FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS

Trabajo de fin de Carrera titulado:

Evaluación de propiedades termo mecánicas en materiales alternativos para la fabricación de rejillas de ventilación de vehículos

Realizado por:

Byron Javier Paca Ashqui

Director del proyecto:

M. Sc. Jaime Vinicio Molina Osejos

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO MECANICO AUTOMOTRIZ

QUITO, Septiembre del 2025

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Byron Javier Paca Ashqui, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 0604249102, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.

Byron Javier Paca Ashqui

C.I.: 0604249102

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.

Director de proyecto

M.Sc. Jaime Vinicio Molina Osejos

LOS PROFESORES INFORMANTES:

PhD(c). Diana Belén Peralta Zurita

PhD. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

_____ _____

PhD(c). Diana Belén Peralta Zurita PhD. Edilberto Antonio Llanes Cedeño

Quito, 8 de septiembre de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Byron Javier Paca Ashqui

C.I.: 0604249102

INDICE DE CONTENIDO

Resumen 6
Abstract 7
Introducción 1
Antecedentes 1
Planteamiento del Problema 2
Justificación 3
Objetivos 4
General 4
Objetivos Específicos 4
Hipótesis 5
Estado del Arte 5
Diseño 3D (CAD) 5
Softwares CAD 6
SolidWorks 6
Análisis Computacional (CFD) 8
SolidWorks Flow Simulation 9
Pruebas Físicas 11
Túnel de viento 11
Importancia de las pruebas físicas 12
Normativas aplicables 13
Fabricación Aditiva (Impresión 3D) 13
Beneficios de la Fabricación Aditiva 15
Softwares para la Fabricación Aditiva 16
Creality Slicer 16
Simplify 3D 17
Ultimaker Cura 17
Filamentos para Fabricación Aditiva 18
PETG (PET, PETT) 19
ASA 21
POLICARBONATO (PC) 22
Metodología 25

Diseño de Investigación 25
Recolección de Datos de Temperaturas de Calefacción en Varios Vehículos 26
Fabricación de Prototipos 28
Diseño CAD de la Rejilla 28
Fabricación de las rejillas 32
Selección de materiales: 32
Porcentaje de relleno: 32
Probetas de prueba: 32
POLICARBONATO (PC) 36
PETG 37
ASA 38
Impresión de la rejilla de ventilación: 40
Pruebas Experimentales y Análisis Computacional 40
Diseño y construcción del túnel de viento 41
Análisis Computacional 46
Pruebas Experimentales 51
Diseño Experimental 53
Normativa que rige el ensayo Térmico 54
Análisis Estadístico 55
Resultados 56
Prototipo 3d de la rejilla 56
Rejillas Fabricadas 57
Análisis Computacional CFD 60
Pruebas en Tunel de Viento 63
Primera Prueba al 100% de Relleno 63
Segunda Prueba al 100% de Relleno 67
Primera Prueba al 50% de Relleno 69
Segunda Prueba al 50% de Relleno 71
Discusión de Resultados 72
Conclusiones 78
Recomendaciones 79
Listado de Referencias 81
Anexos 86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Comparación de las características de los softwares de diseño más usados*.7
Tabla 2 *Requisitos mínimos y recomendados para ejecutar SolidWorks* 8
Tabla 3 *Principales funcionalidades de SolidWorks Flow Simulation*.....10
Tabla 4 *Principales beneficios de la fabricación aditiva* 15
Tabla 5 *Propiedades de los filamentos* 24
Tabla 6 *Datos de temperaturas y velocidades recolectados*.....27
Tabla 7 *Especificaciones de impresión*.....33
Tabla 8 *Especificaciones del microscopio*.....35
Tabla 9 *Resultado del análisis microscópico del POLICARBONATO*.....36
Tabla 10 *Resultado del análisis microscópico del PETG*.....37
Tabla 11 *Resultado del análisis microscópico del ASA*.....38
Tabla 12 *Calefactor milk house y sus principales características*.....44
Tabla 13 *Tiempo total de pruebas* 46
Tabla 14 *Tratamientos aplicados en cada material* 54
Tabla 15 *Piezas que conforman la rejilla de ventilación*.....57
Tabla 16 *Rejillas al 100% antes de las pruebas* 63
Tabla 17 *Rejillas al 100% después de la primera prueba* 64
Tabla 18 *Rejillas al 50% después de la primera prueba* 69
Tabla 19 *Deformaciones de las rejillas luego de las pruebas físicas*.....73
Tabla20 *Resultados del análisis ANOVA bifactorial*.....74
Tabla 21 *Porcentaje de error calculado para cada material*.....76
Tabla 22 *Resultado particular de cada rejilla en el túnel de viento*.....76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Diseño de un motor en SolidWorks* 7
Figura 2 *Interpretación del flujo de aire que pasa por un turbocompresor* 8
Figura 3 *Simulación CFD de una turbina* 10
Figura 4 *Proceso de SolidWorks Flow Simulation* 11
Figura 5 *Partes principales del túnel de viento* 12
Figura 6 *Proceso de Fabricación Aditiva* 14
Figura 7 *Configuración de los parámetros de impresión en Creality Print* 16
Figura 8 *Configuración de los parámetros de impresión en simplify 3d* 17
Figura 9 Configuración de los parámetros de impresión en ultimaker cura……...18
Figura 10 *Diagrama Metodológico* 25
Figura 11 *Medición de temperatura y velocidad del viento* 26
Figura 12 *Rejilla de ventilación seleccionada* 28
Figura 13 *Dibujo y revolución del perfil* 29
Figura 14 *Corte del perfil interno* 29
Figura 15 *Dibujos internos de la rejilla* 30
Figura 16 *Extrucciones y cortes de los dibujos* 30
Figura 17 *Dibujos externos de la rejilla* 31
Figura 18 *Extrucciones de los dibujos externos* 31
Figura 19 *Pieza principal de la rejilla de ventilación* 32
Figura 20 *Diseño e impresión de la probeta* 33
Figura 21 *Probetas impresas* 34
Figura 22 *Análisis microscópico de una probeta en ASA con nuevos parámetros de impresión* 39
Figura 23 *Proceso de impresión de la rejilla* 40
Figura 24 *Medidas del túnel de viento* 41
Figura 25 *Vistas del túnel de viento CAD* 42
Figura 26 *Vistas del túnel de viento construido* 43
Figura 27 *Instalación del calefactor en el túnel de viento* 45
Figura 28 *Selección del tipo de simulación* 47
Figura 29 *Selección del material* 47
Figura 30 *Selección de carga térmica* 48
Figura 31 *Selección de caras expuestas al flujo de aire* 48

Figura 32 *Selección del Régimen* 49
Figura 33 *Selección de la temperatura inicial* 50
Figura 34 *Resultados del análisis* 50
Figura 35 *Configuración y encendido del calefactor* 51
Figura 36 *Temperatura a la salida del conducto PETG* 52
Figura 37 *Temperatura a la salida del conducto ASA* 52
Figura 38 *Temperatura a la salida del conducto POLICARBONATO* 53
Figura 39 *Pieza principal de la rejilla de ventilación* 56
Figura 40 *Rejillas impresas al 100% de relleno* 58
Figura 41 *Rejillas impresas al 50% de relleno* 58
Figura 42 *Rejillas impresas en PETG al 50 y 100% de relleno* 59
Figura 43 *Rejillas impresas en ASA al 50 y 100% de relleno* 60
Figura 44 *Rejillas impresas en POLICARBONATO (PC) al 50 y 100% de relleno* 60
Figura 45 *Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en PETG al 100% de relleno* 61
Figura 46 *Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en ASA al 100% de relleno* .62
Figura 47 *Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en POLICARBONATO (PC) al 100% de relleno* 63
Figura 48 *Resultado de la primera prueba en la rejilla PETG al 100%* 66
Figura 49 *Resultado de la primera prueba en la rejilla ASA al 100%* 66
Figura 50 *Resultado de la primera prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 100%* 67
Figura 51 *Resultado de la segunda prueba en la rejilla Asa al 100%* 67
Figura 52 *Resultado de la segunda prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 100%* 68
Figura 53 *Resultado de la primera prueba en la rejilla PETG al 50%* 70
Figura 54 *Resultado de la primera prueba en la rejilla ASA al 50%* 70
Figura 55 *Resultado de la primera prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 50%* ..71
Figura 56 *Resultado de la segunda prueba en la rejilla Asa al 50%* 71
Figura 57 *Resultado de la segunda prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 50%* ..72
Figura 58 *Análisis de Distribuciones de temperaturas y velocidades del viento* 72
Figura 59 *Valores de deformación con respecto al material y porcentaje de relleno* 75
Figura 60 *Fórmula para el cálculo del error porcentual* 75

Resumen

El presente trabajo se centra en el prototipado y construcción de rejillas de ventilación de vehículos mediante Diseño Asistido por Computadora (CAD) y fabricación aditiva (impresión 3d), en tres materiales seleccionados previo a una revisión bibliográfica (PETG, ASA y POLICARBONATO (PC), los cuales presentaron las mejores propiedades térmicas; estos prototipos son fabricados a diferente porcentaje de relleno (50 y 100%). La validación de dichas rejillas y materiales será mediante pruebas experimentales y simulación computacional (CFD). Las pruebas físicas se ejecutaron en un túnel de viento diseñado utilizando como referencia la normativa ASTM D648 para la deformación térmica y considerando recomendaciones del estándar ISO 11357 para análisis térmico diferencial. Las condiciones de ensayo fueron replicadas durante 3 horas, con una potencia térmica constante de 1500 W. Se seleccionó la temperatura máxima medida en 20 vehículos como referencia (49,1 °C). Los resultados evidencian que la rejilla fabricada en PETG no cumple con los requisitos mínimos de calefacción de vehículos, llegando a una temperatura de 52,7 grados Celsius antes de empezar a deformarse; por otra parte, los materiales ASA y POLICARBONATO (PC) son excelentes alternativas para la fabricación de elementos de calefacción debido a su respuesta positiva frente a la exposición prolongada a altas temperaturas, llegando a soportar temperaturas de 75,74 y 84,8 grados Celsius respectivamente antes de empezar a deformarse. La rejilla en PETG presentó una deformación máxima de 8 mm respecto a su diámetro original de 71,7 mm, equivalente a más del 10%, siendo considerada inaceptable. En contraste, las rejillas fabricadas en ASA y POLICARBONATO (PC) mantuvieron su integridad dimensional, presentando deformaciones inferiores al 2% (entre 0,18 y 0,2 mm), por lo que se consideran viables para aplicaciones en sistemas de calefacción automotriz.

Palabras clave: Rejilla de ventilación, fabricación aditiva, impresión 3d, Temperatura, Flujo calorífico.

Abstract

This work focuses on the prototyping and construction of vehicle ventilation grilles using Computer Aided Design (CAD) and additive manufacturing (3D printing), in three materials selected prior to a bibliographic review (PETG, ASA and POLYCARBONATE (PC), which presented the best thermal properties; these prototypes are manufactured at different filling percentages (50 and 100%). The validation of these grilles and materials will be through experimental tests and computer simulation. (CFD) The physical tests were executed in a wind tunnel designed using the ASTM D648 standard for thermal deformation and considering the recommendations of the ISO 11357 standard for differential thermal analysis. The test conditions were replicated for 3 hours, with a constant thermal power of 1500 W. The maximum temperature in 20 vehicles was selected as a reference (49.1 ° C). vehicles, reaching a temperature of 52.7 degrees Celsius before starting to deform; on the other hand, ASA and Polycarbonate (PC) are excellent alternatives for the manufacture of heating elements due to their positive response to prolonged exposure to high temperatures, withstanding temperatures of 75.74 and 84.8 degrees Celsius respectively before beginning to deform. The PETG grid presented a maximum deformation of 8 mm with respect to its original diameter of 71.7 mm, equivalent to more than 10%, being considered unacceptable. In contrast, grids manufactured in ASA and Polycarbonate (PC) maintained their dimensional integrity, presenting deformations less than 2% (between 0.18 and 0.2 mm), which is why they are considered viable for applications in automotive heating systems.

Keywords: Ventilation grille, additive manufacturing, 3D printing, Temperature, Heat flow.

Introducción

Antecedentes

Al examinar el mercado nacional de autopartes automotrices, se observa una necesidad creciente de implementar más líneas de repuestos (ICEX, 2023), especialmente en vehículos nuevos, debido a que cuando un vehículo ingresa a un taller mecánico con problemas y debe reemplazarse determinada autoparte, esta no se encuentra disponible en el mercado nacional para lo cual se procede a importar dicha autoparte, esto provoca que el vehículo este detenido por prolongados periodos de tiempo. Para abordar esta problemática y contribuir al desarrollo y crecimiento tecnológico del país, se decidió llevar a cabo esta investigación.

Uno de los pilares de la llamada "Cuarta Revolución Industrial" o Industria 4.0 es la fabricación aditiva. Esta tecnología mediante la impresión 3D, permite transformar modelos digitales en objetos tridimensionales solidos sin necesidad de moldes o herramientas especiales.

En el ámbito nacional, el sector de la fabricación aditiva ha mostrado un crecimiento significativo en los últimos años debido a las ventajas de rapidez, precisión y ahorro que ofrece (Riemat, 2024). Por esta razón se ha ido incorporando paulatinamente su enseñanza en universidades, institutos y otros centros educativos, lo que permite a estudiantes y profesionales mantenerse a la vanguardia y contribuir al progreso tecnológico mediante el desarrollo de investigaciones en este campo.

Sin duda, la fabricación aditiva es una de las tecnologías más prometedoras y cada vez más industrias deciden integrarla en sus líneas de producción.

Planteamiento del Problema

En el Taller de Servicio Automotriz “ECOAUTO”, han recibido varios vehículos Chevrolet N200 de procedencia China con problemas recurrentes relacionados con el deterioro de componentes, específicamente las rejillas de ventilación (aire acondicionado y calefacción).

La gran mayoría de vehículos que presentan este tipo de problemas son aquellos que generalmente circulan en las ciudades de altura en donde las temperaturas son bajas (12 grados Celsius) y por ende se hace un mayor uso de la calefacción en los vehículos; lo que conlleva a deducir una de las posibles causas del problema.

Otro pequeño grupo de vehículos con esta problemática son aquellos que circulan o tienen un breve paso por las ciudades a nivel del mar, ya que en estas las temperaturas ambientes son elevadas (36 grados Celsius).

La particularidad de los vehículos que llegan con esta problemática es que son de marcas tales como: Great Wall, Faw, Gac, Jetour, Shineray, Zx, etc. Esto ha provocado que los tiempos de reparación aumenten ya que para la mayoría de estos modelos no se encuentran este tipo de repuestos (rejillas de ventilación) en el mercado nacional.

En ocasiones ha tocado adaptarles rejillas de otros modelos de vehículos más comerciales, en algunos de los casos las rejillas alternativas han tenido ciertas similitudes y no se han presentado problemas de funcionamiento o de estética, por el contrario, se han presentado casos en los que no se ha logrado un funcionamiento optimo del sistema de aire acondicionado y calefacción al igual que la estética lo cual genera descontento en los clientes.

Otra alternativa que se ha implementado es la importación de este tipo de repuesto, pero al igual que en la alternativa de adaptación, esta ha generado disconformidad en los clientes ya que los tiempos de espera son largos y los costos son muy elevados.

Justificación

El 85% de los autos que se comercializan en el país es importado. Los principales mercados de origen son: China, Brasil, Japón, India y Colombia. La importación de autopartes creció 10% según la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana (Cinae, 2022). En valor, el producto con más participación en las importaciones de autopartes son los neumáticos; le siguen los sistemas de suspensión, embragues y baterías (Cinae, 2022).

El propósito de este trabajo de titulación es fomentar el desarrollo de la Industria Automotriz Ecuatoriana al implementar la fabricación aditiva en la creación de componentes de vehículos. Debido a los problemas mencionados anteriormente en su función, las rejillas de ventilación han sido seleccionadas para proceder a su prototipado y posteriormente su fabricación (FDM).

Al generar componentes automotrices que no se encuentran en el país, es crucial implementar nuevos procesos de Manufactura Aditiva FDM; de esta manera se evitaría que un vehículo este parado por tiempos prolongados en un taller debido a la falta de un determinado repuesto, dado que se sabe que un vehículo puede contener entre 70000 y 90000 componentes (Universo, 2022).

En este caso particular, la introducción de la fabricación aditiva permitirá un mayor acceso a los repuestos de recambio en vehículos modernos y antiguos para los cuales estos recambios son limitados o ya no están disponibles en el mercado ecuatoriano.

Objetivos

General

Evaluar las rejillas de ventilación de un vehículo fabricadas mediante la Manufactura Aditiva, considerando tres tipos de filamentos y diferentes porcentajes de relleno (50 y 100%) para su construcción, mediante validación del producto final en túnel de viento.

Objetivos Específicos

- Medir la temperatura de salida de la calefacción de varios vehículos, mediante anemómetro para la obtención de parámetros de funcionamiento.
- Investigar las características mecánicas y térmicas de los diferentes tipos de materiales utilizados en el proceso de fabricación aditiva para la selección de aquellos que presenten mejores propiedades térmicas.
- Construcción virtual de la rejilla de ventilación mediante la utilización de software CAD.
- Diseñar y fabricar un túnel de viento con el cual se realizan las pruebas físicas
- Simular en CFD (SolidWorks) el comportamiento al flujo y las propiedades termo mecánicas de las rejillas, utilizando cada material seleccionado.

- Diseñar y fabricar probetas de prueba con diferentes parámetros de impresión y realizar pruebas de tracción para verificar la unión interna de capa mediante microscopio y determinar los parámetros más adecuados para la fabricación de las rejillas.

- Fabricar los prototipos de rejillas utilizando cada uno de los filamentos que presenten las mejores propiedades mecánicas y térmicas, mediante el proceso de fabricación aditiva.

- Evaluar mediante pruebas físicas en el túnel de viento, la deformación en las rejillas para verificar su funcionamiento, viabilidad y potencial de cada material como alternativa de fabricación de autopartes automotrices.

Hipótesis

La utilización de filamentos como el PETG, ASA, POLICARBONATO (PC) entre otros, en la fabricación aditiva de las rejillas de ventilación de vehículos, producirá componentes los cuales presentaran deformaciones menores a 2% al ser sometidos a altas temperatura durante periodos de tiempo prolongados

Estado del Arte

Diseño 3D (CAD)

El software de diseño asistido por computadora, conocido como CAD, es una herramienta que permite crear y modificar modelos de objetos físicos en dos y tres dimensiones. También puede denominarse CADD, Diseño y Trazado Asistido por Computadora (Zei, I. 2019).

Este software es ampliamente utilizado en diversos campos, especialmente en Ingeniería Civil y Aeronáutica, así como por arquitectos y en la Industria Automotriz. La tecnología CAD

automatiza los procesos manuales del diseño de productos reduciendo errores, aumentando la velocidad mejorando la calidad. Las empresas logran mayor eficiencia y productividad al poder visualizar el producto final e interactuar con diversos diseños sin necesidad de construir numerosos prototipos.

