



**Análisis de funcionamiento del impulsor de bomba de agua de automóvil construido
mediante proceso de manufactura aditiva FDM**

Realizado por:

Juan Fernando Acuña Balarezo

**Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas, Universidad Internacional SEK
Ingeniería Automotriz**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Director del proyecto:

M.Sc. Jaime Vinicio Molina Osejos

Marzo – 2024

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, Juan Fernando Acuña Balarezo, ecuatoriano, con Cédula de ciudadanía N° 1725536773, 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Fernando Acuña Balarezo', is written over a horizontal dashed line.

Juan Fernando Acuña Balarezo

C.I.: 1725536773

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:

Ing. Diana Belén Peralta Zurita MSc

Ing. Diego Fernando Bustamante Villagómez MSc

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

Ing. Diana Peralta MSc

Ing. Diego Bustamante MSc.

Quito, 20 de Marzo de 2024

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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Fernando Acuña Balarezo', with a large, stylized flourish above it.

Juan Fernando Acuña Balarezo

C.I.: 1725536773

Dedicatoria

Dedico este proyecto y tiempo especial en esta etapa de mi vida a mis padres Angel Acuña y Luz Balarezo, gracias al apoyo y paciencia que han tenido conmigo, siendo un pilar fundamental para alcanzar mi objetivo, esperando que se sientan orgullosos de mi.

También quiero dedicar este logro a toda mi familia y amigos por el apoyo, consejos y palabras de aliento cuando mas los he necesitado, logrando alcanzar el objetivo que me propuse y que lo veo consolidado, ademas que no existen limites para cumplir todos nuestros sueños.

Agradecimiento

Agradezco a Dios quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante en cada uno de mis pasos. También agradezco a mis padres por su apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, por sus consejos, su dedicación y su sabiduría, mismos que me han motivado a ser cada día mejor persona y han sido mi motor para seguir adelante.

Por último, agradezco a mis docentes y en especial a mi director de proyecto M.Sc. Jaime Vinicio Molina Osejos, quienes han compartido sus enseñanzas, experiencias y se han mostrado dispuestos a brindarme su apoyo y consejo, tanto en el ámbito personal como profesional, a lo largo de mi carrera.

Resumen

El presente proyecto de investigación se plantea como objetivo rediseñar el impulsor de bomba de agua de automóvil construido mediante proceso de Manufactura aditiva FDM para materiales poliméricos Policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU como una alternativa viable en la fabricación de autopartes. La metodología utilizada es de tipo cuantitativo, con el uso del software "CURA" para preparar modelos 3D destinados a la impresión en una impresora 3D. Además, se trata de un diseño experimental con alcance aplicado. Se analiza el impulsor de bomba de agua, para lo cual se diseña e imprime diferentes prototipos utilizando cuatro filamentos: policarbonato, nylon de carbono, TPU y PC-ABS. Cada uno con un relleno del 50%, 70% y 100%. Los resultados de las pruebas evidencian que los impulsores de bomba de agua fabricados con PC-ABS son los más adecuados para la industria automotriz local, ya que no se deforman en diversas temperaturas y niveles de relleno. La segunda opción es el nylon de carbono pues es resistente hasta 90°C siempre y cuando el relleno sea del 100%. No obstante, los impulsores elaborados con policarbonato y TPU son opciones favorables para temperaturas ambiente y hasta 50°C.

Palabras Clave: Impulsor, Bomba de Agua, Automóvil, Manufactura Aditiva FDM, Policarbonato.

Abstract

The objective of this research project is to redesign the automobile water pump impeller built through the FDM Additive Manufacturing process for Polycarbonate polymeric materials with ABS, PC Polycarbonate, nylon carbon fiber and TPU as a viable alternative in the manufacture of auto parts. The methodology used is quantitative, with the use of "CURA" software to prepare 3D models for printing on a 3D printer. In addition, it is an experimental design with applied scope. The water pump impeller is analyzed, for which different prototypes are designed and printed using four filaments: polycarbonate, carbon nylon, TPU and PC-ABS. Each with a 50%, 70% and 100% infill. The test results show that water pump impellers made of PC-ABS are the most suitable for the local automotive industry, since they do not deform at various temperatures and fill levels. The second option is carbon nylon as it is resistant up to 90°C as long as the filling is 100%. However, impellers made of polycarbonate and TPU are favorable options for ambient temperatures and up to 50°C.

Palabras Clave: Impeller, Water Pump, Automobile, FDM Additive Manufacturing, Polycarbonate.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|----|
| Resumen..... | 8 |
| Abstract..... | 9 |
| Introducción | 18 |
| Antecedentes | 20 |
| Planteamiento del problema..... | 22 |
| Justificación | 23 |
| Objetivos..... | 25 |
| Objetivo general..... | 25 |
| Objetivos Específicos..... | 25 |
| Hipótesis | 25 |
| Estado del arte..... | 27 |
| Antecedentes | 27 |
| Bases teóricas..... | 28 |
| Sistema de refrigeración del automóvil | 28 |
| Impulsor de la bomba de agua | 33 |
| Impresión en 3D..... | 35 |
| Manufactura Aditiva FDM (Fused Deposition Modeling)..... | 36 |
| Funcionamiento impresora por método FDM..... | 39 |
| Filamentos poliméricos | 40 |
| Solidworks | 43 |
| Metodología | 46 |
| Tipo de investigación..... | 46 |

| | |
|---|-----|
| Proceso..... | 47 |
| Definición de componentes..... | 48 |
| Selección de vehículo | 48 |
| Análisis de fuerzas que actúa sobre las aspas del impulsor | 49 |
| Toma de medidas del impulsor | 50 |
| Diseño CAD en SolidWorks | 52 |
| Diseño prototipo virtual | 52 |
| Diseño de pruebas en software | 52 |
| Selección de equipo | 53 |
| Criterios para selección materiales y equipos | 53 |
| Configuración de la máquina para la impresión | 55 |
| Preparación de impresora..... | 63 |
| Impresión | 63 |
| Configuración de parámetros | 63 |
| Impresión 3D | 65 |
| Protocolo de pruebas..... | 67 |
| Validación de impulsores..... | 67 |
| Simulación y análisis de comportamiento | 67 |
| Resultados generales..... | 98 |
| Resultados | 101 |
| Discusión..... | 110 |
| Conclusiones | 112 |
| Recomendaciones | 113 |

| | |
|----------------------------|-----|
| Lista de referencias | 115 |
| Anexos | 121 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Tipos de impulsores | 33 |
| Tabla 2. Características ABS | 41 |
| Tabla 3. Características policarbonato (PC) | 42 |
| Tabla 4. Características nylon..... | 43 |
| Tabla 5. Automóviles más vendidos en Ecuador en 2022 | 48 |
| Tabla 6. Características de filamentos | 54 |
| Tabla 7. Material utilizado en función de las temperaturas de fusión ABS | 59 |
| Tabla 8. Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de fibra de carbono | 59 |
| Tabla 9. Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de nylon | 60 |
| Tabla 10. Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de TPU | 60 |
| Tabla 11. Velocidades de impresión para el filamento ABS, fibra de carbono, nylon y TPU | 60 |
| Tabla 12. Refrigeración para los diferentes tipos de filamentos..... | 61 |
| Tabla 13. Soporte para impresión para el filamento ABS, fibra de carbono, nylon y TPU | 62 |
| Tabla 14. Características para impresión | 64 |
| Tabla 15. Resumen de los parámetros para impresión | 65 |
| Tabla 16. Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 50% | 70 |
| Tabla 17. Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 70% | 72 |
| Tabla 18. Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 100% | 75 |
| Tabla 19. Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 50% | 77 |
| Tabla 20. Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 70% | 79 |
| Tabla 21. Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 100% | 82 |
| Tabla 22. Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 50% | 84 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 23. Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 70% | 86 |
| Tabla 24. Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 100% | 89 |
| Tabla 25. Resultados PC-ABS de la prueba de temperatura con relleno a 50% | 92 |
| Tabla 26. Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 70% | 94 |
| Tabla 27. Resultados PC-ABS de la prueba de temperatura con relleno a 100% | 97 |
| Tabla 28. Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 50% | 99 |
| Tabla 29. Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 70% | 100 |
| Tabla 30. Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 100% | 101 |
| Tabla 31. Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 50% | 102 |
| Tabla 32. Resultados de impulsores con un relleno del 50% en el banco de pruebas | 104 |
| Tabla 33. Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 70% | 105 |
| Tabla 34. Resultados de impulsores con un relleno del 70% en el banco de pruebas | 107 |
| Tabla 35. Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 100% | 108 |
| Tabla 36. Resultados de impulsores con un relleno del 100% en el banco de pruebas | 109 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Cadena de energía en motores de combustión interna | 29 |
| Figura 2. Temperatura de funcionamiento del motor | 30 |
| Figura 3. Evolución del calentamiento del motor | 31 |
| Figura 4. Esquema sistema de refrigeración por bomba de agua | 34 |
| Figura 5. Impulsor bomba de agua | 35 |
| Figura 6. Impresora 3D | 36 |
| Figura 7. Estructura impresora FMD | 37 |
| Figura 8. Proceso de diseño e impresión en 3D | 39 |
| Figura 9. Funcionamiento impresora FDM | 40 |
| Figura 10. Uso de SolidWorks para diseño 3D | 44 |
| Figura 11. Flujo de metodología | 47 |
| Figura 12. Bomba de agua Chevrolet Spark It | 49 |
| Figura 13. Herramientas para desarmar la bomba de agua | 50 |
| Figura 14. Impulsor de bomba Chevrolet Spark It | 51 |
| Figura 15. Toma de medidas del impulsor | 51 |
| Figura 16. Diseño virtual del impulsor | 52 |
| Figura 17. Impresora seleccionada | 54 |
| Figura 18. Criterios para calidad | 56 |
| Figura 19. Criterios para paredes | 56 |
| Figura 20. Criterios de capas superior e inferior | 57 |
| Figura 21. Configuración para la impresión del impulsor al 50% | 58 |
| Figura 22. Configuración para la impresión del impulsor al 70% | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 23. Configuración para la impresión del impulsor al 100% | 58 |
| Figura 24. Porcentaje de velocidad de ventilador de los filamentos ABS 50%, 70% y 100% | 61 |
| Figura 25. Porcentaje de velocidad de ventilador de los filamentos al 50%, 70% y 100% | 62 |
| Figura 26. Impresión de impulsor de bomba | 66 |
| Figura 27. Impulsores fabricados..... | 66 |
| Figura 28. Banco de pruebas funcional..... | 67 |
| Figura 29. Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 50% | 68 |
| Figura 30. Montaje de impulsores policarbonato en la bomba de agua..... | 69 |
| Figura 31. Montaje de la bomba de agua en banco de prueba..... | 69 |
| Figura 32. Manómetro de temperatura 35° y 70° (policarbonato)..... | 70 |
| Figura 33. Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 70% | 71 |
| Figura 34. Manómetro de temperatura de 35°, 50° y 80° (policarbonato) | 71 |
| Figura 35. Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 100% | 73 |
| Figura 36. Presión funcionamiento (policarbonato) | 74 |
| Figura 37. Manómetro de temperatura de 35°, 50° y 90° (policarbonato) | 74 |
| Figura 38. Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 50% | 76 |
| Figura 39. Manómetro de temperatura 35°, 50° y 90° (nylon)..... | 76 |
| Figura 40. Presión funcionamiento 0,4 bar (nylon) | 77 |
| Figura 41. Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 70% | 78 |
| Figura 42. Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 100% | 80 |
| Figura 43. Presión funcionamiento 0,3 bar (nylon) | 81 |
| Figura 44. Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 50% | 84 |
| Figura 45. Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 70% | 86 |

