte “A” por DG.	77
Figura 6.15.- Análisis de posición optima de entrada para soporte “B” original.	78
Figura 6.16.- Análisis de posición optima de entrada para soporte “B” optimizado.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1.- Propiedades físicas de las partes estudiadas del VEU (OpenMotors, 2020).	45
Tabla 5.2.- Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A36 (Fusion 360, 2020).	46
Tabla 5.3.- Cargas aplicadas a los soportes.	54
Tabla 5.4.- Propiedades Mecánicas del sulfuro de polifenileno (Fusion 360, 2020).	59
Tabla 6.1.- Comparación de criterios de falla entre Acero ASTM A36 y PPS.	65
Tabla 6.2.- Propiedades físicas y mecánicas para las iteraciones del soporte “A”...	66
Tabla 6.3.- Propiedades físicas y mecánicas para las iteraciones del soporte “B”...	66
Tabla 6.4.- Comparación de criterios de falla entre VEU- Ensamble-Optimizado y VEU-Ensamble-Original-PPS.	73
Tabla 6.5.- Propiedades físicas de soportes “A” y “B”.	74
Tabla 6.6.- Material PPS por MoldFlow Adviser.....	75
Tabla 6.7.- Simulación de parámetros para proceso de inyección de soportes “A”.	80
Tabla 6.8.- Simulación de parámetros para proceso de inyección de soportes “B”.	81

RESUMEN

El diseño generativo es un proceso que implica una sinergia entre diseñadores humanos y máquinas habilitadas por un sistema computacional, con la finalidad de resolver problemas complejos de diseño. El diseñador define los objetivos de diseño y mediante inteligencia artificial, utilizando algoritmos genéticos, el sistema computacional genera iteraciones que den solución al problema de diseño.

El objetivo de esta investigación es poder evaluar mediante métodos numéricos la optimización de piezas para inyección de plástico diseñadas por DG a partir de piezas ya existentes, como caso de estudio se tomaron los soportes para motor de un vehículo eléctrico.

Para el desarrollo del proyecto se incluye la simulación y el Análisis de Elemento Finito (FEA, por sus siglas en inglés) del caso de estudio, en el que se compararon las piezas actualmente diseñadas y las piezas obtenidas mediante DG, con la finalidad de optimizar el diseño y evaluar el proceso de inyección de plástico.

Para el desarrollo de esta investigación se diseñó una metodología de tres fases que integra el proceso de DG y la evaluación de piezas mediante métodos numéricos, insertados en un proceso de diseño generalizado para la creación de piezas por inyección de plástico.

Como resultados se generaron 14 iteraciones en cada una de las piezas a optimizar y posteriormente se evaluaron para seleccionar la iteración óptima que cumpliría con los objetivos establecidos para la reducción de volumen, sin sacrificar las propiedades mecánicas de las piezas. Se logró reducir volumen y su masa en comparación a las piezas originales y se analizó el comportamiento mecánico en las partes optimizadas, basándose en criterios de

falla por von Mises. Los resultados mostraron que las piezas cumplen con los criterios de falla en relación con las propiedades mecánicas del material seleccionado.

Por último, se evaluó mediante una simulación el proceso de inyección en ambos soportes y se obtuvo un diseño “amigable” con el proceso. Los resultados de la simulación demostraron la optimización de algunos parámetros en el proceso de inyección de plástico.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El ser humano es por definición un ser creativo, desde que habita la Tierra se ha dedicado a concebir objetos para hacer su vida más cómoda o simplemente atender al instinto primitivo de la supervivencia, un ejemplo de esto son las herramientas o armas más antiguas que se han descubierto (Roa López, 2017) . Dichos objetos fueron producidos mediante métodos artesanales devastando materiales simples como la piedra y usando como elemento de sujeción cuerdas obtenidas de las hojas de árboles o raíces. Mientras el hombre fue desarrollándose a la par estos métodos fueron perfeccionándose.

Actualmente la mayoría de los objetos con los que se interactúa fueron consecuencia de un proceso de diseño desarrollado en la profesión del Diseño Industrial, como menciona (Gay & Samar, 2004), el Diseño Industrial está vinculado a la concepción de objetos que tienen como fin ser reproducidos por medios industriales y mecánicos, generando una sinergia entre máquina y ser humano, permitiendo al producto su repetibilidad.

El Diseño industrial nace gracias a un evento histórico llamado “La Revolución Industrial” que se llevó a cabo en Inglaterra a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, su principal característica fue el inicio de la fabricación en serie, trayendo así la industrialización y reemplazando los métodos artesanales que eran el principal proceso de fabricación en productos. Parte del objetivo del diseño industrial es poder conceptualizar

productos que sean viables de fabricar en serie, esto se refiere al método de producción y no tanto al volumen de producción, enfocándose en las posibilidades de repetitividad de una pieza (Gay & Samar, 2004) tomando en cuenta aspectos físicos, funcionales y tecnológicos.

Uno de estos métodos de producción es el moldeo por inyección de plástico. Este método de fabricación se remonta a 1872 cuando los hermanos John e Isaiah Hyatt patentaron la primera máquina de moldeo por inyección de plástico, años antes habían creado un material plástico llamado celuloide, el cual permitía calentar, moldear y enfriar manteniendo su forma (PRIVARSA, 2020), haciendo así de este método el más común para la reproducción de piezas en serie y con alta repetitividad gracias a su bajo costo y rapidez de producción, cumpliendo con las necesidades y demanda del mercado.

Tanto el proceso de diseño como los métodos de fabricación han ido desarrollándose con el paso del tiempo, hoy en día gran parte de estos procesos están siendo automatizados gracias a las nuevas tecnologías basadas en inteligencia artificial, así como el internet de las cosas y almacenamiento en la nube, tecnologías las cuales se le denominan industria 4.0

La industria 4.0 refiere a estrategias de alta tecnología; caracterizadas por la automatización y la digitalización de los procesos en la manufactura. Este tipo de manufactura se basa en métodos digitales para la planeación y validación del ciclo de vida de un producto, desde la conceptualización hasta la fabricación, permitiendo reducir los tiempos de desarrollo de nuevos productos, los costos de fabricación y los lotes de manufactura (Ynzunza Cortés, Izar Landeta, Bocarando Chacón, Aguilar Pereyra, & Larios Osorio, 2017). Dentro de las tecnológicas que aloja la industria 4.0, refiere a la manufactura inteligente, la fabricación digital e inteligencia artificial para el análisis y toma de decisiones mediante *big data*.

Estas tecnologías mencionadas anteriormente están afectando el diseño industrial al permitir automatizar su proceso mediante softwares de Diseño Asistido por Computadora, (CAD, por sus siglas en inglés) e Ingeniería Asistida por Computadora (CAE, por sus siglas en inglés) en conjunto con la inteligencia artificial y basados en la nube proponen nuevos paradigmas para los diseñadores, tal es el ejemplo de un nuevo método de diseño denominado Diseño Generativo (DG), una forma de abordar el proceso de diseño para nuevos objetos. En el DG, el diseñador, define los objetivos y las restricciones de aquello que desea diseñar y los expresa mediante parámetros (Akella, 2018).

El DG es un término emergente para los diseñadores e ingenieros, engloba herramientas como diseño paramétrico y optimización topológica. La optimización topológica se enfoca en optimizar el diseño preexistente limitándose a un solo resultado previamente evaluado, mientras que el diseño paramétrico es un proceso de diseño digital basado en algoritmos que permiten crear un sinnúmero de geometrías complejas basadas en parámetros y reglas.

Por otro lado, el enfoque del DG es crear la mayor cantidad de posibilidades de diseño optimizadas en base a parámetros establecidos por el diseñador.

El objetivo de esta investigación es poder evaluar la optimización de piezas para inyección de plástico diseñadas mediante métodos numéricos y DG.

Para el desarrollo del proyecto se incluye la simulación y el Análisis de Elemento Finito (FEA, por sus siglas en inglés) del caso de estudio, en el que se compararon las piezas actualmente diseñadas y las piezas obtenidas mediante DG, con la finalidad de optimizar el diseño y evaluar el proceso de inyección de plástico.

1.1 Planteamiento del problema

Según la Universidad de Estudios Avanzados menciona que en México el sector de inyección plástico ha ido en aumento, es común encontrar este material cada vez más en piezas y productos. La industria de la manufactura representa anualmente entre el 15% y 18% del PIB en el país y el sector que engloba la inyección de plástico en el 2014 representó el 10% de dicha industria (UNEA, 2020)

Sin embargo, la Secretaría de Economía del gobierno mexicano reporta que el proceso de inyección y la fabricación de moldes son de bajo desarrollo. Esto ha traído como consecuencia que solo entre el 5% y 10% de la demanda sea atendido por empresas nacionales; el resto se importa principalmente de Estados Unidos, Canadá y China. Dicha estadística demuestra la carencia en el sector de la inyección de plástico. Universidades en México apuestan por el recurso humano y tecnológico para el desarrollo del sector (Martín del Campo & Ruiz, 2016).

Las herramientas tecnológicas existentes en el diseño e ingeniería asistido por computadora son muy amplias, sin embargo, esta necesidad aún no ha sido resuelta. Las nuevas herramientas basadas en un entorno automatizado como el DG pudieran ser de ayuda para dicho desarrollo, pero actualmente no existen suficientes estudios que relacionen su uso en el proceso de inyección de plástico.

1.2 Hipótesis

Mediante el DG, técnicas numéricas e inyección de plástico es posible generar piezas optimizadas sin sacrificar sus propiedades mecánicas y comportamiento mecánico.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo General

Crear una metodología para la optimización de piezas fabricadas por inyección de plástico, diseñadas mediante métodos numéricos y DG.

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar el comportamiento mecánico de la estructura original con las propiedades del material original contra el material propuesto para determinar si la optimización es posible.
- Estudiar los efectos de la optimización en volumen y masa sobre las piezas.
- Analizar el comportamiento mecánico con en las piezas modificadas, basándose en criterios de falla.
- Obtener un diseño amigable con el proceso de inyección de plástico que a su vez optimice los recursos en la producción de la pieza.

1.4 Delimitación y Limitación

I.- Delimitación

- La investigación se efectuará en un término de 2 años.
- Se tomará de caso de estudio el Vehículo Eléctrico Universitario (VEU).
- Se evaluarán los soportes del motor.
- Se evaluará volumen y masa.
- Se evaluarán esfuerzos por tensión.
- No se evaluarán propiedades térmicas.
- No se evaluará fatiga.

- El material para evaluar será el polímero sulfuro de polifenileno (PPS, por sus siglas en inglés).
- Solo se evaluará las piezas inyectadas en plástico más no el molde.

II.- Limitación

- Información dada por el fabricante del VEU.
- Disponibilidad para viajar debido a contingencia sanitaria.

1.5 Justificación

Como se mencionó anteriormente, la industria de la manufactura representa un porcentaje importante para el PIB en México. Por lo que es relevante investigar la aplicación del DG en la industria de inyección de plástico, con el fin de insertar este método en su proceso y aportar conocimiento en este campo, pero principalmente pueda ser de ayuda a la industria de moldeo por inyección y su desarrollo.

Aunque el DG se ha investigado en diferentes aplicaciones, en México las relacionadas a la inyección de plástico siguen siendo escasas. Por lo que en el presente trabajo se evaluará el DG como herramienta de optimización en piezas de plástico para mejorar el proceso en el ciclo de inyección, así como las propiedades físicas y mecánicas de la pieza.

El beneficio social radica principalmente en el impacto del 60% de la industria del plástico está conformada por microempresas, 24% son pequeñas; 12% mediana, y 4% grandes, las cuales en su totalidad generan alrededor de 150,000 empleos directos y 750,000 indirectos. La implicación práctica es que el conocimiento sobre el DG permitirá en un futuro una mayor adopción en la industria lo cual tendrá como consecuencia la inserción de la industria 4.0 al automatizar algunos procesos.

Así mismo el valor teórico que aportará dicho proyecto, contribuirá al desarrollo de una Metodología de DG que ayudará principalmente al desarrollo del sector en la industria del plástico, así como a la generación de conocimiento con relación al DG y dicha industria.

1.6 Método

Para el desarrollo de esta investigación se diseñó una metodología que integrara el proceso de DG y la evaluación de piezas mediante métodos numéricos, insertados en un proceso de diseño generalizado para la creación de piezas por inyección de plástico. El esquema de la metodología se puede observar en la figura 1.1.

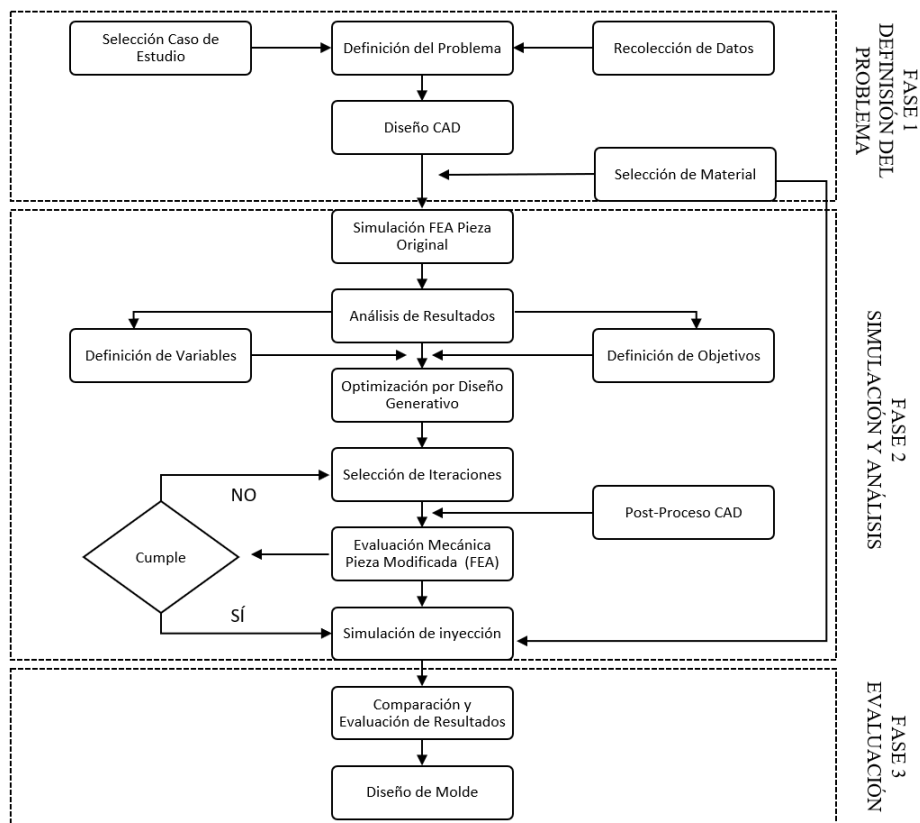


Figura 1.1.- Metodología para optimización de piezas por inyección de plástico mediante DG.

El método se divide en tres fases:

Definición de Problema: Esta primera fase consiste en definir el problema de diseño a solucionar, así como la recolección de los datos necesarios que lo definen y la selección del material, los cuales servirán en la siguiente fase como variables y objetivos en el proceso de DG.

Simulación y Análisis: En la segunda fase se realizan las primeras simulaciones mediante métodos de elemento finito para analizar las piezas a optimizar y así poder obtener resultados que complementen los datos recolectados para posteriormente definir el proceso de DG, el cual en la misma fase se lleva a cabo. Por último, en esta fase una vez obtenido los resultados de las iteraciones creadas por DG se selecciona y evalúa mecánicamente con el fin de seleccionar la pieza optimizada para analizar mediante simulación del proceso de inyección.

Evaluación: Para esta fase final, se comparan y evalúan los resultados de las piezas optimizada y el proceso de inyección de plástico, para finalmente pasar a una etapa de fabricación.

CAPÍTULO 2

DISEÑO GENERATIVO

2.1 Introducción

Citando a (César Vargas & Oguri C., 2013) según el *International Council of Societies of Industrial Design (ICSID)*, “El Diseño es una actividad creativa cuyo objetivo es establecer las cualidades polifacéticas de objetos, de procesos, de servicios y de sus sistemas en ciclos vitales enteros. Por lo tanto, el diseño es el factor central de la humanización innovadora de tecnologías y el factor crucial del intercambio económico y cultural” estas actividades tienen como consecuencia la creación de bienes de producto y servicios.

El diseño industrial según la Organización Mundial del Diseño (WDO, por sus siglas en inglés) es una profesión multidisciplinar que anida la creatividad para resolver problemas y crear soluciones, con la intención de hacer mejor un producto, sistema, servicio, experiencia o negocio. En su núcleo el diseño industrial provee una manera más optimista de ver al futuro, replanteando los problemas como oportunidades. Dicho lo anterior la función del diseño industrial se podría definir como una actividad creativa que conlleva un proceso para resolver problemas con relación a un producto, sistema o servicio mediante la humanización innovadora de tecnologías para el intercambio económico y cultural que provee las bases para un futuro óptimo. (World Design Organization, 2020)

2.1.1 Proceso de DG

Según (Reich, 1995) define el diseño como un proceso que, una vez dada una función deseada y sus restricciones, se ofrece la descripción de un artefacto que cumpla con estas últimas. Este proceso podría ser planificación del producto, clarificación de la tarea, diseño conceptual, diseño de conjunto y diseño de detalle.

La Asociación de Diseñadores Profesionales en España (Fernández García, López García, & Santacoloma, 2006) menciona que el “Proceso completo de diseño industrial depende de la tipología del producto que se va a crear y del sistema de producción de la empresa” y define el proceso de diseño en las siguientes fases:

- Fase1.- Definición Estratégica: Definir que se va a hacer y planear.
- Fase2.- Diseño del Concepto: Análisis, Creatividad y Bocetos
- Fase3.- Diseño de Detalle: Desarrollo de Alternativa, Planos y Prototipo
- Fase4.- Ingeniería de Producto: Paso a la manufactura, calculo y simulación, planos técnicos.
- Fase5.- Producción: Producción en serie, maquinaria y diagrama de proceso.

Un referente en el proceso de diseño es Bruno Munari que en su libro “Como nacen los objetos” propone una metodología proyectual que se puede dividir en los siguientes pasos: Problema, Definición del Problema, Elementos del problema, Análisis de Datos, Creatividad, Materiales y Tecnología, Experimentación, Modelos, Verificación y Solución.

Se podría reflexionar en que en toda etapa de diseño los autores coinciden en una etapa técnica que algunos llamarían ingeniería de producto, según (Schubert, Ax, & Behrend,

2003) se podría definir como el diseño de productos con sus propiedades deseadas, utilizando los métodos de la ingeniería de procesos.

En base a lo anterior se deduce que dentro del proceso de diseño de un producto existe una etapa estrechamente relacionada con la ingeniería y los procesos de manufactura. Esta etapa final en el nacimiento de un producto sustenta el resultado del proceso.

Dentro del proceso de diseño industrial existen nuevos métodos de diseño que automatizan el proceso, como menciona (Thoreau L., 2020); El DG es un campo emergente en el diseño industrial que está preparado para cambiar radicalmente la forma en que pensamos sobre la producción en masa, los productos y el diseño en general.

Como menciona (Nordin, 2017) los sistemas de DG tienen como objetivo apoyar a los diseñadores (humanos) y / o automatizar partes del proceso de diseño a través de medios computacionales (sistema). Según (Chun, 2020) el DG se implementa mediante parámetros informativos y algoritmos de creación. Para Chun la inteligencia artificial ayuda a los diseñadores a diseñar y obtener resultados deseados a través de dichas tecnologías.

Citando a (Thoreau L., 2020) el DG es un proceso de diseño que implica la colaboración entre diseñadores humanos y máquinas habilitadas por un sistema computacional. Esto quiere decir que el proceso de DG es una sinergia, la cual no depende totalmente del sistema, sino que también el diseñador sigue siendo pieza fundamental.