El CAD 2D se utiliza para crear dibujos técnicos bidimensionales simples que suelen ser la base de proyectos más grandes, mientras que el CAD 3D permite realizar dibujos tridimensionales con mayor precisión y detalle, ofreciendo una visión más realista de los objetos al mostrar el espacio de trabajo y la profundidad.

Softwares CAD

Los softwares CAD se emplean para crear, modificar, analizar y optimizar diseños en diversas industrias. Estos softwares permiten a los Ingenieros, Arquitectos y Diseñadores generar representaciones precisas y detalladas de sus proyectos, facilitando la visualización y corrección antes de su implementación real.

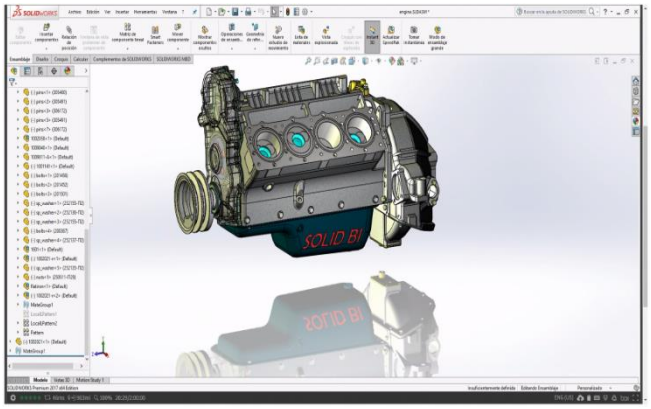
A continuación, se muestran los softwares CAD más utilizados en las industrias más importantes (Ingenierías, Arquitectura, Diseño, etc.).

SolidWorks

Este software se utiliza para diseñar y realizar las simulaciones a las rejillas de ventilación, ya que proporciona una gran cantidad de herramientas y librerías lo cual permite realizar un análisis más preciso de las rejillas. De igual forma se realiza el diseño del túnel de viento mediante este software.

Figura 1

Diseño de un motor en SolidWorks



Nota. En la figura se muestra el diseño 3d de un motor de combustión interna en SolidWorks, extraído de: Dassault Systèmes. (2024).

Aplicaciones: Diseño de maquinaria, componentes industriales, productos de consumo. Características: Modelado de piezas y ensamblajes en 3D, simulación y análisis de esfuerzos, dinámica de fluidos computacional CFD.

Tabla 1

Comparación de las características de los softwares de diseño más usados

Caracteristica	Solidworks	AutoCAD	Catia	Fusion 360	Inventor
Enfoque principal	Modelado 3D paramétrico y conjuntos mecánicos	Dibujo 2D y modelado 3D básico	Ingeniería avanzada y diseño aeroespacial	Modelado 3D basado en la nube	Diseño mecanico 3D parametrico
Objetivo de la industria	Ingenieria mecanica y manufactura	Arquitectura, ingenieria civil, mecanica	Aeroespacial, automotriz e industrial	Startups, makers, modelado general	Ingenieria mecanica y manufactura
Facilidad de uso	Interfaz intuitiva y fácil de aprender	Sencillo en 2D, pero limitado en 3D	Complejo y con curva de aprendizaje alta	Intuitivo y moderno	Similar a Solidworks, pero menos intuitivo
Capacidades 3D avanzadas	Modelado sólido y de superficies avanzadas	Limitado, pero tiene modelado 3D basico	Modelado avanzado de superficies y solidos	Modelado paramétrico, generativo y libre	Modelo

Nota. Comparación entre las principales características de los softwares de diseño más usados, extraído de: Dassault Systèmes. (2024); Autodesk. (2024); Dassault Systèmes. (2024);

Tabla 2

Requisitos mínimos y recomendados para ejecutar SolidWorks

Componente	Requisitos minimos	Requisitos recomendados
Sistema Operativo	Windows 10 o 11 (64 bits)	Windows 11 (64 bits)
Procesador	Intel o AMD con soporte SSE2 (4 nucleos o más)	Intel Core i7/i9 o AMD Ryzen 7/9 (ultima generación)
Memoria RAM	16 GB	32 GB o mas
Tarjeta Grafica	GPU certificada con 4 GB de VRAM (NVIDIA Quadro o AMD Radeon Pro)	NVIDIA Quadro RTX o AMD Radeon Pro con 8 GB de VRAM
Almacenamiento	SSD con 20 GB de espacio libre	SSD NVMe con al menos 500 GB
Resolucion de pantalla	1920 x 1080 (Full HD)	4k o multiples monitores

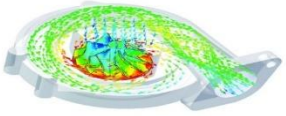
Nota. Resumen de los requisitos mínimos y recomendados para ejecutar el software, extraído de: Dassault Systèmes. (2024).

Análisis Computacional (CFD)

La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) es una técnica que posibilita la simulación y análisis del comportamiento de los fluidos y su interacción con estructuras sólidas. Esta metodología se fundamenta en la solución numérica de las ecuaciones de Navier-Stokes, las cuales modelan el flujo de fluidos considerando variables como la velocidad, la presión, la temperatura y la densidad (Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. 2022).

Figura 2

Interpretación del flujo de aire que pasa por un turbocompresor



Nota. En la figura se muestra la forma en la que circula el aire dentro del turbocompresor, extraído de: Edge-Team. (s. f.). 2025.

En la actualidad, CFD se ha convertido en una herramienta esencial en diversas ramas de la ingeniería, como la automotriz, aeroespacial, biomédica y energética, debido a su capacidad para predecir el desempeño de sistemas antes de su fabricación. Esto permite optimizar diseños, reducir costos en la etapa de prototipado y mejorar la eficiencia de los productos. En el sector automotriz, por ejemplo, se aplica para analizar la aerodinámica vehicular, la efectividad de los sistemas de enfriamiento y el comportamiento térmico dentro del habitáculo.

Por otro lado, los avances en técnicas numéricas, la computación paralela y el desarrollo de hardware más potente han mejorado la precisión de los resultados y disminuido significativamente los tiempos de simulación, lo que ha permitido integrar CFD desde las primeras etapas del proceso de diseño.

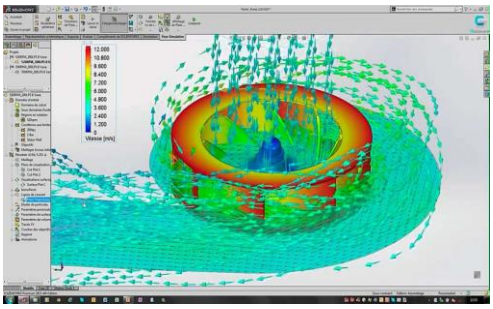
SolidWorks Flow Simulation

es un módulo de análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) totalmente integrado dentro del entorno de diseño CAD de SolidWorks. Este software está diseñado para ingenieros mecánicos y de diseño que requieren realizar estudios de flujo de fluidos y transferencia de calor sin necesidad de salir de la plataforma de modelado 3D, permitiendo una interacción fluida entre diseño y simulación (Dassault Systèmes. 2024).

En el diseño de rejillas de ventilación de vehículos, SolidWorks Flow Simulation permite analizar cómo fluye el aire a través de diferentes configuraciones geométricas, determinando zonas de alta presión, caídas de presión, distribución térmica en el interior del motor o cabina, y zonas de recirculación de calor. Esta información es clave para optimizar la eficiencia térmica, reducir el consumo energético de sistemas de ventilación y aumentar la comodidad del conductor.

Figura 3

Simulación CFD de una turbina



Nota. En la figura se muestra la simulación CFD en SolidWorks, de forma en la que la turbina empuja el aire, extraído de: Edge-Team. (s. f.). 2025.

Tabla 3

Principales funcionalidades de SolidWorks Flow Simulation

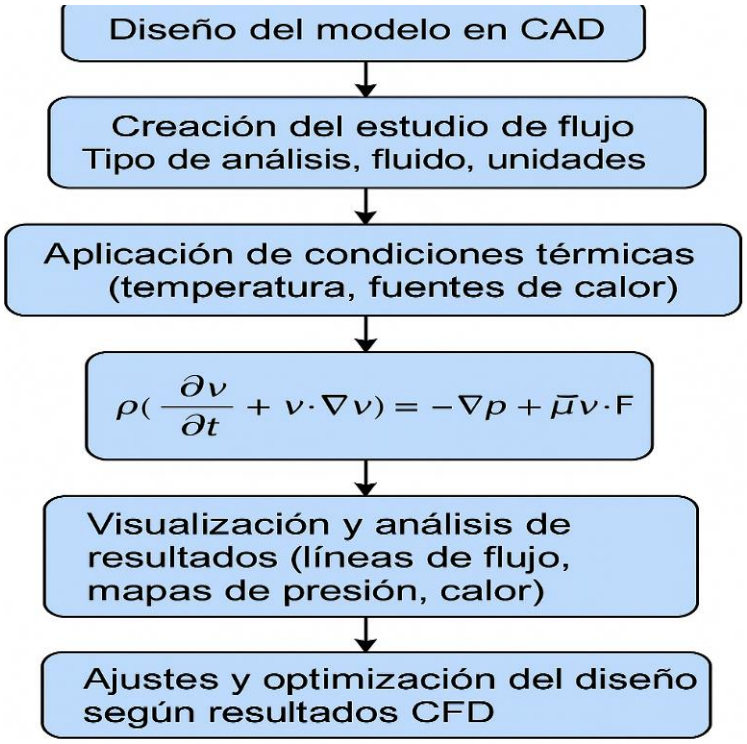
Funcionalidad	Descripción
Flujo interno y externo	Simula flujos de fluidos dentro de conductos cerrados (tuberías, cámaras) y alrededor de objetos (carrocerías, ventilas).
Transferencia de calor	Permite analizar conducción, convección y radiación térmica en sólidos y fluidos.
Intercambio térmico fluido-sólido	Modela el acoplamiento térmico entre componentes sólidos y el fluido circundante.
Modelos de turbulencia	Incluye modelos como k-epsilon para representar flujos turbulentos en condiciones reales.
Análisis paramétrico	Permite realizar estudios comparativos cambiando parámetros del diseño sin reconstruir el modelo.
Visualización de resultados	Ofrece trayectorias de flujo, líneas de corriente, mapas de presión, velocidad y temperatura.
Mallado automático con refinamiento	Genera malla de simulación automáticamente, con posibilidad de refinar zonas críticas.
Estudios transitorios y estacionarios	Realiza simulaciones tanto en régimen permanente como dependiente del tiempo.
Condiciones de contorno personalizadas	Permite aplicar velocidades, presiones, temperaturas y flujos específicos en las fronteras del dominio.
Compatibilidad con CAD paramétrico	Está completamente integrado a SolidWorks, permitiendo simular sin salir del entorno CAD.

Nota. Resumen de las principales funcionalidades disponibles en SolidWorks Flow Simulation extraído de: Dassault Systèmes. (2024).

SolidWorks Flow Simulation permite ejecutar análisis CFD de forma integrada al entorno CAD. El proceso típico consta de los siguientes pasos:

Figura 4

Proceso de SolidWorks Flow Simulation



Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo del proceso de ejecución de la Simulación CFD dentro de SolidWorks Flow Simulation, en el cual se ejecutan los procesos incluidas las resoluciones de las ecuaciones conservación mediante el método de volumen finito extraído de: Dassault Systèmes. (2024).

Pruebas Físicas

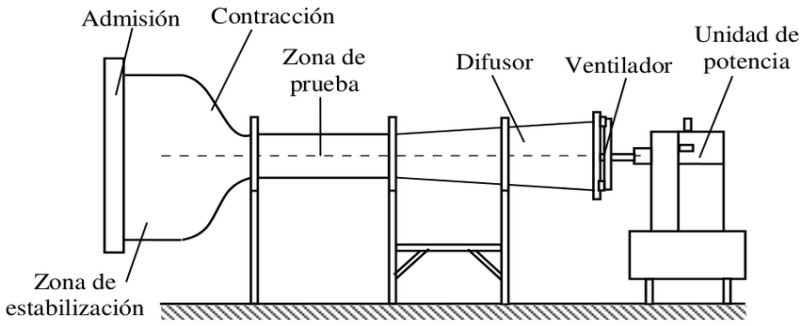
Túnel de viento

Un túnel de viento es un sistema de prueba que permite replicar condiciones de flujo de aire bajo parámetros controlados, con el objetivo de estudiar el comportamiento de componentes expuestos a dichas condiciones. Generalmente está compuesto por un sistema de ventilación que

puede generar flujo laminar o turbulento, cámaras de ensayo con control ambiental, y sensores que capturan datos como presión, velocidad y temperatura. En este entorno, es posible evaluar de forma empírica cómo responde una rejilla automotriz ante diferentes velocidades del flujo de aire y condiciones térmicas, ofreciendo datos reales que complementan o validan simulaciones computacionales previas (SAE International, 2015).

Figura 5

Partes principales del túnel de viento



Nota. En la figura se muestran las principales partes que conforman un túnel de viento básico extraído de: Quispe González, C. A., Urcuhuaranga Esteban, W. J., & Chiroque Baldera, J. E. (2014).

Importancia de las pruebas físicas

Aunque las simulaciones por CFD son útiles para prever el comportamiento del flujo, las pruebas experimentales en túneles de viento siguen siendo esenciales. Estas pruebas permiten:

- Detectar deformaciones térmicas o mecánicas.
- Verificar los resultados obtenidos en las simulaciones.
- Comparar diferentes materiales de fabricación (como PETG, ABS, u otros plásticos).

Normativas aplicables

El diseño y ensayo de componentes expuestos a flujos aerodinámicos están regulados por normativas internacionales, tales como:

- ASTM D648, que establece directrices de prueba estándar para la temperatura de deformacion de plásticos
- SAE J2083, que establece directrices para pruebas aerodinámicas en túneles de viento (SAE International, 2015).
- ISO 9227, que regula ensayos en ambientes corrosivos, útil para validar la durabilidad (ISO, 2017).
- SAE J1598, que especifica métodos de medición de presión y velocidad en sistemas de flujo de aire (SAE International, 2012).

Fabricación Aditiva (Impresión 3D)

La fabricación aditiva es un proceso que utiliza capas de material basadas en un modelo digital para crear un objeto físico tridimensional, también conocido como impresión 3D. A diferencia de la fabricación sustractiva, que forma el producto final eliminando material de un bloque, la fabricación aditiva une varias piezas para construir el producto final (Gibson, I., Rosen, DW y Stucker, B. 2021.**).**

El proceso de fabricación aditiva interpreta los datos del archivo digital y añade capas sucesivas de líquido, polvo u otros materiales como termoplástico, metal, resina, filamentos o fibra

de carbono para producir un objeto 3D (Saimon, A. I., Yangue, E., Yue, X., Kong, Z. J., & Liu, C. 2024).

Este método reduce procesos intermedios como la producción de utillajes, lo que permite fabricar piezas más rápidamente (hasta 90% más veloz) en comparación con los métodos de fabricación industrial tradicionales. Además, al utilizar solo el material necesario solo para crear la pieza, los componentes resultan más económicos y se fabrican de manera más ecológica (Wohlers, T. y Campbell, I. 2021).

Ingenieros, Arquitectos y jefes de obra utilizan la fabricación aditiva para sustituir el dibujo manual. Para visualizar la construcción, esta tecnología permie a los usuarios crear diseños tridimensionales y facilita el desarrollo, la modificación y la optimización del proceso de diseño. Este método permite a los Ingenieros realizar representaciones más precisas y modificarlas para mejorar la calidad diseño (Gupta, N., Hall, C. y Koch, L. 2022).

Figura 6

Proceso de Fabricación Aditiva

Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo del proceso de fabricación aditiva, extraído de: Posprocesado de componentes metálicos producidos por tecnologías de fabricación aditiva. (2019).

Beneficios de la Fabricación Aditiva

Tabla 4

Principales beneficios de la fabricación aditiva

Beneficio	**Descripción**
Producción más rápida y económica	La fabricación aditiva tiene la capacidad de disminuir los tiempos de producción hasta en un 90%, lo que acelera la eficiencia de producción y reduce el costo por unidad, además los materiales utilizados son más económicos.
Producciones a menor escala y medida	La fabricación aditiva no cumple con la relación histórica entre volumen de producción y costo.
Reducción de costes logísticos	La fabricación digital de componentes disminuye considerablemente los costes de logística y almacenamiento; hoy en día es posible mantener un inventario virtual y producir la pieza necesaria justo a tiempo.
Ahorro energético	La fabricación aditiva es una excelente opción para disminuir el consumo de energía en las industrias. La razón es que las piezas producidas digitalmente son mucho más ligeras, lo que implica que las maquinas requieran mucha menos energía para operar.
Fabricación más sostenible	La fabricación aditiva disminuye los costos de transporte y el consumo de energía debido a que los materiales son más pequeños y se transportan con mayor facilidad. Asimismo, se reducen los costos de producción local y se evita la subcontratación de productos extranjeros. Estas medidas contribuyen a una significativa reducción de las emisiones contaminantes generadas por los procesos de producción.

Nota. Descripción de los principales beneficios de la fabricación aditiva, extraído de: Interempresas. (2019).

Softwares para la Fabricación Aditiva

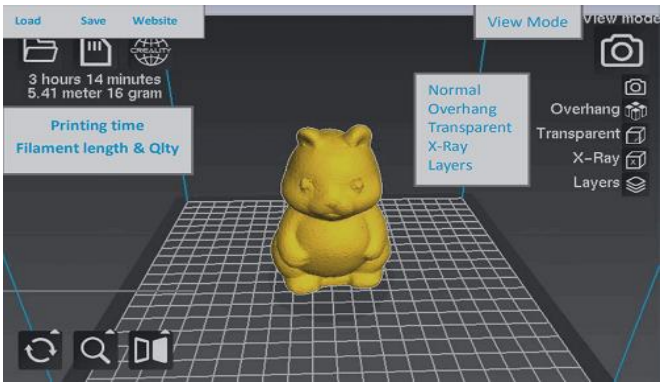
Creality Slicer

Con este software se puede transformar cualquier archivo 3D en un formato que pueda ser impreso por una impresora 3D. Para hacerlo se divide cada modelo en una serie de capas y se proporcionan instrucciones para que la impresora construya el diseño capa por capa. (Creality. (2023).

Creality Print es muy similar en funcionalidad y apariencia a Ultimaker Cura, la alternativa más popular en el mercado. La ventaja de usar Creality Print sobre Cura es que incluye perfiles para todas sus impresoras, incluso los modelos más recientes lanzados por la empresa. Los perfiles de Ultimaker Cura tardan más en estar disponibles y deben creare manualmente. Para imprimir en 3D se puede rotar, cambiar el tamaño o posicionar una o varias piezas Creality Print. También se puede seleccionar el tamaño de cada capa, la velocidad de impresión, el uso de soportes y realizar ajustes muy precisos para obtener las mejores impresiones posibles.