| | |
|--|----|
| Figura 46. Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 100% | 88 |
| Figura 47. Manómetro de temperatura 90° (TPU)..... | 88 |
| Figura 48. Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 50% | 90 |
| Figura 49. Presión de funcionamiento 0,3 bar (PC-ABS) | 91 |
| Figura 50. Desmontaje de la bomba de agua | 92 |
| Figura 51. Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 70% | 94 |
| Figura 52. Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 100% | 96 |
| Figura 53. Montaje de impulsores PC-ABS en la bomba de agua..... | 96 |
| Figura 54. Manómetro de temperatura 90° (PC-ABS) | 97 |

Introducción

La búsqueda de nuevos materiales constructivos responde a una creciente necesidad actual por volver los procesos productivos más eficientes y sostenibles (Puertas, Alonso, & Palacios, 2020). En este contexto, las tecnologías de impresión en 3D ponen a disposición nuevas formas de elaborar autopartes más precisas, seguras y eficientes. Esta consiste en la unión de materiales para dar forma a una pieza tridimensional mediante distintos materiales, la que parte de un diseño digital en 3D (Moreno, 2022).

Estas tecnologías han tenido diversas aplicaciones; desde las últimas dos décadas, se han utilizado piezas elaboradas mediante impresión 3D en construcción, aeronáutica, medicina y salud en general, como la ortopedia, la arqueología, el sector de moda y textil, entre otras. En el sector automotriz, la enorme competitividad del mercado ha obligado a las industrias a mejorar sus procesos productivos introduciendo la tecnología de impresión en 3D; no solo se realizan ya prototipos mediante esta, sino que se utiliza ya en la elaboración de autopartes definitivas, aunque es un proceso de factura en constante investigación (Moreno, 2022).

Dentro de la industria automotriz, la impresión 3D tiene distintas aplicaciones. En primer lugar, se ha promovido constantemente el testing mediante esta tecnología, lo que implica que cada pieza del automóvil puede ser sometida a las pruebas de funcionalidad y seguridad requeridas mediante procesos mucho menos costosos y con mayor precisión. Por otra parte, también existe aplicación de la tecnología de impresión 3D en el proceso de fabricación dentro de la propia cadena productiva (Moreno, 2022). Por ello, es fundamental profundizar en la investigación en torno a las aplicaciones de dicha tecnología en la industria automotriz.

El impulsor de la bomba de agua de automóvil es un disco giratorio que contiene alabes que permiten trasladar la energía que emite el motor hacia el líquido, con la finalidad de que se

genere el caudal necesario para el sistema de enfriamiento. Se considera un elemento esencial para el vehículo ya que a través de éste es posible mantener un buen funcionamiento del sistema de refrigeración y con ello lograr una temperatura estable; es decir, evita que el motor se sobrecaliente.

Existen muchas calidades de materiales para elaborar impulsores de bomba de agua de automóvil, tales como acero, hierro, aluminio o polímero técnico. Este último, actualmente, es considerado como uno de los mejores materiales debido a la alta resistencia a la cavitación y a la corrosión, además de que permite obtener una producción más precisa. Por el contrario, los impulsores elaborados con acero, aluminio y sobre todo hierro tienden a corroerse, provocando fallas en los demás componentes de la bomba. Esto se debe a que están constantemente en contacto con fluidos refrigerantes.

En este contexto, se disminuye el nivel de presión de bombeo del refrigerante provocando que la distribución no sea la adecuada, así también el óxido contamina el líquido y afecta a los sellos de la goma. De allí que se genera fugas y se recalienta el motor del vehículo. Es por ello que se plantea la siguiente pregunta: ¿El rediseño de los impulsores de bomba de agua de automóvil fabricados por el proceso de manufactura aditiva será viable para un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración?

Para dar respuesta a esta interrogativa se plantea como objetivo: Rediseñar el impulsor de la bomba de agua del automóvil construido mediante proceso de Manufactura aditiva FDM para materiales poliméricos Policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU como una alternativa viable en la fabricación de autopartes.

Cabe indicar que se considera el proceso de manufactura aditiva (FDM) debido a que es una tecnología que posibilita la fabricación de piezas de alta resistencia, durabilidad, con mayor

precisión y eficiencia. El sector automotriz utiliza esta técnica debido a que permite el diseño de prototipos, automoción y fabricación de piezas finales en menor tiempo. Situación que es favorable ya que facilita el cumplimiento de la demanda de clientes.

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó la metodología de enfoque cualitativo, de modalidad práctica y experimental, debido a que se efectuaron pruebas de laboratorio para determinar los materiales del impulsor actual y filamentos alternativos. Esto con la finalidad de establecer el filamento más apropiado para emplearlo en el rediseño del impulsor, haciendo uso del programa Solidworks.

Este estudio genera un impacto positivo para el sector automotriz debido a que destaca la importancia y utilidad de la manufactura aditiva. Las fábricas de piezas automotrices pueden hacer uso de esta técnica para automatizar y mejorar los procesos de fabricación del impulsor de la bomba, logrando producir piezas de calidad y que garanticen el correcto desempeño de la bomba.

Antecedentes

El desarrollo de la industria automotriz ha ido cambiando a lo largo del tiempo, especialmente en sus procesos de manufactura de autopartes. Sánchez (2018) menciona que ésta industria está en constante evolución debido a las exigencias de calidad y seguridad por parte de los clientes. Por tanto, para mantenerse competitivos, disminuir costos sin afectar la calidad se mantienen procesos de mejora continua, apoyados en el uso de recursos tecnológicos.

En la industria automotriz la fabricación de autoparte es esencial para el armado del vehículo. En tal virtud, a nivel mundial se conoce que, en el 2020, China tiene la mayor producción de autopartes con una representación del 16,8%, seguido de Estados Unidos (8,2%), Japón (7,2%) y Alemania (3,6%) (Galaz & Ruiz, 2020). Incluso en el año 2016 se identificó las principales empresas que fabrican las autopartes según sus ventas, entre ellas se encuentran la compañía

Robert Bosch GmbH, ZF Friedrichshafen AG, Magna Internacional, Denso Corporation, Continental, Aisin Seiki, Hyundai Mobis, Faurecia, Lear Corporation y Valeo, siendo, los proveedores a nivel mundial.

El sector de autopartes se encarga desde la fabricación hasta la distribución de las piezas que se utilizan como repuesto del vehículo. Uno de los componentes importantes para el correcto funcionamiento del vehículo es el sistema de refrigeración, que está conformado por diversos elementos como el radiador, cámara de agua, bomba de agua, entre otros. Para el correcto funcionamiento de la bomba de agua es necesario que esté en buen estado el impulsor, el cual permite un continuo flujo de agua y con ello evita que se sobrecaliente el motor.

Por consiguiente, dada la importancia de la calidad de autopartes, el diseño ha ido cambiando y adaptándose a las nuevas tecnologías para cubrir las necesidades de los clientes, así como los materiales y la identificación de los componentes. Para el proceso de diseño y fabricación de las piezas se utilizan diferentes equipos, pues, con el avance de la industria se tiene la necesidad de innovar y mejorar las piezas. Esto representa la ingeniería inversa debido a que permite innovar o mejorar los elementos o piezas existentes, es decir, un rediseño.