Se puede inferir que el proceso de diseño tradicional sería modificado por este nuevo sistema que, en base a las fases propuestas anteriormente por la ADP, la fase 2 a la 4 estarían automatizadas por el DG y se podría ver representado como se observa en la figura 2.1.

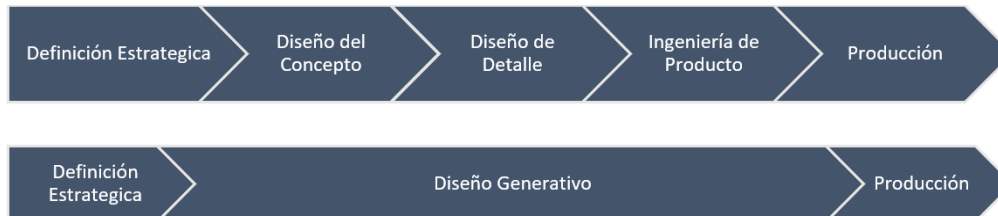


Figura 2.1.- Comparación de proceso de diseño convencional por ADP y Diseño Generativo.

El DG toma gran parte o todo el esfuerzo del diseñador, para generar soluciones complejas de diseño prácticamente inalcanzables por el ser humano, con la velocidad y repetitividad de un sistema computacional mediante inteligencia artificial, a partir de restricciones y objetivos establecidos por el diseñador. (Leary, 2020)

2.2 Factores del DG

El DG se podría considerar como un sistema evolutivo en donde las soluciones generadas por el sistema evolucionan según los límites o variables que el diseñador determine.

El diseño evolutivo es un sistema vivo, no comienza con el planteamiento de una idea ni termina con el lanzamiento de un producto, sino que el diseño debe estar en funcionamiento permanente partiendo desde la consideración de lo que quiere y necesita el consumidor en un momento determinado y teniendo en cuenta cómo esta variable puede evolucionar (Palmira, 2018).

El diseño evolutivo encuentra sus bases en la naturaleza y los seres vivos, la biología evolutiva, ciencia que busca entender la dinámica de la vida, citando a (Lama R., 2004). La flexibilidad, eficiencia y robustez de las técnicas evolutivas en el dominio del diseño, permite el uso de la búsqueda evolutiva para optimizar diseños existentes. El Diseño evolutivo en la

naturaleza es capaz de generar diseños increíblemente innovadores. Por lo tanto, se espera que el diseño evolutivo por ordenador sea también capaz de tal innovación.

El DG toma como referencia el diseño evolutivo natural para generar estructuras inspiradas en el crecimiento natural de la forma, a este proceso de imitar la naturaleza para el diseño se le denomina biomímesis o biomimetismo.

Citando a (Cocom-Herrera & González-Cetz, 2015, pág. 4) la biomímesis es un proceso que surgió al analizar el mundo natural. Los organismos y sus ecosistemas ofrecen incontables lecciones magistrales de diseño, así como estrategias funcionales que apoyan su supervivencia, a consecuencia de los impactos generados por la humanidad en los ecosistemas naturales. Dejando a un lado el enfoque humanista destructivo por las lecciones de la naturaleza constructiva.

Algunos ejemplos de respuestas a este abandono en relación hombre-naturaleza según (Leyton, 2008) son:

- El argumento utilitario: La naturaleza tiene valor instrumental en diversos ámbitos de la construcción social del ser humano
- El argumento prudencial: La naturaleza tiene un valor ecológico y les permite sobrevivir como seres humanos

El DG inserta la biomímesis en su sistema para generar estructuras complejas capaces de imitar el comportamiento del crecimiento natural mediante inteligencia artificial.

Para (Sosa Sierra, 2007) no existe una definición estándar sobre Inteligencia Artificial, una definición tradicional podría ser la capacidad de un computador para operar en la misma forma que el pensamiento humano aprende.

En relación con la biomimesis y el DG, (Sosa Sierra, 2007) puntualiza que una categoría para la inteligencia artificial se caracteriza por un bajo nivel de abstracción y modelos biológicos microscópicos. Las redes neuronales y los algoritmos genéticos se encuentran en esta categoría.

(Thoreau L., 2020, pág. 23) define la Inteligencia artificial (IA): máquinas habilitadas por software con la capacidad de realizar actividades normalmente realizadas por seres inteligentes.

Los sistemas de DG se encuentran enclaustrados en sistemas computacionales de diseño que permiten llevar a cabo el proceso de este, de la mano de la biomimesis y la inteligencia artificial se genera un sistema computacional capaz de desarrollar diseño a base de algoritmos.

El diseño computacional permite que diseñadores puedan escribir algoritmos para generar diseño. A diferencia de los métodos tradicionales de diseño por computador la mayor ventaja que tiene este proceso de diseño es que si se requiere modificar la geometría, solo se modifica un parámetro dentro del algoritmo. (Franco, 2018)

En relación con el DG (Kaled, 2016) menciona en su ensayo que el diseño computacional aborda el diseño con bases en el pensamiento algorítmico, lo que engloba al diseño paramétrico y generativo el cual se beneficia de la tecnología disponible, y al incorporar este método de pensamiento al proceso de diseño se involucra a la máquina como parte del proceso de generación de ideas.

El diseño paramétrico es consecuencia del diseño computacional y un factor en el sistema de DG es un recurso aplicable al diseño industrial y la arquitectura. El diseño

paramétrico crear una lógica a partir de relaciones específicas, que se pueden ir modificando según los requerimientos del diseño. Los objetivos primordiales del diseño paramétrico son: Diseñar un proceso y no un resultado concreto, Posibilidad de relacionar variables / parámetros, Resultados paramétricos y /o responsivos a condiciones establecidas previamente (Navarrete, 2014)

Citando a (Kaled, 2016, pág. 20) “lo que se entiende en términos generales por diseño paramétrico es que es un proceso de descripción de una problemática utilizando variables. Para describir estas variables, los diseñadores insertan valores numéricos o algoritmos en un software especializado, y al cambiar las variables se generan una serie de alternativas de soluciones, y según el criterio del diseñador, la solución final es creada”.

La Optimización Topológica (OT) como factor del DG permite la optimización estructural mediante métodos de elementos finitos, para proponer nuevas geometrías en base al diseño creciente. Citando a (Narváez T., Roa G., & Garzón A., 2004) la optimización topológica ha demostrado que es un método muy eficiente para el diseño estructural; debido a ello varias industrias la han acogido como herramienta fundamental en sus procesos de diseño.

La OT tiene como objetivo buscar una distribución óptima de material en un dominio de diseño que satisfaga las variables y limitantes establecidas. La OT es un campo en el cual intervienen distintas áreas como, por ejemplo, las matemáticas, la mecánica y las ciencias computacionales; cuenta, además, con importantes aplicaciones prácticas en la industria y en el sector de manufactura. (Millán-Páramo & Millán-Romero, 2018). Es importante mencionar que la optimización topológica se inserta dentro del método de DG, aunque algunas veces suele confundirse o pensar que es lo mismo, la principal diferencia entre ambos

radica en el objetivo final, en el caso del DG es un método que combina el proceso de diseño, con variables como la manufactura del producto e incluso costos.

2.3 Estado del arte del DG

Existen algunas investigaciones relacionadas al DG aplicado en diferentes áreas creativas como el diseño, arquitectura e ingeniería. Se han creado casos de estudio exitosos en la industria, como por ejemplo el proyecto “A.I Chair” de Philippe Starck para la marca Kartell, una silla diseñada mediante DG y manufacturada por inyección de plástico. (Jordahn, 2019). Para este proyecto el diseñador en conjunto con la inteligencia artificial diseñó la primera silla en el mercado mediante este método.

Así mismo en su investigación (Singraur, Patil, & Shaikh, 2021), muestra como mediante el uso de herramientas CAD/CAE se han podido desarrollar nuevas posibilidades en el diseño de moldes como lo son los canales de enfriamiento conformado, los proponen un nuevo método de enfriamiento en el proceso de inyección, fabricados mediante tecnologías de manufactura aditiva.

2.3.1 DG en Arquitectura.

El DG ha sido de gran utilidad para la profesión del arquitecto, diferentes investigaciones han apoyado a la generación de conocimiento y métodos aplicados a dicha profesión, tal es el caso de (Villaggi, Wang, Zhao, & Benjamin, 2017) en su investigación describen un flujo de trabajo flexible para el DG aplicado a la planificación del espacio arquitectónico, a través de una aplicación para el diseño de una nueva oficina. Primero, describen un modelo de diseño computacional que puede crear una variedad de diseños de oficina, luego seis objetivos únicos que evalúan cada diseño basado en la función

arquitectónica, así como preferencias específicas del usuario. Finalmente, muestran el uso de un algoritmo evolutivo para buscar a través del espacio de todos los diseños posibles, y describirlos mediante varias herramientas de visualización para que puedan ayudar al arquitecto a navegar a través del espacio de diseño y elegir bien sobre los diseños.

La metodología de trabajo colaborativo *Building information modeling* (BIM) se está convirtiendo en una parte integral en el proceso de arquitectura y construcción, mediante la integración de los datos del edificio en un modelo tridimensional. En su investigación (Sydora & Stroulia, 2020) demuestra el uso de un lenguaje computacional para la generación automatizada de múltiples diseños de modelos de interiores válidos, que cumplen con un conjunto de reglas de diseño expresadas en el lenguaje, evaluando la utilidad de este en dos estudios de caso de DG, aplicado en cocinas con reglas proporcionadas por un socio comercial, y diseños de salas de estar, uniendo así los conceptos de validación automatizada de modelos y generación de diseño.

2.3.2 DG en Diseño Industrial

La disciplina del diseño industrial en relación con el DG ha demostrado avances significativos para su aplicación, en el desarrollo de productos y la generación de iteraciones para la exploración de diseños. Para (Trautmann, 2021) utiliza el DG para modificar los parámetros de un componente para la exploración de formas, reportando resultados rápidamente en el desarrollo de producto, reportando que, mediante el DG, la personalización de productos y la satisfacción del cliente es más eficiente.

En la misma investigación (Trautmann, 2021) reporta el uso de DG en empresas como General Motors aplicado al diseño automotriz para crear carros más ligeros y resistentes. Los

ingenieros ingresan los parámetros asociados con cada pieza del automóvil en el sistema, y un algoritmo crea y evalúa la forma óptima para cumplir con los parámetros establecidos.

Para su trabajo de investigación (Pinto, 2019) logra optimizar el marco de una bicicleta eléctrica mediante DG al obtener la mejor estructura que satisfaga a todos los escenarios de carga previamente establecidos. El diseño final fue postproceso y analizado mediante métodos de elementos finitos. Este proceso de optimización logró reducir el 24% de peso con respecto a la estructura original.

2.4 DG en la Industria 4.0

La 4ta revolución industrial o también conocida como Industria 4.0 surge en Alemania y se populariza en Europa a mediados del 2010, para englobar una serie de acciones políticas gubernamentales que dieran lugar a fabricas automatizadas, digitalizadas y flexibles que dan como resultados transformaciones rápidas en el diseño y producción de sistemas y productos fabricados (Tabarés Gutiérrez, 2019).

Dentro del marco de la cuarta revolución industrial se encuentra el DG, al permitir automatizar el proceso de diseño mediante tecnologías basadas en algoritmos. Una entrevista realizada por la empresa AMFG (Autonomus Manufacturing) a Robert Yancey Director de Estrategia para la industria de fabricación y producción y desarrollo de negocios en Autodesk menciona como las tecnologías de Inteligencia Artificial, Aprendizaje autónomo y análisis de datos son parte del ecosistema del Industria 4.0 y así el DG encaja al englobar estas tecnologías y junto al proceso de diseño cerrando el puente entre los requerimientos del diseño y lo que puede ser manufacturado. (AMFG, 2019)

Autodesk una de las más grandes compañías de software y pioneros en el DG menciona en su libro “Deciphering Industry 4.0 Part V Generative Desing” que el DG ayudará tanto a pequeños como a grandes compañías a ampliar sus limitaciones de diseño, ahorrar dinero, reducir desperdicios e impulsar la creatividad. (Autodesk, Zenoot, 2019)

CAPÍTULO 3

MECÁNICA DE MATERIALES Y MÉTODOS NUMÉRICOS

En este capítulo se describen los conceptos de mecánica de materiales y métodos numéricos para la evaluación y validación de piezas optimizadas por DG. La mecánica de materiales define algunas variables que forman parte de los datos que alimentarán el sistema de DG y son determinantes en la generación de iteraciones por DG, por otro lado, los métodos numéricos permitirán analizar y validar dichas iteraciones.

3.1 Resistencia Mecánica y Elasticidad

La resistencia a la fractura es la capacidad de un material para resistir la falla y se designa específicamente según al tipo de carga aplicada, como tensión, compresión o flexión. Las propiedades mecánicas como la resistencia teórica a la fractura y el módulo de Young o módulo de elasticidad se pueden definir a partir de un análisis de la fuerza de los enlaces metálicos, iónicos y covalentes en los materiales (Zinelis & Brantley, 2017).

Todo cuerpo solido se deforma bajo la acción de fuerzas aplicadas, y al cesar estas, el cuerpo tiende a recuperar su forma primitiva. Esta tendencia que, en mayor o menor grado, tienen todos los sólidos se denomina elasticidad. La deformación es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Si la carga excede el límite de elasticidad, se producirán deformaciones permanentes (Cervera & Blanco, 2015), el comportamiento elástico fue

definido en 1678 por Robert Hooke y se expresa matemáticamente en la Ley de Hooke de la forma:

$$F = k \cdot d$$

Donde F es la fuerza, de desplazamiento que produce, y k es la constante de proporcionalidad entre la fuerza aplicada, que generalmente está en N/m.

El módulo de elasticidad también llamado módulo de Young, es un parámetro característico de cada material que indica la relación en la zona de comportamiento elástico de dicho material, entre los incrementos de tensión aplicados y los incrementos de deformación longitudinal unitaria producidos. Equivale a la tangente en cada punto de la zona elástica en la gráfica tensión-deformación, los cuales se obtienen por el ensayo de tracción. (Mecapedia, 2014). El módulo de elasticidad describe la resistencia de un material al estiramiento o compresión durante la deformación elástica y se define como la relación entre la esfuerzo y deformación (Ma, Sobernheim, & Garzon, 2016), como se observa en la figura 3.1.

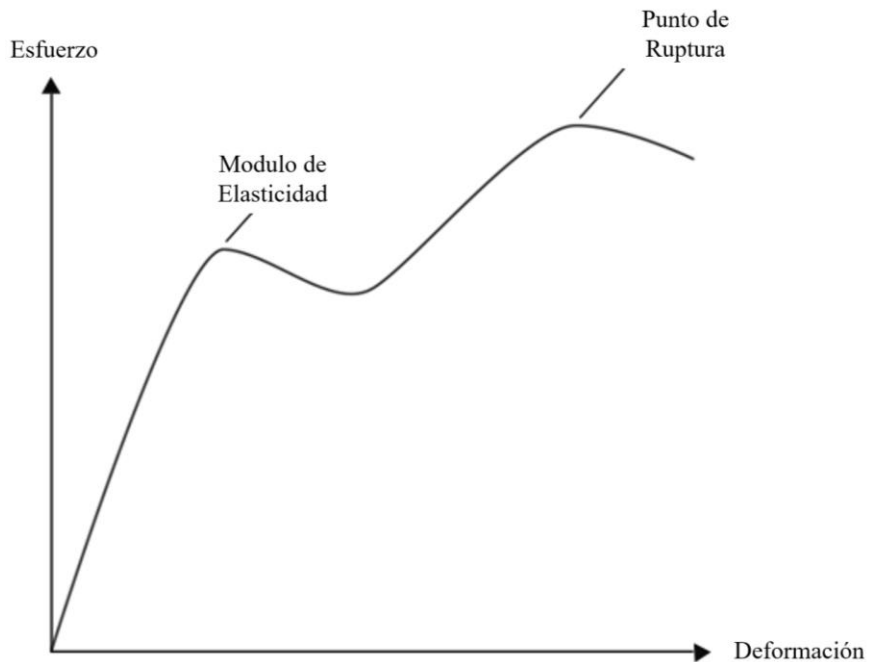


Figura 3.1.- Grafica de relación esfuerzo – deformación.

3.2 Esfuerzo y Deformación

Los siguientes conceptos definirán algunos tipos de cargas y ayudarán a entender el comportamiento de las piezas optimizadas por D.G al someterse a alguna de estas cargas para posteriormente poder evaluar la resistencia y el desempeño físico de dichas piezas.

I.- Esfuerzos mecánicos

A) Compresión: si se aplica dos fuerzas de igual magnitud, en la misma dirección y sentido opuesto sobre un cuerpo y tendemos a acortar éste, estamos comprimiendo el objeto. El cuerpo acorta y disminuye su longitud.

B) Tracción: Cuando se estira un cuerpo, se aplica dos fuerzas de igual magnitud, igual dirección y sentido opuesto, se está traccionando ese objeto. Las partículas del material tienden a separarse y el objeto aumenta de longitud.

C) Flexión: Si se aplica una fuerza vertical, en el punto medio entre dos apoyos sobre un elemento resistente horizontal, se está sometiendo al cuerpo a esfuerzos de flexión. El cuerpo tiende a curvarse, a comprimirse en la parte superior y traccionarse en la parte inferior.

D) Corte: Una viga apoyada, está sometida a una fuerza de acción y a dos fuerzas de reacción. Además de trabajar a flexión también está sometida a esfuerzos de cortadura. Cada una de las secciones de la viga está sometida a dos fuerzas de sentido contrario perpendiculares a la viga. Las partículas que componen cada sección tienden a deslizarse.

E) Pandeo: Cuando se comprime un objeto esbelto tipo columna, se arquea y flecta. Este efecto se denomina pandeo.

F) Torsión: Consiste en aplicar una fuerza transversal con una determinada distancia generando un momento en el eje longitudinal de una pieza.

Definiciones obtenidas por el manual de Micro-Log Tecnología y Sistemas S.L (Sistemas, 2020)

3.3 Modelación Numérica

La modelación numérica permite simular la realidad física, representándola en un modelo matemático para la resolución de problemas mecánicos. Este método permite simular mediante el análisis de elementos finitos alojado en un software CAE el comportamiento de una pieza al ser sometida a diferentes cargas y así poder evaluar y recolectar los datos que ayudaran a la optimización de piezas generadas por D.G.

3.3.1 Método de Elementos Finitos

El Método de Elementos Finitos es una técnica de análisis numérico mediante la cual se obtienen soluciones aproximadas a problemas de ingeniería (Perez, 2017). Consiste en dividir la pieza en una serie de elementos finitos como se observa en la figura 3.2. y así poder generar ecuaciones que determinen el comportamiento físico del problema.

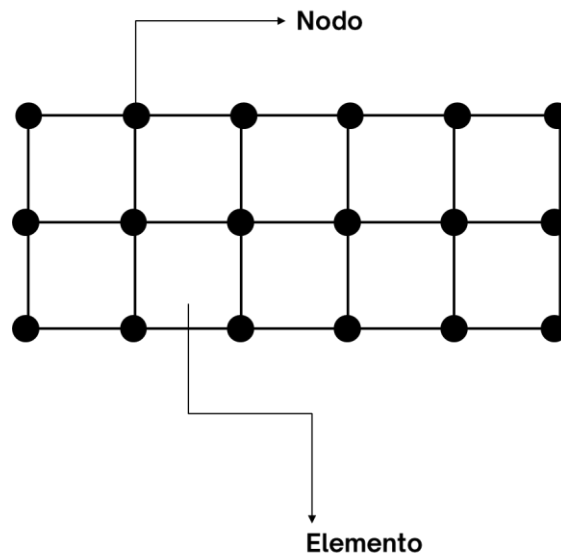


Figura 3.2.- Discretización por Método de Elemento Finito.