Figura 7

Configuración de los parámetros de impresión en Creality Print



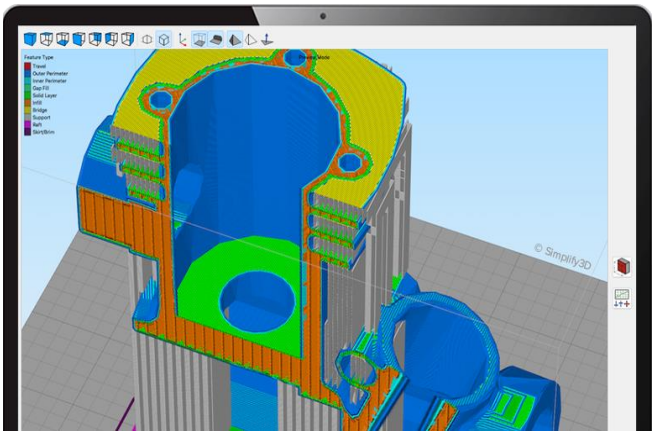
Nota. En la figura se muestran los parámetros por defectos de impresión en Creality, extraído de: Creality. (2023).

Simplify 3D

Es posible transformar modelas 3D en archivos de instrucciones para impresoras 3D utilizando este software de corte especializado. Esta herramienta, dirigida a usuarios avanzados de impresión 3D es de pago y proporciona una amplia gama de características avanzadas y opciones de personalización. Simplify 3D está diseñado para ser compatible con una gran variedad de materiales y tipos de impresoras 3D (Simplificar 3D**.** Simplify3D).

Figura 8

Configuración de los parámetros de impresión en simplify 3d



Nota. En la figura se muestran los parámetros por defectos de impresión en simplify 3d, extraído de: Simplify 3d. (2023).

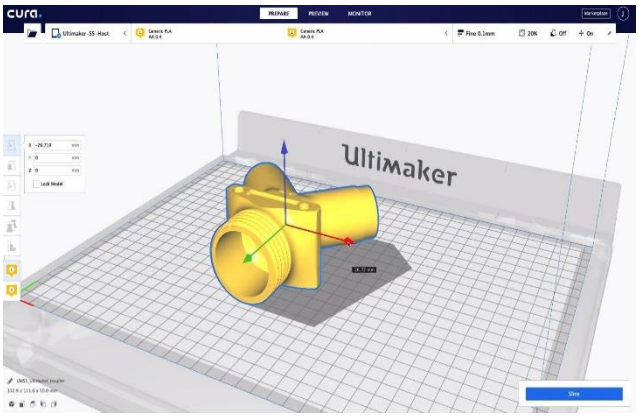
Ultimaker Cura

Cura es posiblemente el software de fabricación aditiva más usado a nivel mundial y es de código abierto. En 2019, ya contaba con seiscientos mil usuarios y generaba más de dos millones de piezas impresas en 3D semanalmente. Su facilidad de uso, soporte para varios formatos de archivo, compatibilidad con diversas impresoras 3D son algunas de sus mayores ventajas. Cura admite formatos como STL, OBJ, X3D y 3MF. Aunque forma parte del ecosistema Ultimaker,

también es compatible con impresoras de otros fabricantes. Este software es gratuito y está disponible en 15 idiomas, lo que facilita su uso a nivel global. (Ultimaker. (sf). Ultimaker Cura).

Figura 9

Configuración de los parámetros de impresión en ultimaker cura



Nota. En la figura se muestran los parámetros por defectos de impresión en ultimaker cura, extraído de: ultimaker cura. (2023).

Filamentos para Fabricación Aditiva

Estos tipos de materiales son esenciales para la calidad, resistencia y versatilidad de los objetos finales, además de ser la base física de cualquier impresión 3D.

Luego de realizar una previa revisión bibliográfica exhaustiva sobre los diferentes tipos de filamentos para la fabricación aditiva y las propiedades que presentan estos; se eligieron tres filamentos para realizar el presente estudio, los cuales son el PETG, ASA y POLICARBONATO (PC).

La elección se realiza en base a sus propiedades ya que son acordes a las requeridas en las condiciones de trabajo que son sometidas las rejillas de ventilación de vehículos. A continuación, se describen los tres materiales seleccionados.

PETG (PET, PETT)

El filamento más común en todo el mundo es el tereftalato de polietileno, también conocido como PET; conocido como el polímero utilizado para fabricar botellas de agua, también está presente en fibras textiles y envases de alimentos. El PET en bruto rara vez se usa para la impresión 3D, pero su variante, el PETG está ganando popularidad; soporta temperaturas de hasta 85 °C lo que lo hace ideal para muchas aplicaciones que requieran resistencia térmica moderada. (Beaumont, P. , y O'Connell , P. 2019).

El filamento 3D más traslucido, frágil y sobre todo, más fácil de usar que el PET tradicional porque esta glicolizado; por esta razón, el PETG se usa con frecuencia como un término intermedio entre los dos filamentos 3D más comunes en la industria de la impresión 3D: ABS y PLA. Es más fácil de extruir que el ABS y es mas flexible y duradero que el PLA. (Sridhar, R. , y Murugan , S. 2018).

Una variante de PET es PETT (polietileno cotrimetileno terephthlate), este filamento es popular porque es transparente y es ligeramente más rígido que el PETG. (Rai , A., y Singh , S. 2021).

Características

- **Durabilidad:** Alta resistencia al impacto y durabilidad.
- **Flexibilidad:** Ma flexible que el PLA, lo que lo hace menos propenso a quebrarse.
- **Resistencia química:** Buena resistencia a numerosos productos químicos y solventes.

- **Resistencia al calor:** Mayor resistencia al calor en comparación con el PLA, aunque no tanto como el ABS.

Ventajas

- **Fácil de imprimir:** A pesar de necesitar temperaturas más altas que el PLA, es relativamente fácil de imprimir.

- **Adhesión entre capas:** Excelente adhesión entre capas, resultando en piezas más fuertes y duraderas.

- **Baja absorción de humedad:** Absorbe menos humedad que otros filamentos, mejorando la consistencia de impresión.

- **Versatilidad:** Adecuado para una amplia variedad de aplicaciones gracias a su combinación de rigidez y durabilidad.

Desventajas

- **Sensibilidad a la humedad:** Aunque absorbe menos humedad que otros materiales, aun puede afectarse por esta.

- **Tendencia a la deformación:** Puede deformarse sin configuraciones adecuadas de enfriamiento y temperatura.

- **Requiere temperaturas de impresión altas:** Necesita temperaturas de impresión entre 220 °C y 250 °C.

ASA

El filamento ASA (Acrilonitrilo Estireno Acrilato) es un material utilizado en impresión 3d y comparte algunas similitudes con el ABS, pero presenta mejoras significativas; especialmente a su resistencia a la exposición al sol, a productos químicos y condiciones ambientales extremas; soporta temperaturas de hasta 110 °C (Bala, R., y Pavan, S. 2020).

Este filamento termoplástico destaca por su durabilidad, resistencia a los impactos y la abrasión, lo que lo convierte en una excelente opción para piezas que deben soportar condiciones adversas (Kumar, R., y Reddy, KN 2021)

Características

- **Resistencia a la radiación UV:** El ASA es ideal para aplicaciones al aire libre, ya que resiste la exposición al sol sin perder color ni deteriorarse.

- **Resistencia a la temperatura:** Es capaz de soportar temperaturas moderadamente altas, lo que lo hace adecuado para entornos de trabajo exigentes.

- **Menor emisión de vapores:** Emite menos compuestos tóxicos en comparación con otros materiales como el ABS, lo que lo convierte en una opción mas segura para impresiones en espacios cerrados.

Ventajas

- **Durabilidad:** No se degrada ni pierde color con el tiempo, incluso con la exposición prolongada a la luz solar.

- **Resistencia química:** Soporta el contacto con sustancias químicas**,** lo que lo hace ideal para ser utilizado en entornos industriales.

- **Facilidad de impresión:** Aunque requiere una cama caliente para evitar deformaciones, este filamento no es tan difícil de trabajar en comparación de otros.

Desventajas

- **Deformación:** Aunque es más resistente que el ABS, puede experimentar deformación si no se utilizan condiciones adecuadas de impresión, como una cama caliente a temperaturas de entre 90 y 110 °C.

- **Costo:** El precio del ASA es más alto en comparación con otros filamentos, lo que puede ser un inconveniente dependiendo del uso.

- **Requiere impresiones de calidad:** Para obtener un buen resultado, se recomienda utilizar impresoras de alta gama que puedan gestionar las condiciones necesarias para este material.

POLICARBONATO (PC)

El Policarbonato (PC) es uno de los filamentos más resistentes para impresión 3D. Puede soportar temperaturas de hasta 120 °C, lo que lo hace extremadamente resistente tanto al impacto físico como al calor. Su transparencia lo hace ideal para productos comerciales como cristales antibalas, máscaras de buceo y pantallas electrónicas (Sundaram, M., y Kumar, M**.** 2020).

A diferencia del acrílico o el plexiglás, que se rompen o agrietan bajo alta presión, el policarbonato es bastante flexible (aunque menos que el nailon), permitiendo que se doble en lugar de romperse (Sharma, R., & Sharma, P. 2021)

Características

- **Resistencia al impacto:** El PC es notable por su excelente resistencia al impacto, siendo mucho más fuerte que otros plásticos comunes.

- **Tolerancia al calor:** Puede soportar altas temperaturas sin deformarse, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que requieren resistencia térmica.

- **Rigidez y durabilidad:** Combina rigidez y durabilidad, proporcionando un material robusto para diversas aplicaciones.

Ventajas

- **Resistencia:** Muy resistente a golpes y desgaste.

- **Estabilidad térmica:** Mantiene sus propiedades mecánicas a altas temperaturas.

- **Transparencia:** Permite crear piezas transparentes y claras.

- **Versatilidad:** Adecuado para una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades físicas.

Desventajas

- **Dificultad de impresión:** Requiere altas temperaturas de impresión y una cama caliente para evitar deformaciones.

- **Higroscopicidad:** Absorbe humedad del aire, lo que puede afectar la calidad de impresión si no se almacena adecuadamente.

- **Costo:** Es más caro en comparación con otros filamentos comunes como el PLA y el ABS.

En la tabla 5 se presenta un resumen con las principales propiedades que posee cada material seleccionado para realizar el presente trabajo de investigación.

Tabla 5

Propiedades de los filamentos

Propiedad	PETG	ASA	POLICARBONATO (PC)
Resistencia termica	Soporta entre 80-85°C	Soporta entre 90-110°C	Soporta hasta 120°C
Resistencia UV	Moderada (mejor que PLA)	Alta (ideal para exteriores)	Alta (ideal para entornos exigentes)
Resistencia a los impactos	Alta	Alta	Muy alta
Facilidad de impresión	Fácil de imprimir	Fácil (requiere cama caliente)	Requiere alta temperatura de extrusión
Acabado superficial	Suave y brillante	Suave y brillante	Requiere alta temperatura de extrusión
Resistencia a Químicos	Resistente a algunos productos químicos.	Buena resistencia a productos químicos.	Muy buena resistencia a productos químicos.
Deformacion (warping)	Baja (requiere cama caliente)	Baja (requiere cama caliente)	Alta (requiere cama caliente y caja cerrada)
Temperatura de Extrusión	220°C - 250°C	240°C - 270°C	270°C - 320°C
Temperatura de la Cama	70°C - 90°C	90°C - 110°C	90°C - 110°C
Resistencia al Desgaste	Moderada	Moderada	Moderada
Solubre	No	No	No
Uso Recomendado	Prototipos, piezas funcionales	Componentes exteriores, vehículos.	Piezas de alta resistencia, piezas mecánicas
Costo	Moderado	Moderado-alto	Alto

Nota. Comparación entre las principales propiedades de cada filamento seleccionado, extraído de: Filament2Print. (2023), Prusa Research. (2022), 3D Insider. (2022).

Metodología

Diseño de Investigación

La metodología de esta investigación se fundamenta en un enfoque experimental y cualitativo, ya que se combinan análisis físicos y simulaciones computacionales para analizar las propiedades térmicas de los materiales seleccionados para la fabricación de las rejillas de ventilación. Los prototipos de las rejillas se fabrican usando impresión 3d con diferentes porcentajes de relleno (50 y 100%) y se someterán a pruebas experimentales en un túnel de viento; además se llevarán a cabo simulaciones CFD para analizar el comportamiento térmico de las rejillas.

Figura 10

Diagrama Metodológico

Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo de la metodología aplicada en el desarrollo de la presente investigación.

Recolección de Datos de Temperaturas de Calefacción en Varios Vehículos

La medición de la temperatura y velocidad del viento se realiza mediante anemómetro en veinte vehículos de diferentes marcas y modelos; teniendo en cuenta que, al realizar la medición, la calefacción debe estar a su máxima carga. Los datos se muestran en tabla 6, estos datos registrados son productos de una medición de temperatura por cada vehículo.

A continuación, se detalla el procedimiento para medir la temperatura de calefacción:

Se enciende el sistema HVAC a su máxima potencia y se espera a que el motor alcance su temperatura de operación. Luego, se coloca la sonda del anemómetro en las salidas de aire del tablero, registrando la temperatura y, si aplica, la velocidad del flujo de aire. Se repite el proceso en diferentes rejillas para comparar la distribución térmica en el habitáculo, considerando también las condiciones ambientales externas.

Figura 11

Medición de temperatura y velocidad del viento

Nota. En la figura se muestra la medición de los valores de temperaturas de la calefacción en 20 vehículos seleccionados.

Tabla 6

Datos de temperaturas y velocidades recolectados

No	VEHICULO	TEMPERATURA (Celsius)	VELOCIDAD VIENTO (m/s)
1	Kia Rio Stylus LS AC 1.5 2011	32,5	6,1
2	Chevrolet Spark Active AC TM 1.0 2013	47	5,7
3	Chevrolet Cruze 1.8 2014	49,1	6,4
4	Gol HB Plus Estilo 1.8 2015	49,1	11,7
5	Chevrolet Spark GT GLS TM 1.2 2012	31,8	7
6	Ford Ranger 1.8 1983	47,2	8.1
7	Renault Logan Dynamique 1.6 2010	45	6,3
8	Chevrolet Aveo Activo 1.6 2011	42,3	7,1
9	Mazda BT-50 2.2 2015	49,1	10,4
10	Toyota EKT Hilux 4x2 2.7 2011	48,7	10,6
11	Kia Sportage L 2.0 2011	38,8	6,9
12	Renault Duster Zen 2.0 2021	42	7,8
13	Nissan Almera 1.6 2009	35,2	7,1
14	Great Wall Wingle 2.4 2019	39,7	8
15	Suzuki Grand Vitara Sz 2.0 2011	41	9,1
16	Chevrolet Sail AC 1.4 2016	31	6,9
17	Toyota Yaris Cross AC 1.5 2023	40,4	7,6
18	Daewoo Lanos SE Full 1.5 2002	33	7
19	Nissan Tiida Entry MT 1,6 2012	32	6.5
20	Peugeot 207 Compact URB 1.4 2012	42	9,5

Nota. En la tabla se muestran los modelos de vehículos seleccionados.

Los modelos de los vehículos seleccionados, datos de temperaturas y velocidades obtenidos se observan en la tabla del anexo A.

Fabricación de Prototipos

Diseño CAD de la Rejilla

Para realizar el diseño de la rejilla se utiliza el software CAD SolidWorks 2023. La rejilla seleccionada es la de una Furgoneta Chevrolet N200 versión China, la cual está en proceso de reparación y para la cual las refacciones son escasas en el país.

Figura 12

Rejilla de ventilación seleccionada

Nota. En la imagen se muestra la rejilla de ventilación del vehículo Chevrolet N200 seleccionados.

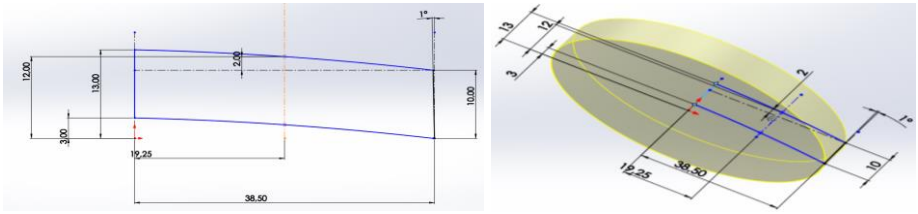
La rejilla que se muestra en la figura 12 está conformada por ocho piezas, las cuales se han diseñado considerando cada detalle, como son: diámetros, curvaturas, distancias, etc.

En la figura 13 se muestra el proceso de diseño de la pieza principal de la rejilla de ventilación, la cual será fabricada en los tres filamentos seleccionados a los diferentes porcentajes de relleno (50 y 100%) y posteriormente será sometida a las pruebas físicas y simulaciones, ya que es la pieza que está expuesta en su totalidad al flujo calorífico de la calefacción.

Se dibuja el perfil de la rejilla, considerando las medidas reales de la misma (longitudes, alturas, ángulos, etc.). Luego se realiza una revolución total de 360 grados al dibujo inicial.

Figura 13

Dibujo y revolución del perfil

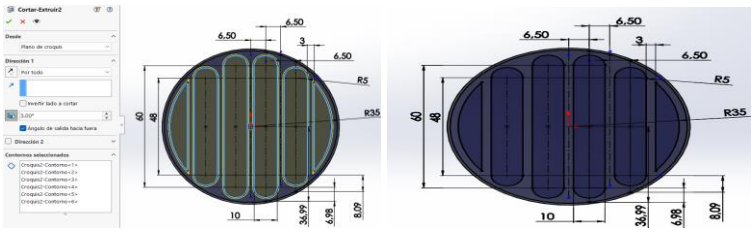


Nota. En la figura se muestra el dibujo del perfil de la rejilla y revolución del mismo.

Se dibuja el perfil interno de la rejilla. Luego se realiza un corte seleccionando las caras a descartar.

Figura 14

Corte del perfil interno

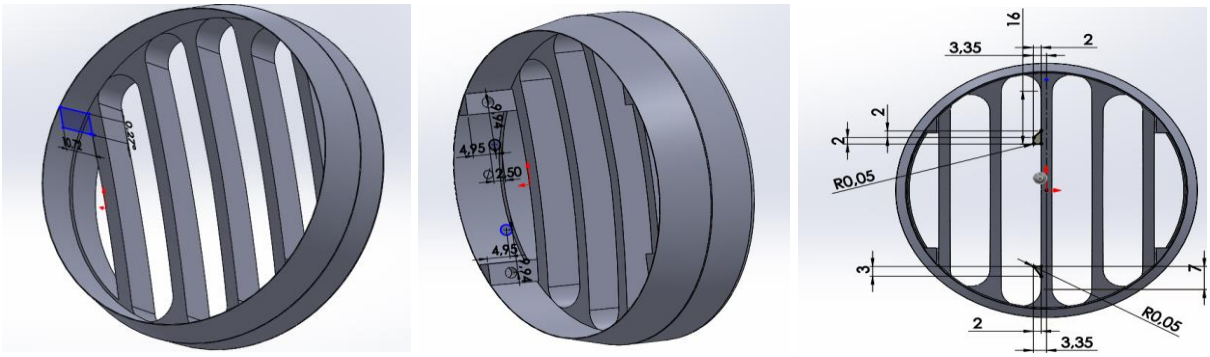


Nota. En la figura se muestra el área seleccionada para realizar los cortes.