En este sentido, se identifica que una de las grandes tendencias utilizadas en la actualidad es la tecnología de fabricación aditiva FDM para impresión en 3D cuyas ventajas están relacionadas con la libertad para crear diseño, bajo costo y mayor rapidez en la producción de piezas.

La impresión en 3D favorece en la manufactura de las piezas como las autopartes. Entre los tipos de impresión 3D que más se utiliza es el aditivo FDM (Modelado por Deposición Fundida), empleando como material una bobina en forma de filamento, este ingresa a la boquilla,

luego calienta y funde el filamento, después se deposita en capas para tomar forma del modelo rediseñado en el software.

Por lo tanto, es importante que al aplicar la técnica aditiva FDM se deben realizar pruebas de los materiales, es así que la selección de los mismos es un aspecto importante para el rediseño de las autopartes como el impulsor de bomba de agua, pues, debe ser según los esfuerzos físicos y mecánicos del filamento seleccionado, incluyendo la disponibilidad. Bajo el contexto mencionado anteriormente, se realiza la formulación del problema de investigación: ¿El rediseño de los impulsores de bomba de agua de automóvil fabricados por el proceso de manufactura aditiva será viable para un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración?

Planteamiento del problema

El aumento del parque automotor en Ecuador tiene un impacto en el incremento tanto de importación y exportación de autopartes, pues, a marzo del 2021 las exportaciones FOB crecieron en 37,26% (USD 20.123.585,35) en relación al mismo mes del 2020. Lo mismo ocurrió en las importaciones CIF con un crecimiento de 6,75% (USD 105.374.145,70) (Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, 2021). Además, en el 2021 se registró 39 empresas dedicadas a la fabricación de autopartes y 2.266 a la venta de los mismos (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2021), lo cual es utilizado como manufactura distintos materiales como por ejemplo polímeros, fibras, entre otros. Tienen ciertas ventajas mecánicas como la resistencia a la corrosión; siendo beneficioso en comparación con otros materiales (acero – aluminio) que tienden a corroerse, ocasionando fallas en las piezas. Por otro lado, el bajo peso de los polímeros ayuda a que los autos sean livianos.

El impulsor de bomba de agua de vehículo es un elemento esencial en el sistema de refrigeración ya que permite mantener una temperatura estable, los impulsores de la bomba de

agua elemento que impulsa el refrigerante está por lo general fabricado de latón y contiene alabes que hace mover el refrigerante para su respectiva distribución en el sistema con la finalidad de evitar que se caliente el motor.

Cuando los componentes de la bomba están expuestos de forma continua al líquido refrigerante ocasiona corrosión y oxidación, específicamente el impulsor. Esta situación reduce el nivel de presión de bombeo del refrigerante ocasionando ineficiencia en la distribución adecuada en el sistema mientras que el óxido de las aspas contamina el líquido y afecta a los sellos de goma, este último provoca fuga del refrigerante. Por lo tanto, se presenta recalentamiento del motor, dañando los elementos del mismo, es decir, no se mantiene una temperatura adecuada para su funcionamiento óptimo. En tal virtud, se plantea la siguiente interrogante: ¿El rediseño de los impulsores de bomba de agua de automóvil fabricados por el proceso de manufactura aditiva será viable para un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración?

Para el rediseño se considera los siguientes materiales: elastómero termoplástico (TPE), PC Policarbonato, nylon, ácido poliláctico (PLA) y Poliuretano Termoplástico (TPU). El proceso práctico inicia con la toma de las medidas del impulsor, la identificación de materiales, el cálculo del factor de seguridad, la aplicación de pruebas que permite la comparación de los filamentos, para la selección del más adecuado, con ello se procede al diseño en Solidworks y finalmente el rediseño de la manufactura aditiva para crear el prototipo.

Justificación

El sector automotriz del país durante el 2019 registró 132.208 unidades vendidas, al 2020 se redujeron en 49%, pues, se vendieron 33.185 unidades. Al 2022 fueron 139.517 unidades; relacionado con la fabricación y venta de autopartes – repuestos como reemplazo en el mantenimiento vehicular, donde la mayoría de estos son importados (Asociación de Empresas

Automotrices del Ecuador, 2023). En la actualidad el proceso de Manufactura aditiva mediante modelado de por deposición fundida (FDM) es una tecnología innovadora para fabricar prototipos y producción de serie corta, es decir, piezas impresas en 3D como autopartes, pues, permite obtener piezas con geometrías sencillas y complejas (Cano & Serrano, 2021). De tal manera que, la industria automotriz requiere que se seleccionen materiales que cumplan con las características y condiciones tanto físicas como mecánicas, representando la base para la para la fabricación de piezas y producto final.

El presente trabajo de titulación tiene relevancia social debido a que aporta al desarrollo de la industria automotriz porque se automatiza los procesos para la fabricación aditiva o impresión en 3D de las piezas termoplásticas (rígidos, elastómeros o translúcidos) como el impulsor de bomba de agua. Asimismo, sirve para futuros investigadores interesados en conocer el proceso de manufactura aditiva y como emplearla para fabricar piezas para los vehículos.

El rediseño del impulsor de bomba de agua de automóvil construido mediante proceso de Manufactura aditiva FDM es importante porque aporta en la automatización y mejora el proceso de fabricación del impulsor de la bomba de agua, pues, se cuenta con las piezas producidas en el país, por ende, se reduce el tiempo tanto de producción y entrega de las mismas a las empresas distribuidoras sin necesidad de esperar un lapso largo en la importación. Es así que se tiene mayor accesibilidad al impulsor de la bomba de agua para utilizar en el mantenimiento del sistema de refrigeración. Por otro lado, resulta relevante debido a que el modelo aditivo que se emplea puede utilizarse en otros procesos, es decir, se puede fabricar otras piezas o autopartes. Además es factible porque se utiliza filamentos para materiales poliméricos Policarbonato con ABS marca Polymaket, PC Policarbonato marca Orbitech, fibra de carbono de nylon marca Fillamentum y TPU marca Fillamentum, estos no tienen costos tan elevados, algunas se obtendrán de fábricas ubicadas en el

país como la empresa Equiplast, por lo que se puede adquirir y obtener para el proceso de manufactura. Incluso el software para el desarrollo Solidworks se puede adquirir la licencia de manera fácil.

Objetivos

Objetivo general

Rediseñar el impulsor de bomba de agua de automóvil construido mediante proceso de Manufactura aditiva FDM para materiales poliméricos Policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU como una alternativa viable en la fabricación de autopartes.

Objetivos Específicos

- Realizar prototipo virtual del impulsor de la bomba de agua para la impresión en manufactura FDM.
- Seleccionar el equipo para impresión que será utilizado en la manufactura FDM.
- Configurar los parámetros para la impresión del impulsor según los distintos materiales utilizados.
- Instalar los impulsores en el banco de pruebas para la simulación del comportamiento del sistema de refrigeración automotriz.
- Analizar el comportamiento de los materiales con los que fueron construidos los impulsores.

Hipótesis

H₀: El rediseño de los impulsores de la bomba de agua del automóvil fabricados por el proceso de manufactura aditiva no es viable para un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración.

H₁: El rediseño de los impulsores de la bomba de agua del automóvil fabricados por el proceso de manufactura aditiva es viable para un óptimo funcionamiento del sistema de refrigeración.

Estado del arte

Antecedentes

Los impulsores de la bomba de agua de los automóviles han sido objeto de distintos estudios para garantizar su funcionabilidad y durabilidad. Actualmente, la tecnología de impresión en 3D ha sido origen para la manufactura aditiva FDM, un tipo de tecnología de impresión en 3D que utiliza filamentos plásticos para la elaboración precisa de elementos tridimensionales.

En el estudio de Fernández et al. (2016), se enfocó en seleccionar los materiales de fabricación del impulsor de la bomba de agua, para ello se comparó materiales como ABS y ácido poliláctico (PLA), donde el filamento ABS mostró mayor resistencia mecánica y vida útil. Incluso al aplicar postratamiento químico es de bajo costo y generó mejoras en el rendimiento de la bomba. Lo que permite un comportamiento estable para la operación de un flujo alto en el impulsor.

En cuanto al trabajo de Pavlovic et al. (2017) se realizó una evaluación de polímeros aplicados en la fabricación aditiva para el diseño de impulsores que muestren funciones similares a la pieza mecánica. Para ello, se estudió los polímeros como ABS plus, ABS y PLA, comparando las propiedades de tracción y flexión. Una vez realizado los ensayos se identificó que, el polímero ABS y ABSplus cumplen con los requerimientos mecánicos, incluso se comprobó la funcionalidad del impulsor. Por lo tanto, cuando se selecciona adecuadamente el polímero se tiene la posibilidad de fabricación aditiva para producción precisa, rápida y con menor costo.

El proyecto de Briceño et al. (2019) presenta una evaluación de distintas tecnologías de impresión 3D para la elaboración de autopartes, en particular para los ductos de aire. Para ello, sometieron distintos materiales a estas diversas tecnologías, y encontraron que la tecnología PolyJet presentó los mejores resultados, en particular con el filamento de VeroWhitePlus RDG 835.