El Método de Elementos Finitos es ampliamente usado en la actualidad en diferentes aplicaciones de análisis estructural para determinar el estado de esfuerzo y deformación de los elementos que conforman las estructuras sin importar el grado de complejidad de estas. El análisis de elementos finitos predice el comportamiento de las estructuras afectadas por una variedad de efectos físicos. (González-Becerra & Estrada-Cingualbres, 2015)

El Método de los Elementos Finitos (MEF) implica una serie de procedimientos computacionales para calcular el esfuerzo en cada elemento. Dicho análisis estructural permite la determinación de los esfuerzos resultantes por las cargas externas, presión, cambio térmico u otros factores. Este método es útil para simular aspectos mecánicos que

difícilmente se puede medir in vivo. Los resultados obtenidos pueden entonces ser estudiados utilizando sistemas computacionales de visualización dentro del entorno MEF para ver una variedad de parámetros e identificar las implicaciones del análisis (Van Staden, Guan, & Loo, 2014).

CAPÍTULO 4

INYECCIÓN DE PLÁSTICO

4.1 Introducción

La ingeniería de los procesos de manufactura surgió del desarrollo tecnológico y el cambio profundo de la industria del acero. Los procesos de fabricación representan los principales métodos de generación de formas, como la fundición, el moldeo, el conformado y los procesos mecanizados para eliminación de material (Yin, 2016).

El proceso de fabricación es básicamente una actividad compleja, el cual requiere de personas de diferentes disciplinas, experiencias y una amplia gama de maquinaria, herramientas y equipos con gran nivel de automatización, como computadoras, robots, etc. (Engineering Articles, 2015)

Los siguientes son los tipos generales de procesos de fabricación:

- **Mecanizado:** Las herramientas utilizadas para el mecanizado son unidades de motor inmóviles que se utilizan para formar o dar forma a materiales sólidos, específicamente metales. Las máquinas herramienta constituyen la base de la industria avanzada y se utilizan directa o indirectamente en la fabricación de piezas de herramientas.
- **Sujeción/Unión:** Cada proceso de unión tiene necesidades de diseño particulares, mientras que ciertas necesidades de unión pueden proponer un enfoque de unión particular. El diseño para el ensamblaje y la selección de

sujetadores aplican sus propias especificaciones. El atornillado es un método de sujeción estándar, por ejemplo, pero la soldadura puede reducir el peso de los ensamblajes.

- Conformado: La formación de metales es crear componentes metálicos deformando el metal, pero no quitando, cortando, triturando o rompiendo ninguna parte. Doblar, hilar, estirar son algunos procesos importantes del conformado de metales.
- Fundición: La fundición es un proceso de fabricación en el que un sólido se disuelve en un líquido, se calienta a la temperatura adecuada (a veces se procesa para cambiar su fórmula química) y luego se agrega a un molde o cavidad.

El proceso de fundición engloba el proceso de inyección de plástico, puesto que consiste en fundir un material para rellenar una cavidad formada en un molde. El presente trabajo se enfocará en este proceso ya que es una variable de estudio.

4.2 Moldeo por Inyección

El proceso de moldeo por inyección consta de introducir a alta presión un polímero termoplástico a cierta temperatura de fusión a través de cavidades que conforman la geometría de la pieza para después pasar por una etapa de refrigeración y por último ser expulsada del molde, el tiempo que toma desde que se inyecta hasta que se enfría y expulsa la pieza comúnmente se conoce como ciclo de inyección. Las primeras máquinas eran rudimentarias, el proceso era manual, una de las máquinas más conocidas en México fue el modelo “Vulcano”, el cual funciona mediante un mecanismo de cremallera que sirve para empujar una barra cilíndrica a través de un barril el cual cuenta con una resistencia para poder

fundir el polímero a inyectar y trasladarlo a una boquilla que conecta con el molde. El mecanismo de expulsión de los moldes generalmente se realiza manualmente y no automatizado, ya que mediante un tornillo sin fin se presiona o libera el molde para poder expulsar la pieza, el sistema de enfriamiento depende totalmente del material que conforma el molde, así como la temperatura del medio ambiente.

Actualmente la mayor parte del proceso es automatizado, desde la presión, volumen y temperatura del material hasta el flujo de líquido en el molde para enfriar las cavidades y expulsar la pieza, incluso se han implementado brazos robóticos para sostener y acomodar las piezas una vez expulsadas del molde, mediante recurso tecnológico, haciendo rentable el procesos de inyección y la piezas en gran volumen, entre más corto sea el ciclo de inyección mayor volumen de piezas obtendrás en menor tiempo trayendo una mayor rentabilidad.

Los moldes de inyección para producción industrial suelen ser de un alto costo ya que dentro del proceso de diseño intervienen factores como; recurso humano especializado, tiempo de diseño, softwares de diseño asistido e ingeniería asistida por computador (CAD y CAE), materiales resistentes al desgaste y abrasión comúnmente aceros y aleaciones y finalmente su fabricación mediante métodos como maquinados por control numérico (CNC), requiriendo así una gran inversión tanto como recurso humano así como infraestructura, es por eso que su rentabilidad depende de la producción en volumen de las piezas moldeadas.

Para la determinación del coste del molde se valoran los aspectos como geometría del producto, tolerancias de fabricación, relación de superficie, tipo de bebedero, sistema de expulsión y sistema de enfriamiento, para la elaboración de las cavidades y de la base del molde se calcula el número total de horas de diseño, horas de construcción y costos de material y templado, partes estándar de la base del molde, y después el precio del molde total

(Interempresas, 2001), en la figura 4.1 se muestra las partes mencionadas anteriormente de un molde convencional.

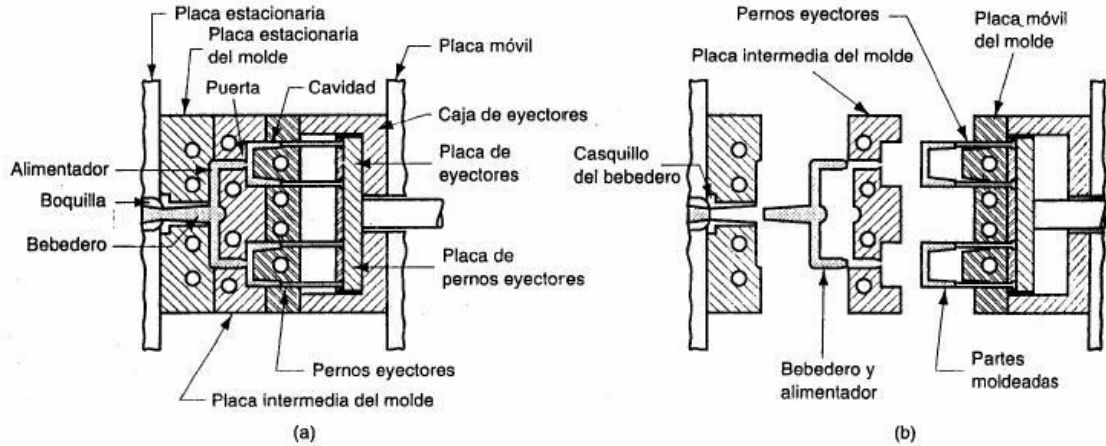


Figura 4.1.- Partes a cotizar de un molde de inyección (Ramírez, 2006).

En el proceso de diseño para un molde suele haber obstáculos e incluso errores que por lo general se detectan al ponerlo en funcionamiento o al empezar a producir piezas en volumen. Estos errores suelen estar relacionados con aspectos funcionales de mecanismos, factores estructurales, materiales con el que está fabricado o materia prima a inyectar y los mecanismos de enfriamiento o expulsión de las piezas, trayendo como consecuencia retroceso o retrabajos en el molde e impactando directamente el retorno de inversión para las empresas (Rogers, 2015)

Algunas compañías optan por crear un molde prototipo, con el objetivo de anticipar o evaluar posibles fallas en el proceso de moldeo o también producir un bajo volumen de piezas para probar la aceptación del producto en el mercado, evitando así una inversión mayor y asegurando un posible éxito en la producción de alto volumen.

Existen factores importantes que se deben evaluar para la fabricación de un molde, uno de estos factores, es el diseño del molde (esto involucra el desarrollo tanto de las partes que componen el molde para conformar la pieza, así como el sistema de enfriamiento y expulsión de esta); como se menciona anteriormente un molde mal diseñado tiene como consecuencia deformaciones físicas en la pieza, causadas por cavidades mal formadas, falta de enfriamiento en algunas secciones del molde o problemas en el sistema de eyección por mencionar algunas. Otro factor es la limitación de tamaño, ya que existen limitaciones para confeccionar moldes de inyección de dimensiones muy reducidas en ciertos materiales o que dependen de la maquina inyectora. Finalmente, se puede deducir que otro factor es la durabilidad de los materiales, ya que estos limitan el uso y tiempo de vida del molde. Es por ello por lo que es importante evaluar los diferentes factores que involucran el proceso de diseño de un molde ya que estos factores impactan directamente en la inversión y la utilidad final de la producción en una pieza.

4.2.1 Proceso de moldeo por inyección

El objetivo de este estudio es poder relacionar los conceptos del DG y la inyección de plástico para poder definir una metodología basada en sus características y determinar si el DG ofrece soluciones a estas.

El proceso de moldeo por Inyección consiste en hacer pasar a presión un material termoplástico reblandecido por medio de temperatura, con ayuda de un pistón caliente, hacia un molde colocado en una prensa, posteriormente el pistón se retrae y se debe mantener la pieza durante un tiempo dentro del molde con el objetivo de que la pieza se enfríe a una temperatura idónea para su extracción (Seow & Lam, 1997).

La extracción de las piezas de plástico se realiza abriendo las cavidades del molde una vez se ha realizado adecuadamente el proceso de inyección. La figura 4.2 representa las fases del proceso de inyección.



Figura 4.2.- Proceso General de Inyección de Plástico.

4.3 Diseño de moldes para inyección:

La fabricación de moldes de inyección es algo casi artesanal, pues quien está encargado de hacerlo cuenta con conocimientos empíricos que por lo general son adquiridos por el método de prueba y error (Suárez Castrillón, Tafur Preciado, & Calderón Nieves, 2015), esto ha traído como consecuencia pérdidas monetarias en el proceso manufactura de una pieza.

El uso de herramientas CAD y CAM ha facilitado el desarrollo y fabricación de moldes de inyección de plástico, por ejemplo, Mold Flow de Autodesk y Mold Works (SolidWork), los cuales permiten diseñar, simular y optimizar el proceso de inyección, y además permiten observar el comportamiento del molde sometido a las condiciones reales del proceso (Ching-Piao, Ming-Tsan, Yun-Hsiang, Yung-Kuang, & Chih-Hung, 2009).

La herramienta MoldFlow como sistema para optimización del proceso de inyección, es un referente en el uso de softwares para industria de la inyección de plástico como menciona (Fischer, 2013) Moldflow es un software que se usa ampliamente en la industria del moldeo por inyección de plástico para predecir y optimizar el proceso de moldeo por inyección y ayudar con el diseño del molde.

Se podría concluir que el avance en las tecnologías computacionales ha ayudado a solucionar diferentes necesidades en la industria del plástico que van desde el diseño del molde hasta el proceso de inyección, por lo que es pertinente poder estudiar el DG en relación con esta industria.

4.3.1 Partes de un Molde de Inyección

Como se mencionó anteriormente el proceso de inyección consiste en introducir material fundido en un molde formado por cavidades que conforman la pieza a inyectar, el molde puede estar formado por 1 o más cavidades para producir múltiples piezas. Las partes principales de un molde de inyección de plástico se ilustran en la figura 4.3.



Figura 4.3.- Partes de un molde de inyección (Campos B., 2014).

Un molde de inyección generalmente se divide en dos partes (Campos B., 2014) las describe de la siguiente forma:

I.- Parte Fija: Es una placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que, según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. Esta placa será lo suficientemente gruesa, como para evitar deformaciones, lo que influirá en el peso total del molde

A) Placa de cavidad y corazón: Son las placas donde se realizan las figuras de la pieza, bien como insertos ajustados en la misma. Estos insertos definen en su interior las cavidades de las piezas y de los canales de llenado, en general

se puede decir que uno será positivo y otro negativo

B) Anillo centrador: Sirve para centrar el molde en la máquina. Suele ser circular y sobresale de la placa base para entrar con ajuste con la platina fija de la máquina. Así, una vez centrado el molde, el cilindro de inyección de la máquina coincide con el orificio por donde tiene que entrar el plástico fundido en el molde.

C) Bebedero, canales de distribución y entradas: Estos elementos son los huecos creados en el molde, que sirven para que el plástico fundido que es inyectado por el cilindro de inyección de la máquina pueda llegar a través de ellos hasta las cavidades que tienen la forma de la pieza.

D) Sistema de refrigeración: Puede encontrarse en ambas partes del molde en el interior de las cavidades que forman la pieza, por donde pasa el líquido refrigerante. Con este sistema, a una temperatura dada del líquido refrigerante y

trabajando la máquina de forma continua en tiempo de un ciclo determinado, se establece un equilibrio entre la cantidad de calor que se suministra al molde con el plástico fundido y la cantidad de calor que le quitamos al molde con el líquido refrigerante.

- E) Guías o columnas del molde: Ambas partes del molde tienen un sistema de guías en una parte y de agujeros guía en la otra, que aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una parte respecto a la otra cuando recibe la presión del plástico fundido que llega a las cavidades.

II.- Placa respaldo móvil: Al igual que para la parte fija, sirve para su sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación al plato móvil de la máquina de inyección.

III.- Placa expulsora: Es una placa doble que lleva los expulsores y los recuperadores. Va guiada y se encuentra flotante en un determinado espacio dentro de esta mitad de molde. Su misión consiste en extraer la pieza, por medio de los expulsores que están unidos a ella, cuando el vástago de expulsión de la máquina hace presión sobre ella.

A) Expulsores: pueden tener diferentes formas, según la pieza, aunque lo común es que sean de forma cilíndrica o laminar. Tienen un extremo unido a la placa expulsora y formando el otro parte de la superficie de molde en contacto con el plástico.

B) Recuperadores: Son barras cilíndricas de mayor tamaño que los expulsores, ubicadas fuera del área de la pieza del molde y su misión es evitar que los expulsores dañen el molde cuando se cierran ambas mitades

C) Salida de gases: son pequeños alivios creados de forma precisa en el molde que están situados principalmente en las terminaciones del llenado de las piezas. Permiten que el

aire que hay en los huecos de la cavidad a llenar, junto con los gases que se generan en la inyección, puedan salir del molde al exterior.

4.3.2 Proceso de Diseño de un Molde de Inyección

Para poder realizar una pieza en algún polímero mediante inyección de plástico es necesario diseñar un molde en donde se inyecte el material. Los moldes de inyección se componen por un gran número de partes, cada una de ellas define parte del proceso de inyección como se mencionó anteriormente. El diseño de un molde depende de la complejidad de la pieza, así como el material y número de cavidades que se inyectaran. Aun así, el proceso de diseño de un molde se puede generalizar como se muestra en la figura 4.4.

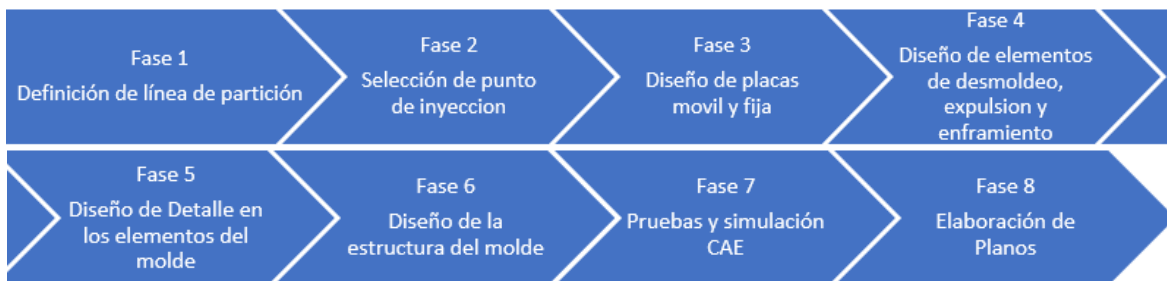


Figura 4.4.- Proceso General de Diseño de un molde de inyección de plástico.

- Fase 1: Se define la línea de partición en la figura que servirá de partición para la parte fija y móvil.
- Fase 2: Selección del punto de inyección en la pieza, se define la orientación de geometría determinado por el equilibrio y distribución en las placas al momento de llenar.
- Fase 3: Diseño de placas móvil y fija, tanto como cavidades, insertos y núcleos que conformaran la pieza.

- Fase 4: Diseño de mecanismo de expulsión, placas botadoras y cilindros de expulsión, así como los canales de enfriamiento en las cavidades.
- Fase 5 y 6: Diseño de estructura de molde, porta moldes, anillo centrador y placas de respaldo.
- Fase 7: Pruebas de simulación en softwares CAE para validación de diseño y optimización.
- Fase 8: Dibujo técnico y elaboración de planos para producción.

El proceso de diseño digital de un molde empieza primeramente teniendo el diseño digital de la pieza a moldear después con ayuda de un software CAD/CAE se pueden obtener el núcleo y cavidades del molde y escalar un porcentaje la pieza que dependerá del coeficiente de contracción del material a inyectar, esta información se puede obtener de la hoja de datos técnicos por el vendedor de la resina, para el diseño optimo del molde se tendrá que analizar los parámetros esenciales dentro de la inyección de plástico, como son ángulo de salida, escala, línea de partición y núcleo-cavidad. (Ruiz Colunga, Alvarado Almanza, Del Campo Vazquez, Rojas Rojas, & Medina Flores, 2015)

En la figura 4.5 se observa un caso de estudio del diseño un molde prototipo para un vaso, las partes se identifican como: 1.- Placas de Sujeción, 2.- Placa de Respaldo, 3.- Sistema de Temperatura, 4.- Núcleo y 5.- Cavidad. El estudio muestra como conclusión que el uso de softwares en la etapa de diseño de moldes aporta información relevante mediante los análisis correspondientes para tomar decisiones de mejora en los moldes ya sea en la etapa de inyección, enfriamiento o expulsión de la pieza.

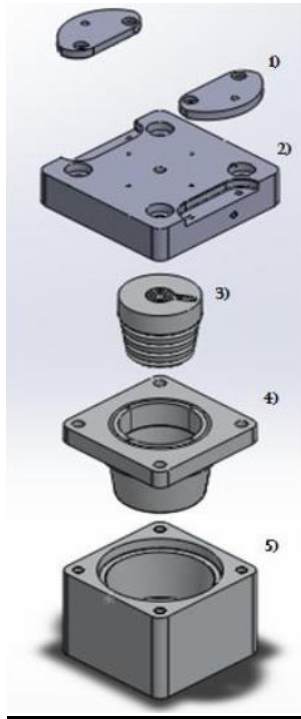


Figura 4.5.- Vista explosionada de molde prototipo. (Ruiz Colunga, Alvarado Almanza, Del Campo Vazquez, Rojas Rojas, & Medina Flores, 2015, pág. 5269).

El moldeo por inyección funciona fundiendo un polímero termoplástico e inyectándolo a alta presión en una cavidad donde el plástico se deja solidificar nuevamente. Diseñar un molde se requiere de un conocimiento especializado ya que existen diferentes limitaciones y fallas en el proceso, la fabricación del molde suele ser muy costoso y en caso de describir algún error en los primeros ciclos de inyección, deberá para su uso y rediseñar o re TRABAJAR para corregir.