Se realizan los dibujos internos de la rejilla.

Figura 15

Dibujos internos de la rejilla

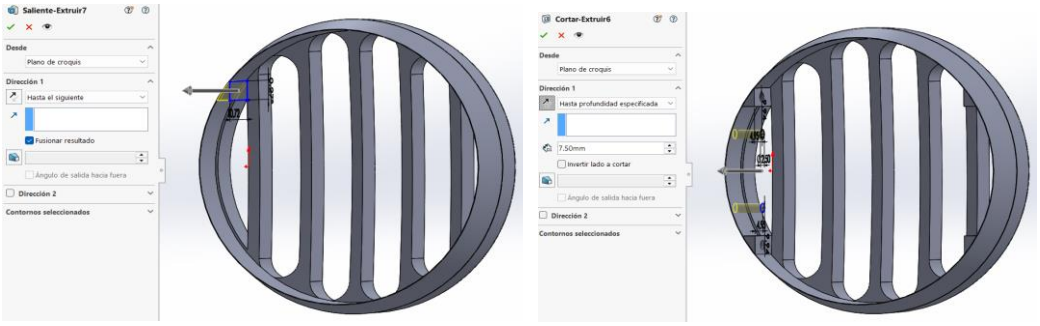


Nota. En la figura se muestran los cortes realizados.

Se procede a realizar las extrucciones y cortes a los dibujos internos realizados.

Figura 16

Extrucciones y cortes de los dibujos

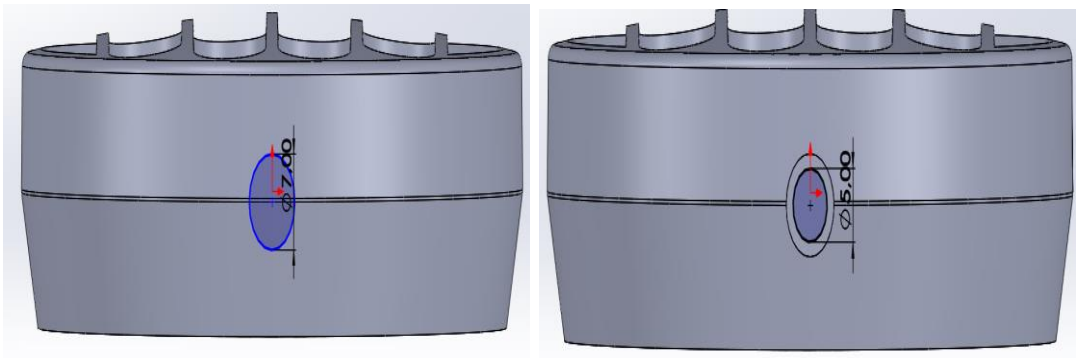


Nota. En la figura se muestran las extucciones realizadas.

Se realizan los dibujos externos de la rejilla.

Figura 17

Dibujos externos de la rejilla

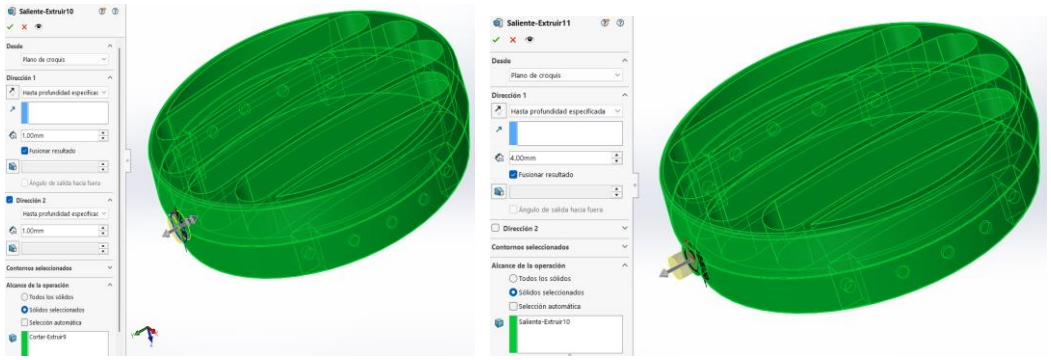


Nota. En la figura se muestra el diseño de los seguros de la rejilla

Se procede a realizar las extrucciones a los dibujos externos realizados.

Figura 18

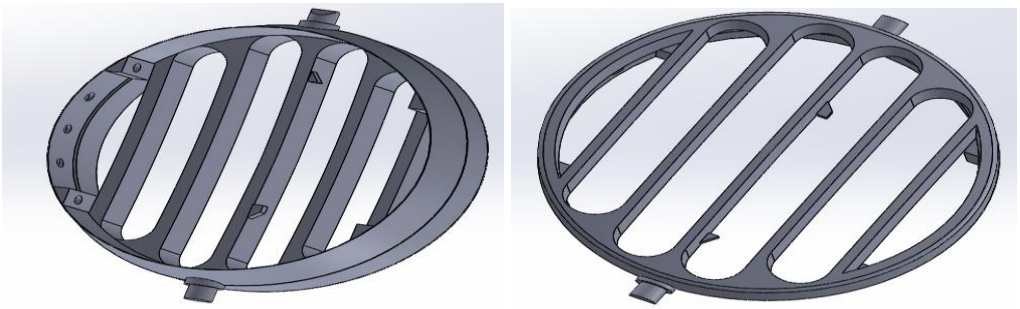
Extrucciones de los dibujos externos



Nota. En la figura se muestran las estrucciones de los seguros.

Figura 19

Pieza principal de la rejilla de ventilación



Nota. En la figura se muestra la vista inferior y superior en isometría de la pieza principal de la rejilla, en la cual ban montadas las demás piezas que conforman la autoparte

Fabricación de las rejillas

Selección de materiales: Se seleccionan tres materiales (PETG, ASA y POLICARBONATO (PC)); previo a una revisión bibliográfica, los cuales presentaron las mejores propiedades térmicas. Esto se evidencia en la tabla 5.

Porcentaje de relleno: estos prototipos son fabricados a diferente porcentaje de relleno (50 y 100%), para determinar si existe variación considerable en su estructura interna, lo cual permitirá evaluar la factibilidad de fabricar rejillas con menor cantidad de material y así disminuir costes.

Probetas de prueba: Se fabrican probetas en los tres materiales seleccionados, en las cuales se realizan pruebas de tracción, con el objetivo de determinar su deformación interna. Estas pruebas se llevan a cabo siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D638, que regula la determinación de las propiedades mecánicas en tracción de materiales plásticos. Adicionalmente, mediante la utilización de un microscopio, se analiza la unión entre capas de cada probeta para evaluar la calidad del enlace interlaminar y determinar el patrón de impresión más adecuado (ASTM International. 2014).

Tabla 7

Especificaciones de impresión

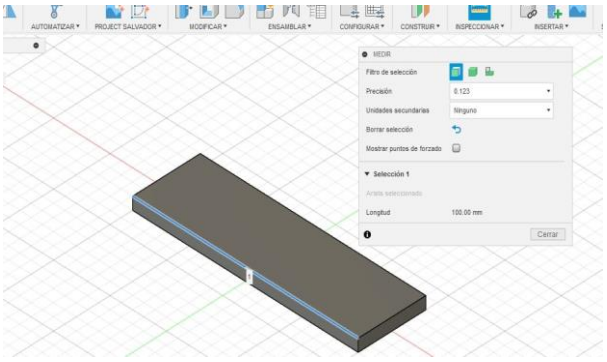
Calidad	Boquilla	Ancho de linea	Altura de capa
	0.4	0.3	0.16
Capa Superior e Inferior	Grosor Superior	Grosor Inferior	Capa Inferior
	0.64 mm	0.64 mm	3
Relleno	Densidad de relleno	Patron de relleno	
	50%/100%	Triangulo	
Material	Temperatura de impresión	Temperatura de la placa de impresión	Flujo
	240 grados Celsius	75 grados Celsius	100%
Velocidad	Velocidad de impresión	Velocidad de relleno	Velocidad de pared
	40 mm/s	40 mm/s	20 mm/s
Refrigeracion	Velocidad del ventilador	Velocidad inicial del ventilador	
	20%	0%	

Nota. En la tabla se muestran las especificaciones de impresión más adecuadas para los tres tipos de materiales seleccionado (PETG, Asa y PC), las cuales fueron comprobadas en el trabajo de: Navarrete, (2023).

Se diseña la probeta, la cual tiene forma de rectángulo (5 cm x 1 cm x 2 mm) y se procede a imprimir en los tres materiales seleccionados (PETG, ASA y POLICARBONATO (PC)).

Figura 20

Diseño e impresión de la probeta



Nota. En la figura se muestra el diseño de la probeta de prueba.

Considerando los parámetros de impresión mostrados en la tabla 7, se imprimen las probetas en los tres materiales seleccionados; estos parámetros se obtuvieron de una investigación previa titulada Diseño y construcción de un banco de pruebas para la validación de impulsores de bombas de agua fabricados por FDM de vehículos automotrices.

Figura 21

Probetas impresas

Nota. En la figura se muestra las probetas fabricadas en ASA y POLICARBONATO.

Se procede a cortar las probetas para realizar el análisis de unión de capa mediante el microscopio MULTEC 6050B; Se realizan fotografías a diferentes escalas de la parte transversal del corte en donde se puede apreciar claramente la unión que existe entre capas internas de la probeta, verificando si son óptimos los parámetros establecidos anteriormente para este tipo de materiales. obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8

Especificaciones del microscopio

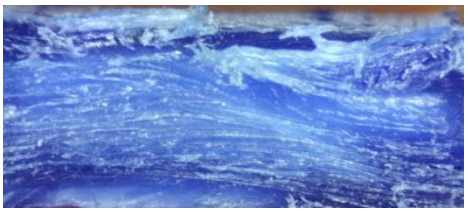
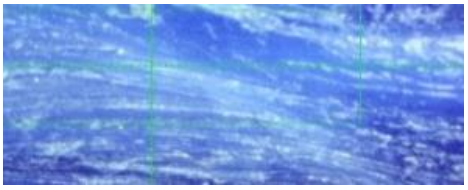
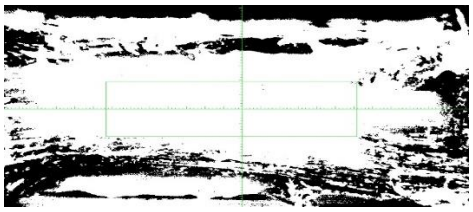
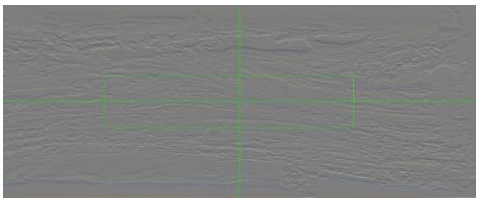
Categoría	Especificación típica
Tipo de microscopio	Óptico digital / electrónico
Rango de aumento	20–200× (dependiendo de lentes acoplados)
Resolución de cámara	2–5 MP (1920 × 1080 px o superior)
Fuente de iluminación	LED ajustable (temperatura de color 3000–6000 K)
Pantalla / salida de video	Pantalla LCD integrada o video por USB/HDMI
Software asociado	Captura de imagen, medición, enfoque, ajuste de contraste/brillo
Dimensiones de la platina	Aproximadamente 100 × 120 mm (varía por modelo)
Enfoque	Macrométrico y micrométrico (pompes o rueda graduada)
Compatibilidad de lentes	Objetivos intercambiables (0.7×, 1.5×, 2×)
Alimentación	12 V DC / adaptador USB
Extras	Conectividad USB/HDMI, brazo articulado, soporte antivibración

Nota. En la tabla se muestra las especificaciones típicas del microscopio MULTEC 6050B

POLICARBONATO (PC)

Tabla 9

Resultado del análisis microscópico del POLICARBONATO

Descripción	Imagen
FOTOGRAFIA	
FOTOGRAFIA CON AUMENTO	
MACROGRAFIA	
MICROGRAFIA	

Nota. En la tabla se muestran los resultados después de la prueba de tracción de la probeta fabricada en POLICARBONATO (PC).

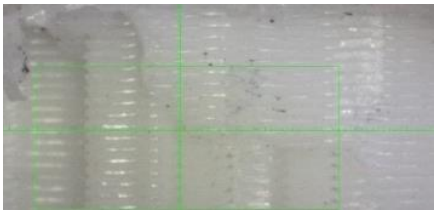
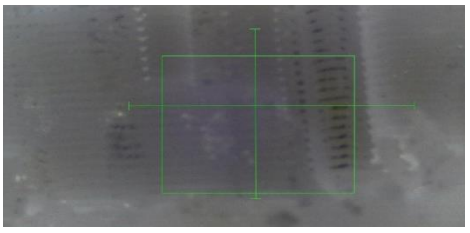
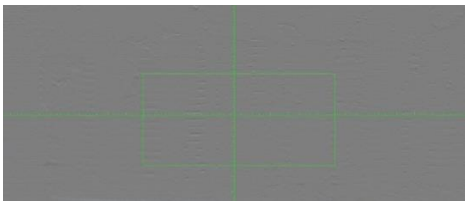
De acuerdo a las pruebas se logra evidenciar que existe una unión continua sin espacios considerables que puedan afectar la estructura de la rejilla. Cabe mencionar que en la macrografía

se visualizan manchas esto es debido a las deformaciones que se producen al momento de la ruptura de la probeta.

PETG

Tabla 10

Resultado del análisis microscópico del PETG

Descripción	Imagen
FOTOGRAFIA	
FOTOGRAFIA CON AUMENTO	
MACROGRAFIA	
MICROGRAFIA	

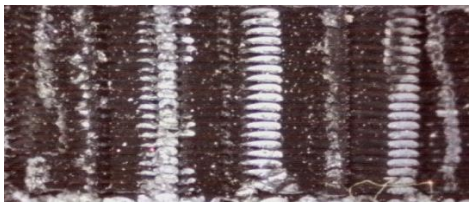
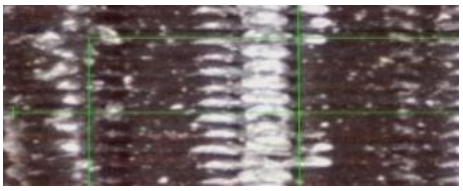
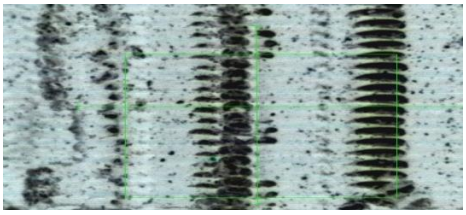
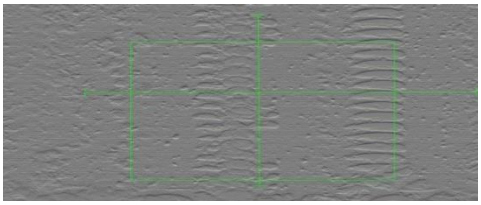
Nota. En la tabla se muestran los resultados después de la prueba de tracción de la probeta fabricada en PETG.

Existen líneas continuas sin apreciación de espacios que puedan afectar la funcionalidad de la rejilla, tanto en la micrografía como en la macrografía se observan puntos o deformaciones de distinto color debido a la ruptura que se genera en las uniones.

ASA

Tabla 11

Resultado del análisis microscópico del ASA

Descripción	Imagen
FOTOGRAFIA	
FOTOGRAFIA CON AUMENTO	
MACROGRAFIA	
MICROGRAFIA	

Nota. En la tabla se muestran los resultados después de la prueba de tracción de la probeta fabricada en ASA.

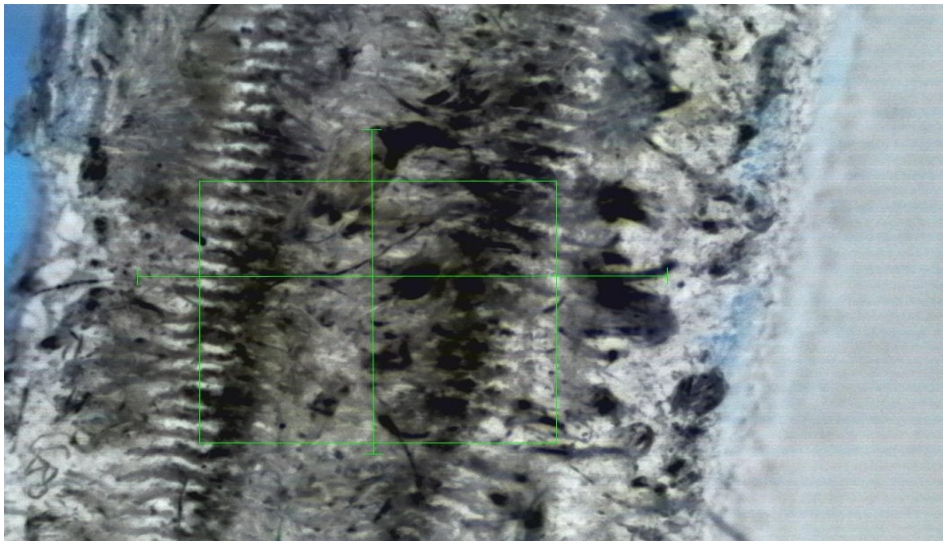
Se observa que el material presenta uniones continuas sin espacios considerables, sin embargo, existen deformaciones que se pueden haber creado durante la ruptura, tanto en la micrografía como en la macrografía no se visualizan espacios que se consideren como espacios de burbuja.

Se fabrico una probeta de ASA variando los parámetros de velocidad y altura de capa (400 mm/s y 0,2 mm) respectivamente. Ya que en este material se presentaron más inconvenientes al momento de imprimir

En la figura 22 se muestra el resultado del análisis microscópico de la probeta impresa con los nuevos parámetros, en esta se observan espacios considerables de forma circular y uniones no continuas. Por lo cual se establecen los parámetros de la tabla 7 como constantes para imprimir las rejillas en los tres materiales.

Figura 22

Análisis microscópico de una probeta en ASA con nuevos parámetros de impresión



Nota. En la figura se observan los espacios considerables entre uniones de capa.

Impresión de la rejilla de ventilación: Se introducen las configuraciones de impresión (Ultimaker Cura) establecidas en la tabla 7. Se elige la pieza principal de la rejilla (figura 19), ya que esta recibe toda la masa de aire que sale de la calefacción lo cual nos permite realizar el análisis físico y computacional en dicha pieza. El tiempo estimado que tarda la rejilla en imprimirse por completo es de 6 horas aproximadamente.

Figura 23

Proceso de impresión de la rejilla

Nota. En la figura se observan las especificaciones de impresión proporcionadas al software.

Pruebas Experimentales y Análisis Computacional

Para realizar el análisis computacional (CFD) y pruebas experimentales (túnel de viento) se toman como datos de entrada la temperatura máxima registrada en los veinte vehículos censados (tabla 6) y un rango de tiempo de 2 a 3 horas como menciona (Smith y Johnson, 2020), que es el

rango de tiempo promedio que se lleva encendida la calefacción en un viaje en carretera en días fríos.