El trabajo de Fajardo (2021) describe de forma pormenorizada el método y las distintas aplicaciones que tiene la manufactura aditiva con materiales poliméricas. En él se describen las potencialidades de su uso a nivel de fabricación altamente precisa de piezas plásticas, lo que hace posible la elaboración precisa de piezas geométricamente complejas. En su investigación concluye que esta tecnología tiene múltiples aplicaciones, y cabe continuar investigando sobre las características de las materias primas utilizadas, la integración de parámetros de impresión y otros aspectos determinantes para utilizar dicha tecnología en su máximo potencial.

En la investigación de Silva (2022) realizada recientemente buscó analizar un material alternativo para un impulsor de la bomba de agua, para lo que se comparó el desempeño de ABS reforzado con fibra de kevlar, copoliéster reforzado con fibra de carbono, poliamida 6 y propileno, ambos reforzados con fibra de vidrio. De estos, el material que se presentó más adecuado en las pruebas fue el copoliéster reforzado con fibras de carbono.

Por lo mencionado, es preciso poner a prueba distintos materiales disponibles para elaborar piezas de automóviles que permitan volver más eficiente su funcionamiento, además de aumentar con ello la durabilidad. Esto aplica en particular para los impulsores de la bomba de agua, pues suelen ser comúnmente metálicos, lo que los expone a la corrosión y los vuelve ruidosos y menos eficientes.

Bases teóricas

Sistema de refrigeración del automóvil

Los motores de combustión interna requieren de sistemas de refrigeración para garantizar que su funcionamiento sea el adecuado. En los automóviles es fundamental que la temperatura de funcionamiento del motor se mantenga dentro de los parámetros preestablecidos, pues esto permite

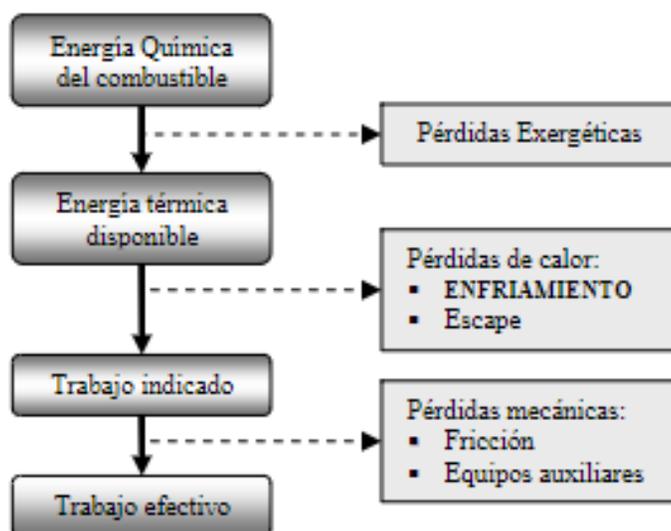
que la temperatura no exceda un límite en que se produzca demasiada dilatación, además de garantizar que los lubricantes mantengan sus propiedades (Sánchez R. , 2014).

El calor que se produce en este tipo de motores se debe a la fricción que se genera entre todos los elementos que están en movimiento y debido a la propia combustión de la mezcla que se lleva a cabo dentro del cilindro. De toda la energía que se produce en el motor, la que se aprovecha como trabajo se encuentra en torno al 30 %, de modo que el 70 % restante se libera en forma de calor (González, 2015).

En este sentido, todo sistema de refrigeración tiene como finalidad preservar la temperatura que permita al motor funcionar adecuadamente, lo que quiere decir que no debe estar demasiado refrigerado, pero tampoco debe superar una temperatura máxima (González, 2015). A continuación, en la **Figura 1** se muestra un esquema de la cadena de energía en los motores de combustión interna.

Figura 1.

Cadena de energía en motores de combustión interna

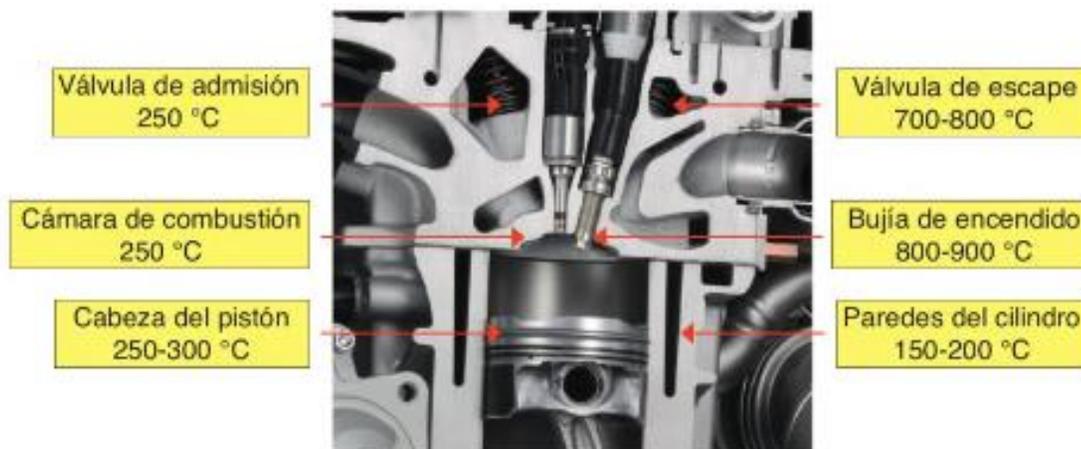


Nota. Tomado de (Romero & Carranza, 2007)

En términos generales, la temperatura a la que puede funcionar cada parte del motor se muestra en la **Figura 2**:

Figura 2.

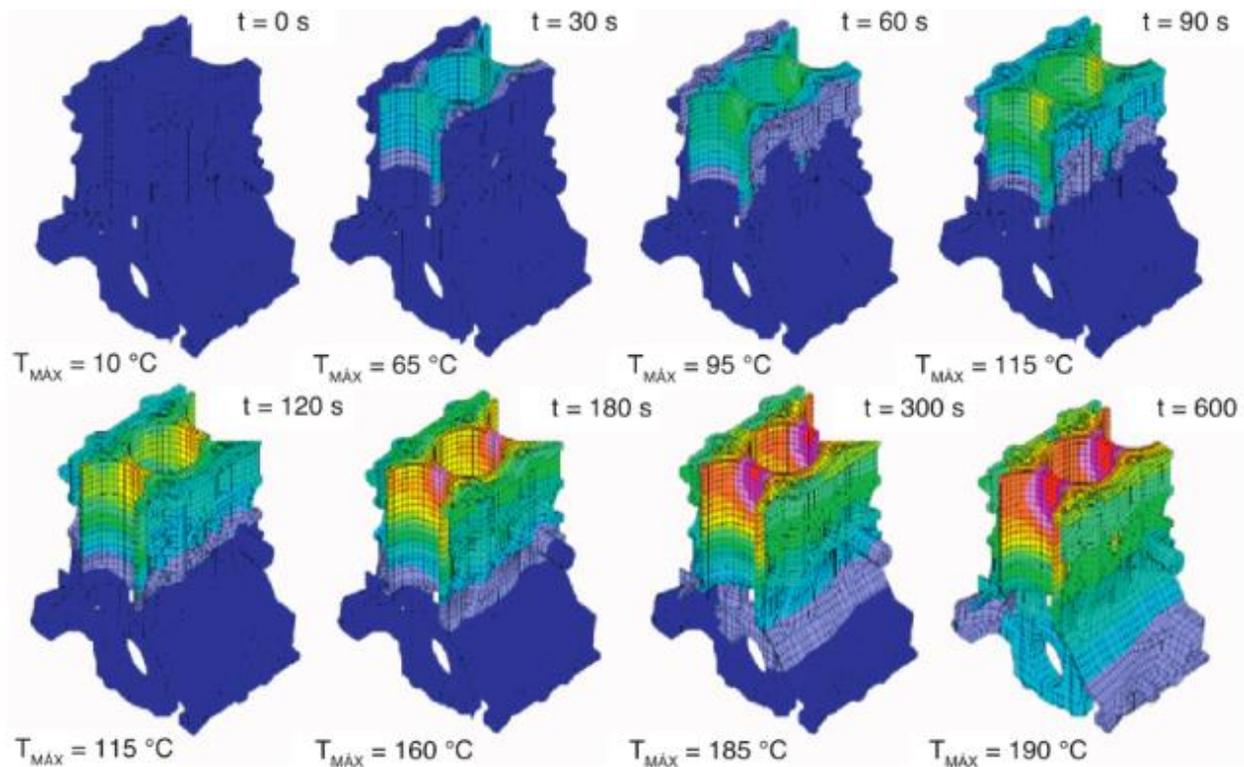
Temperatura de funcionamiento del motor



Nota. Tomado de (González, 2015)

Como se observa, un sistema de refrigeración necesita determinar adecuadamente el rango de temperatura que optimiza el funcionamiento de un motor; en este, la temperatura va evolucionando conforme funciona, de modo que es necesario tener claridad con respecto a cómo se desarrolla dicha evolución y cómo se presenta en cada una de las partes, de modo de garantizar con ello un sistema de refrigeración adecuada para optimizar el rendimiento del motor. El aceite a una temperatura reducida tiene demasiada viscosidad, mientras que a un nivel mayor se vuelve demasiado fluido (González, 2015).