Un estudio menciona como el uso de herramientas de diseño asistido por computadora en conjunto como análisis de elementos finitos suelen ser una opción para la reducción de riesgos y errores antes de fabricar y poner en funcionamiento el molde, incluso el uso de

moldes prototipos ayudan a probar las partes plásticas moldeadas y generar cambios de diseño rápidos y menos costosos. (Kriesi, Bjelland, & Steinert, 218)

Dicho lo anterior, el proceso de diseño es un factor importante que impacta directamente en la producción en volumen de una pieza fabricada mediante moldeo por inyección de plástico, una herramienta que ha sido de gran utilidad para el diseño de moldes es el software CAD, ya que permite visualizar de forma más ágil su geometría y dimensiones, así como la relación de ensamblaje entre las partes que lo componen, reduciendo tiempos en el proceso de diseño. En un estudio se mostró que mediante la utilización de herramientas CAD es posible que desde la fase de diseño se construya un molde que cumpla con todos los requisitos y así evitar la mayor cantidad de fallas de diseño (Ruiz Colunga, Alvarado Almanza, Del Campo Vazquez, Rojas Rojas, & Medina Flores, 2015).

Aunado a estas herramientas existen sistemas computacionales de ingeniería asistida por computadora (CAE) los cuales, a partir de un modelo tridimensional mediante CAD, permiten evaluar un modelo mediante FEA. El diseño de las piezas plásticas se estudia desde el punto de vista mecánico- resistente y desde el punto de vista de la factibilidad de fabricación de estas, mediante la tecnología de inyección (Fajardo Seminario & Calle Sigüencia, 2007) simulando así el proceso antes de la fabricación. Un ejemplo actual del uso de las herramientas CAD/CAE es el diseño de nuevas formas en los canales de enfriamiento para un molde de inyección, denominados “Canales de enfriamiento conformado”, los cuales se diseñan y simulan en softwares CAD/CAE, demostrando mediante la simulación del proceso de inyección y análisis FEA que el tiempo de enfriamiento de una pieza se puede reducir hasta un 18.2% (Singraur, Patil, & Shaikh, 2021).

Estas herramientas mencionadas han ayudado a reducir los riesgos de errores en inyección, el tiempo de diseño o rediseño por retrabajos, impactando directamente el costo final de un molde. Una limitante para el uso de esta tecnología es que las empresas ahora tienen que disponer de recurso humano altamente capacitado para manejar dichas herramientas y de igual forma recurso tecnológico.

4.4 Costo de un molde para inyección de plástico

El costo de un molde de inyección es un factor importante en la fabricación de una pieza y puede estar determinado por diferentes variables. Los factores determinantes en el costo de un molde están determinados por el tamaño de la pieza, la complejidad, el material y las cavidades a inyectar.

La selección del material a inyectar es un factor importante para determinar el costo de los moldes de inyección de plástico. Cualquier producto plástico hecho de algún polímero compuesto por fibra de vidrio, por ejemplo, desgastará los moldes más comunes. Por lo que un molde fabricado en acero para herramientas endurecido soportaría el desgaste a dicho material. (REX PLASTICS, 2013)

De acuerdo con (ACO Mold, 2020) el costo de un molde puede ser calculado de la siguiente forma:

I.- Método de cálculo empírico:

- Precio del molde = costo del material + diseño + proceso y ganancia + IVA + costo de prueba + costo de empaque y envío.
- Normalmente en la proporción:

- Costo de material: los materiales y piezas estándar representaron entre el 15% y el 30% del costo total del molde de inyección;
- Proceso y beneficio: 30% -50%;
- Tarifas de diseño: 10% -15% del costo total;
- Costo de prueba: los moldes de tamaño mediano se pueden controlar en un 3% mientras que los moldes pequeños de precisión se controlan en un 5%;
- Costo de embalaje y envío: según el real o calculado al 3% del total;
- IVA: 17%.

II.- Método de coeficiente de materiales: Los costos del material del molde se pueden calcular según el tamaño del molde y los precios del material.

- Molde de inyección = $(6 \sim 10) * \text{costo del material}$
- Molde de forja, molde de plástico = $6 * \text{costo del material}$
- Molde de fundición a presión = $10 * \text{costo del material}$

4.5 Relación entre la inyección de plástico y el DG

El estudio del DG aplicado al diseño moldes es un área relativamente nueva y no muy explorada, un estudio comenta como mediante DG se logra optimizar topológicamente el núcleo de una cavidad en el molde de inyección, mostrando como resultado un diseño generado y evaluado mediante Inteligencia Artificial (I.A). El diseño demuestra que el núcleo optimiza sus propiedades térmicas para lograr reducir la temperatura final la inyectarse la pieza. (Suchana, Tong, Yung, Tovar, & Hazim, 2019). Es importante destacar que el método de fabricación que se utiliza en el estudio es mediante manufactura aditiva.

La fabricación aditiva refiere a la tecnología que permite fabricar componentes físicos a partir de un modelo tridimensional construyéndolo al adherir capa por capa. Este método de fabricación se popularizó a como lo conocemos hoy en día en 1986 con la con la patente de estereolitografía de Charles W. Hull, la máquina apareció en 1988 y hasta la fecha se han visto un aumento exponencial en la tecnología y materiales. (Diegel, 2014). Al igual que el concepto de DG, este método de fabricación forma parte de la 4ta revolución industrial, al automatizar la fabricación.

En relación con el estudio de optimización mediante DG se describió el efecto de este método en las propiedades térmicas y de carga estructural con el objetivo de minimizar la masa del molde de inyección mientras se satisfacen las restricciones en el rendimiento mecánico y térmico, mostrando que, en comparación a un diseño tradicional sólido, este método permite una reducción significativa de masa (más del 30%) y dado que se utiliza menos material, esto se traduce en ahorros de costos de fabricación. Cabe mencionar que las estructuras tridimensionales resultantes se fabricaron mediante manufactura aditiva. (Wu, Liu, & Tovar, 2017)

4.6 Moldeo por Inyección en PYMES de México

Un estudio sobre las PYMES del sector de plástico realizado en Guadalajara menciona que la actual problemática de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en dicho sector y que les impide crecer es la carencia de competitividad ante las demás empresas debido a que sus operaciones no son eficientes y eficaces. Englobando como parte del problema sus operaciones, el desarrollo de personal, la falta de actualización de procesos e infraestructura y su automatización. En sus conclusiones menciona que algunos los factores de automatización como procesos automatizados o maquinaria que utiliza algún tipo de

software de acuerdo con los datos estadísticos que obtuvieron, influyen positivamente en el nivel de las operaciones de las Pymes (Vázquez Ávila, Mejía Trejo, & Núñez Moreno, 2016).

Reforzando la idea anteriormente expuesta otro estudio realizado en Colombia sobre la automatización de procesos en la industria farmacéutica concluye que la automatización es una oportunidad para el mejoramiento de los procesos productivos, y que su aplicación contribuye a la optimización de los recursos que intervienen en un proceso de transformación de materiales y que al implementar dichos procesos se optimizarían tiempos y costos (Vallejo & Vallejo, 2006).

A pesar de que la cadena productiva del plástico representa una alta participación del PIB en México, la manufactura mediante moldeo por inyección se enfrenta a diversas problemáticas como se mencionó anteriormente deformaciones físicas en la pieza, causadas por cavidades mal formadas, falta de enfriamiento en algunas secciones del molde o problemas en el sistema de eyección todas estas relacionadas al proceso de diseño. Estas problemáticas pueden traer como consecuencia una pérdida de la inversión o elevación de en los costos finales del molde.

Organismos como ProMéxico señala que el proceso de inyección y la fabricación de moldes son escasos, faltantes o de bajo desarrollo en México, existiendo un mercado potencial de US\$1.600 millones para este sector (Martín del Campo & Ruiz, 2016).

El periódico El Economista menciona que en los primeros diez meses del 2019 Nuevo León ocupó el primer lugar en la industria manufacturera en México, con un valor de \$850,606 millones de pesos de los cuales el 7.3% correspondió a la industria del plástico y

hule, estando entre las tres industrias que mostraron mayor crecimiento en la entidad. (Rosales, 2019).

Estos datos demuestran el posible impacto económico que podría traer como consecuencia esta investigación.

En México como en otros países de América y Asia, las pequeñas y medianas empresas (Pymes) conforman la mayoría del sector empresarial. Es por eso la importancia que deberían adquirir en términos de desarrollo económico pues en el 2006 representaban más de 4 millones de empresas (productores agrícolas, ganaderos, acuicultores, mineros, artesanos, manufacturas, comercios, servicios turísticos y culturales) de las cuales 99.7% eran micro (97%) y pequeñas (2.7%) (Padilla Hernández, 2008).

En cuanto al caso de México, la industria del plástico, aunque resulta valiosa en virtud de servir como un proveedor de la industria automotriz, ha mantenido un ritmo de crecimiento discreto en los últimos 10 años. Tomando en cuenta que el crecimiento promedio anual de la economía mexicana en general ha sido de 2.92%, el de la industria del plástico es apenas superior, con 3.03% promedio anual. Las exportaciones de plásticos mexicanos aumentaron 9.67% promedio anual en el periodo 2003-2013, mientras que las importaciones crecieron 6.04% promedio anual en el mismo lapso (Góngora P., 2014).

CAPÍTULO 5

EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se describe el proceso detallado de la investigación para la optimización de partes para inyección de plástico mediante el proceso planteado en el capítulo de método, definiendo un diagrama de flujo general para diseño de piezas fabricadas mediante inyección de plástico mediante DG y evaluadas por métodos numéricos.

5.1 Definición del problema

5.1.1 Caso de Estudio

El VEU, es un vehículo de recurso abierto el cual pertenece a la Facultad de Arquitectura y se encuentra en el Centro de Innovación y Diseño de la misma dependencia. El VEU sirvió como caso de estudio en el cual se pudieran cumplir los objetivos de esta investigación al optimizar su estructura mediante DG y poder generar una pieza que sea fabricada por inyección de plástico, que, como consecuencia al cambiar los materiales con los que está fabricado, en este caso de metal a polímero, dicha estructura se podrá aligerar sin sacrificar sus propiedades mecánicas.

Las partes que se seleccionaron para estudiar fueron los soportes para motor del VEU, las cuales ayudan a sostener y fijar el motor dentro del chasis, para poder identificar las partes a estudiar se le denominó con el nombre de Soporte “A” y Soporte “B”.

Parte del objetivo de seleccionar el VEU como caso de estudio fue poder vincular esta investigación con la Facultad de Arquitectura y así poder continuar una línea de investigación

en un futuro, por otro lado, siendo el vehículo de la misma dependencia en la que se lleva esta investigación, facilita el acceso a la información para la recolección de datos.

5.1.2 Recolección de Datos

El proceso de DG se lleva a cabo por una sinergia entre el diseñador y la inteligencia artificial, el diseñador alimenta al software con datos definidos como variables y objetivos, a este proceso se le denomina diseño de sistema, en el cual la inteligencia artificial del software tomará estos datos y definirá las soluciones propuestas por DG. Dichos datos se podrían definir en dos tipos, Propiedades físicas y Propiedades mecánicas.

I.- Propiedades físicas

Refiere a las variables geométricas del objeto, materiales, masa, volumen y procesos de manufactura, en este caso se recolecto los datos del ensamble como se muestra en la tabla 5.1 el cual está conformado por las partes del Motor, Soporte “A” y Soporte “B”

Tabla 5.1.- Propiedades físicas de las partes estudiadas del VEU (OpenMotors, 2020).

Parámetro	Soporte “A”	Soporte “B”	Motor
Dimensiones Generales	L= 3.70 cm Anc= 28.40 cm Al= 16.90	L= 3.60 cm Anc= 32.60 cm Al= 28.41	N/A
Masa	1.337 kg.	1.294 kg.	72.000 kg.
Volumen	170.35 cm ³	164.96 cm ³	N/A
Material	Acero ASTM A36	Acero ASTM A36	Varios
Manufactura	Pailería / Soldadura	Pailería / Soldadura	N/A

Cabe mencionar que parte de los datos se obtuvieron de la ficha técnica proporcionada por el fabricante del VEU (Open Motors, 2022).

II.- Propiedades Mecánicas

Determinan el criterio de falla y describen el comportamiento del objeto sometido a fuerzas, está condicionado por el material con el que está compuesto las partes a analizar, en este caso se estudió el Soporte “A” y Soporte “B”, ambos fabricados en Acero S235jr según la ficha técnica del proveedor (Open Motors, 2022). Como material para la simulación en el software se utilizó Acero ASTM A36, equivalente al material mencionado por el proveedor, de acuerdo con las normas de fabricación europeas (Sdn.Bhd, 2020) . Las propiedades mecánicas del material recolectadas fueron tomadas de la base de datos del software utilizado para la simulación numérica (Fusion 360), como se muestra en la tabla 5.2

Tabla 5.2.- Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A36 (Fusion 360, 2020).

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	7.85	g/cm ³
Módulo Young	200.00	GPa
Coefficiente de Poisson	0.300	-----
Límite de Elasticidad	248.2	MPa
Resistencia máxima a la tracción	399.9	MPa

5.2 Diseño CAD

Una vez recolectado los datos de las partes se comenzó a diseñar los modelos tridimensionales los cuales en su mayoría fueron proporcionados por el proveedor del

vehículo en su página web, por lo que solamente se procedió a confirmar las geometrías y dimensiones de los modelos.

La figura 5.1 muestra el modelo tridimensional proporcionado por el proveedor en formato STEP, el cual mediante el software Autodesk Fusion 360 se pudo comparar la geometría y dimensiones a lo ya existente, mediante trabajo de campo se tomaron fotografías de las partes.

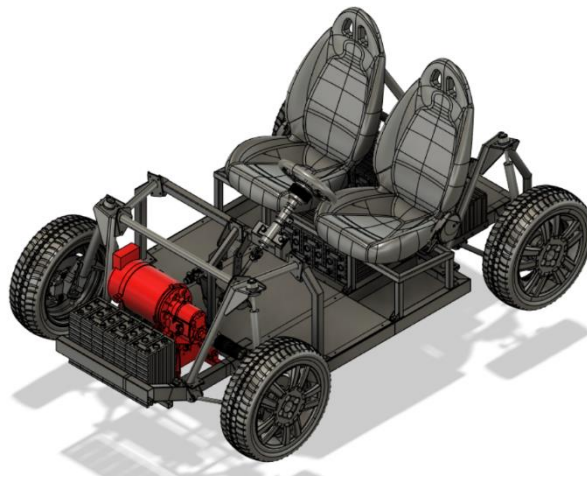


Figura 5.1.- Modelo Tridimensional CAD del VEU.

Ya obtenido los datos se realizó una limpieza del modelo tridimensional nativo mediante ingeniería inversa para poder obtener un modelo paramétrico de las partes a utilizar en Autodesk Fusion 360, también se efectuó la simplificación de la geometría del motor, esto con el fin de aligerar la simulación por elemento finito, siendo solamente una geometría base que representa la carga a sobrellevar por los soportes “a” y “b” como se muestra en la figura 5.2.

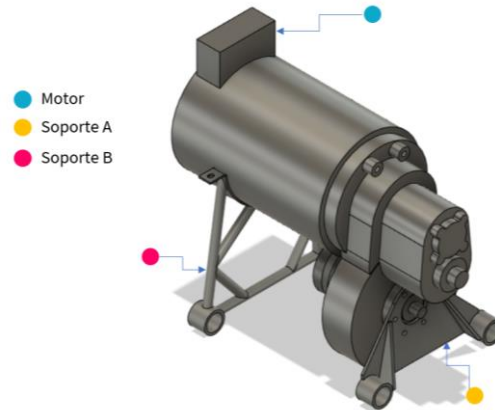


Figura 5.2.- Modelo paramétrico de las partes del VEU en Autodesk Fusion 360.

5.3 Simulación estática de esfuerzos por Elemento Finito

5.3.1 Simulación estática

Teniendo el modelo tridimensional se procedió a generar una simulación matemática mediante elemento finito en el software Autodesk Fusion 360 mediante su espacio de trabajo de simulación para realizar un análisis de tensión estática y así definir los criterios de fallas a partir de los esfuerzos generados por la carga del motor en los soportes “a” y “b”, esto con el objetivo de obtener datos que sirvan como punto de partida para la optimización mediante DG, así como comprobación actual del funcionamiento de los soportes al cargar el motor.

Una vez obtenido la distribución de esfuerzo por las cargas se realizó un análisis de tensión estática individualmente en cada uno de los soportes, cambiando las propiedades de material metálico a polimérico, con el fin de tener un punto de partida para comparar y evaluar la optimización a crear por DG, así como confirmar la viabilidad en el cambio de material.

5.3.2 Materiales

Los materiales utilizados para el análisis de tensión estática fueron definidos por la recolección de datos previamente realizada, el material que compone al Soporte “A” y Soporte “B” es el Acero ASTM A36 y sus propiedades mecánicas están definidas por el mismo software.

Para el análisis de esfuerzos en cada soporte el material polimérico seleccionado fue polisulfuro de fenileno (PPS) en el cual sus propiedades mecánicas igualmente están definidas por el mismo software.

En el caso de la parte denominada “Motor”, como se mencionó anteriormente se simplifico su geometría esto con el fin de aligerar y minimizar el recurso computacional utilizado en la simulación, por lo que, al seleccionar el material se utilizó un acero convencional editando sus propiedades de densidad para poder cumplir con la masa actual del Motor y así poder analizar los esfuerzos generados en los soportes.

5.3.3 Condiciones frontera

Para resolver satisfactoriamente la simulación de elementos finitos, es necesario definir las condiciones frontera como lo son: restricciones, contactos y cargas aplicadas al estudio.

I.- Restricciones

Las restricciones estructurales definen el movimiento de las partes en el estudio, fijándolo total o parcialmente. Para este estudio se seleccionaron cuatro elementos de caras tipo fijo en los ejes U_x , U_y y U_z , los cuales corresponden a los ejes fijos en la estructura de tubular del VEU en ambos soportes como se muestra en la figura 5.3.

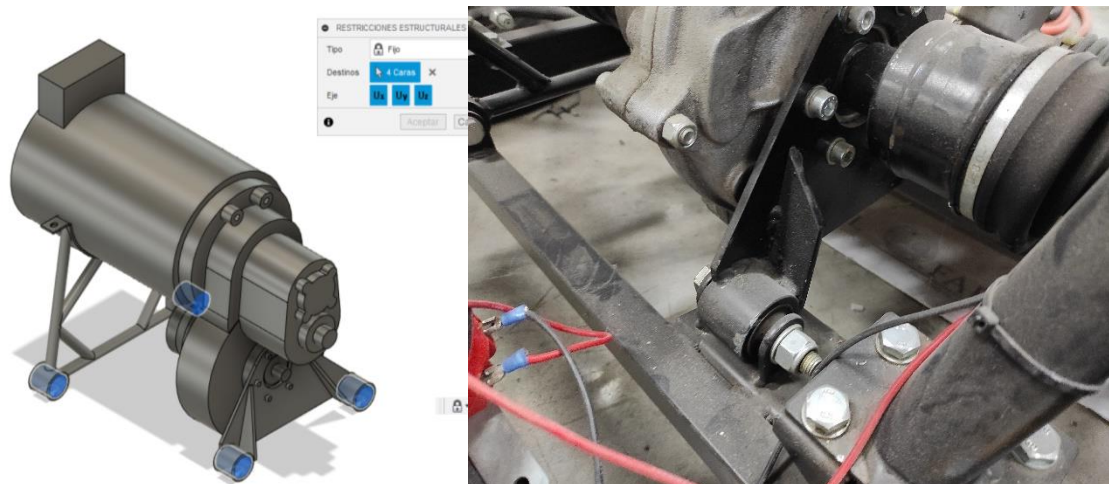


Figura 5.3.- Restricciones Fijas en soportes.