Las pruebas experimentales se realizan en un túnel de viento el cual se diseña y construye como se explica a continuación:

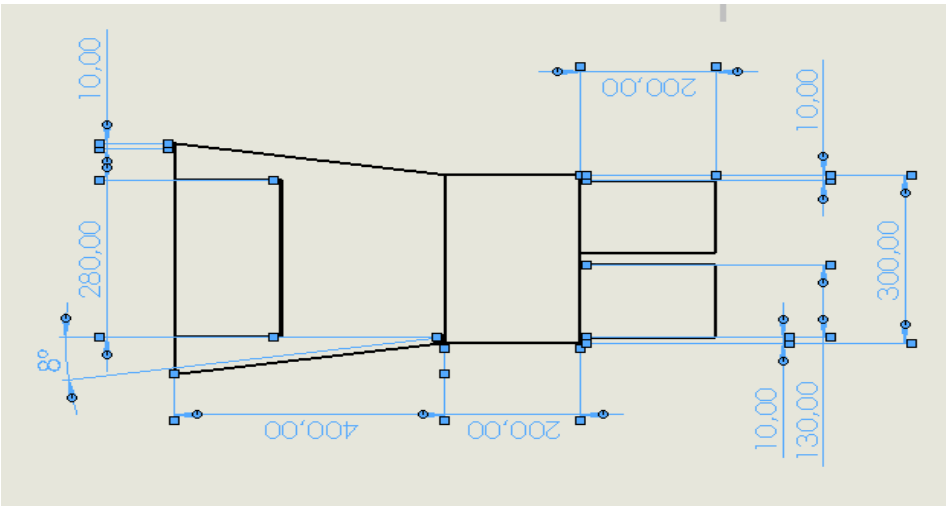
Diseño y construcción del túnel de viento

El diseño del túnel se realiza a partir de las medidas de las rejillas y el calefactor seleccionado para realizar las pruebas, esto para tener un flujo de aire laminar y distribuido uniformemente que circule por el túnel desde la salida del calefactor hacia las rejillas. Este tendrá tres salidas de aire en las cuales irán ubicadas las rejillas de cada material.

En la figura 24 se detallan las medidas consideradas en el diseño y fabricación del túnel de viento.

Figura 24

Medidas del túnel de viento

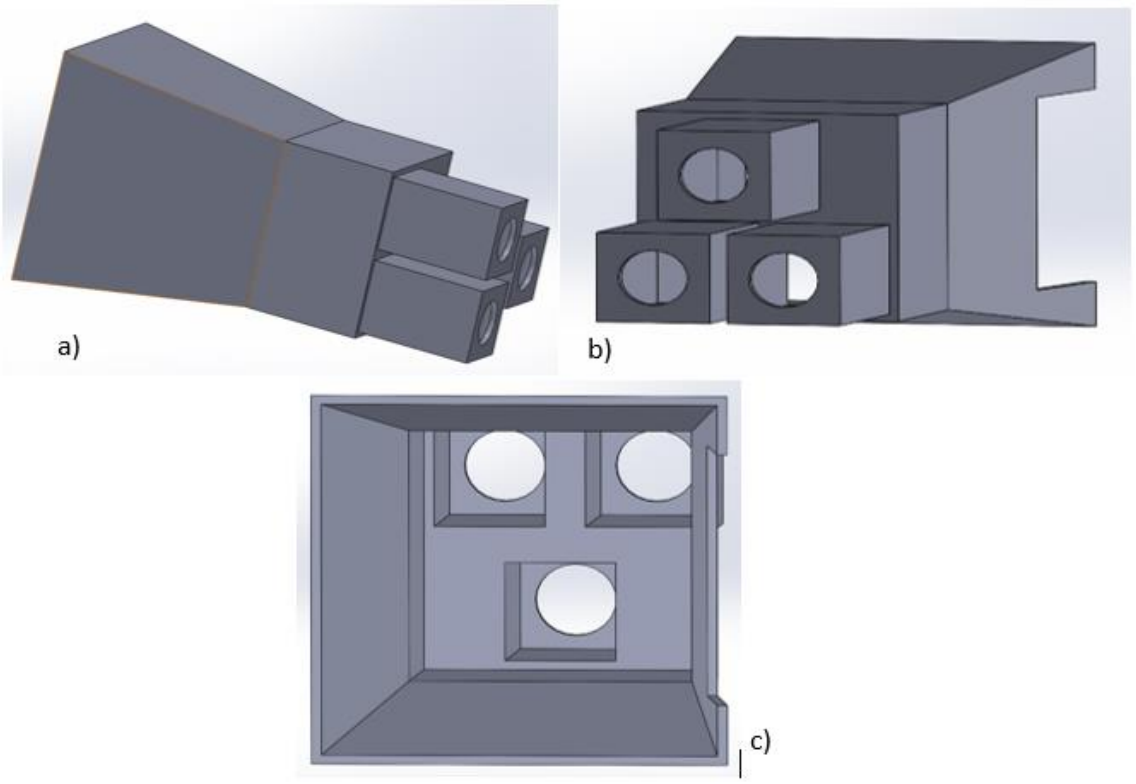


Nota. En la figura se muestran las dimensiones del túnel de viento.

En la figura 25 se muestran las principales vistas en 3d (isométrica, frontal y superior) del diseño del túnel de viento.

Figura 25

Vistas del túnel de viento CAD



Nota. a) Vista isométrica de diseño del túnel de viento, b) Vista frontal de diseño del túnel de viento, c) Vista posterior.

.

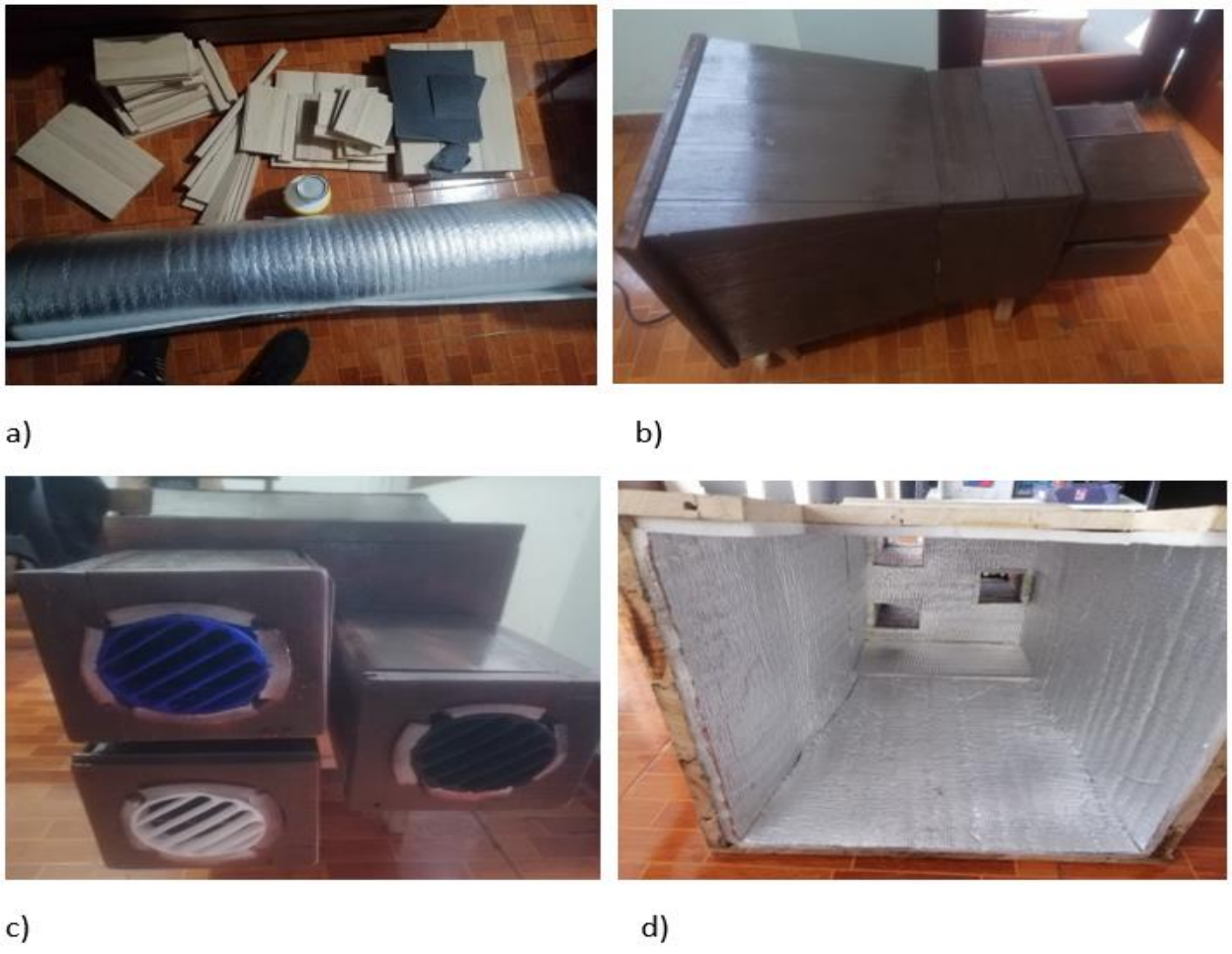
Para la construcción del túnel de viento se utiliza madera (Eucalipto) como material base para la estructura, ya que esta presenta excelentes propiedades térmicas que favorecen para la construcción de este, el cual estará expuesto a temperaturas cercanas a los 50 grados Celsius, en periodos de tiempo de 3 horas (Smith y Johnson, 2020).

Para tener una mayor protección de la madera, se utiliza un aislante térmico el cual se coloca en la parte interior del túnel, esto permite evitar que el aire caliente queme la madera y que se concentre todo ese aire hacia la salida del túnel donde irán ubicadas las rejillas de ventilación.

En la figura 26 se muestran las principales vistas en 3d (isométrica, frontal y superior) del túnel de viento construido.

Figura 26

Vistas del túnel de viento construido



Nota. a) Materiales para la construcción del túnel de viento, b) Vista isométrica del túnel de viento fabricado, c) Vista frontal del túnel de viento fabricado, c) Vista posterior del túnel de viento fabricado.

Para la realización de las pruebas se utiliza un calefactor milk house heater, el cual presenta las características necesarias de funcionamiento para la realización de las pruebas físicas

Tabla 12

Calefactor milk house y sus principales características

Característica	Descripción
Tipo de calentador	Calentador eléctrico de convección
Potencia	Generalmente entre 1000W y 1500W
Fuente de energía	Eléctrica (120V o 240V)
Temperatura de salida	49.1 °C
Modos de operación	Alto, Bajo y a veces Eco
Material de la carcasa	Metálico resistente
Protección térmica	Protección contra sobrecalentamiento y apagado automático
Uso recomendado	Graneros, talleres, sótanos, garajes
Seguridad	Generalmente cuenta con certificaciones UL o ETL
Resistencia a la humedad	Moderada, no apta para exteriores sin protección

Nota. En la tabla se muestra las principales características del calefactor, extraído de: The Home Depot. 2023.

En la figura 27 se muestra cómo se ubica el calefactor en el túnel de viento, está instalado de tal forma que el túnel quede totalmente cerrado y la única entrada o salida de aire sea por los tres conductos donde estarán ubicadas las rejillas.

De esta forma se logra que todo el aire caliente producido por el calefactor pase de forma directa y uniforme hacia las tres rejillas instaladas en las salidas del túnel de viento.

Figura 27

Instalación del calefactor en el túnel de viento

Nota. En la figura se muestra la ubicación del calefactor, el cual se instala en la parte posterior del túnel de viento.

A continuación, se detalla la metodología de análisis computacional y pruebas físicas, implementada para realizar la presente investigación.

En la tabla 13 se describe el tiempo de duración de cada prueba física y análisis computacional a realizar y el tiempo total de pruebas, para las cuales se utiliza la temperatura máxima de calefacción registrada previamente, debido a que se realizaron pruebas a la temperatura

mínima y promedio con un relleno del 100% durante 3 horas, pero no se observaron deformaciones en las rejillas. Los resultados se muestran en la tabla 2 del Anexo B.

De igual forma se realizaron pruebas de 2h y 2h:30min de duración a las rejillas fabricadas en los tres materiales al 50 y 100% de relleno a máxima temperatura, donde no se observaron deformaciones en las rejillas. Los resultados se muestran en las tablas 3 y 4 del Anexo B.

Los parámetros y criterios de aceptación que se analizan en cada prueba tanto físicas como simulaciones, se muestran en las figuras 1 y 2 del Anexo C.

Tabla 13

Tiempo total de pruebas

FILAMENTO	PORCENTAJE DE RELLENO (%)	TIEMPO DE PRUEBA (Horas)	TEMPERATURA MAXIMA DE PRUEBA (Celsius)
PETG	50	3	49,1
	100	3	49,1
POLICARBONATO (PC)	50	3	49,1
	100	3	49,1
ASA	50	3	49,1
	100	3	49,1
	TOTAL	18	

Nota. En la tabla se muestran los porcentajes de relleno, la temperatura máxima de prueba y el tiempo total de duración.

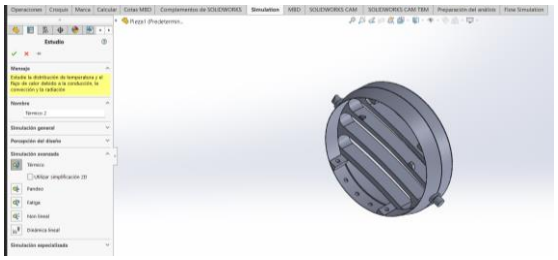
Análisis Computacional

A continuación, se describe el procedimiento para la realización de la simulación, la cual se realiza para cada material de estudio (PETG, ASA y POLICARBONATO (PC)).

Como primer paso se selecciona el tipo de simulación que para este proyecto es Análisis Térmico como se muestra en la figura 28.

Figura 28

Selección del tipo de simulación

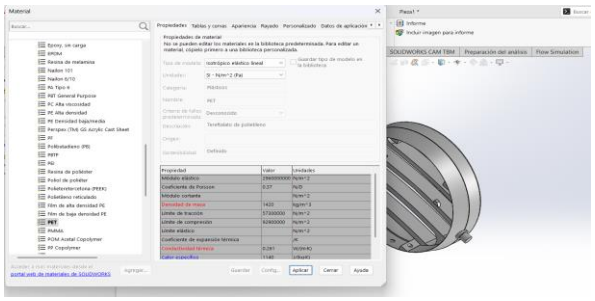


Nota. En la figura se nuestra la selección del tipo de simulación.

Para la selección del material se deber realizar los siguientes pasos: ir a la pestaña material, luego buscar en la biblioteca si existe el material y verificar que las propiedades coincidan con las de los filamentos empleado, como se muestra en la figura 29. Este proceso se repetirá para cada material de estudio seleccionado (PETG, ASA y POLICARBONATO (PC)). Las demás configuraciones serán las mismas para todos los análisis.

Figura 29

Selección del material

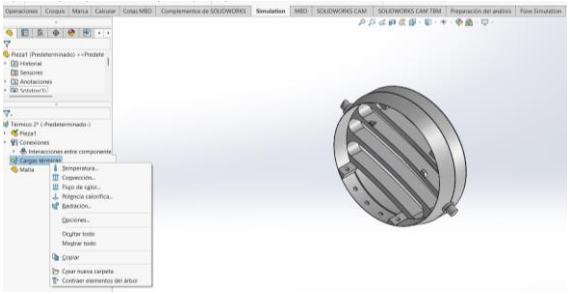


Nota. En la figura se nuestra la selección del tipo de material.

Para la configuración de cargas se selecciona la opción de cargas térmica como se observa en la figura 30, en este caso será una Potencia Calorífica la cual se configura a 1500 W que es la potencia suministrada por el calefactor.

Figura 30

Selección de carga térmica

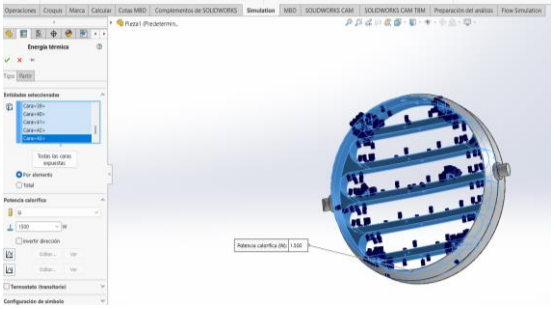


Nota. En la figura se nuestra la selección de la carga térmica, la cual será de 1500W que entrega a máxima carga el calefactor.

Se seleccionan todas las caras que están expuestas directamente al flujo de aire, como se muestra en la figura 31.

Figura 31

Selección de caras expuestas al flujo de aire



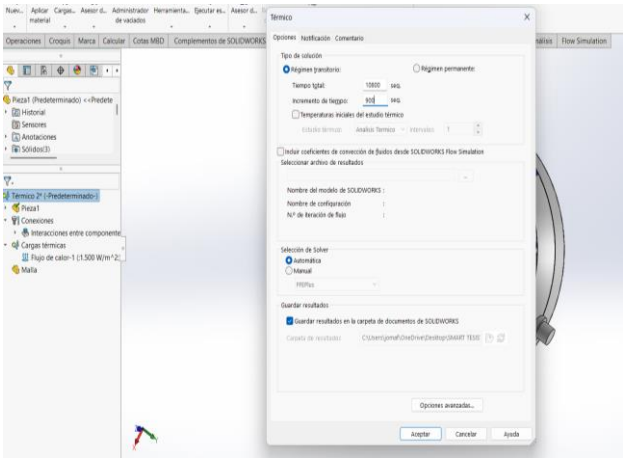
Nota. En la figura se muestran las caras que están expuestas al flujo calorífico provisionado por el calefactor.

Posteriormente se elige el tipo de régimen (transitorio o permanente para el análisis, para este caso seleccionamos un régimen transitorio ya que las pruebas tendrán una duración de 3 horas (10800 segundos).

Se configuran los parámetros de tiempo total igual a 10800 segundos y un incremento de temperatura de 15 min (900 segundos) esto para visualizar el comportamiento de la rejilla expuesta al flujo calorífico de 49,1 grados Celsius cada 15 min, como se muestra en la figura 32.

Figura 32

Selección del Régimen

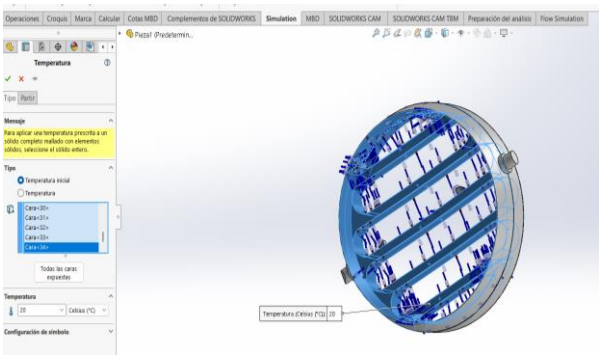


Nota. En la figura se nuestra la selección del régimen transitorio de 3 horas.