A continuación, en la **Figura 3**, se muestra un diagrama de dicha evolución de temperatura desde el calentamiento inicial del motor hasta su temperatura óptima de funcionamiento:

Figura 3.*Evolución del calentamiento del motor*

Nota. Tomado de (González, 2015)

Esta evolución de la temperatura en el motor puede seguir determinados modelos; uno sencillo, descrito por Romero y Carranza (2007), es el que sigue:

$$C \frac{dT}{dt} = Q_i - Q_r \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Q_i = calor recibido en el sistema por el motor

Q_r = calor evacuado del sistema mediante el radiador y recuperadores de energía

Así, cuando el régimen es no estacionario, se tiene:

$$C \frac{d(\Delta T)}{dt} = \Delta Q_i - \Delta Q_r \quad \text{Ecuación 2}$$

En este caso, Q_i depende de la temperatura T que exista en el sistema en ese momento, de la velocidad angular en el cigüeñal ω y de la posición h en acelerador, de modo que la expresión linealizada es:

$$\Delta Q_i = \frac{\partial Q_i}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial Q_r}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial Q_i}{\partial h} \Delta h \quad \text{Ecuación 3}$$

Q_r , que es transmitida al exterior por el sistema, depende a su vez de la temperatura que tenga el líquido T saliendo de la culata. G corresponde al caudal que circula en medio de las galerías con su volumen, y la temperatura de entrada T_{en} es la que tiene el agua al ingreso del sistema. Así, la función respectiva linealizada es:

$$\Delta Q_i = \frac{\partial Q_r}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial Q_r}{\partial G} \Delta G + \frac{\partial Q_r}{\partial T_{en}} \Delta T_{en} \quad \text{Ecuación 4}$$

La variación ΔG depende de la rotación del impeler en la bomba (su frecuencia), además del desplazamiento que presente el órgano de control, que puede ser en este caso el termostato, Δx . Si se reemplaza esto en la ecuación anterior, teniendo en cuenta que $\Delta T_{en} = 0$ y que F_e (factor de estabilidad del proceso de enfriamiento es $F_e = \frac{\partial Q_r}{\partial T} - \frac{\partial Q_i}{\partial T}$, se tiene que:

$$C \frac{d\Delta T}{dt} + F_e \Delta T = \frac{\partial Q_r}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial Q_i}{\partial h} \Delta h + \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \omega} - \frac{\partial Q_r}{\partial \omega} \right) \Delta \omega \quad \text{Ecuación 5}$$

Así, por las propias características del motor y sus componentes, la estabilidad de la temperatura se relaciona con la respuesta de este al sistema de cambios de regímenes. Esto es preciso considerar para diseñar adecuadamente las partes del sistema de refrigeración (Romero & Carranza, 2007).

Para la refrigeración, se utiliza un líquido refrigerante, el cual es impulsado a través de un circuito de refrigeración grande y uno pequeño. Para esto, es preciso que se disponga de una bomba que impulse el líquido a través del sistema, la cual corresponde a uno de los componentes fundamentales del sistema de refrigeración. Este es el mecanismo que hace que el líquido circule

a través de todo el sistema de refrigeración mediante la conexión al cigüeñal, y trasladan el líquido al bloque motor, radiador, culata, entre otros componentes (Bermúdez & Quenan, 2015).

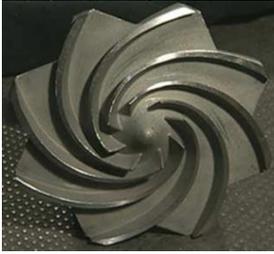
Impulsor de bomba de agua

Un impulsor representa la parte esencial de la bomba, pues, ayuda en el transporte de energía al fluido y están conformados por un cubo que permite la unión al eje – alabes, incluso tiene un disco posterior para separación el área de succión, descarga y gualdera, donde se depende del diseño. Pueden ser fabricados de acero, hierro, latón, aluminio y termoplásticos. La cantidad de alabes del impulsor tiene entre 2 y 7 según el tipo de uso (Predictiva, 2019). A continuación, en la **Tabla 1** se detalla los tipos de impulsores:

Tabla 1.

Tipos de impulsores

| <i>Tipo</i> | <i>Descripción</i> |
|---|---|
| Abiertos  | <ul style="list-style-type: none"> • Presenta alabes libres. • Utilizados para el movimiento de fluidos en bombas. • Los alabes se exponen a un alto nivel de esfuerzo hidráulico. |
| Semi abiertos | <ul style="list-style-type: none"> • El soporte del alabe es un plato ubicado en la parte posterior. • Utilizados en aplicaciones generales. |



- Para el balance de la presión se perforan los agujeros.

Cerrados



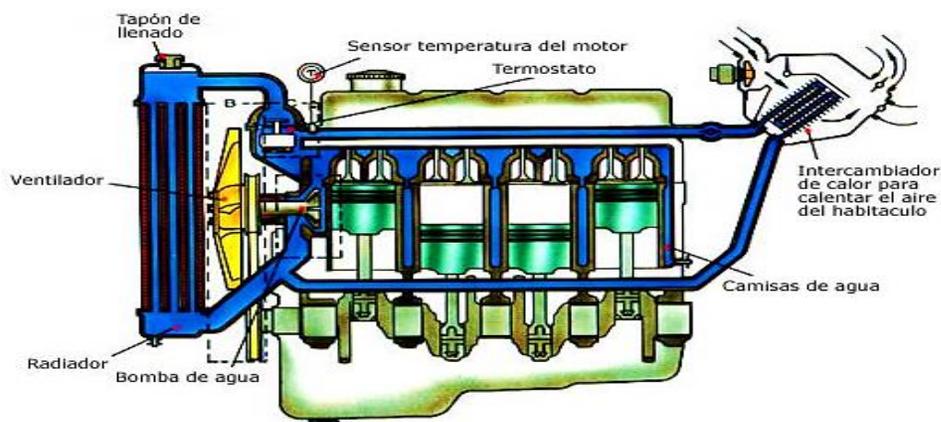
- Los alabes están cubiertos por plato frontal y posterior.
- Posee mejor control de fluido bombeado.
- Empleados en bombas multietapas.

Nota. Tomado de (Predictiva, 2019)

El impulsor forma parte del sistema de refrigeración de un vehículo, ayudando a la circulación del fluido refrigerante mediante conductos y enviando el calor sobrante al exterior. El sistema de refrigeración por bomba de agua está conformado por tapón de llenado, ventilador, radiador, impulsor bomba de agua, sensor temperatura de motor, termostato, camisas de agua e intercambiador de calor para calentar el aire del habitáculo, esto se aprecia en la **Figura 4**.

Figura 4.

Esquema sistema de refrigeración por bomba de agua



Nota. Tomado de (Granel, 2016)

El impulsor es una pequeña estructura con forma de hélice que se ubica en la bomba de agua y se encarga de mover el líquido refrigerante a través del motor para mantener la temperatura adecuada. Por ende, es impulsado por una correa que se conecta al motor, lo que significa que gira a la misma velocidad que el motor. Esto permite que la bomba de agua mueva constantemente el líquido refrigerante a través del motor (Silva, 2022; Montalvo, 2017).

Además, el impulsor ayuda a funcionamiento adecuado de las bombas de agua, donde las modificaciones en las hélices generan mayor flujo para eficiencia de la bomba y enfriamiento, es decir, que la forma incide en los impulsores, puesto que, cuando se tiene una superficie lisa disminuye la turbulencia, por ende, genera mejor desempeño. Por lo tanto, debido a la geometría de este elemento permite contar con caudal requerido para el sistema de refrigeración. La **Figura 5** presenta el esquema de impulsor de bomba.

Figura 5.

Impulsor bomba de agua



Nota. Tomado de (Granell, 2016)

Impresión en 3D

La impresión tridimensional (3D) consiste en manufactura aditiva utilizado para la creación de elementos u objetos, para ello emplea capas según el modelo digital. Para realizar la impresión se necesita de software, hardware y material, con esto se crean prototipos, piezas, implantes médicos, entre otros (Torrico, 2021).

Como se plantea en Jorquera (2016), la factura digital o impresión digital en el marco de procesos de fabricación de productos, constituye un importante fenómeno social: la posibilidad de elaborar con precisión nanométrica todo tipo de productos y maquinarias que, además, son autorreplicables, modifica en buena medida los procesos productivos en la actualidad. En este sentido, y siguiendo el planteamiento del autor, la fabricación digital mediante impresión 3D implica una nueva forma de industrialización, y es posible que conlleve, por tanto, una nueva etapa de revolución en la industria.

Esta fabricación se lleva a cabo mediante las impresoras 3D (ver 6), que son hardware periféricos de tipo electromecánico que desde los archivos digitales CAD (Computer-Aided Design) crean objetos a través de adición de capa plástica, es así que se obtienen formas básicas y complejas, donde se tiene la posibilidad de utilizar materiales exóticos (López, 2021).

Figura 6.