En el caso de los estudios individuales de los soportes las restricciones son las mismas en ambas geometrías.

5.3.4 Contactos

Los contactos determinan la relación que existe en las partes del ensamble. Para el estudio correspondiente se definieron los contactos de las caras del Soporte “A” y Soporte “B” con las caras del Motor como se muestra en la figura 5.4, el tipo de contacto fue fijado el cual limita los movimientos todos los ejes del ensamble en ambos soportes con el Motor.

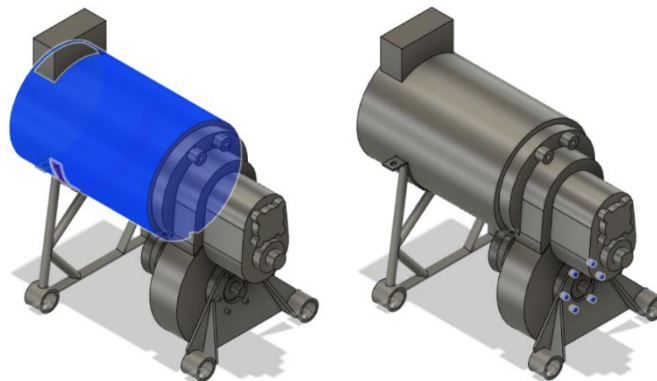


Figura 5.4.- Definición de contactos en Soportes.

Para el caso de estudio individual, no existe contacto alguno ya que se desprecia la geometría del motor y solamente se toma el elemento individual con las cargas definidas en las caras correspondientes a al contacto con el motor.

5.3.5 Cargas

Para la definición de cargas en una simulación estática se realiza el análisis por estado de esfuerzo en las partes y las pruebas de fuerza por las cargas definidas. Para el estudio de ensamble se definió como carga la parte denominada Motor la cual tiene una masa de 72 kg y está reaccionando en los contactos definidos en el apartado anterior para ambos soportes.

En el caso del análisis individual en los soportes, las cargas fueron definidas por los resultados del estudio de ensamble al obtener las fuerzas de reacción en cada una de las partes. Es importante mencionar que en ambos estudios no se despreció la fuerza de gravedad como carga.

5.3.6 Mallado

El mallado consiste en dividir las geometrías de las partes en un numero finito de nodos y elementos que permitan la simulación, dichos elementos podrían ser de una dimensión, bidimensional o tridimensional y están formados por nodos que se conectan entre sí, ambos definen la geometría. Al número de elementos y nodos en una geometría se le denomina densidad de mallado, la cual repercute en la precisión de los resultados para la simulación (INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ, 2021).

El propósito principal de una malla de elementos finitos es adecuarse a la geometría aproximada de la parte simulada. En análisis tridimensionales los elementos finitos tetraédricos triangulares, en teoría, permiten la aproximación a la geometría con cualquier

precisión requerida (AutoFEM Analysis, 2022). Para el estudio oportuno se utilizaron elementos tridimensionales de tipo tetraedros, debido a su facilidad para aproximarse a la geometría y generar un mallado uniforme.

5.4 Estudio de optimización por DG

5.4.1 Método de DG

El proceso de DG implica el trabajo en conjunto entre el diseñador y el algoritmo definido por el software Autodesk Fusion 360, en la figura 5.5 se muestra el método de DG por Autodesk University (Nagy & Villaggi, 2020), el cual se podría dividir en tres fases:

- **Pre-DG:** En esta fase el diseñador alimenta al sistema con datos que definen variables de manufactura y objetivos de diseño, también se le denomina diseño de sistema.
- **DG:** El algoritmo definido por el software empieza a generar y evaluar soluciones mediante diseño evolutivo que cumplan con las variables y objetivos definidos por el diseñador.
- **Post-DG:** La última fase depende del diseñador ya que el software muestra los resultados obtenidos previamente evaluados y el diseñador selecciona el más óptimo según los criterios establecidos por el mismo.

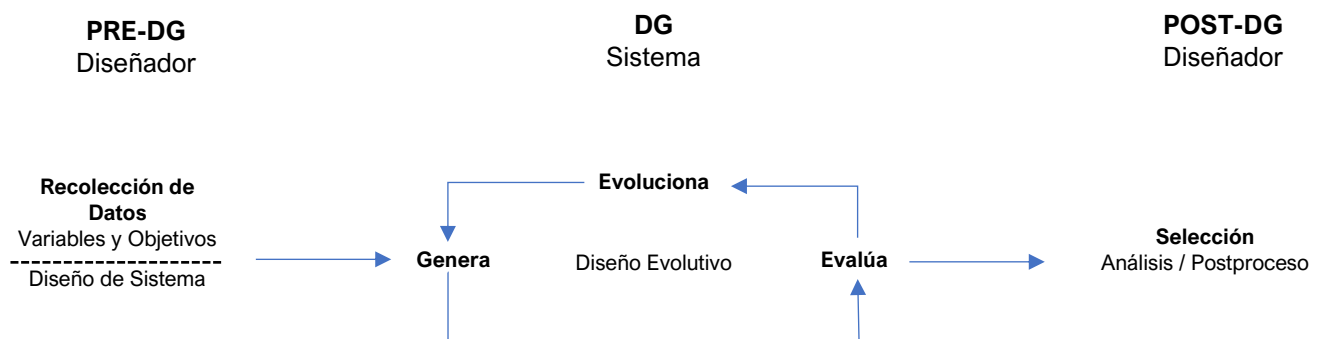


Figura 5.5.- Proceso de DG.

5.4.2 Estudio de DG Soporte "A" y Soporte "B"

I.- Pre-DG

En esta fase primaria se define el espacio de diseño que está conformado por las geometrías de referencias, condiciones de diseño, variables de manufactura y objetivos de diseño.

A) Geometrías de referencia

- Geometría por conservar: Son las primeras geometrías que se seleccionan y están definidas por el modelo tridimensional ya obtenido anteriormente en el proceso de recolección de datos. Para este estudio las geometrías a conservar fueron los ejes que fijan el soporte a la estructura del VEU, como se muestra en la figura 5.6 las geometrías a conservar se marcan en color verde.

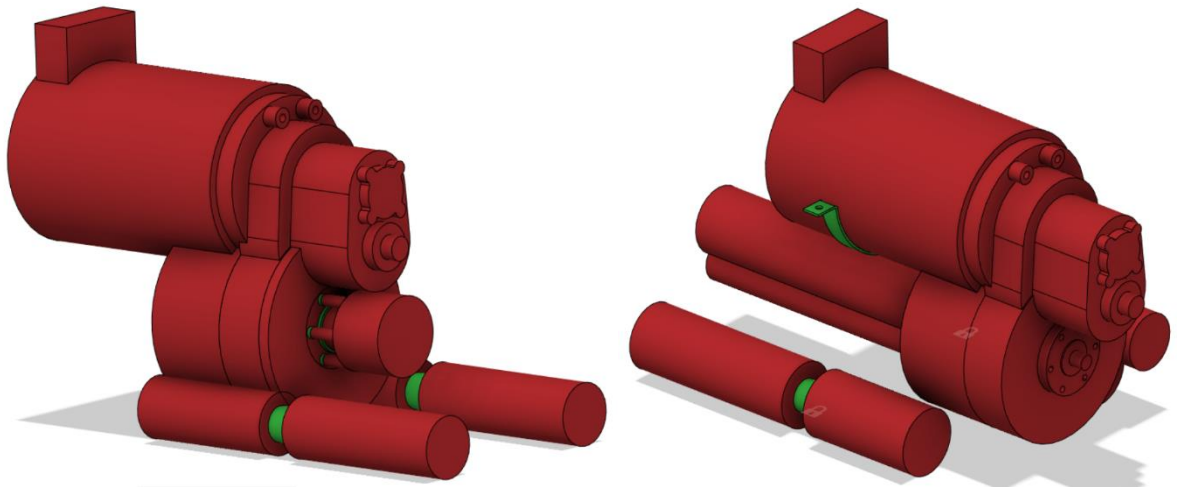


Figura 5.6.- Geometrías de referencia.

- Geometría de obstáculo: Son las geometrías que limitaran el crecimiento topológico en las soluciones dadas por el DG, con el fin de conservar espacios vacíos, como se muestra en la figura 5.6 marcadas en color rojo.

B) Condiciones de diseño

- Restricciones: Están definidas por las geometrías a conservar, en este estudio la restricción creada es fija y no permite el movimiento de las partes. Esta se sitúa en el área marcada que se muestra en la figura 5.7.

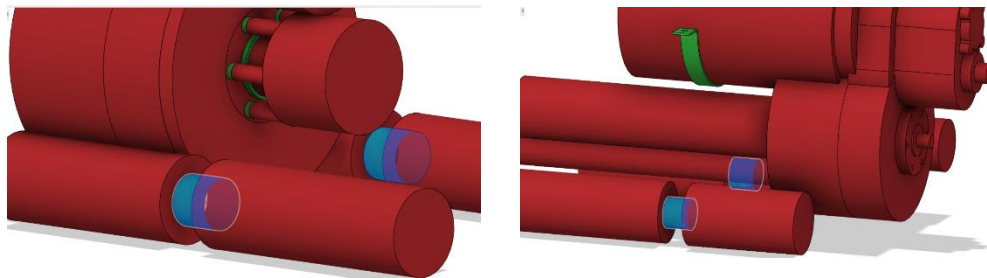


Figura 5.7.- Restricciones Fijas.

- Cargas: Se precisan por la recolección de datos obtenidos en el resultado de la simulación estática en el ensamble original, mediante las fuerzas de reacción en los contactos de ambos soportes con el Motor, los parámetros se muestran en la tabla 5.3.

Tabla 5.3.- Cargas aplicadas a los soportes.

Elemento	Fuerza	Unidad
Soporte "A"	293.559	N
	9.807	m/s ²
Soporte "B"	422.950	N
	9.807	m/s ²

C) Variables de manufactura

Para ambos soportes se definieron las mismas variables de manufactura con el fin de generalizar el proceso para obtener resultados que fueran viables para el proceso de inyección de plástico, así mismo el material seleccionado como variable fue el mismo en ambos soportes.

Fabricación: Como métodos de fabricación se seleccionaron las siguientes:

Sin restricciones: Excluye las restricciones de manufactura para la generación de los resultados.

Fresado: Proceso de fabricación sustractiva mediante 3 ejes en la que la dirección de la herramienta se optó sin restringir los ejes U_x , U_z y U_y .

Fundición de Matriz: Manufactura en donde se deposita material fundido a una cavidad, en este estudio se seleccionaron todos los ejes como posible dirección de expulsión.

- Material: El material propuesto como variable de manufactura fue el sulfuro de polifenileno (PPS) el cual sus propiedades mecánicas están definidas por el mismo software.

II.- DG

Una vez cargado los datos al software, el algoritmo empieza a generar soluciones mediante análisis matemáticos en base a los objetivos y variables establecidos por el diseñador, cada una de estas soluciones van evolucionando en sus características una a partir de otra, a esto se le denomina diseño evolutivo. Es importante mencionar que este proceso se lleva a cabo en un sistema basado en la nube, por lo que permite reducir el consumo de recurso computacional.

III.- Post-DG

A). – Selección: En esta última fase del proceso de DG el diseñador selecciona la iteración generada que cumpla con los objetivos establecidos. Para poder seleccionar la iteración óptima se realizó una matriz de dispersión comparando la masa (kg) contra el coeficiente mínimo de seguridad, como se muestra en las figura 5.8 para el soporte “A” y 5.9 para soporte “B”. En ambas figuras se marca el cuadrante donde se encuentra la iteración seleccionada para cada soporte.

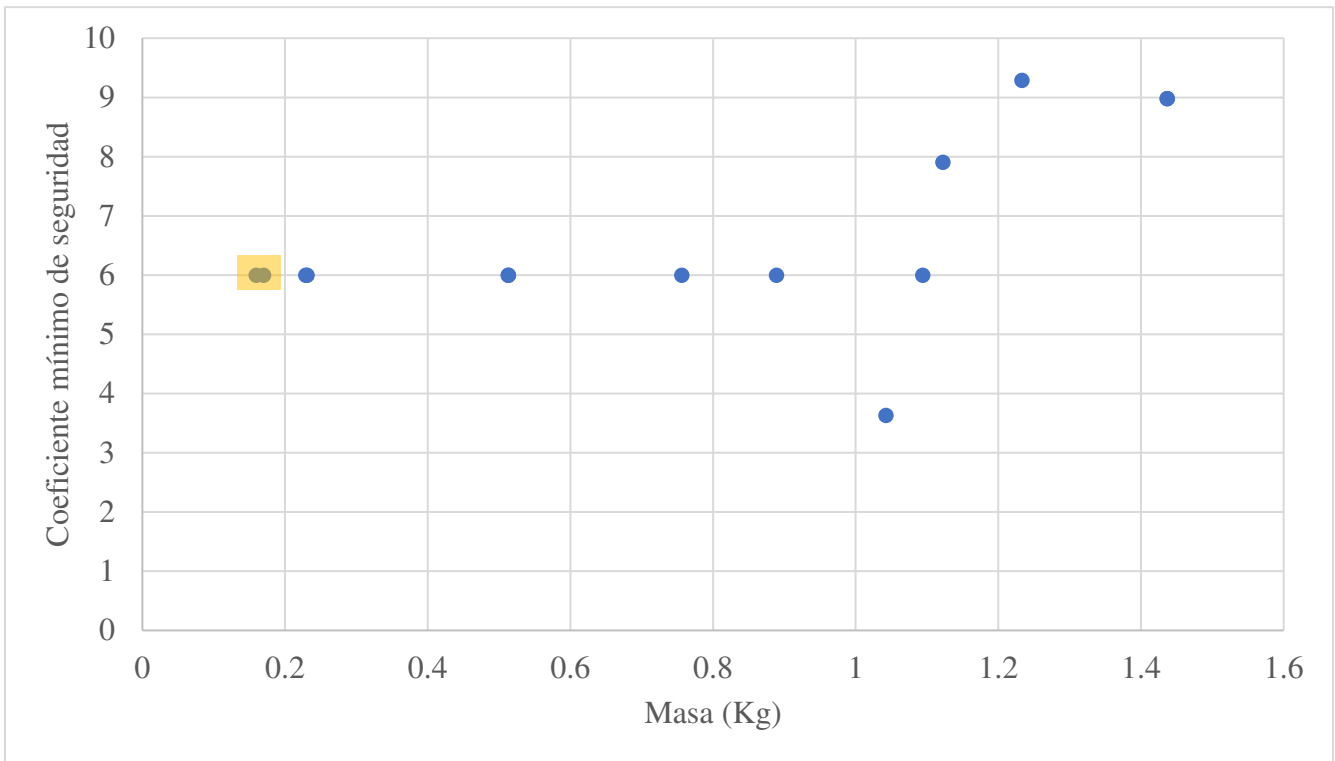


Figura 5.8.- Matriz de dispersión para iteraciones de Soporte "A".

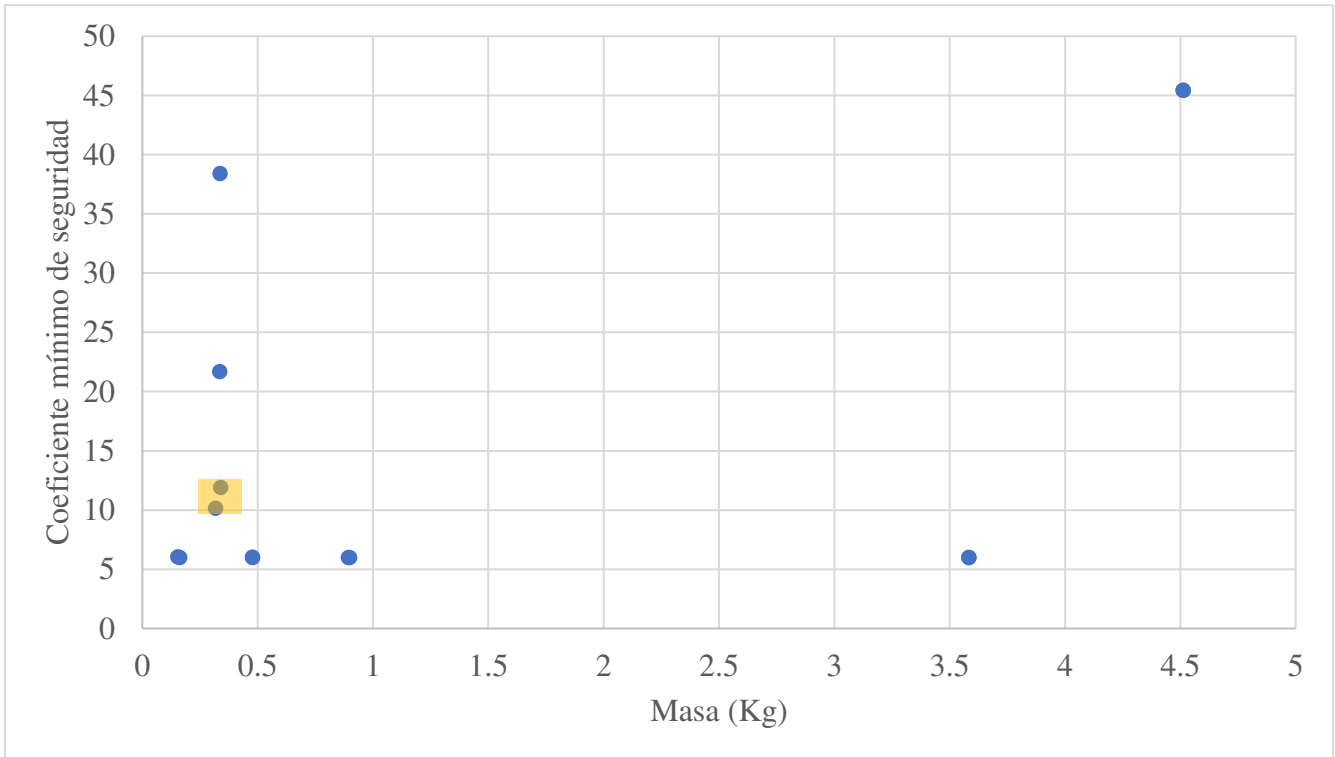


Figura 5.9.- Matriz de dispersión para iteraciones de Soporte "B".

Con base en las tablas realizadas se seleccionó una iteración discreta en donde se redujera el volumen si sacrificar las propiedades mecánicas de las piezas, con el fin de cumplir con los objetivos planteados en la investigación.

IV.- Postproceso

Las geometrías obtenidas por DG suelen tener topologías con geometrías no uniformes, esto debido al algoritmo de diseño evolutivo basado en el crecimiento natural de la forma, por consecuencia es necesario que por parte del diseñador se realice una etapa de postproceso en modelo tridimensional, para así poder limpiar la geometría obtenida.

Para el postproceso se generó un análisis de ángulo de salida en cada una de las partes para así determinar que secciones de la geometría habría que modificar para así obtener un diseño amigable para manufactura mediante inyección de plástico.

5.5 Evaluación Mecánica de pieza optimizada por DG

Cómo resultado del postproceso en las partes seleccionadas creadas por DG y previamente evaluadas para su viabilidad de manufactura por inyección de plástico se convino a realizar una evaluación mecánica mediante simulación estática de esfuerzos por elemento finito, con el objetivo de evaluar su función en el ensamble y validar la hipótesis planteada en la investigación al comparar sus propiedades mecánicas de las partes originales en metal contra las partes optimizadas en polímero.