Para el análisis con un régimen transitorio se selecciona una temperatura inicial, en este caso la prueba se realiza a temperatura ambiente 20 grados Celsius, la cual se incrementa con el paso del tiempo. Igualmente se seleccionan las caras de la rejilla que estarán expuestas directamente al flujo de calor, como se muestra en la figura 33.

Figura 33

Selección de la temperatura inicial



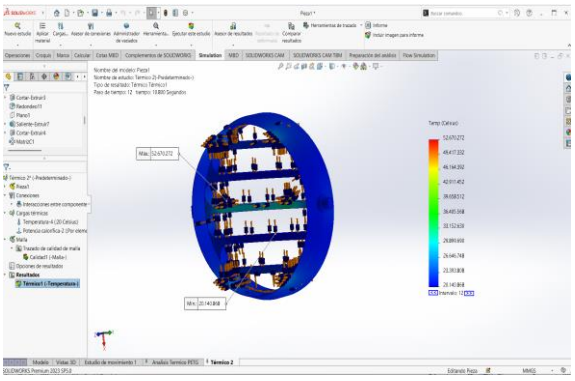
Nota. En la figura se nuestra la selección de la temperatura inicial, la cual es de 20 grados Celsius.

Finalmente ejecutamos el estudio, obteniendo los resultados; estos muestran la temperatura mínima y máxima a la que se calientan las rejillas.

También se muestran de forma dinámica los incrementos de la temperatura, para este caso cada 15 min.

Figura 34

Resultados del análisis



Nota. En la figura se nuestro el resultado del análisis CFD.

Pruebas Experimentales

- **Instrumentación:** Utilizar anemómetros y otros sensores para medir la temperatura y velocidad del aire.
- **Registro de datos:** Documentar todas las mediciones y observaciones durante las pruebas experimentales.

Se procede a realizar las pruebas físicas en el túnel de viento, para lo cual se colocan las tres rejillas de cada material a la salida del túnel. Esto se realiza tanto en las rejillas al 50% y al 100% de relleno.

Se configura el calefactor a su máxima capacidad (1500 W) y se enciende durante 3 horas, luego se apaga durante 1 hora, se registran los resultados obtenidos en ese momento. Transcurrida la hora de descanso se enciende nuevamente el calefactor durante 3 horas y se registran los resultados al finalizar.

Se realizan dos pruebas de tres horas con un descanso de 1 hora entre prueba, esto para los dos porcentajes de relleno (50 y 100%).

Figura 35

Configuración y encendido del calefactor

Nota. En la figura se nuestra la puesta en marcha del calefactor.

Las figuras 36, 37 y 38 muestran las temperaturas a las salidas de cada conducto en los cuales ban montadas las rejillas. Se observa que las temperaturas censadas son las mismas para los tres conductos, lo cual permite realizar la prueba de manera uniforme.

Figura 36

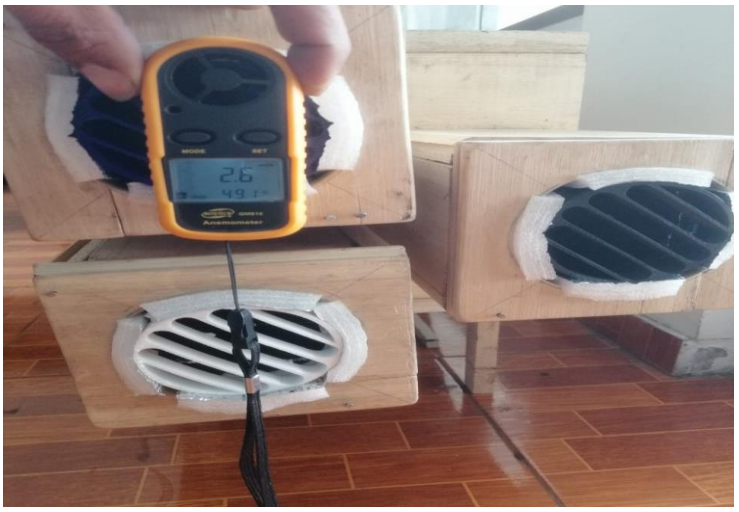
Temperatura a la salida del conducto PETG

Figura 37

Temperatura a la salida del conducto ASA

Figura 38

Temperatura a la salida del conducto POLICARBONATO



Diseño Experimental

Tipo de diseño: Factorial completo 3x2

Factores:

- **Material del filamento (Factor A)**
  - Nivel 1: PETG
  - Nivel 2: ASA
  - Nivel 3: Policarbonato (PC)
- **Porcentaje de relleno (Factor B)**
  - Nivel 1: 50%

- Nivel 2: 100%

➢ **Tratamientos (Combinaciones):**

- Total, de tratamientos = 3 materiales × 2 niveles de relleno = 6 tratamientos

Tabla 14

Tratamientos aplicados en cada material

Tratamiento	Material	Relleno (%)
T1	PETG	50%
T2	PETG	100%
T3	ASA	50%
T4	ASA	100%
T5	Policarbonato	50%
T6	Policarbonato	100%

Nota. En la tabla se nuestran las combinaciones de los tratamientos en base a cada material y porcentaje de relleno.

➢ **Variables dependientes (respuestas):**

- Deformación final (mm) de la rejilla (diámetro deformado vs. diámetro original)
- Temperatura máxima alcanzada durante el ensayo (°C)
- Tiempo de resistencia antes de la deformación visible (min)

Normativa que rige el ensayo Térmico

Se utilizaron como referencia las siguientes normas internacionales:

ASTM D648: Standard Test Method for Deflection Temperature of Plastics Under Flexural Load in the Edgewise Position.

Determina la temperatura a la que un material plástico comienza a deformarse bajo carga térmica.

ISO 11357: Plastics Differential Scanning Calorimetry (DSC).

Proporciona directrices para la caracterización térmica de polímeros y materiales compuestos.

Estas normativas establecen condiciones estandarizadas de carga térmica, tiempo de exposición y criterios de deformación, que fueron adaptados al entorno experimental del túnel de viento.

Análisis Estadístico

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos (material + relleno), se aplica un ANOVA bifactorial con interacción, usando como variable de respuesta la deformación en mm.

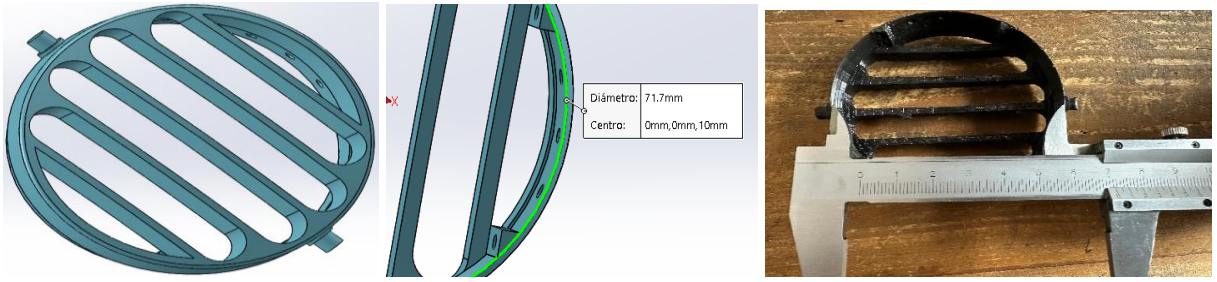
Resultados

Prototipo 3d de la rejilla

En la figura 39 se muestra el prototipo en 3d de la pieza principal de la rejilla de ventilación.

Figura 39

Pieza principal de la rejilla de ventilación



a) **b)** **c)**

Nota. a) Vista principal de la rejilla, b) Medición del diámetro interno de la rejilla en SolidWorks (7,17 cm), c) Medición del diámetro interno de la rejilla impresa (7,17 cm).

En la tabla 15 se muestra el prototipado 3d de las demás piezas que conforman la rejilla de ventilación.

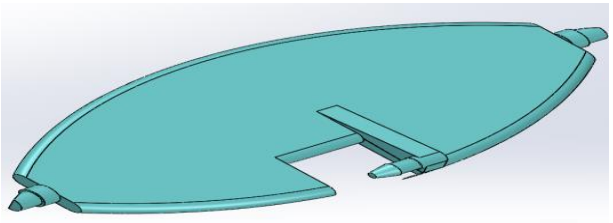
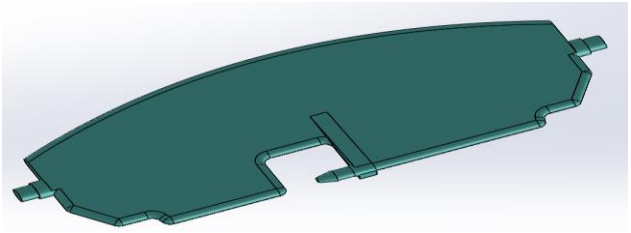
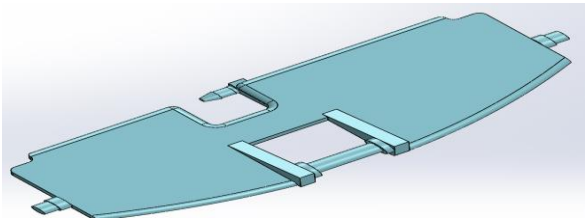
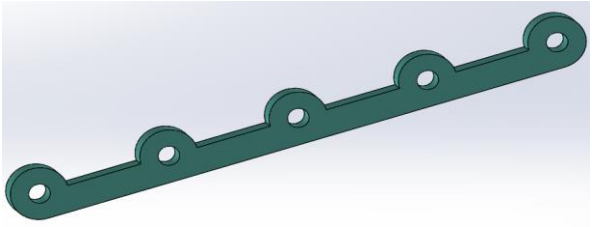
Las aspas pequeñas (dos totales), grandes (dos totales) y central en conjunto se abren o cierran y permiten o no el paso del aire caliente hacia el habitáculo.

El brazo de unión de las aspas, es en el cual se unen todas las aspas y permite que exista un movimiento armónico (abren o cierran) entre las mismas.

El botón de apertura y cierre de aspas, el cual está conectado al aspa central y permite abrir y cerrar el conjunto de aspas las cuales están unidas mediante el brazo de unión.

Tabla 15

Piezas que conforman la rejilla de ventilación

Denominación	Diseño 3d
Aspa pequeña	
Aspa grande	
Aspa central	
Brazo de unión de las aspas	

Nota. En la tabla se muestra el prototipado CAD de todas las demás piezas que conforman la rejilla de ventilación.

Rejillas Fabricadas

En la figura 40 se observan las rejillas fabricadas en los 3 tipos de materiales, con un porcentaje de relleno del 100%.

Figura 40

Rejillas impresas al 100% de relleno

Nota. la pieza blanca es PETG, la negra es ASA y la azul es el POLICARBONATO (PC).

La figura 41 muestra las rejillas fabricadas al 50% de relleno. Se observa que no existen diferencias significativas entre las rejillas impresas al 100% y 50% de relleno ya que el espesor de las paredes de la rejilla es pequeño (1,64 mm).

Figura 41

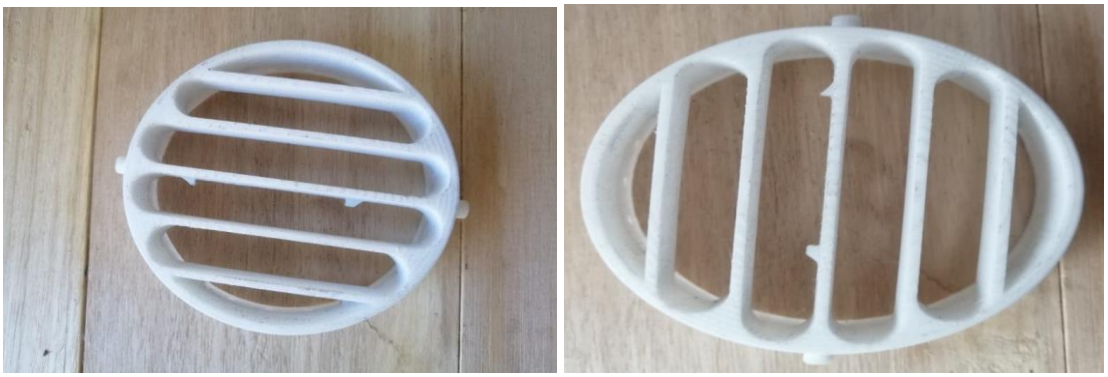
Rejillas impresas al 50% de relleno

Nota. la pieza blanca es PETG, la negra es ASA y la azul es el POLICARBONATO (PC).

En la figura 42 se muestran las rejillas fabricadas en PETG, donde la izquierda está al 50% y la derecha al 100% de relleno.

Figura 42

Rejillas impresas en PETG al 50 y 100% de relleno



En la figura 43 se muestran las rejillas fabricadas en ASA, donde la izquierda está al 50% y la derecha al 100% de relleno.

Figura 43

Rejillas impresas en ASA al 50 y 100% de relleno

En la figura 44 se muestran las rejillas fabricadas en POLICARBONATO (PC), donde la izquierda está al 50% y la derecha al 100% de relleno.

Figura 44

Rejillas impresas en POLICARBONATO (PC) al 50 y 100% de relleno

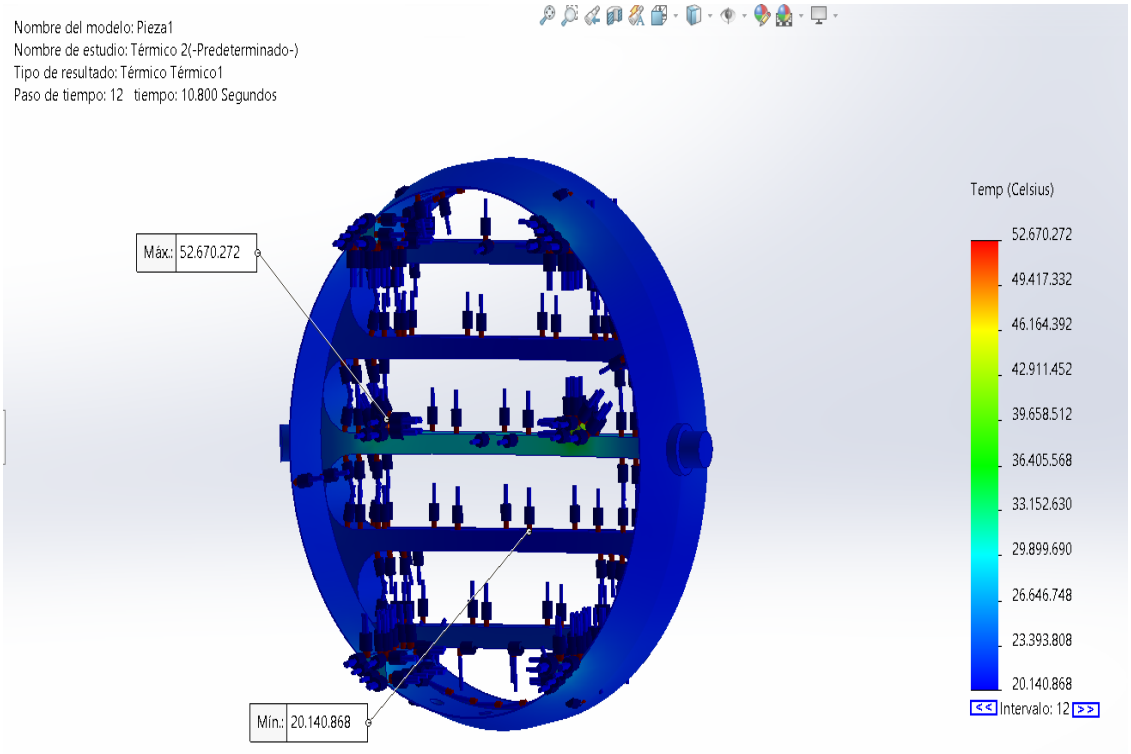
Análisis Computacional CFD

En la figura 45 se muestran los resultados de la rejilla fabricada en PETG al 100% de relleno; Se observa que la temperatura minima o inicial es de 20 grados celsius y a medida que

transcurre el tiempo esta aumenta, llegando a una temperatura maxima de calentamiento de la rejilla de 52,7 grados celsius

Figura 45

Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en PETG al 100% de relleno



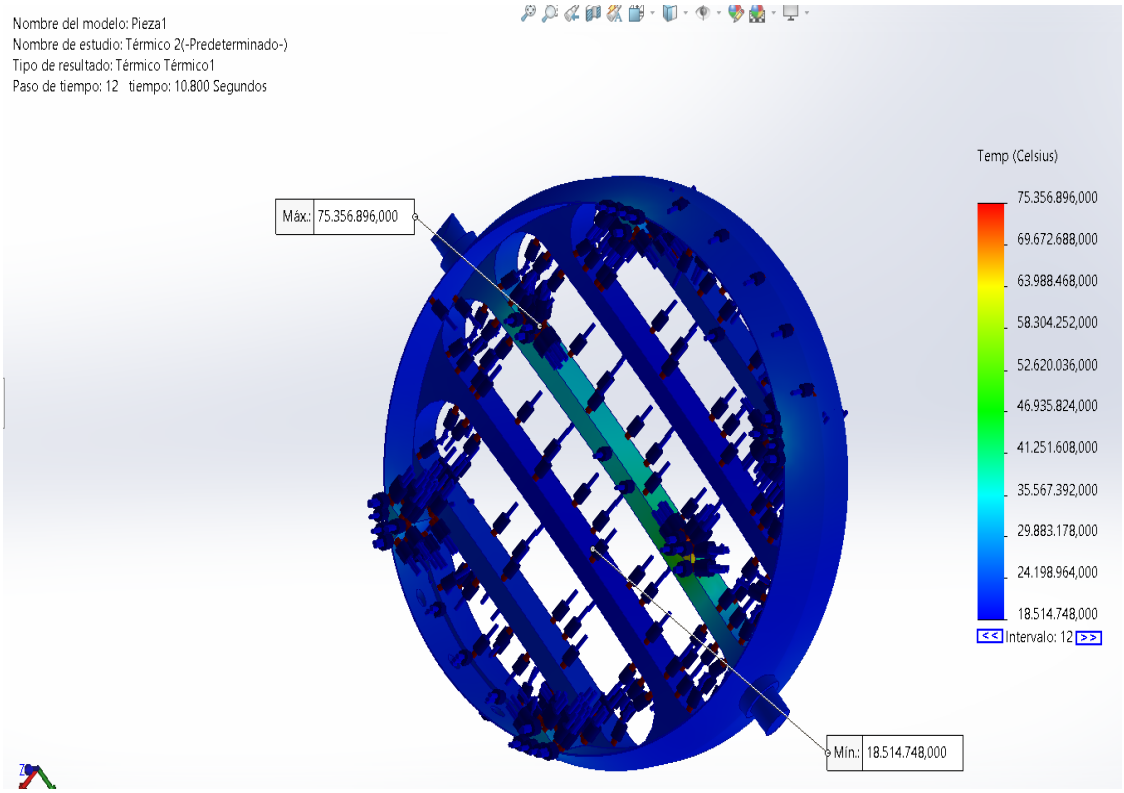
Para realizar el análisis CFD de la rejilla fabricada en ASA se selecciona el material PP disponible en la librería de SolidWorks, el cual presenta características similares a las del material ASA.