Impresora 3D



Nota. Tomado de (Jaramillo, 2019)

Manufactura Aditiva FDM (Fused Deposition Modeling)

La manufactura aditiva en general es como se denomina al proceso general de producción en impresoras en 3D, el cual consiste en la adición capa a capa de material para la elaboración de un objeto tridimensional. Este tipo de factura se puede realizar de diversos modos, entre los cuales consta la deposición del material fundido o FDM. Así, la manufactura aditiva (FA) corresponde a la tecnología aplicada para la obtención de prototipos rápidos según ASTM F2792. Su proceso se enfoca en añadir materiales capa por capa con la finalidad construir elementos tridimensionales,

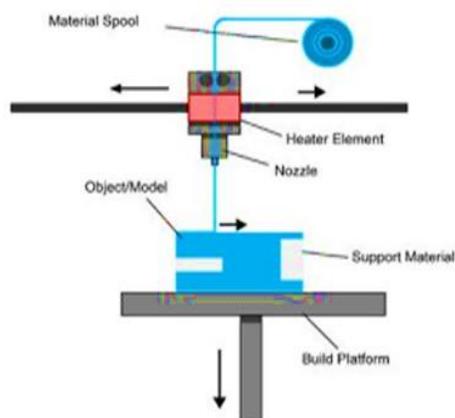
por lo que se utiliza modelamiento computarizado en 3D. En la manufactura aditiva se distinguen diversas técnicas como Estereolitografía (SLA), Fotopolímeros (Polyjet), LOM (Laminated Object Manufacturing), modelado por deposición fundida (FDM), entre otros (López, 2021).

El proceso, en términos generales, consiste en un diseño inicial mediante algún software para diseño y modelado en 3D, el cual es necesario transformar en STL (*stereolithography*). Con esto, es posible definir para la impresión de manera adecuada las estructuras externas de superficie cerrada del modelo original, de modo que sobre él es posible calcular cada una de las capas que serán añadidas. Así, el paso final es la creación de un archivo G-Code, que es leído por la impresora en 3D (Martí, 2017).

En cuanto a la Manufactura Aditiva FDM es una tecnología de impresión 3D que utiliza un filamento de material termoplástico que se calienta y se deposita capa por capa para crear un objeto tridimensional (Fajardo, 2021). El método permite la fabricación de objetos de distintas geometrías, inclusive algunas extremadamente complejas. Esto hace que sea útil para para realizar prototipos ágilmente, para la fabricación de autopartes, herramientas y moldes personalizados, entre otras (Fajardo, 2021). La estructura de la impresora FDM se muestra en la **Figura 7**.

Figura 7.

Estructura impresora FDM



Nota. Tomado de (López, 2021)

Durante el proceso de impresión, el filamento se integra a través de una boquilla que se mueve a través de una trayectoria definida; luego, el material fundido es depositado en capas sucesivas para construir el objeto deseado según los parámetros que se ingresaron. A medida que cada capa se deposita y se solidifica, la boquilla se mueve hacia arriba para construir la siguiente capa, y así sucesivamente, hasta que se completa todo el objeto (Velasco, Suárez, & Restrepo, 2016).

Algunos de los métodos comúnmente utilizados son los siguientes según las bases utilizadas (Martí, 2017):

- Base líquida: Este método consiste en la elaboración de las piezas mediante una base líquida que se solidifica en la creación de cada capa; dentro de este sistema, se encuentran tres tecnologías distintas, SLA, DLP y MJM. Se utilizan usualmente resinas fotopoliméricas.
- Base en polvo: En este caso, el material base es el polvo, el cual es fusionado o unido con aglomerante para la generación de la pieza. Pueden utilizarse polímeros o cerámicos, e incluso metales. EBM, SLS, DMLS, BI o LMD son algunas de las tecnologías que utilizan bases en polvo.
- Láminas sólidas: O LOM, consiste en la elaboración del objeto mediante la adición de láminas que son posteriormente contorneadas con cuchillas automáticas o bien láser. Las distintas tecnologías modifican la manera en la que se adhieren las capas. Dentro del uso de sólidos, también se encuentra la tecnología FDM, la cual se basa en el uso de filamentos, y es la que se aborda en el presente trabajo.

- **Aplicaciones de FDM**

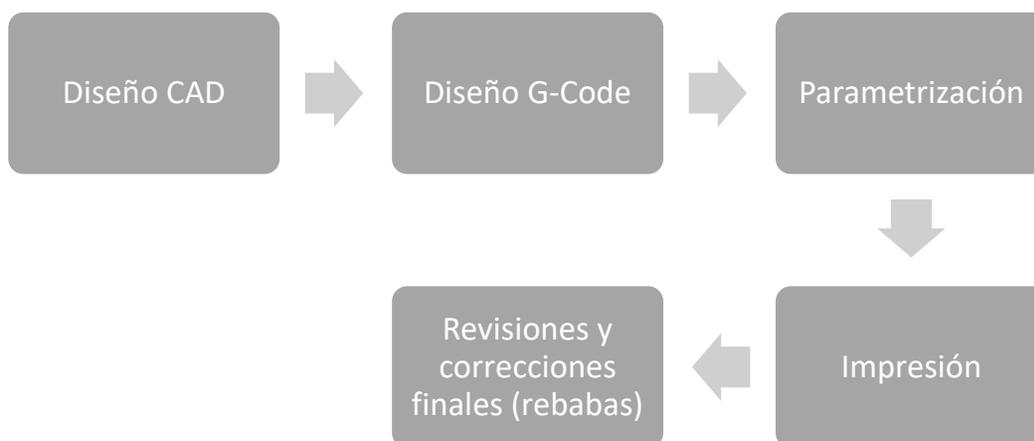
Este método de impresión 3D tiene múltiples aplicaciones. Ha sido utilizado extensamente para el ámbito educativo como herramienta de creación de material didáctica; en arqueología, la impresión 3D ha permitido la creación de modelos muy aproximados a los reales para realizar recreaciones sin poner en peligro los originales; en el ámbito artístico se ha desarrollado igualmente como una técnica de creación; la biotecnología es uno de los ámbitos con más investigación para su uso, pues puede utilizarse en la ingeniería de tejidos (Martí, 2017).

Funcionamiento impresora por método FDM

Según Cano y Serrano (2021) mediante esta técnica se realiza el proceso capa a capa mediante uso de los filamentos hasta que se forme la pieza diseñada. Es una de las técnicas más utilizadas en la actualidad (Martí, 2017). El proceso de diseño y factura es como sigue (ver **Figura 8**):

Figura 8.

Proceso de diseño e impresión en 3D



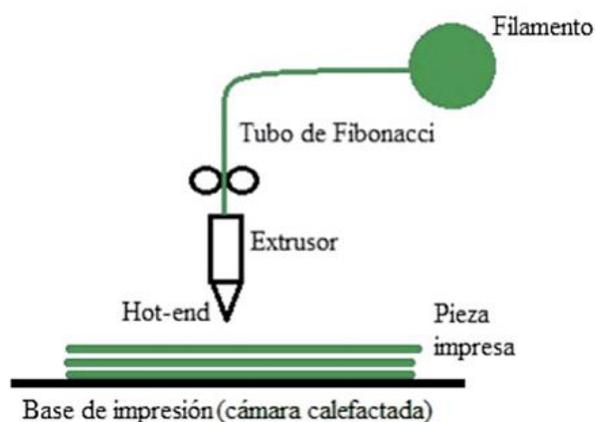
Nota. Elaboración propia con base en Martí (2017).

Una vez que se ha llevado a cabo el proceso de diseño inicial y se tiene el archivo G-Code, continúa el procedimiento de factura como tal. El filamento se ubica en la bobina, donde se va

fundiendo mientras va atravesando por el extrusor que se desplaza en X e Y, en la cual se va formando las capas. Mientras la cama se mueve en el eje Z, este desciende para formar una capa nueva. Cabe mencionar que en el extrusor se calienta el filamento para la formación de la pieza; dentro de este elemento se encuentra el motor con la finalidad de generar potencia para el arraste del filamento y fundición, depositando capa por capa en la cama (Cano & Serrano, 2021). El funcionamiento se aprecia en la **Figura 9**.

Figura 9.

Funcionamiento impresora FDM



Nota. Tomado de (Cano & Serrano, 2021)

Filamentos poliméricos

Los filamentos para la impresión en 3D se presentan enrollados en una bobina; tienen distintos diámetros dependiendo del modelo de impresora a utilizar, siendo los más comunes los de entre 1.75 mm a 3 mm (Martí, 2017).

Algunos de los materiales más comunes utilizados en la FDM son los filamentos de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el PLA (Ácido Poliláctico), el Nylon, el TPU (Poliuretano Termoplástico) y el PETG (Glicol Modificado con Tereftalato de Polietileno), entre otros (Fajardo, 2021; Silva, 2022).

El uso de filamentos ayuda a reducir el ruido y la vibración producidos por el impulsor, a diferencia de los que son de metal. Cuando el impulsor gira a alta velocidad, puede producir un zumbido o una vibración que se transmite al resto del sistema de enfriamiento. Además, los filamentos pueden ayudar a prolongar la vida útil del impulsor. Los impulsores de bomba de agua de metal pueden desgastarse con el tiempo debido a la fricción y la corrosión, lo que puede reducir su eficiencia y eventualmente causar fallas en la bomba de agua. Los filamentos de plástico son más resistentes a la corrosión y la fricción, lo que significa que pueden durar más tiempo antes de requerir reemplazo (Silva, 2022).

En este trabajo, se utilizarán filamentos de policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU como una alternativa viable en la fabricación de autopartes. Estos se describen a continuación (Tambrallimath et al., 2019).

- **ABS:** el acrilonitrilo butadieno estireno corresponde a un polímero fácilmente disponible que tiene como características ser altamente rígido, procesable y brillante. Su distorsión térmica se lleva a cabo en torno a los 100 - 110°C. Su costo es relativamente elevado. A continuación (**Tabla 2**) muestra las características de este material en el contexto de la impresión.