El proceso de simulación, así como los parámetros para esta fueron los mismo que en la simulación creada para las partes originales previamente descrito en este capítulo ya que las condiciones del entorno eran las mismas en ambos a excepción del material en los

soportes, los cuales fueron cambiados a PPS, los parámetros del material se observan en la tabla 5.4 y fueron definidos por el software.

Tabla 5.4.- Propiedades Mecánicas del sulfuro de polifenileno (Fusion 360, 2020).

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	1.637	g/cm ³
Módulo Young	2.700	GPa
Coefficiente de Poisson	0.400	-----
Límite de Elasticidad	68.90	MPa
Resistencia máxima a la tracción	82.70	MPa

5.6 Simulación de Inyección

Se realizó una simulación del proceso de inyección con el fin de obtener los parámetros del ciclo de inyección en las partes originales propuestas en polímero y las partes optimizadas por DG. La simulación se realizó por medio del software Moldflow Advicer 2021.

La simulación de inyección permite simular el proceso de inyección con el objetivo de poder comparar ambas partes para poder evaluar el comportamiento de las piezas optimizadas por DG y su viabilidad de fabricación mediante inyección de plástico.

Las geometrías obtenidas por DG suelen ser muy orgánicas debido al algoritmo basado en el crecimiento de la forma, por lo que evaluar estas geometrías en un proceso simulado de inyección permitirá llegar a un resultado que determinara si el DG optimiza el proceso de inyección.

5.6.1 Idoneidad del modelo

Como primera operación para poder llevar a cabo la simulación del proceso de inyección es necesario importar la pieza en algún formato soportado por el software, en este caso el formato nativo de Autodesk Fusión 360 es compatible con el software.

Al abrir el modelo CAD, el software automáticamente genera un análisis dimensional para corroborar su geometría, así como un análisis del modelo tridimensional para comprobar su idoneidad y determinar el análisis adecuado a la pieza, el cual influirá en el mallado.

5.6.2 Punto de inyección

Una vez finalizada la operación de idoneidad de la parte es necesario seleccionar un punto de inyección en la geometría de la parte, para poder así analizar el proceso de inyección. Para ello se realizó un análisis de posición de entrada en cada una de las partes, en el cual el algoritmo analiza el mejor punto de inyección según la geometría para minimizar la resistencia de flujo.

Una vez obtenido los resultados del estudio para el punto de inyección, manualmente se establece la posición de la entrada.

5.6.3 Material

Una vez que se establecido el punto de inyección mediante el análisis de posición de entrada se sugiere seleccionar el material por el cual se fabricará las partes, como se mencionó anteriormente el material seleccionado para la optimización será PPS el cual sus propiedades mecánicas y químicas las determinará la base de datos de Autodesk Moldflow Adviser para la simulación.

5.6.4 Selección de análisis

Ya establecido el punto de inyección y el material con el que se fabricará la pieza es preciso seleccionar los análisis necesarios para determinar el ciclo de inyección de cada parte. En esta investigación se realizaron los siguientes análisis:

Análisis de Llenado: Se comprueba si la pieza se puede moldear con una calidad aceptable, mediante el análisis de confianza de llenado, predicción de calidad, así como el tiempo de llenado, presión de inyección, pérdida de presión y temperatura en el frente de flujo.

Calidad de Refrigeración: Este análisis permite identificar las modificaciones necesarias en la geometría de la pieza con el fin de evitar diferencias en la refrigeración, que podrían producir una deformación en la parte.

Análisis de Rechupes o Hundimientos: Los resultados este análisis indican la probable presencia y ubicación de rechupes en la pieza moldeada.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de esta investigación, derivados de la experimentación, así como la discusión entre los resultados al contrastarlos.

Se describirán primero los resultados de las simulaciones con el ensamble original de las partes en los materiales metal y polímero, para después mostrar los resultados obtenidos por la optimización mediante DG , así mismo se mostrará los resultados de la simulación comparando el ensamble original contra el ensamble optimizado por DG y finalmente se comparará los resultados de la simulación en el proceso de inyección para las partes originales en el material polimérico contra las partes creadas por DG.

6.1 Resultados de simulación estática de esfuerzos en ensamble original.

6.1.1 Estabilidad de Mallado

Para asegurar una estabilidad en los resultados de ambas simulaciones se realizó un análisis de convergencia en el mallado para obtener los parámetros adecuados al número de elementos para cada estudio. Se generó una gráfica de dispersión contrastando los resultados obtenidos en el esfuerzo máximo por Von Mises contra el número de elementos generados en cada una de las configuraciones del mallado, para así encontrar una estabilidad en los resultados, como se observa en la figura 6.1.

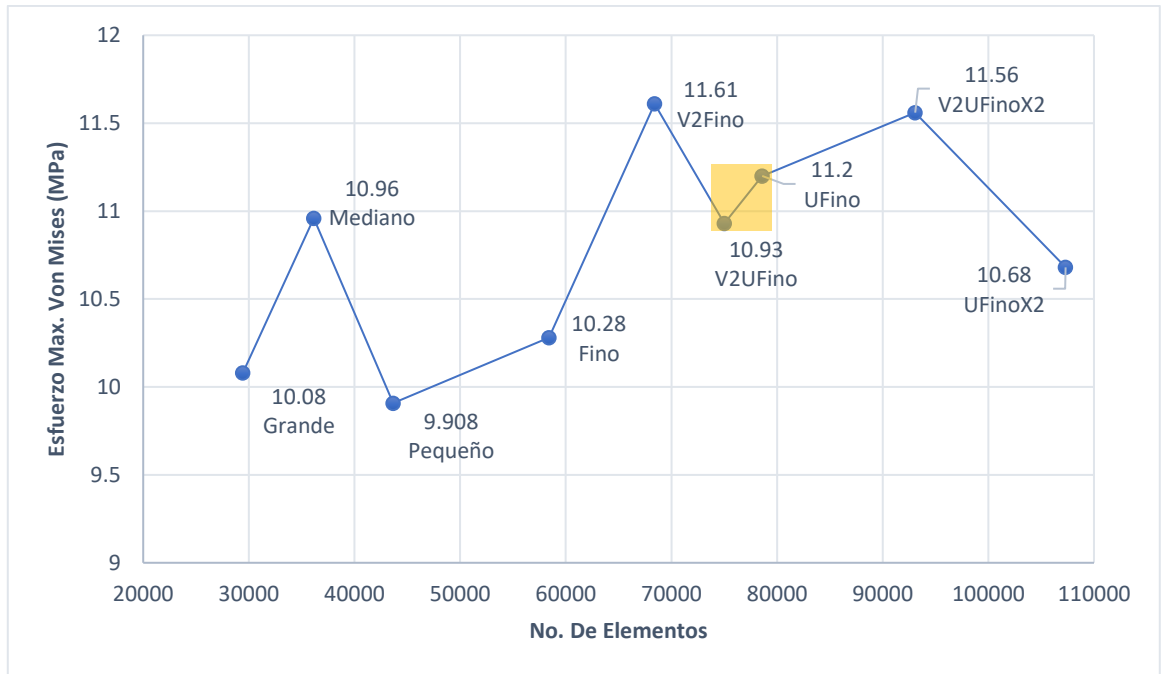


Figura 6.1.- Estabilidad de malla para simulación de ensamble original.

Es importante mencionar que la estabilidad de mallado es funcional para el modelo tridimensional por lo que cambiar el material de las partes en el ensamble no afecta los resultados del análisis, en este caso se realizaron simulaciones con el material original de los soportes Acero ASTM A36 y PPS como propuesta de material polimérico.

Los parámetros de mallado seleccionado según los resultados del análisis de estabilidad de malla fueron los denominados como UFino.

6.1.2 Resultados de Simulación de tensión estática de ensamble original

En la figura 6.2 se observa los resultados del esfuerzo generado por la carga del motor en los soportes con material Acero ASTM A36, con un esfuerzo máximo de 11.20 MPa.

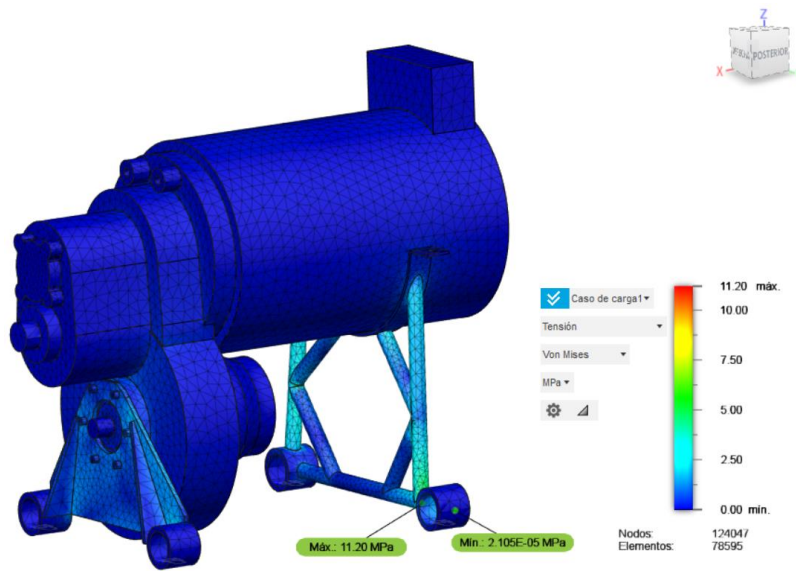


Figura 6.2.- Esfuerzo generado en los soportes con material Acero ASTM A36.

El resultado de los esfuerzos en los soportes originales con el material PPS se observar en la figura 6.3, con un esfuerzo máximo de 11.76 MPa.

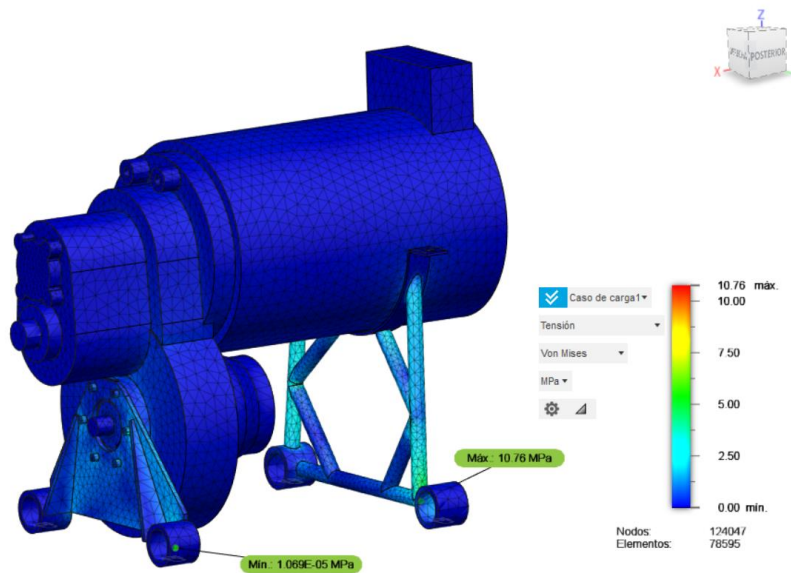


Figura 6.3.- Esfuerzo generado en los soportes con material PPS.

Una vez que se obtuvieron los resultados de las pruebas de tensión para los soportes en ambos materiales, se compararon ambos resultados en sus criterios de falla. La comparación se presenta en la tabla 6.1.

Tabla 6.1.- Comparación de criterios de falla entre Acero ASTM A36 y PPS.

Parámetros		VEU-Ensamble	VEU-Ensamble
		Original-ASTMA36	Original-PPS
Coeficiente de Seguridad	Mínimo	15	6.40
	Máximo	15	15.00
Tensión (Von Mises)	Máximo	11.20 MPa	10.76 MPa
Desplazamiento	Máximo	0.005 mm	0.421 mm

La comparación de los resultados de la simulación entre ambos materiales muestra una diferencia 0.44 MPa en los esfuerzos por tensión estática, sin sobrepasar el esfuerzo de cedencia en ambos materiales, indicando que pueden soportar las cargas generadas por el motor, sin sufrir una deformación plástica.

6.2 Resultados de optimización de soportes mediante DG.

Los resultados de la optimización mediante DG generaron un total de 14 iteraciones en cada estudio, tomando en cuenta las variables establecidas en la recolección de datos. Es importante mencionar que en el proceso de DG las iteraciones se evalúan simultáneamente al momento de estar generándose, esto debido a los algoritmos genéticos del sistema, permitiendo así crear generaciones de iteraciones optimizadas.

Se generaron 14 iteraciones para el soporte “A” y se seleccionó 1 iteración que cumpliera con los objetivos establecidos en esta investigación, al reducir la masa sin comprometer los criterios de falla para el soporte, la iteración seleccionada se marca en la tabla 6.2 en la que se comparan todas las iteraciones obtenidas en el estudio.

Tabla 6.2.- Propiedades físicas y mecánicas para las iteraciones del soporte “A”.

Nombre	Material	Método de Fabricación	Similitud visual	Volumen (mm ³)	Masa (kg)	Máx. Esfuerzo von Mises (MPa)	Coefficiente mínimo de Seguridad	Coefficiente Máximo de seguridad	Desplazamiento global Máximo. (mm)
Estudio SAG1 - Outcome 4	PPS	Sin restricciones	Grupo 1	97371.7271	0.159	11.483	6	6.000	2.055
Estudio SAG1 - Outcome 5	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 4	139959.114	0.229	11.483	6	6.000	2.978
Estudio SAG1 - Outcome 6	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 6	313419.161	0.513	11.483	6	6.000	1.969
Estudio SAG1 - Outcome 7	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 2	877737.118	1.437	7.670	6	8.983	0.515
Estudio SAG1 - Outcome 8	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	753282.907	1.233	7.416	6	9.291	0.615
Estudio SAG1 - Outcome 9	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	668195.607	1.094	11.483	6	6.000	1.865
Estudio SAG1 - Outcome 10	PPS	Fundido de matrices	Grupo 5	462052.413	0.756	11.483	6	6.000	1.625
Estudio SAG2 - Outcome 4	PPS	Sin restricciones	Grupo 1	103839.841	0.170	11.482	6	6.001	2.299
Estudio SAG2 - Outcome 5	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 4	141047.83	0.231	11.483	6	6.000	2.955
Estudio SAG2 - Outcome 6	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 6	313419.161	0.513	11.483	6	6.000	1.969
Estudio SAG2 - Outcome 7	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 2	877737.118	1.437	7.670	6	8.983	0.515
Estudio SAG2 - Outcome 8	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	685470.787	1.122	8.713	6	7.908	0.705
Estudio SAG2 - Outcome 9	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	636941.091	1.043	18.976	6	3.631	2.413
Estudio SAG2 - Outcome 10	PPS	Fundido de matrices	Grupo 5	543124.4	0.889	11.483	6	6.000	1.318

De igual forma se generaron 14 iteraciones para el soporte “B”. La iteración seleccionada se marca en la tabla 6.3 en la que se comparan todas las iteraciones obtenidas en el estudio.

Tabla 6.3.- Propiedades físicas y mecánicas para las iteraciones del soporte “B”.

Nombre	Material	Método de Fabricación	Similitud visual	Volumen (mm ³)	Masa (kg)	Máx. Esfuerzo von Mises (MPa)	Coefficiente mínimo de Seguridad	Coefficiente Máximo de seguridad	Desplazamiento global Máximo. (mm)
Estudio SBG1 - Outcome 4	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 1	2188436.888	3.582	11.483	6	6.0001	3.692
Estudio SBG2 - Outcome 4	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 1	2188436.888	3.582	11.483	6	6.0001	3.692
Estudio SBG1 - Outcome 7	PPS	Fundido de matrices	Grupo 2	292260.4656	0.478	11.477	6	6.0032	0.496
Estudio SBG2 - Outcome 7	PPS	Fundido de matrices	Grupo 2	291205.8931	0.477	11.474	6	6.0046	0.606
Estudio SBG1 - Outcome 6	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	549301.0381	0.899	11.483	6	6.0001	13.085
Estudio SBG2 - Outcome 6	PPS	Fundido de matrices	Grupo 3	545271.5663	0.893	11.483	6	6.0002	10.814

Estudio SBG1 - Outcome 3	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 4	2757027.876	4.513	1.517	6	45.4222	0.056
Estudio SBG2 - Outcome 3	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 4	2757027.876	4.513	1.517	6	45.4222	0.056
Estudio SBG1 - Outcome 1	PPS	Sin restricciones	Grupo 5	93849.2243	0.154	11.419	6	6.0340	0.949
Estudio SBG1 - Outcome 5	PPS	Fundido de matrices	Grupo 5	98842.93238	0.162	11.475	6	6.0044	2.824
Estudio SBG1 - Outcome 2	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 6	194207.8244	0.318	6.794	6	10.1410	0.250
Estudio SBG2 - Outcome 1	PPS	Sin restricciones	Grupo 6	205820.8474	0.337	1.794	6	38.4087	0.199
Estudio SBG2 - Outcome 2	PPS	Fresado de 3 ejes	Grupo 6	207205.9529	0.339	5.787	6	11.9052	0.222
Estudio SBG2 - Outcome 5	PPS	Fundido de matrices	Grupo 6	204687.2954	0.335	3.177	6	21.6845	0.306

6.2.1 Resultados de postproceso para iteraciones de soportes mediante DG.

Los datos mostrados anteriormente en ambas tablas permitieron analizar los resultados de la optimización para ambos soportes y así seleccionar la iteración que cumpliera con los objetivos propuestos en la investigación. Los criterios de selección para la iteración ideal se basaron en obtener un soporte con un menor volumen y masa a los originales y que a la vez los esfuerzos generados por las cargas del motor no sobrepasara los límites de cedencia del material propuesto, para poder así cumplir con los criterios de falla.

A). - Postproceso Soporte “A”

Para el Soporte “A” se seleccionó la iteración SAG1 - Outcome 4 que se muestra en la figura 6.4 y a partir de esta selección se realizó un análisis de ángulo de salida como se muestra en la figura 6.5 para comprobar su factibilidad en el proceso de inyección.



Figura 6.4.- Iteración SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.

Como resultado se detectó que algunas de las partes en la geometría generaban un ángulo de salida negativo como se muestra en la figura 6.6 y a partir de este análisis se procedió a rediseñar la parte eliminando los ángulos negativos, en la figura 6.7 se muestra la geometría final obtenida. La parte final SAG1 - Outcome 4 Soporte “A” redujo su volumen en 90.660 cm^3 al eliminar las geometrías causantes de ángulos negativos de desmoldeo.

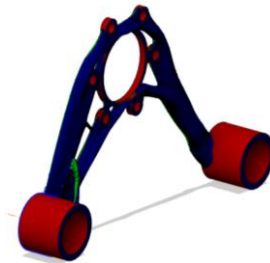


Figura 6.5.- Ángulos de salida en Iteración SAG1- Outcome 4 Soporte “A”.

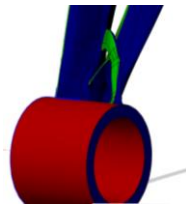


Figura 6.6.- Ángulo negativo en Iteración SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.



Figura 6.7.- Parte final SAG1 - Outcome 4 Soporte “A”.

B). - Postproceso Soporte “B”

En el caso del Soporte “B” se seleccionó la solución G1-55-99 que se muestra en la figura 6.8, con un volumen de 191.520 cm^3 y un factor mínimo de seguridad de 6 partiendo de esta selección de esta selección se realizó un análisis de ángulo de salida como se muestra en la figura 6.9 para comprobar su factibilidad en el proceso de inyección.



Figura 6.8.- Solución G1-55-99 Soporte “B”.