En la figura 46 se muestran los resultados de la rejilla fabricada en ASA al 100% de relleno; Se observa que la temperatura minima o inicial es de 20 grados celsius y a medida que

transcurre el tiempo esta aumenta, llegando a una temperatura maxima de calentamiento de la rejilla de 75,74grados celsius.

Figura 46

Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en ASA al 100% de relleno



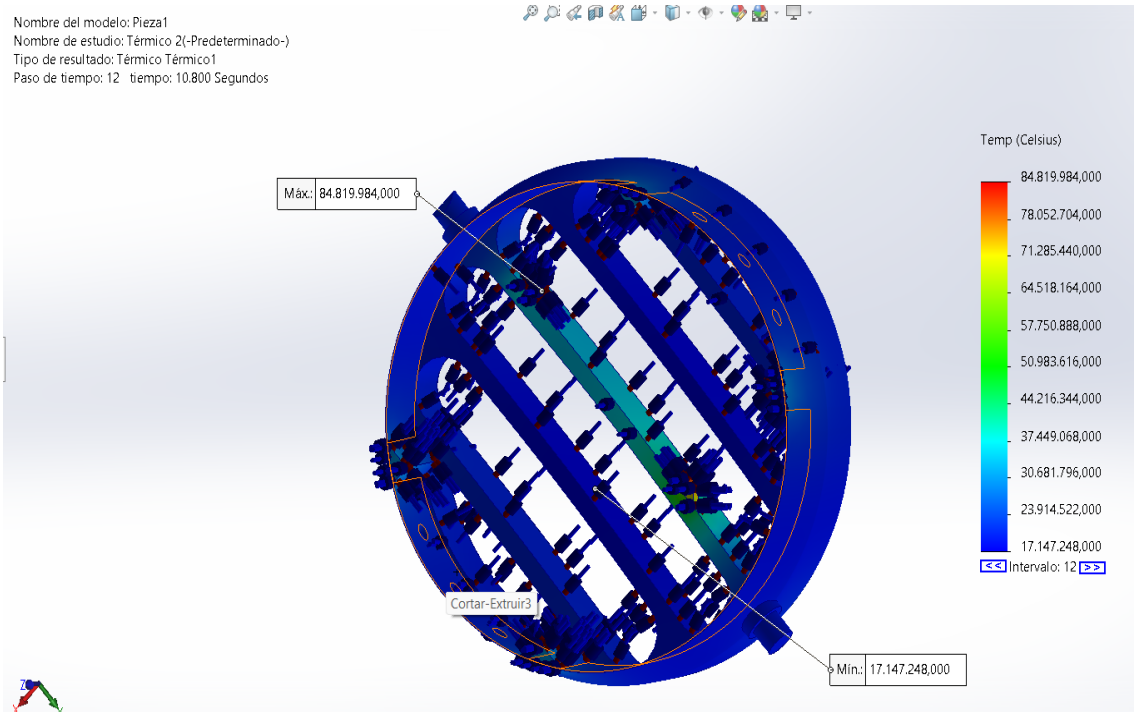
Para realizar el análisis CFD de la rejilla fabricada en POLICARBONATO (PC) se selecciona el material PS disponible en la librería de SolidWorks, el cual presenta características similares a las del material PC.

En la figura 47 se muestran los resultados de la rejilla fabricada en POLOCARBONATO (PC) al 100% de relleno; Se observa que la temperatura minima o inicial es

de 20 grados celsius y a medida que transcurre el tiempo esta aumenta, llegando a una temperatura maxima de calentamiento de la rejilla de 84,8 grados celsius.

Figura 47

Resultado del análisis CFD en la rejilla fabricada en POLICARBONATO (PC) al 100% de relleno



Pruebas en Tunel de Viento

Primera Prueba al 100% de Relleno

En la tabla 16 se muestran las tres rejillas impresas al 100% de relleno antes de realizar la primera prueba de 3 horas.

Tabla 16

Rejillas al 100% antes de las pruebas

MTERIAL	
PETG	
ASA	
POLICARBONATO (PC)	

Nota. En la tabla se muestran las rejillas impresas al 100% de relleno en los tres materiales seleccionados antes de realizar las pruebas en el túnel.

Tabla 17

Rejillas al 100% después de la primera prueba

MTERIAL	
PETG	
ASA	
POLICARBONATO (PC)	

Nota. En la tabla se muestran las rejillas impresas al 100% de relleno en los tres materiales seleccionados después de realizar la primera prueba en el túnel.

Luego de realizar la primera prueba de 3 horas, se observa una deformación considerable (8 mm) en la rejilla fabricada en PETG a partir del diámetro inicial de la rejilla (71,7 mm). Con deformaciones en los costados, la pieza final tomo una forma ovalada con un diámetro final de 63,7 mm.

Las rejillas en ASA y POLICARBONATO no presentaron deformaciones considerables, la rejilla en POLICARBONATO tiende a ponerse un poco flexible.

Figura 48

Resultado de la primera prueba en la rejilla PETG al 100%

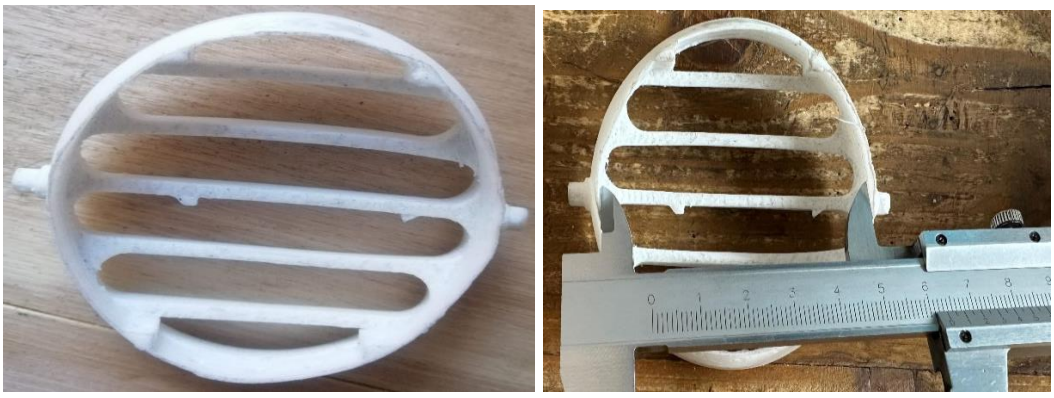
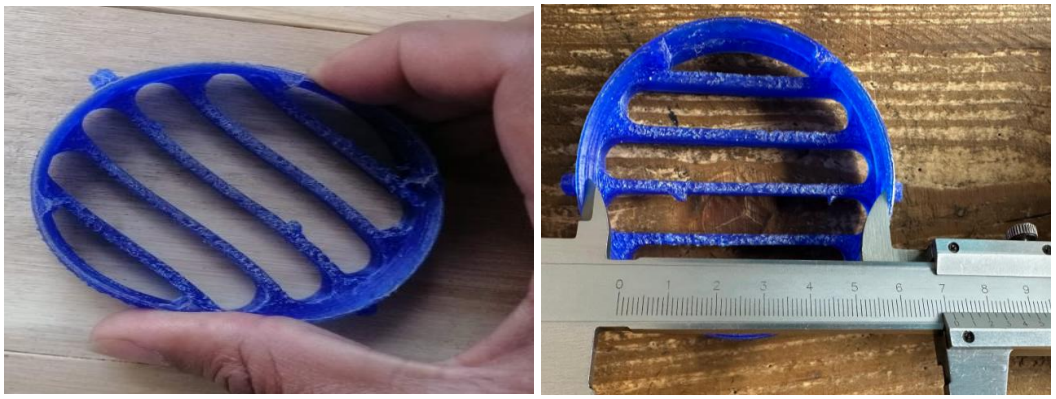


Figura 49

Resultado de la primera prueba en la rejilla ASA al 100%

Figura 50

Resultado de la primera prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 100%



Segunda Prueba al 100% de Relleno

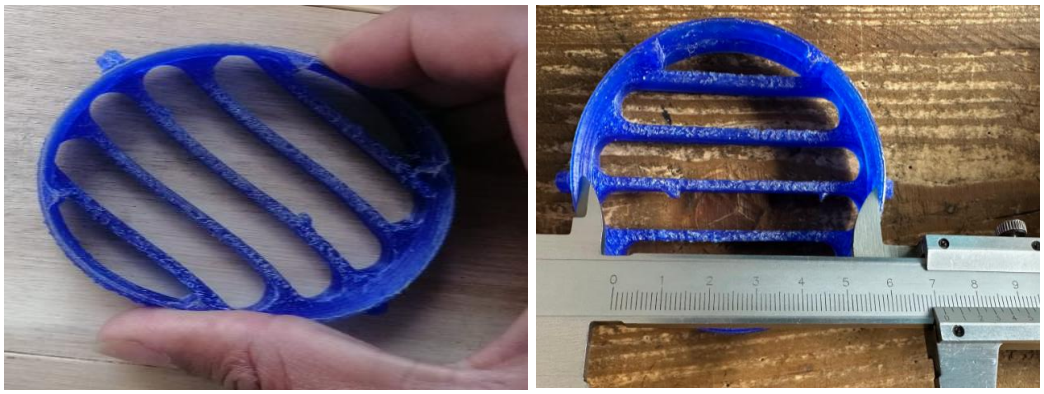
En la segunda prueba de 3 horas se descarta la rejilla fabricada en PETG, ya que esta presento una deformación considerable en la primera prueba (8 mm); luego de realizar la segunda prueba de 3 horas, se observa que las rejillas en ASA y Policarbonato no presentaron deformaciones considerables, la rejilla en POLICARBONATO al igual que en la primera prueba tiende a ponerse un poco flexible.

Figura 51

Resultado de la segunda prueba en la rejilla Asa al 100%

Figura 52

Resultado de la segunda prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 100%



Primera Prueba al 50% de Relleno

Tabla 18

Rejillas al 50% después de la primera prueba

MTERIAL	
PETG	
ASA	
POLICARBONATO (PC)	

Nota. En la tabla se muestran las rejillas impresas al 50% de relleno en los tres materiales seleccionados después de realizar la primera prueba en el túnel.

Al igual que en la primera prueba del PETG al 100%, para esta al 50% se observa una deformación considerable (9 mm) en la rejilla la cual se presenta en forma ovalada.

Las rejillas en ASA y POLICARBONATO no presentaron deformaciones considerables, la rejilla en POLICARBONATO tiende a ponerse un poco flexible.

Figura 53

Resultado de la primera prueba en la rejilla PETG al 50%

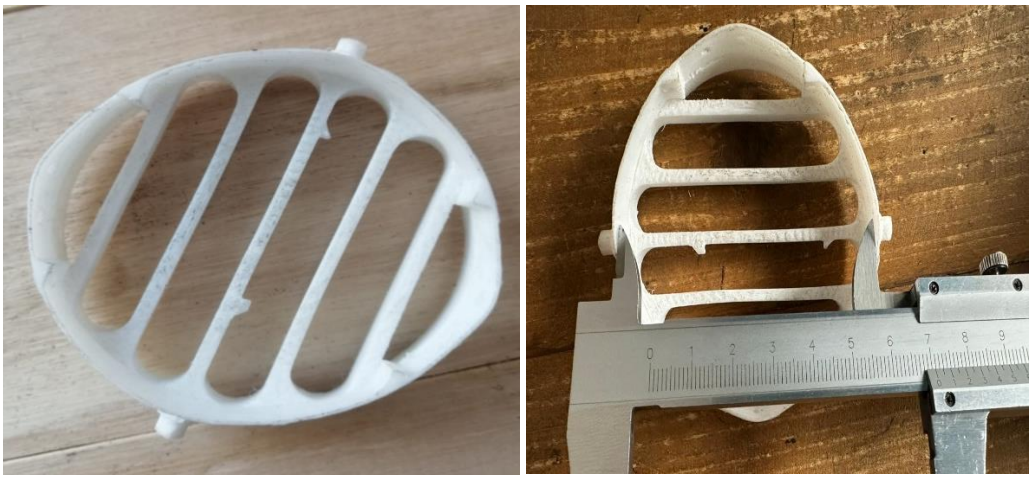
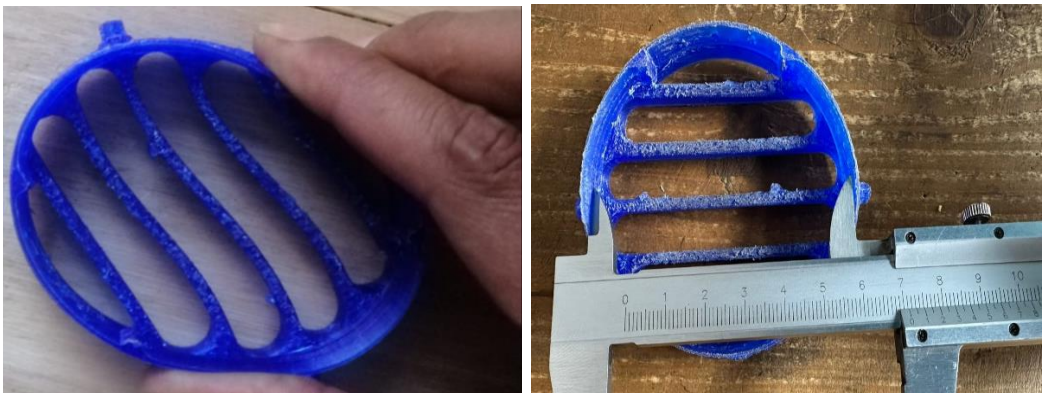


Figura 54

Resultado de la primera prueba en la rejilla ASA al 50%

Figura 55

Resultado de la primera prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 50%



Segunda Prueba al 50% de Relleno

En la segunda prueba de 3 horas se descarta la rejilla fabricada en PETG, ya que esta presento una deformación considerable en la primera prueba; luego de realizar la segunda prueba de 3 horas, se observa que las rejillas en ASA y Policarbonato no presentaron deformaciones considerables, la rejilla en POLICARBONATO al igual que en la primera prueba tiende a ponerse un poco flexible.

Figura 56

Resultado de la segunda prueba en la rejilla Asa al 50%

Figura 57

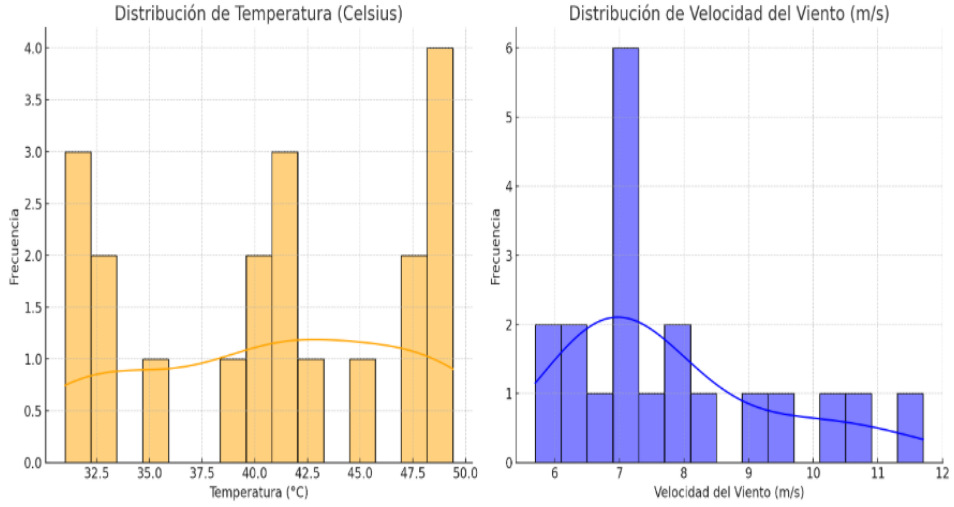
Resultado de la segunda prueba en la rejilla POLICARBONATO (PC) al 50%

Discusión de Resultados

Se realiza el análisis estadístico de los datos recolectados de temperaturas y velocidades en los 20 vehículos seleccionados (tabla 6), para ver la correlación que existe.

Figura 58

Análisis de Distribuciones de temperaturas y velocidades del viento



Las temperaturas presentan una distribución sesgada hacia valores más altos, mientras que las velocidades del viento están más concentradas en torno a su medida. Ambas variables tienen una dispersión moderada.

Tabla 19

Deformaciones de las rejillas luego de las pruebas físicas

PRIMERA PRUEBA							
TEMPERATURA (Grados Celsius)	**DIAMETRO ORIGINAL (cm)**	**RELLENO**					
		100%			50%		
		MATERIAL	**DIAMETRO (cm)**	**DEFORMACION (cm)**	**MATERIAL**	**DIAMETRO (cm)**	**DEFORMACION (cm)**
49,1	7,17	PETG	6,37	0,8	PETG	6,27	0,9
		ASA	6,99	0,18	ASA	6,98	0,19
		POLICARBONATO (PC)	7,11	0,06	POLICARBONATO (PC)	7,11	0,06
SEGUNDA PRUEBA							
		MATERIAL	**DIAMETRO (cm)**	**DEFORMACION (cm)**	**MATERIAL**	**DIAMETRO (cm)**	**DEFORMACION (cm)**
49,1	7,17	ASA	6,98	0,19	ASA	6,97	0,2
		POLICARBONATO (PC)	7,11	0,06	POLICARBONATO (PC)	7,11	0,06

En la tabla 19 se muestran los valores de los diámetros de las rejillas (medidos con respecto al eje horizontal plano xy) luego de la primera y segunda prueba en el túnel de viento. De igual forma se muestran las deformaciones producto de la diferencia del diámetro original menos el diámetro de cada rejilla luego de las pruebas; obteniendo la mayor deformación en la rejilla fabricada en PETG y la menor en la rejilla fabricada en POLICARBONATO (PC).

Para determinar si existen diferencias significativas entre los materiales y porcentajes de relleno utilizados en la fabricación de las rejillas de ventilación automotrices, se realizó un análisis de varianza ANOVA bifactorial con interacción. Se consideraron dos factores:

- **Material:** PETG, ASA y Policarbonato (PC).

- **Porcentaje de relleno:** 50% y 100%.

Se simularon tres réplicas por cada tratamiento (combinación material–relleno), considerando la deformación térmica (mm) como variable de respuesta, medida tras la exposición prolongada a calor.

Tabla20

Resultados del análisis ANOVA bifactorial

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	F	p-valor
Material	206.21	2	15899.85	2.88×10^{-21}
Relleno	1.09	1	167.80	2.05×10^{-8}
Interacción Material×Relleno	0.56	2	43.34	3.23×10^{-6}
Error (residual)	0.078	12	—	—

Se encontró un efecto altamente significativo del tipo de material sobre la deformación térmica de las rejillas ($p < 0.001$).