Tabla 2.

Características ABS

| <i>Parámetros en impresión</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------------------|--|
| Temperatura de extrusión | • 220 -270°C |
| Temperatura de plataforma | • 90-110°C |
| Observaciones | • No se biodegrada. • Puede reciclarse. |

Nota. Tomado de Martí (2017)

- PC: el policarbonato: material termoplástico versátil y maleable, de alta resistencia a los impactos, estable y tenaz. Es adecuado para el aislamiento eléctrico o bien para exponerse a rayos ultravioleta. No obstante, presenta una sensibilidad notoria al entallado y a la acción de determinados químicos. A continuación (**Tabla 3**) muestra las características de este material en el contexto de la impresión.

Tabla 3.*Características policarbonato (PC)*

| <i>Parámetros en impresión</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------------------|---|
| Temperatura de extrusión | • 250-285°C |
| Temperatura de plataforma | • 100-110°C |
| Observaciones | • Puede ser utilizado con laca para la mejora de la adherencia a la primera capa. |

Nota. Tomado de Martí (2017)

- PC+ABS: añadir ABS al PC lo transforma en un material más versátil y con gran capacidad para su procesabilidad, manteniendo la resistencia del PC. Las características del material resultante dependen de la proporción en las que se lleve a cabo la combinación.
- Nylon: corresponde a un copolímero de buena calidad diseñado para la impresión #D. Tiene una dureza elevada sumada a buena elongación, una buena resistencia al quiebre y a la fatiga, además de ser resistente químicamente. Sin embargo, también tiene un costo notoriamente más elevado que las alternativas (Martí, 2017). A continuación (**Tabla 4**) se muestran las características de este material en el contexto de la impresión.

Tabla 4.*Características nylon*

| <i>Parámetros en impresión</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------------------|---|
| Temperatura de extrusión | <ul style="list-style-type: none"> • 225-260°C |
| Temperatura de plataforma | <ul style="list-style-type: none"> • 40-60°C |
| Observaciones | <ul style="list-style-type: none"> • No despiden humo u olores durante la impresión. |

Nota. Tomado de Martí (2017)

- Fibra de carbono: Esta corresponde a un producto derivado del petróleo, el cual se conforma con microfilamentos de entre 10 y 50 micras de espesor, que se componen de átomos de carbono, entre otros. Sus aplicaciones son variadas en la actualidad. Tiene una alta resistencia y una buena capacidad de aislamiento térmico. Sin embargo, presenta un costo elevado por la dificultad de su proceso productivo (Zuluaga, 2018).
- Poliuretano Termoplástico (TPU): es una subclase de termoplásticos, siendo un filamento flexible, duradera y soportan temperaturas de hasta 80°C. Es fácil de imprimir gracias a la excelente adherencia de la cama y la tendencia del filamento para no deformar e ideal para una gran variedad de proyectos (Amazon, 2023).

Solidworks

Como se mencionó en apartados anteriores, el proceso de impresión 3D se lleva a cabo partiendo por el diseño de la pieza y el establecimiento de los parámetros de impresión. SolidWorks es una herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) utilizada sobre todo en

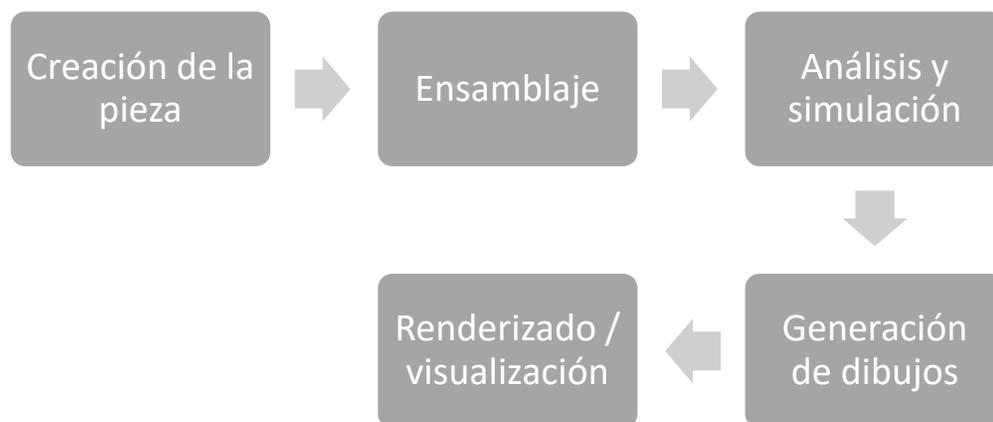
ingeniería mecánica y diseño industrial. Esta corresponde a una plataforma integral para crear, simular, analizar y visualizar modelos en 3D de piezas y conjuntos (SolidWorks, 2023).

En términos generales, el proceso de diseño en SolidWorks se lleva de la siguiente manera

(Figura 10):

Figura 10.

Uso de SolidWorks para diseño 3D



Nota. Elaboración propia con base en (Rodríguez & López, 2015)

- **Creación de piezas:** En primer lugar, se comienza creando piezas en 3D utilizando varias herramientas, como extrusión, revolución, barrido, entre otras. Estas operaciones permiten dar forma a la geometría de la pieza y agregar detalles como orificios, cortes y chaflanes.
- **Ensamblaje:** Una vez que se han creado las piezas individuales, se ensamblan en conjuntos. El software proporciona herramientas para poner las piezas en la posición correcta, establecer relaciones entre ellas (como restricciones, alineaciones y uniones) y gestionar la interacción entre los componentes.
- **Análisis y simulación:** SolidWorks permite análisis y simulación para evaluar el rendimiento y el comportamiento de la pieza diseñada. Se pueden realizar análisis de resistencia estructural, análisis de flujo de fluidos, análisis térmico, análisis de movimiento, entre otros.

- Generación de dibujos: SolidWorks facilita la creación de dibujos detallados a partir de los modelos 3D. Es posible generar vistas en 2D de forma automática, agregar dimensiones, tolerancias y anotaciones. Estos dibujos son necesarios para la fabricación y la documentación del diseño.
- Renderizado y visualización: Se pueden finalmente realizar recreaciones fotorrealistas de las piezas creadas mediante el uso de materiales, texturas, iluminación y cámaras para generar representaciones visuales realistas.

Además, otras herramientas disponibles con el software son la creación de rutas de cables y tuberías, herramientas de chapa metálica, simulación de moldes y matrices, diseño paramétrico y una biblioteca extensa de componentes estándar (SolidWorks, 2023).

Metodología

Tipo de investigación

La metodología empleada en este estudio se basa en un enfoque cuantitativo, que implica el uso del software "CURA" para preparar modelos 3D destinados a la impresión en una impresora 3D. Se consideraron diversas configuraciones que incluyen tres opciones de densidad de relleno (50%, 70% y 100%), distintas temperaturas según el tipo de material utilizado, y se mantuvo una velocidad constante de 60mm/s en todos los casos.

El diseño de la investigación es experimental, puesto que, una vez elaborado el prototipo se realiza el análisis del funcionamiento, es decir, se efectúa la manipulación de la variable independiente y dependiente (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). La primera variable corresponde al diseño del impulsor de la bomba con diferentes filamentos poliméricos mediante la técnica FDM mientras que la segunda variable se basa en el análisis de la funcionalidad del impulsor de la bomba en el banco de pruebas.

El alcance del estudio se basa en una investigación aplicada, pues, a nivel teórico se fundamentó el proyecto mediante indagación sobre el sistema de refrigeración del automóvil, impulsor de bomba, impresión 3D, FDM, filamentos y SolidWorks. Posteriormente, se realiza los cálculos correspondientes para el análisis del funcionamiento del impulsor de la bomba. Respecto a su temporalidad, este trabajo fue transversal, ya que se desarrolló en un período determinado (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

Los métodos utilizados en el estudio son los siguientes:

- Investigación bibliográfica documental: Se toma en cuenta los artículos, revistas, manuales, libros, entre otros; esto con la finalidad la sustentación teórica del proyecto relacionada con el tema del proyecto.