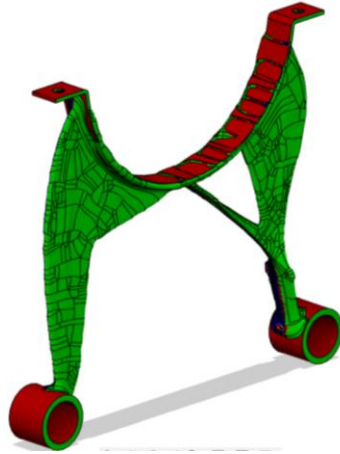


Figura 6.9.- Análisis de ángulo de salida en Solución G1-55-99 Soporte “B”.

Como resultado no se detectaron geometrías que generaran un ángulo de salida negativo y a partir de este análisis se procedió a rediseñar limpiando la geometría en donde hubo crecimiento topológico no deseable, en la figura 6.10 se muestra la geometría final obtenida. La parte final G1-55-99 Soporte “B” redujo su volumen en 173.568 cm^3 al eliminar las geometrías no deseadas generadas por el crecimiento topológico.



Figura 6.10.- Parte final G1-55-99 Soporte “B”.

6.3.- Resultados de simulación estática de esfuerzos en ensamble optimizado mediante DG.

Se realizó la simulación para ambos soportes optimizados y así poder comparar las propiedades físicas y mecánicas de los soportes originales contra los optimizados en material PPS.

Al igual que la primera simulación con el ensamble original se realizó un análisis para la estabilidad de mallado. En la figura 6.11 se muestra la selección de los parámetros de mallado para la simulación.

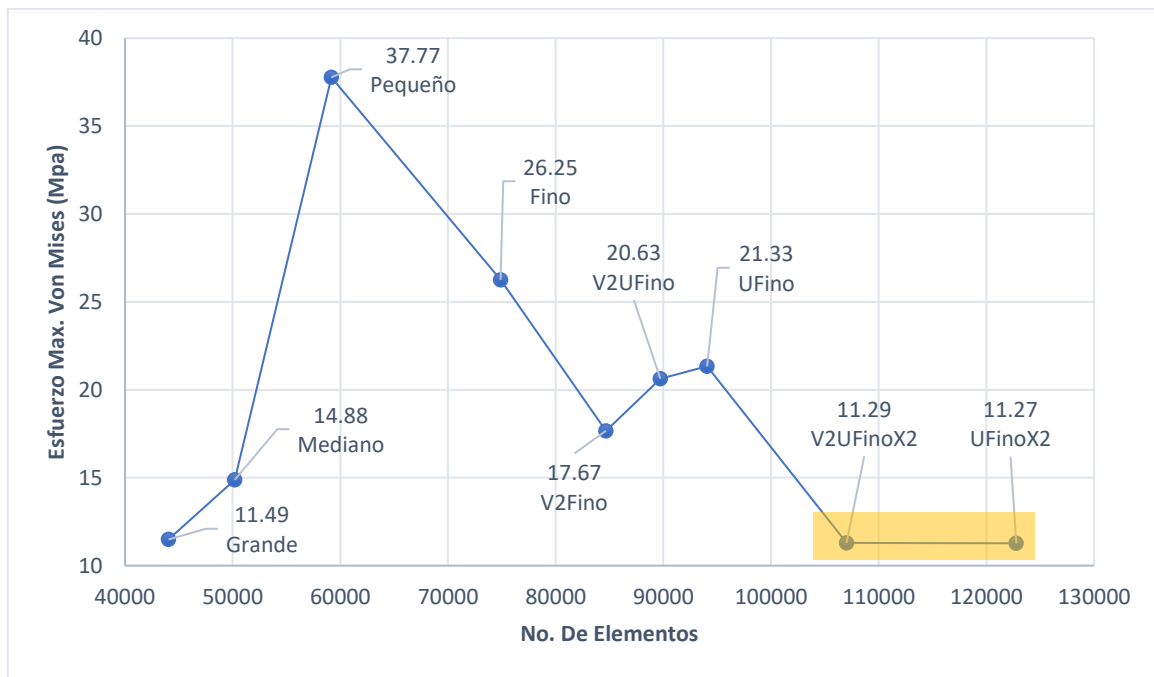


Figura 6.11.- Estabilidad de malla para simulación de ensamble optimizado.

Los parámetros de mallado seleccionado según los resultados del análisis de estabilidad de malla fueron los denominados como UFinioX2.

Una vez definido los parámetros de mallado se realizó la simulación de tensión, como se muestra en la figura 6.12. Los resultados generados por la carga del motor en los soportes optimizados son de un esfuerzo máximo de 11.27 MPa.

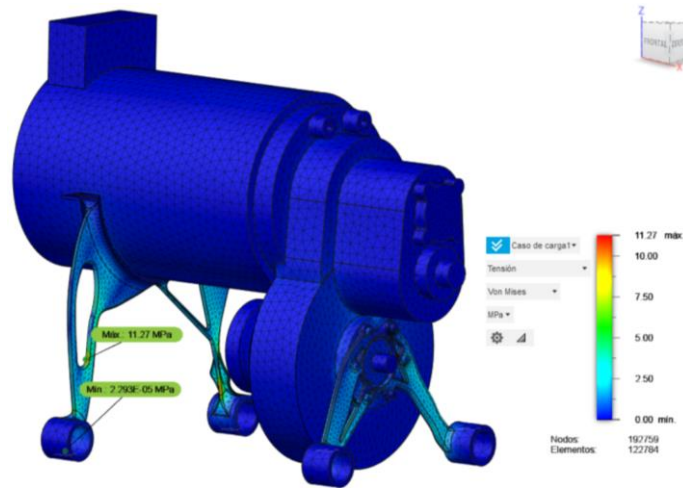


Figura 6.12.- Esfuerzo generado en los soportes optimizados.

Los resultados en los esfuerzos por tensión estática son menores al esfuerzo de cedencia en el material PPS.

6.3.1 Comparación de Resultados de simulaciones de ensamble original en material PPS contra ensamble optimizado.

Una vez obteniendo los resultados para el soporte original en PPS se comparó contra la simulación del soporte optimizado en el mismo material como se muestra en la tabla 6.4.

Tabla 6.4.- Comparación de criterios de falla entre VEU- Ensamble-Optimizado y VEU-Ensamble-Original-PPS.

Parámetros		VEU- Ensamble- Optimizado	VEU-Ensamble Original-PPS
Coeficiente de Seguridad	Mínimo	6.11	6.40
	Máximo	15.00	15.00
Tensión (Von Mises)	Máximo	11.27 MPa	10.76 MPa
Desplazamiento	Máximo	0.430	0.421 mm

Los resultados muestran que las partes optimizadas por DG en el ensamble reducen un 4% el coeficiente mínimo de seguridad en contra el ensamble original, al igual que los esfuerzos por tensión aumentan un 4% en el ensamble optimizado contra el original y por último el desplazamiento en el ensamble optimizado aumenta un 2% contra el ensamble original.

6.3.2 Comparación de propiedades físicas de soporte original en Acero ASTM A36 y PPS contra soporte optimizado por DG.

Teniendo las geometrías de los soportes se compararon sus propiedades físicas como se muestra en la tabla 6.5.

Tabla 6.5.- Propiedades físicas de soportes “A” y “B”.

Soportes	Manufactura	Volumen	Masa
Soporte “A” Original Acero ASTM A36	Pailería y Soldadura	170.356 cm ³	1.33 kg
Soporte “B” Original Acero ASTM A36	Pailería y Soldadura	164.964 cm ³	1.29 kg
Soporte “A” Original PPS	Inyección de Plástico	170.356 cm ³	0.279 kg
Soporte “B” Original PPS	Inyección de Plástico	164.964 cm ³	0.270 kg
Soporte “A” Optimizado	Inyección de Plástico	90.660 cm ³	0.148 kg
Soporte “B” Optimizado	Inyección de Plástico	161.669 cm ³	0.265 kg


Los resultados obtenidos muestran que los soportes optimizados reducen su volumen y su masa por un 47% en el soporte “A” y un 2% en el soporte “B” en material PPS. Por otro la masa de los soportes optimizados en comparación a los soportes originales en Acero ASTM A36 logra reducir un 88% en el soporte “A” y un 79% para el soporte “B”.

6.4.- Resultados de simulación de proceso de inyección mediante MoldFlow Adviser.

Una vez obtenido los resultados de los soportes por DG se procedió a realizar una simulación para determinar los parámetros de proceso de inyección. En este apartado se muestran los resultados de la simulación del proceso de inyección para los soportes originales en plástico PPS y los optimizados por DG en el mismo plástico, para después comparar dichos resultados.

Es importante mencionar que las propiedades del material fueron definidos por el software MoldFlow Adviser en su base de datos de polímeros. En la tabla 6.6 se observan las características del material.

Tabla 6.6.- Material PPS por MoldFlow Adviser.

Material	
Fabricante del material	Tonen Chemicals
Nombre comercial del material	GB6401
Impacto medioambiental	

6.4.1 Resultados de selección de punto de inyección.

I.- Selección de punto de inyección en Soportes “A”

A)-. Soporte “A” Original

En la figura 6.13 se muestra el resultado del análisis para la posición del punto de inyección. La posición óptima de la entrada se encuentra marcado en el área azul de la geometría, posicionado en el centro de la parte frontal del soporte.

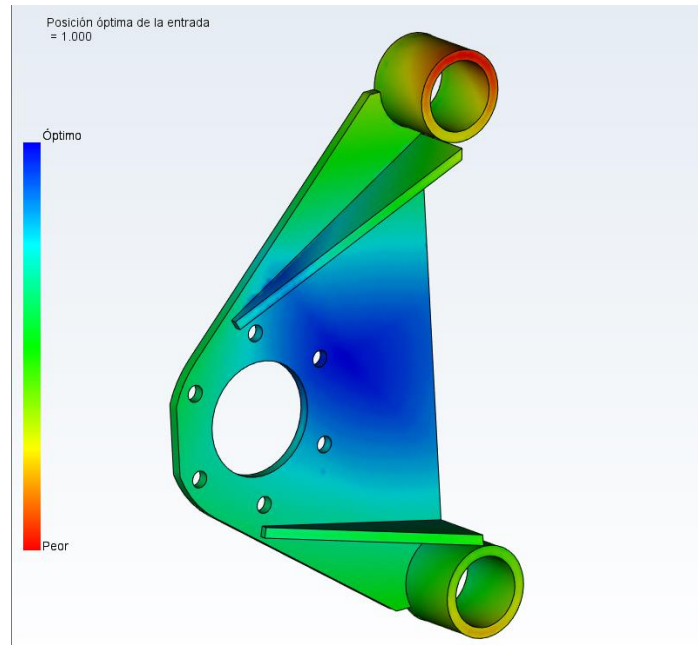


Figura 6.13.- Análisis de posición optima de entrada para soporte “A” original.

B).- Soporte “A” por DG

En la figura 6.14 se observa el resultado del análisis para la posición del punto de inyección. La posición optima de la entrada se encuentra marcado en el área azul de la geometría, posicionado en el centro de la parte frontal del soporte.

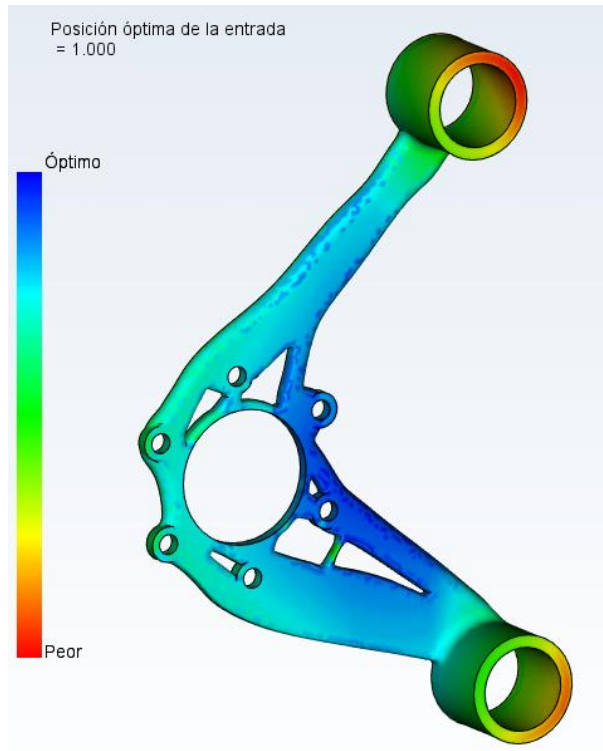


Figura 6.14.- Análisis de posición óptima de entrada para soporte “A” por DG.

II.- Selección de punto de inyección en Soportes “B”

A)-. Soporte “B” Original

En la figura 6.15 se observa el resultado del análisis para la posición del punto de inyección. La posición óptima de la entrada se encuentra marcado en el área azul de la geometría, posicionado en el centro de la parte superior del soporte.

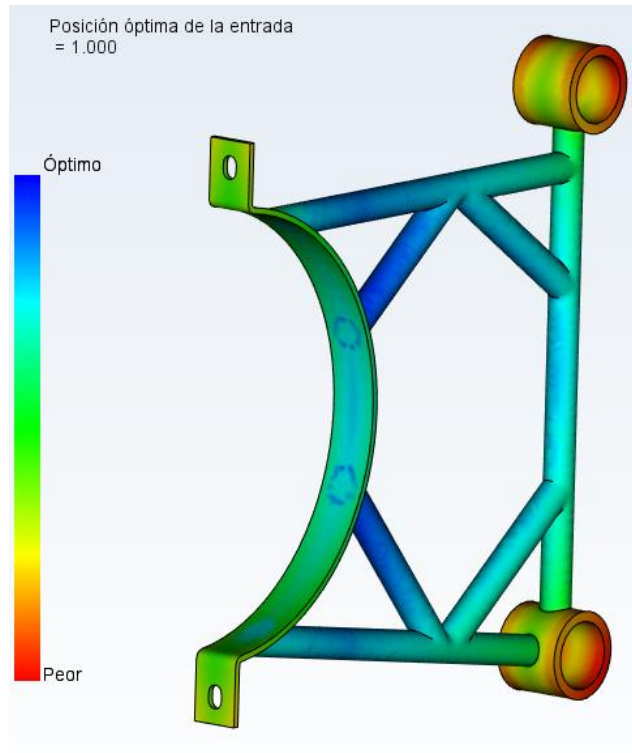


Figura 6.15.- Análisis de posición óptima de entrada para soporte “B” original.

B).- Soporte “B” por DG

La posición óptima de la entrada se encuentra marcado en el área azul de la geometría, posicionado en el centro de la parte superior del soporte, como se observa en la figura 6.16.

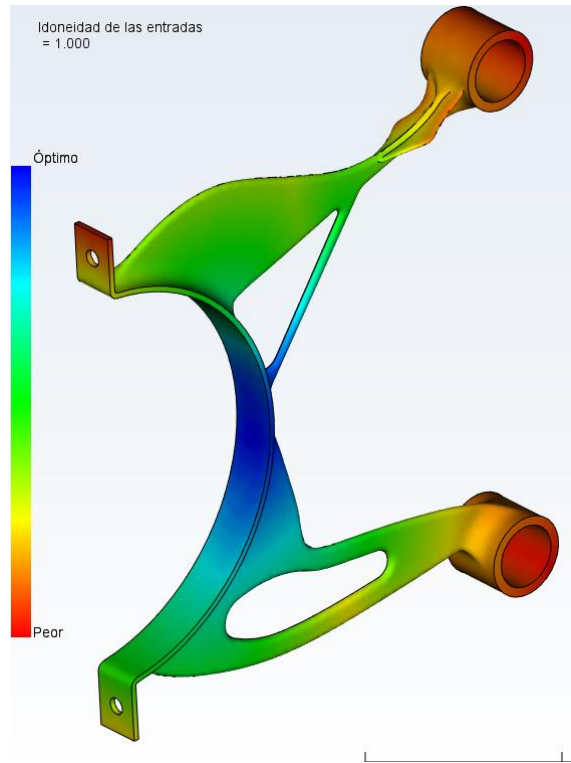


Figura 6.16.- Análisis de posición óptima de entrada para soporte “B” optimizado.

6.4.2 Resultados de simulación de proceso

I.- Simulación de proceso de inyección en soportes “A” original y optimizado.

Los resultados de la simulación para el proceso de inyección de los soportes “A” se comparan en la tabla 6.7. Estos parámetros definen el ciclo completo de inyección y la predicción de calidad en las piezas.

Tabla 6.7.- Simulación de parámetros para proceso de inyección de soportes “A”.

Análisis	Parámetro	Soporte “A”	
		Original PPS	Soporte “A” Optimizado
Llenado	Tiempo de llenado	2.45 seg.	2.68 seg.
	Confianza de llenado	100 %	100 %
	Predicción de calidad	100 %	99.3 %
	Presión de inyección	19.83 MPa	24.06 MPa
	Tiempo para temperatura de expulsión	26.96 seg.	45.68 seg.
Refrigeración	Calidad de refrigeración	99.7 %	97.7 %
Rechupes	Estimación de rechupes	0.04 mm	0.04 mm
Ciclo de inyección	Tiempo Total	33.38 seg.	34.07 seg.

Los resultados en el proceso de inyección muestran que la pieza optimizada aumenta un 2% el tiempo total del ciclo de inyección, el tiempo de llenado aumenta en la pieza optimizada un 9%, mientras que la confianza de llenado se mantiene igual en ambas partes, por otro lado,

la predicción de calidad disminuye un 0.7 % y la presión de inyección aumenta en la pieza optimizada un 21% en comparación a la pieza original.

II.- Simulación de proceso de inyección en soportes “B” original y optimizado.

Los resultados de la simulación para el proceso de inyección de los soportes “B” se muestran en la tabla 6.8. Estos parámetros definen el ciclo completo de inyección y la predicción de calidad en las piezas.

Tabla 6.8.- Simulación de parámetros para proceso de inyección de soportes “B”.

Análisis	Parámetro	Soporte “B” Original PPS	Soporte “B” Optimizado
Llenado	Tiempo de llenado	4.45 seg.	2.478 seg.
	Confianza de llenado	100 %	100 %
	Predicción de calidad	47.2 %	94.9 %
	Presión de inyección	37.76 MPa	47.55 MPa
	Tiempo para temperatura de expulsión	218.4 seg.	158.2 seg.
Refrigeración	Calidad de refrigeración	56.7 %	94.6 %
Rechupes	Rechupes	0.35 mm	0.05 mm
Ciclo de inyección	Tiempo Total	224.99 seg	34.42 seg.

Los resultados en el proceso de inyección muestran que la pieza optimizada reduce un 8% el tiempo total del ciclo de inyección, el tiempo de llenado reduce en la pieza optimizada un 27%, mientras que la confianza de llenado se mantiene igual en ambas partes, por otro lado, la predicción de calidad aumenta un 47 % en la pieza optimizada y la presión de inyección aumenta por un 20% en comparación a la pieza original.

Los resultados de estos análisis permitirán diseñar el molde para manufacturar las partes. Dicho proceso no se presenta en esta investigación, pero como perspectiva y futuros trabajos se contempla el diseño y evaluación del molde para ambos soportes.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones

Se logró evaluar la optimización de piezas para inyección de plástico mediante métodos numéricos y diseñadas por DG. Esta evaluación permitió generar un proceso replicable para lograr diseñar piezas para inyección de plástico mediante DG.

Se comparó las propiedades del material original de las piezas contra un material propuesto para determinar si es posible la optimización. Se logró cambiar el material original de la pieza, siendo este un material metálico a un material polimérico que permitiera ser inyectado.

Se estudiaron los efectos de la optimización mediante DG con relación al volumen y masa de las piezas.