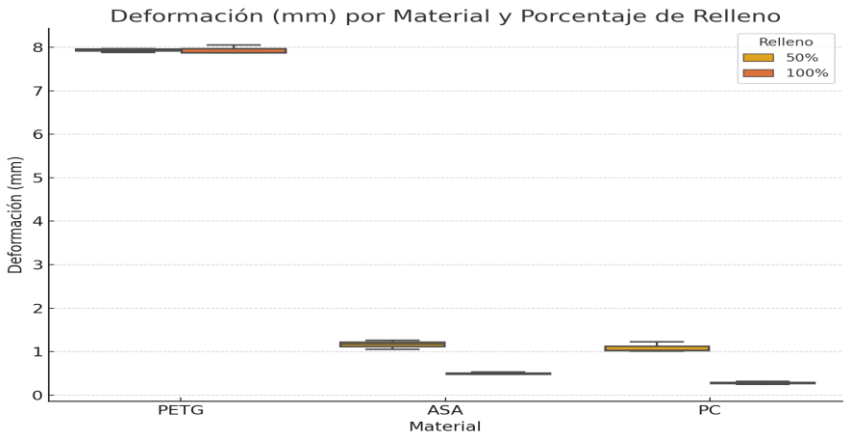
El porcentaje de relleno también presentó un efecto significativo ($p < 0.001$), aunque menor que el material.

La interacción entre ambos factores fue significativa, indicando que la influencia del relleno depende del material usado.

El material PETG registró las mayores deformaciones (superiores al 10%), siendo descartado. ASA y PC presentaron deformaciones menores al 2%, cumpliendo con los criterios funcionales.

Figura 59

Valores de deformación con respecto al material y porcentaje de relleno



En la figura 59 se muestra un diagrama de caja donde se observan las deformaciones ocurridas en las rejillas con respecto al material y porcentaje de relleno. Se evidencia que, a mayor porcentaje de relleno, la deformación tiende a disminuir ligeramente.

Para calcular el porcentaje de error en las deformaciones de cada material, se utiliza la fórmula general de error porcentual:

Figura 60

Fórmula para el cálculo del error porcentual

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{|\text{Valor medido} - \text{Valor de referencia}|}{\text{Valor de referencia}} \right) \times 100$$

El valor de referencia sería el diámetro original de la rejilla antes del ensayo térmico y el valor medido es la deformación absoluta (cuánto se ha deformado el diámetro tras el ensayo)

Tabla 21

Porcentaje de error calculado para cada material

Material	Deformación (mm)	Error (%) aprox.
PETG	8	11.02 %
ASA	1,18	1.12 %
Policarbonato	0.6	0.84 %

Tomando los datos obtenidos en la tabla 19 y aplicando la fórmula de la figura 60, se realiza el cálculo del error porcentual que se genera en las rejillas fabricadas (en los tres materiales seleccionados), luego de haber sido sometidas a las pruebas en el túnel de viento

Tabla 22

Resultado particular de cada rejilla en el túnel de viento

Rejilla	Relleno (%)	Deformacion	Desgaste	Aprobado	Rechazado
PETG	50	SI	> 10%		SI
	100	SI	>10%		SI
ASA	50	NO	< 2%	SI	
	100	NO	< 2%	SI	
POLICARBONATO (PC)	50	NO	< 2%	SI	
	100	NO	< 2%	SI	

Los resultados obtenidos mediante las simulaciones y pruebas físicas demuestran que el filamento PETG no es un material adecuado en sistemas de calefacción de vehículos. Durante la primera prueba en el túnel de viento, las rejillas fabricadas con ese material sufrieron una deformación notoria, especialmente en los bordes; adoptando una forma ovalada tras una exposición prolongada de temperatura de 49,1 grados Celsius. Esta deformación se confirmó con la simulación CFD, donde la temperatura de la rejilla alcanzo los 52,7 grados Celsius.

Por otro lado, las rejillas fabricadas en ASA y POLICARBONATO (PC) mostraron un mejor rendimiento. Tras ambas pruebas de 3 horas en el túnel de viento, estos materiales no presentaron deformaciones significativas; sin embargo, se observa que las rejillas de POLICARBONATO (PC) se tornaron ligeramente flexibles cuando fueron sometidas a la temperatura máxima de 49,1 grados Celsius. En concordancia con las simulaciones CFD, la temperatura máxima que alcanzo la rejilla de POLICARBONATO (PC) fue de 84,8 grados Celsius, mientras que la de ASA fue de 75,74 grados Celsius. Es decir que ambos materiales (ASA y POLICARBONATO) cuando superan estas temperaturas respectivamente, empiezan a deformarse; es por esto que en las pruebas en el túnel de viento a una temperatura de 49,1 grados Celsius las rejillas fabricadas en los dos materiales no presentan deformaciones considerables.

Se determina que la variación en el porcentaje de relleno no tuvo un impacto significativo en el comportamiento térmico de las rejillas, ya que el espesor de las paredes es muy pequeño (1,64 mm), como se observa en la tabla 14 que las deformaciones obtenidas en los dos porcentajes de relleno (50 y 100%) son similares (difieren en 1 mm). Sin embargo, en el caso del PETG, se identifica una deformación considerable independientemente del porcentaje de relleno, lo que corrobora su baja estabilidad dimensional frente a altas temperaturas.

Por otro lado, las rejillas en ASA y POLICARBONATO (PC), la diferencia entre los dos porcentajes de relleno es mínima en términos de resistencia al calor, aunque el relleno del 100% proporciona una mayor rigidez estructural. Esto fue más notorio en el POLICARBONATO (PC) que mantuvo una mayor flexibilidad al final de las pruebas físicas.

Estos resultados son consistentes con lo expuesto por Galantucci et al. (2015), quienes destacaron la alta estabilidad térmica y resistencia del ASA, haciéndolo ideal para aplicaciones en

exteriores y entornos con exposición al calor. De igual manera, Tymrak et al. (2014) señalaron que el PC posee propiedades térmicas y mecánicas superiores, posicionándolo como un material idóneo para aplicaciones exigentes como la industria automotriz.

Investigaciones recientes, como la de Serna-García et al. (2020), también han subrayado la influencia del porcentaje de relleno en la rigidez y resistencia de piezas impresas. En este estudio se corroboró que un relleno del 100% mejora un poco la resistencia a la deformación térmica en piezas elaboradas con ASA y PC, en comparación con un relleno del 50%.

Respecto a la metodología empleada, se utilizó un túnel de viento artesanal con control térmico, siguiendo criterios de la norma ASTM D648 para evaluar la deformación bajo carga térmica. Aunque el equipo experimental tenía limitaciones, los resultados obtenidos mostraron una buena concordancia con las simulaciones CFD, lo que refuerza la confiabilidad del método.

Conclusiones

Las mediciones de temperaturas de calefacción realizadas en diferentes vehículos permitieron determinar la temperatura máxima de funcionamiento del sistema de calefacción (49,1 grados Celsius), la cual fue utilizada como referencia para las pruebas experimentales y simulaciones CFD.

Se diseñaron y fabricaron las rejillas de ventilación utilizando impresión 3d con distintos materiales y porcentajes de relleno (50 y 100%). Se determinó que el porcentaje de relleno no tiene un impacto significativo en la resistencia térmica de los materiales evaluados, ya que las diferencias estructurales entre rejillas fabricadas con diferentes materiales son mínimas.

Los resultados obtenidos mediante simulaciones computacionales indican que las rejillas fabricadas en ASA y POLICARBONATO (PC) son más resistentes al flujo térmico en comparación con las fabricadas en PETG. Se observa que la rejilla de PETG alcanza una temperatura de 52,7 grados Celsius, mientras que la de ASA llego a 75,74 grados Celsius y la de POLICARBONATO (PC) a 84,8 grados Celsius; estos resultados coinciden con las pruebas experimentales realizadas en el túnel de viento.

Las pruebas físicas confirmaron los resultados obtenidos en las simulaciones CFD; las rejillas de PETG presentan deformaciones significativas después de la primera prueba de 3 horas, lo que confirma que confirma su baja resistencia al calor. A diferencia de las rejillas de ASA y POLICARBONATO (PC) que mantienen su integridad estructural tras dos pruebas consecutivas, demostrando su viabilidad para la fabricación de componentes de ventilación y calefacción de vehículos.

Se demuestra que la manufactura aditiva mediante impresión 3d es una alternativa viable para la fabricación de rejillas de ventilación de vehículos, reduciendo los costos y tiempos de producción en comparación con los procesos tradicionales. La posibilidad de fabricar piezas localmente ayudaría a minimizar los tiempos de espera por repuestos importados y a optimizar la disponibilidad de autopartes en el mercado nacional.

Recomendaciones

Los resultados de las pruebas experimentales y las simulaciones sugieren que el PETG no es adecuado para aplicaciones en sistemas de calefacción en vehículos debido a su baja resistencia a altas temperaturas. Por lo tanto, se recomienda utilizar materiales como ASA y Policarbonato

(PC), ya que ofrecen una mayor estabilidad térmica y son más duraderos en entornos con temperaturas elevadas.

La fabricación aditiva FDM sigue siendo una opción viable para la creación de componentes automotrices, dada su capacidad para reducir costos y tiempos de producción. Sin embargo, se recomienda continuar optimizando los procesos para mejorar la resistencia térmica de las piezas, seleccionando materiales con mejores propiedades y ajustando los porcentajes de relleno según las especificaciones de cada componente.

Es crucial continuar investigando sobre las propiedades térmicas y mecánicas de nuevos materiales para garantizar su idoneidad en aplicaciones automotrices, especialmente en componentes sometidos a altas temperaturas. También sería útil explorar materiales compuestos que combinen las mejores propiedades de varios materiales para obtener una mayor resistencia y estabilidad térmica.

A partir de los resultados exitosos obtenidos con las rejillas de ventilación, sería beneficioso expandir la investigación a otros componentes del vehículo que puedan beneficiarse de la fabricación aditiva. Partes como los sistemas de suspensión, tableros de control y elementos del motor podrían ser evaluados para su producción mediante impresión 3D.

Para asegurar la integración exitosa de la fabricación aditiva en el sector automotriz ecuatoriano, es recomendable fomentar alianzas entre universidades, centros de investigación y la industria.

Listado de Referencias

ANSYS Inc. (2023). Fluent User's Guide. https://www.ansys.com

Bala, R., y Pavan, S. (2020). Materiales para impresión 3D: innovaciones y aplicaciones . Wiley

Beaumont, P. , y O'Connell , P**.** (2019). Comprensión del PETG *y sus aplicaciones en la impresión 3D* . Journal of Additive Manufacturing, 12 *(* 3), 113-122. https://doi.org/10.1016/j.jaddman.2019.02.004

Creality. (**2023).** *Manual del usuario de Creality Slicer* (versión 4.8). Creality. Recuperado de https://www.creality.com/download

Dassault Systèmes. (2023). SolidWorks Flow Simulation Technical Reference. https://www.solidworks.com

Dassault Systèmes. (2024). SolidWorks: Software de diseño mecánico en 3D, Recuperado de : https://www.solidworks.com

Edge-Team. (s. f.). SOLIDWORKS Flow Simulation. Recuperado el 10 de julio de 2025, de https://edge-team.com/solidworks/flow-simulation

Galantucci, L. M., Lavecchia, F., & Percoco, G. (2015). Quantitative analysis of the mechanical properties of components fabricated with fused deposition modeling using experimental design. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 137(1), 011017. https://doi.org/10.1115/1.4028725

Gibson, I., Rosen, DW y Stucker, B. (2021). Tecnologías de fabricación aditiva: impresión 3D, creación rápida de prototipos y fabricación digital directa (3.ª ed.). Springer.

Gibson, I., Rosen, DW y Stucker, B. (2021). *Tecnologías de fabricación aditiva: impresión 3D, creación rápida de prototipos y fabricación digital directa* (3.ª ed.). Springer

Gupta, N., Hall, C. y Koch, L. (2022). *Impresión 3D y fabricación aditiva: principios y aplicaciones* . CRC Press

ICEX. (2023). *Panorama del comercio internacional: Datos y tendencias 2023*. ICEX España Exportación e Inversiones.

Interempresas. (2019). Fabricación aditiva como alternativa sostenible en la industria. Interempresas: Fabricación Aditiva. https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/

International Organization for Standardization. (2017). ISO 9227:2017 - Corrosion tests in artificial atmospheres — Salt spray tests. https://www.iso.org/standard/63543.html

Kruth , JP, Leu , MC y Nakagawa, T. (1998). Progreso en fabricación aditiva y prototipado rápido. CIRP Annals , 47 *(* 2), 525-540 . https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63240-5

Kumar, R., y Reddy, KN (2021). La influencia de los materiales de fabricación aditiva en el rendimiento del producto: una revisión de las propiedades del ASA. Journal of Manufacturing *Science and Technology* , *18* (2), 125-135 . https://doi.org/10.1007/s40940-021-00220-5

Lasko. (2023). *LecheCalentador de lechería: especificaciones y características .https ://www.lasko.com / m-casa—calentado

Navarrete, L. (2023). Diseño y construcción de un banco de pruebas para la validación de impulsores de bombas de agua fabricados por FDM de vehículos automotrices. Sek

OpenFOAM Foundation. (2023). OpenFOAM User Guide, Version 10. https://www.openfoam.com

Posprocesado de componentes metálicos producidos por tecnologías de fabricación aditiva. (2019). Interempresas: Fabricación Aditiva. https://www.interempresas.net/Fabricacion-aditiva/Articulos/244884-Posprocesado-de-componentes-metalicos-producidos-por-tecnologias-de-fabricacion-aditiva.html.

Quispe González, C. A., Urcuhuaranga Esteban, W. J., & Chiroque Baldera, J. E. (2014). Figura 1. Partes características de un túnel de viento de tipo abierto. En Diseño aerodinámico de un túnel de viento de bajas velocidades (p. …). Revista de Investigación de Física, 17, 141701601. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Partes-caracteristicas-de-un-tunel-de-viento-de-tipo-abierto_fig1_351471767

SAE International. (2012). SAE J1598: Measurement of Aerodynamic Performance of Truck Cab Roof Fairings. https://www.sae.org/standards/content/j1598_201208/

SAE International. (2015). SAE J2083: Road Vehicle Aerodynamics Terminology. https://www.sae.org/standards/content/j2083_201508/

Saimon, A. I., Yangue, E., Yue, X., Kong, Z. J., & Liu, C. (2024). Advancing Additive Manufacturing through Deep Learning: A Comprehensive Review of Current Progress and Future Challenges. arXiv.

Serna-García, L., Peña, M., & Díaz, J. (2020). Influencia del relleno en piezas impresas en 3D sobre sus propiedades térmicas y mecánicas. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, 30(3), e2020026. https://doi.org/10.1590/0104-1428.05019

Sharma, R., & Sharma, P. (2021). *Materiales a base de policarbonato en impresión 3D: aplicaciones y propiedades* . Springer

Simplificar 3D. Simplify3D: Software de corte para impresión 3D. *Simplificar 3D* . Recuperado el [25 de Noviembre de 2024], de https ://www .simplify3d .com=

SimScale GmbH. (2023). SimScale Documentation. https://www.simscale.com

Smith, J., y Johnson, R. (2020). *Consumo energético y eficiencia de los sistemas de calefacción de vehículos en climas fríos* . Revista de Ingeniería Automotriz, 45(3), 215-230

Sridhar, R. , y Murugan **,** S. (2018). El impacto de los materiales impresos en 3D : PETG y sus propiedades estructurales. Materials Today *: Proceedings* , *5* (1), 2397-2403. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.126

Sundaram, M. , y Kumar, M. (2020). Propiedades mecánicas del filamento de policarbonato (PC) para impresión 3D: una revisión exhaustiva. Journal of *Advanced Manufacturing Technology* , *32* (5), 345-356 . https://doi.org/10.1007/s40160-020-00258-9=

The Home Depot. (2023). Características de calentador eléctrico de convección portátil. https://www.homedepot.com/

Tutech Innovation GmbH. (2024). *ReMaT – Formación en gestión de la investigación para investigadores en el inicio de su carrera* . Tutech Innovation GmbH

Tymrak, B. M., Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. Materials & Design, 58, 242-246. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.02.038

Ultimaker. (sf). Ultimaker Cura: Software de corte para impresión 3D. *Ultimaker* . Recuperado el [25 de Nobiembre de 2025], de https ://ultimaker .com /software /ultimaker -cura

Universo. (2022, 15 de octubre). *Impacto del comercio exterior en la economía local* . Universo.

Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2022). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (3rd ed.). Pearson Education.

White, F. M. (2016). Fluid mechanics (8th ed.). McGraw-Hill Education.

Wohlers, T. y Campbell, I. (2021). *Informe Wohlers 2021: estado global de la industria de la impresión 3D y la fabricación aditiva* . Wohlers Associates.

Zei, I. (2019). Masterizacion dominar el CAD /CAM.

Anexos

Anexo A

Tabla 1

Parte de las mediciones de la temperatura y velocidad del aire de calefacción.

VEHICULO	VALORES

Anexo B

Tabla 2

Pruebas a temperatura mínima y promedio.

Temperatura	Tiempo	Relleno	Resultado
Minima (31°C)	3 Horas	100%	
Promedio (40,86°C)	3 Horas	100%	

Tabla 3

Pruebas a temperatura máxima y diferentes porcentajes de relleno con un tiempo de 2h.

Temperatura	Tiempo	Relleno	Resultado
Maxima (49,1°C)	2 Horas	50%	
	2 Horas	100%	

Tabla 4

Pruebas a temperatura máxima y diferentes porcentajes de relleno con un tiempo de 2h:30min.

Temperatura	Tiempo	Relleno	Resultado
Maxima (49,1°C)	2 Horas y 30 min	50%	
	2 Horas y 30 min	100%	

Anexo C

Figura 1

Metodología de pruebas físicas y análisis computacional para los tres materiales seleccionados al 50% de relleno

Material: **PETG**			Porcentaje de relleno: **50%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos

Material: **ASA**			Porcentaje de relleno: **50%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos

Material: **POLICARBONATO (PC)**			Porcentaje de relleno: **50%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos

Figura 2

Metodología de pruebas físicas y análisis computacional para los tres materiales seleccionados al 100% de relleno.

Material: **PETG**			Porcentaje de relleno: **100%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos

Material: **ASA**			Porcentaje de relleno: **100%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos

Material: **POLICARBONATO (PC)**			Porcentaje de relleno: **100%**			Temperatura de impresión: **240 °C**		
Prueba N	**Tipo de Prueba**	**Descripcion**	**Duracion**	**Objetivo**	**Metodologia**	**Mallado**	**Criterios de Aceptacion**	**Observaciones**
1	Física	Prueba de flujo de aire	3 Horas	Evaluar la distribución del flujo	Uso de túnel de viento		Flujo uniforme a través de la rejilla	
2	Física	Prueba de temperatura	3 Horas	Evaluar comportamiento térmico	Exposición a temperatura maxima		Funcionalidad mantenida sin deformacion	
3	Computacional (CFD)	Análisis de flujo de aire	3 Horas	Simular distribución del flujo	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Flujo uniforme y adecuado	Comparar con datos físicos
4	Computacional (CFD)	Análisis de transferencia de calor	3 Horas	Evaluar disipación térmica	Software CFD (ej. SOLIDWORKS)	Triangulos	Temperatura dentro del rango esperado	Comparar con datos físicos