En la pieza denominada como soporte “A” se logró reducir un 47% el volumen de la pieza en comparación a la pieza ya existente denominada como soporte “A” original.

En cuanto a la pieza denominada como soporte “B” se logró reducir un 2% el volumen en comparación a la pieza denominada como soporte “B” original.

La masa del soporte “A” en un material polimérico (PPS) se logró disminuir por un 88% en relación con la masa del soporte “A” original en el material metálico (Acero ASTM A36) y un 46% en comparación al soporte “A” original si este fuera fabricado en el mismo polímero de la pieza optimizada.

Con relación al soporte “B” y su masa en el material polimérico se logró disminuir a un 79% en comparación al soporte “B” original en el material metálico, por otra parte, en comparación al soporte “B” original en material polimérico se logró reducir 2% su masa.

Se analizó el comportamiento mecánico en las piezas optimizadas, basándose en criterios de falla. Los resultados muestran que las piezas cumplen con los criterios de falla en relación con las propiedades mecánicas del material seleccionado.

El soporte optimizado mediante DG muestra en los resultados de la simulación de esfuerzos por tensión, que el esfuerzo máximo generado en el ensamble al soportar el motor es de 11.27 MPa con un factor de seguridad mínimo de 6 unidades y máximo de 15, demostrando que las piezas optimizadas son funcionales en el ensamblaje y capaces de soportar la carga generada del motor sin sobrepasar el punto de cedencia del material polimérico propuesto.

Se obtuvo un diseño amigable con el proceso de inyección de plástico que a su vez optimizó algunos de los recursos en la producción de la pieza. Dicho lo anterior el soporte “A” optimizado en comparación al soporte original en polímero, es similar en el proceso de inyección, aumentando el tiempo de llenado por 8%, por otro lado, la predicción de calidad reduce un 0.7% y el tiempo de enfriamiento aumenta 70% sin embargo el tiempo de ciclo de inyección total del proceso es muy similar al soporte “a” original, demostrando que aun que las geometrías optimizadas sean más complejas y orgánicas, el proceso de inyección sigue siendo óptimo en los resultados.

Por otra parte, el soporte “B” optimizado muestra una mayor optimización en el proceso de inyección en comparación al soporte “B” original, el tiempo de llenado reduce un

44%, la predicción de calidad aumenta un 50% y el tiempo de enfriamiento reduce un 20%, esto se ve reflejado al reducir el tiempo del ciclo de inyección total del proceso en un 84%.

7.2 Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones se concluyen en base a la experimentación y sus resultados.

- Si la optimización involucra una pieza original en otro material no polimérico, seleccionar con anterioridad en el proceso de recolección de datos el polímero a utilizar y evaluar al modelo mediante un análisis de Método de Elemento Finito, y así garantizar la funcionalidad de la parte.
- Se recomienda seleccionar dentro de las iteraciones obtenidas por DG, una geometría moderada para el proceso de inyección.
- Realizar un postproceso en las piezas obtenidas por DG, ya que el modelo tridimensional proporcionado por el software Fusion 360 por B-rep puede provocar un mallado no uniforme.
- Se recomienda realizar un análisis de congruencia de mallado en cada simulación para poder obtener la malla óptima para el análisis de método de elemento finito, ya que las geometrías obtenidas por DGs suelen ser muy complejas.

7.3 Aportación Científica

La presente investigación tiene como aportación científica el método utilizado para el proceso de experimentación científica, ya que permite evaluar la generación de piezas optimizadas mediante DG que puedan ser fabricadas mediante inyección de plástico.

Así mismo dicha investigación generó la divulgación del artículo denominado de “DG como herramienta de optimización en piezas de inyección de plástico. Caso de estudio: Soportes de motor para Vehículo Eléctrico Universitario de la Facultad de Arquitectura.”, el cual fue presentado en el 12° Seminario Internacional de Investigación y Diseño y 10° encuentro de Semilleros de Investigación en Diseño “Diseño y nuevas cotidianidades”. celebrado en Colombia los días 22 y 23 de septiembre de 2021 y se encuentra en las memorias con ISSN-2256-4668.

7.4 Aportación Tecnológica

Como aportación tecnológica, se generó un entregable de los archivos CAD de las piezas optimizadas al Centro de Innovación y Diseño de la Facultad de Arquitectura. Con el fin de reproducir las piezas para el Vehículo Eléctrico Universitario.

CAPÍTULO 8

PERSPECTIVAS

En este capítulo se menciona los trabajos futuros derivados de esta investigación, los cuales pretenden seguir construyendo el conocimiento sobre el DG y el proceso de inyección de plástico.

- Evaluar las propiedades mecánicas de los soportes optimizados mediante métodos numéricos con relación a los esfuerzos por fatiga y deformaciones térmicas.
- Diseñar y fabricar los moldes para inyección de los soportes optimizados.
- Evaluar mecánicamente los soportes fabricados por inyección de plástico en el polímero seleccionado en la presente investigación.
- Evaluar la optimización de los moldes para los soportes mediante métodos numéricos y DG.
- Evaluar los costos y beneficios de las piezas optimizadas mediante DG en el proceso de inyección de plástico.

BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

ACO Mold. (10 de Diciembre de 2020). *Injection Molding*. Obtenido de <http://www.injectionmoulding.org/injection-mould-cost-calculation-quotation.html>

Akella, R. (16 de Marzo de 2018). *Industry Week*. Obtenido de <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/22025329/what-generative-design-is-and-why-its-the-future-of-manufacturing>

AMFG. (4 de Abril de 2019). *AMFG Ai*. Obtenido de <https://amfg.ai/2019/04/04/autodesk-robert-yancey-expert-interview/?cn-reloaded=1>

Autodesk. (2019). *Zenoot*. Obtenido de <https://zenoot.com/wp-content/uploads/Autodesk-KUKA-deciphering-industry-4-Part4.pdf>

Autodesk. (10 de Diciembre de 2020). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.mx/solutions/finite-element-analysis#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20de%20elementos%20finitos,efectos%20of%C3%ADsicos%20del%20mundo%20real>

AutoFEM Analysis. (14 de Abril de 2022). *AutoFEM Analysis - Finite Element Analysis for AutoCAD users*. Obtenido de https://autofem.com/help/es/purpose_and_role_of_meshes.html

Campos B., I. (Agosto de 2014). “Proceso de diseño, fabricación y pruebas de. Tianguistenco, Estado de México, Mexico.

Cervera, M., & Blanco, E. (2015). *Resistencia de Materiales*. Barcelona: CIMNE.

César Vargas, E., & Oguri C., L. E. (2013). EL ARTE-OBJETO ¿ES DISEÑO INDUSTRIAL? *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 9-20.

- Ching-Piao, C., Ming-Tsan, C., Yun-Hsiang, H., Yung-Kuang, Y., & Chih-Hung, T. (2009). Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis. *Expert Systems with Applications*, 10752-10759.
- Chun, H. (2020). A Study on Application of Generative Design System in Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Cocom-Herrera, J. L., & González-Cetz, M. M. (2015). Diseño Biomimético: experiencia desde el Programa de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Yucatán (uady), México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 69-75.
- Deloitte. (2017). *Servicios para Manufactura*. Obtenido de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/manufacturing/Servicios-para-Manufactura-2017.pdf>
- Diegel, O. (2014). Additive Manufacturing: An Overview. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, 3-18.
- EcuRed. (10 de Diciembre de 2020). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Movimiento_mec%C3%A1nico
- Engineering Articles. (6 de Agosto de 2015). *Engineering Articles*. Obtenido de <http://www.engineeringarticles.org/manufacturing-process-meaning-and-types/>
- Este, P., & Sáenz P., L. A. (2004). Evaluación de la resistencia a fatiga y límite de fatiga de aceros de medio y bajo carbono. *INGENIERÍA UC*, 69-75.
- Fajardo Seminario, J., & Calle Sigüencia, J. (2007). Aplicaciones CAE en el diseño de moldes de inyección de termoplásticos. *Ingenius*.
- Fernández García, J., López García, V., & Santacoloma, S. (3 de Dicimebre de 2006). *Diseño Industrial: Guía Metodológica*. España.
- Fischer, J. M. (2013). Computer-Aided Analysis. *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage*.

- Franco. (25 de Octubre de 2018). *SEED*. Obtenido de <https://www.studioseed.net/blog/software-blog/parametric-generative-design-blog/python-software-poo/robert-aish-el-padre-del-diseno-computacional/>
- Fusion 360. (2020). *Physical properties*.
- Gay, A., & Samar, L. (2004). *El diseño industrial en la historia*. Cordoba: EDICIONES tec.
- Góngora P., J. P. (5 de Septiembre de 2014). *BancoMext*.
- González-Becerra, A., & Estrada-Cingualbres, R. A. (2015). Análisis dinámico por elementos finitos del conjunto soporte - captador de alta frecuencia de un tren subterráneo. *Ingeniería Mecánica, vol. 18.*, 23-30.
- INGENIERIA Y MECANICA AUTOMOTRIZ. (2 de Marzo de 2021). *INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ*. Obtenido de <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-un-mallado-en-fea-y-cuantos-tipos-existen/>
- Interempresas. (1 de Noviembre de 2001). *Interempresas Media*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/1503-Determinacion-rapida-del-coste-de-produccion-de-un-molde-de-inyeccion.html>
- Jacquez-Hernández, M. V., & López Torre, V. G. (2018). Modelos de evaluación de la madurez y preparación hacia la Industria 4.0: una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 61-78.
- Kaled, M. A. (14 de Diciembre de 2016). Aproximaciones al diseño generativo y su. Palermo, Argentina.
- Kriesi, C., Bjelland, O., & Steinert, M. (2018). Fast and iterative prototyping for injection molding-a case of study of rapidly prototyping. *Procedia Manufacturing 21*, 201-212.
- Lama R., A. (2004). ENTORNO EVOLUTIVO DE DISEÑO AUTOMÁTICO EN INGENIERÍA. *Tesis Doctoral*.

- Leary, M. (2020). Generative Design. En M. Leary, *Design for Additive Manufacturing* (págs. 203-222). Elsevier.
- Leyton, F. (2008). Ética Medio Ambiental: una revisión de la Ética Antropocéntrica. *Revista de Bioética y Derecho*, 34-43.
- Ma, Y. Z., Sobernheim, D., & Garzon, J. (2016). Glossary for Unconventional Oil and Gas Resource Evaluation and Development. *Unconventional Oil and Gas Resources Handbook*, 513-526.
- Manonelles Marqueta, P., Giménez Salillas, L., Álvarez Medina, J., & García Rivas, B. (2007). Efecto de las vibraciones mecánicas en el entrenamiento de fuerza. *punts Educación Física y Deportes*, 73-80.
- Martín del Campo, R., & Ruiz, C. A. (2016). Desarrollo CAD y fabricación de un molde prototipo. *Academia Journals*, 976-981.
- Martín, I., Salcedo, R., & Font, R. (2011). *MECÁNICA DE FLUIDOS*. Universidad de Alicante.
- Mecapedia. (24 de Junio de 2014). *Mecapedia - Enciclopedia Virtual de Ingeniería Mecánica*. Obtenido de http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm
- Millán-Páramo, C., & Millán-Romero, E. (2018). Optimización topológica con el empleo de la metaheurística de enjambre de partículas. *Ingeniería y Desarrollo*.
- Nagy, D., & Villaggi, L. (01 de Marzo de 2020). *Autodesk.com*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/autodesk-university/fr/node/663>
- Narvárez T., C. A., Roa G., M. A., & Garzón A., D. A. (2004). Simulación del crecimiento de tallos usando optimización topológica. *Ingeniería e Investigación*, 21-27.
- Navarrete, S. (2014). Diseño paramétrico. El gran desafío del siglo XXI . *El campo disciplinar del Diseño. Perspectivas y Enfoques*, 63-72.
- Nordin, A. (2017). Challenges in the industrial implementation of generative. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 1-16.

- Open Motors. (25 de 02 de 2022). *Open Motors - EV platform for MaaS & Logistic, EV Battery Swap*. Obtenido de <https://www.openmotors.co/evplatform/>
- OpenMotors. (Enero de 2020). *Open Motors*. Obtenido de <https://www.openmotors.co/product/tabbyevo/>
- Padilla Hernández, S. (2008). Conocimiento tecnológico: el desafío para las PyMES en México. *Economía y Sociedad*, 11-26.
- Palmira. (21 de Agosto de 2018). *Unimedios Agencia de Noticias UN*. Obtenido de <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/disenio-evolutivo-un-sistema-vivo.html>
- Perez, C. A. (Septiembre de 2017). IMPRESIÓN 3D Y MÉTODO DE ELEMENTO FINITO APLICADOS A LA OPTIMIZACIÓN DE PLANTILLAS Y HERRAMENTALES CON APLICACIÓN AUTOMOTRIZ.
- Pinto, A. S. (2019). Generative Design Optimization Process for Developing an E-bike Frame Using SolidThinking Inspire. *Colegio de Ciencias e Ingeniería .- UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ*.
- PRIVARSA. (22 de Diciembre de 2020). *PRIVARSA*. Obtenido de <https://www.privarsa.com.mx/la-inyeccion-plastico-una-historia-exito/>
- Ramírez, R. V. (2006). DESARROLLO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VENTANA DE PROCESO PARA TAPAS INYECTADAS . *UNIVERSIDAD SIMÓN BOLIVAR DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES* , 0-131.
- Reich, Y. (1995). The Study of Design Research Methodology. *Journal of Mechanical Design*.
- REX PLASTICS. (15 de Julio de 2013). *REX PLASTICS*. Obtenido de <https://rexplastics.com/plastic-injection-molds/how-much-do-plastic-injection-molds-cost#:~:text=A%20small%2C%20single%20cavity%20plastic,a%20typical%20mold%20costs%20%2412%2C000>

- Roa López, P. A. (2017). Diseño Industrial, un hacer responsable con la sociedad. *Revista interamericana de investigación, educación y pedagogía*, 123-137.
- Rogers, T. (12 de Junio de 2015). *Creative Mechanisms*. Obtenido de <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them>
- Rosales, R. A. (19 de 12 de 2019). *El Economista*. Obtenido de <https://www.eleconomista.com.mx/estados/Nuevo-Leon-se-posiciono-como-el-motor-manufacturero-del-pais-20191218-0123.html>
- Ruiz Colunga, C. A., Alvarado Almanza, R., Del Campo Vazquez, R. M., Rojas Rojas, M. A., & Medina Flores, J. M. (2015). Análisis Termomecánico de un Molde Prototipo para Inyección de. *Compendio Investigativo de Academia Journals*, 5268-5273.
- Schubert, H., Ax, K., & Behrend, O. (2003). Product engineering of dispersed systems. *Trends in Food Science & Technology*, 9-16.
- Sdn.Bhd, E. S. (1 de Agosto de 2020). *E Steel*
Sdn.Bhd<https://www.esteelsuppliers.com/new/shop/structure-steel/a36-s235jr-st37-ss400-a283c/>. Obtenido de <https://www.esteelsuppliers.com/new/shop/structure-steel/a36-s235jr-st37-ss400-a283c/>
- Seow, L., & Lam, Y. (1997). Optimizing flow in plastic injection molding. *Journal of Materials Processing Technology*, 333-341.
- Sevilla, U. d. (10 de Diciembre de 2020). *Departamento de Fisica Aplicada Universida de Sevilla*. Obtenido de [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Principios_de_la_electrost%C3%A1tica_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Principios_de_la_electrost%C3%A1tica_(GIE))
- Singraur, D. S., Patil, B. T., & Shaikh, V. A. (2021). Defect Minimization of an Injection Molded Plastic Component Using Conformal Cooling Channels. *Materials Science Forum*, 205-210.
- Sistemas, M. L. (10 de 12 de 2020). *Micro-Log*. Obtenido de <http://www.micro-log.com/mininoticias/esfuerzos-mecanicos.pdf>

- Sosa Sierra, M. D. (2007). Inteligencia artificial en la gestión financiera empresarial. *Pensamiento & Gestión*, 153-186.
- Suárez Castrillón, A. M., Tafur Preciado, W., & Calderón Nieves, P. R. (2015). Aplicación de herramientas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prototipos de. *Tecnura*, 115-121.
- Suchana, J., Tong, W., Yung, S., Tovar, A., & Hazim, E.-M. (2019). Thermo-Fluid Topology Optimization and Experimental Study of Conformal Cooling Channels for 3D Printed Plastic Injection Molds. *Procedia Manufacturing*, 631-639.
- Sydora, C., & Stroulia, E. (2020). Rule-based compliance checking and generative design for building interiors. *Automation in Construction* .
- Tabarés Gutiérrez, R. (2019). La fabricación abierta:¿un camino alternativo a la industria 4.0. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 263-285.
- Thoreau L., J. (2020). Coalesce: Leveraging Generative Tools in Industrial Design Practice . *University of Washington*.
- Trautmann, L. (2021). PRODUCT CUSTOMIZATION AND GENERATIVE DESIGN . *Multidiszciplináris tudományok*, 87-95.
- UNEA. (11 de Febrero de 2020). *UNEA; Universidad de Estudios Avanzados*. Obtenido de <https://www.unea.edu.mx/blog/index.php/industria-manufacturera-en-mexico/>
- Vallejo, B. M., & Vallejo, S. B. (2006). Aspectos generales de la automatización. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47-63.
- Van Staden, R. C., Guan, H., & Loo, Y. C. (2014). Application of the finite element method in dental implant research. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 257-270.
- Vázquez Ávila, G., Mejía Trejo, J., & Núñez Moreno, T. E. (2016). OPERACIONES Y COMPETITIVIDAD EN LAS PYMES DEL SECTOR DEL PLÁSTICO. *Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 55-74.

- Villaggi, L., Wang, R., Zhao, D., & Benjamin, D. (2017). Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning. *The Living, an Autodesk Studio*.
- World Design Organization. (03 de 12 de 2020). *WDO; World Design Organization*.
Obtenido de <https://wdo.org/about/definition/>
- Wu, T., Liu, K., & Tovar, A. (2017). Multiphase topology optimization of lattice injection molds. *Computers and Structures*, 71-82.
- Yin, R. (2016). Concept and Theory of Dynamic Operation of the Manufacturing Process. *Theory and Methods of Metallurgical Process Integration*.
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *Conciencia Tecnológica*, 33-45.
- Zinelis, S., & Brantley, W. (2017). Structure/property relationships in orthodontic ceramics. *Orthodontic Applications of Biomaterial*, 61-71.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Miguel Puebla Blanco

Candidato al grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Gestión e
Innovación del Diseño.

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Arquitectura

Tesis:

“Diseño generativo como herramienta de optimización en piezas de inyección de plástico. Caso de estudio: soportes de motor para vehículo eléctrico universitario de la Facultad de Arquitectura.”

El Licenciado Miguel Puebla Blanco nació en Monterrey Nuevo León, México el 04 de noviembre de 1989. Es hijo del Sr. Miguel Puebla González (finado) y la Sra. Martha Blanco Valero.

Cursó sus estudios profesionales en la Universidad Autónoma de Nuevo León, obteniendo el título de Licenciado en Diseño Industrial en el año 2013.

En enero del 2020 inició sus estudios de Maestría en Ciencias con Orientación en Gestión e Innovación del Diseño, becado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Se desarrolló como líder de diseño en la empresa OEM Supply desde abril del 2015 hasta abril del 2021, diseñando productos para filtración de agua para marcas internacionales.

A la actualidad funge como consultor independiente para la industria del plástico, para el diseño de piezas y moldes de inyección, así como el análisis y validación en el proceso de ingeniería mediante simulación del proceso de inyección.

A la par desde enero del 2014 se ha desempeñado como docente en diferentes universidades del país tanto públicas como privadas.