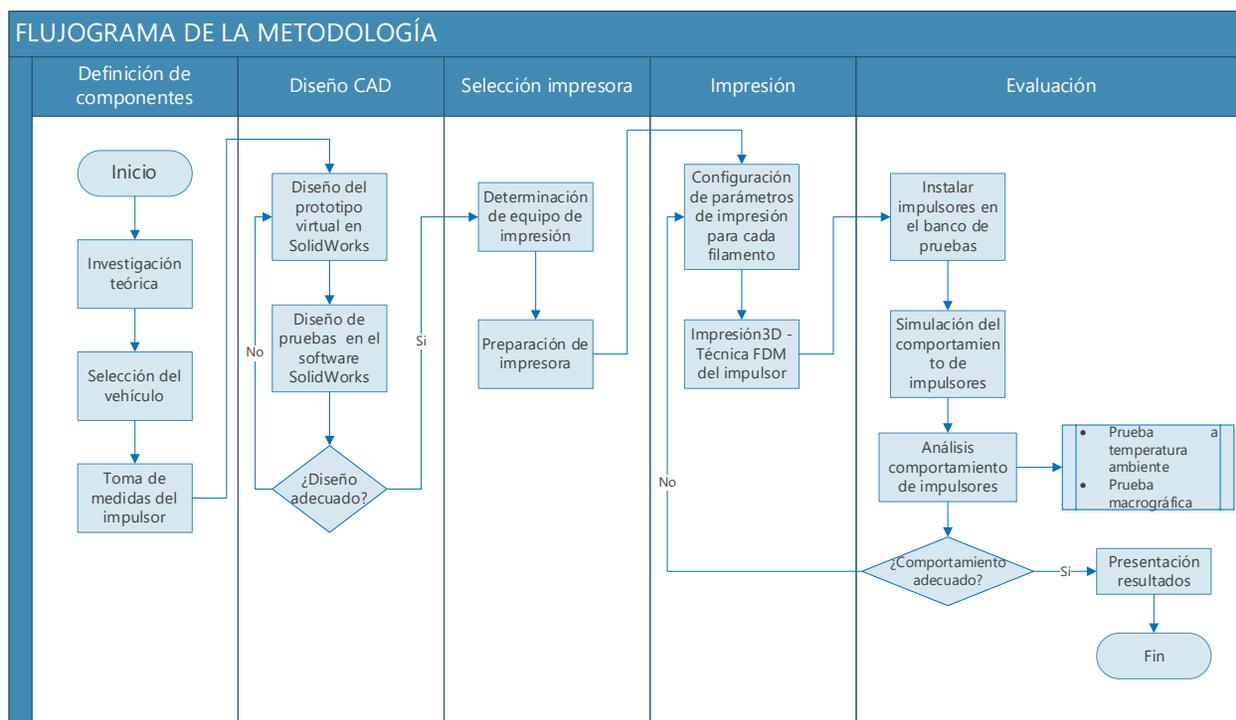
- Prueba: Se utiliza para analizar el comportamiento del impulsor de la bomba de agua para comparar los filamentos a diferentes temperaturas y rellenos.
- SolidWorks: Se utiliza esta herramienta para rediseñar el impulsor de bomba de agua del vehículo.
- Adición FDM: Es una técnica de impresión en 3D por FDM para la producción de piezas (impulsor de la bomba de agua) mediante el mecanismo de fabricación de capas.

Proceso

El proceso llevado a cabo para analizar el funcionamiento del impulsor de la bomba de agua del automóvil construido mediante proceso de manufactura aditiva FDM constó con cinco fases, las cuales se sintetizan en el diagrama de flujo a continuación (**Figura 11**).

Figura 11.

Flujo de metodología



Nota. Detalle del proceso de metodología práctica. Elaboración propia

Definición de componentes

Para determinar los componentes para el estudio, se realizó una revisión bibliográfica documental con la finalidad de identificar adecuadamente tanto la tecnología como los materiales y el modelo del automóvil para el cual diseñar el impulsor de bomba de agua.

Selección de vehículo

La determinación del vehículo se llevó a cabo mediante un estudio documental sobre las marcas y modelos más comercializados en el país durante los últimos cinco años. Se tiene, por tanto, el siguiente conjunto de opciones (**Tabla 5**):

Tabla 5.

Automóviles más vendidos en Ecuador en 2022

| <i>Marca</i> | <i>Modelo</i> | <i>Nro. Vendidos</i> |
|--------------|---------------|----------------------|
| Chevrolet | D-MAX | 7.194 |
| Kia | Soluto | 5.243 |
| Jetour | X70 | 3.814 |
| Chevrolet | Captiva | 3.458 |
| Great Wall | Wingle | 3.343 |

Nota. Adaptado de (AutoMagazine, 2023; Patiotuerca, 2023; InformaciónEcuador, 2023; Carburando, 2022; AEADE, 2023)

Para determinar el automóvil seleccionado, se tuvieron en cuenta como criterios: antigüedad del modelo, producción actual, discontinuación o próximos a serlo, este último genera disminución de la fabricación de los repuestos de autopartes, por ende, mayor complicación para adquirir los mismos. Así, el modelo seleccionado es Chevrolet Spark It., pues, a pesar que la marca

es la más vendida en el país, el modelo no lo es debido a que en febrero del 2022 fue discontinuado en Ecuador. La bomba de agua del vehículo se muestra en la **Figura 12**.

Figura 12.

Bomba de agua Chevrolet Spark It



Nota. Muestra la bomba de agua del vehículo.

Análisis de fuerzas que actúa sobre las aspas del impulsor

El análisis de las fuerzas que actúan sobre las aspas del impulsor desempeña un papel crucial al captar el flujo de fluido para generar una fuerza de empuje o movimiento al interactuar con el mismo. Cuando el impulsor está en funcionamiento, las aspas se mueven a través del fluido y están sometidas a diversas fuerzas. En el caso de la bomba de agua, las aspas del impulsor se mueven girando alrededor de un eje central del motor. A medida que el motor gira, el eje de la bomba también gira, lo que impulsa el movimiento rotatorio de las aspas del impulsor. Al girar, las aspas generan una fuerza centrífuga que impulsa el fluido desde el centro del impulsor hacia el exterior, creando presión y flujo en el sistema. Las fuerzas sobre las aspas pueden ser por:

- **Fuerzas aerodinámicas:** Se produce por momentos que actúan en el eje del rotor, donde el pistón se mueva hacia abajo, generando aceleración. Mientras que cuando se mueve hacia arriba se desacelera. En el torque se distribuye a lo largo de las

aspas. En el empuje representa una fuerza axial, distribuyendo de manera lineal sobre el aspa.

- Fuerzas inerciales: En la gravedad el peso del aspa genera momento flector, tangencial y radial; pues, cuando se concentran estas fuerzas ocasiona sección crítica del aspa. En la inercia los rotores rotan en dos ejes deriva de la fuerza del viento, donde los ejes imponen fuerzas sobre las aspas
- Fuerzas ocasionadas por carga (bomba): En el ciclo de bombeo, el pistón se encuentra en ascenso desplazando el agua, ejerciendo fuerza radial.

Por lo tanto, la fuerza axial actúa a lo largo del aspa, generando esfuerzo uniforme. Mientras que la fuerza tangencial actúa sobre las aspas de manera circular. La fuerza radial empuja hacia el eje de salida de las aspas derivado de la tensión y peso (Santana, 2007).

Toma de medidas del impulsor

Previo a la toma de medidas se procedió a desarmar la bomba de agua del vehículo, para esto se utilizó herramientas adecuadas con la finalidad de evitar dañar el componente. Las herramientas utilizadas se observan en la Figura 13.

Figura 13.

Herramientas para desarmar la bomba de agua



Nota. Muestra las herramientas para el desarmado de la bomba del vehículo.

De acuerdo, al vehículo seleccionado se determina la bomba de agua es de modelo Spark It marca Chevrolet (Figura 14).

Figura 14.

Impulsor de bomba Chevrolet Spark It



Nota. Muestra la forma de medición del impulsor

Luego, se toma las medidas del impulsor, para ello, se procedió a desmontar la bomba de agua del automóvil y obtener impulsor. Es así que se utiliza herramientas adecuadas para evitar alteración la forma del impulsor. Una vez desmontado la bomba de agua se obtuvo el impulsor y se procedió a efectuar mediciones, por lo que se utilizó un calibrador pie de rey (**Figura 15**).

Figura 15.

Toma de medidas del impulsor



Nota. Muestra la forma de medición del impulsor

Diseño CAD en SolidWorks

Una vez obtenidas las medidas del impulsor de la bomba de agua del automóvil seleccionado, se pasó a la etapa de diseño CAD de un prototipo 3D. Para ello, se utilizó el software SolidWorks. Las etapas que se siguieron fueron las siguientes:

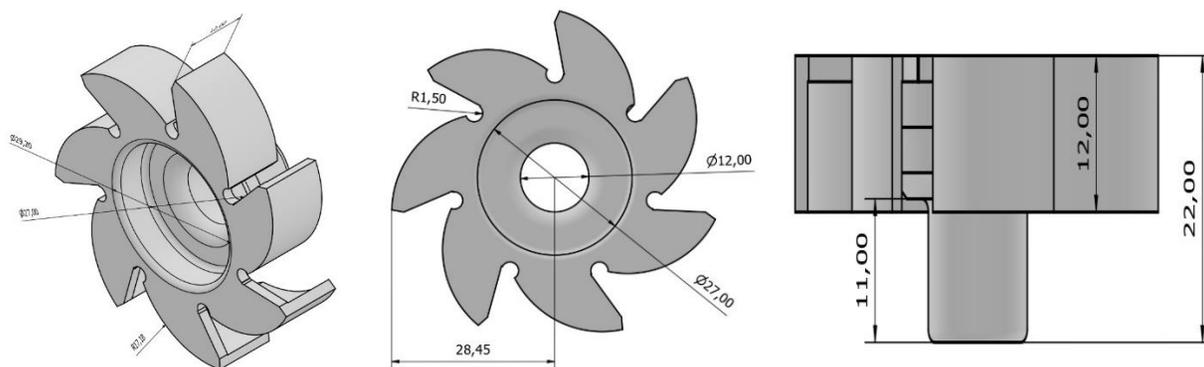
- Diseño prototipo virtual
- Diseño de pruebas en software

Diseño prototipo virtual

Previo al diseño virtual o modelado CAD del impulsor se consideró las medidas del prototipo original tomadas en el proceso anterior. Luego se diseñó el modelado en el software SolidWorks (Figura 16).

Figura 16.

Diseño virtual del impulsor



A. Vista lateral del impulsor

B. Vista frontal del impulsor

C. Vista periférica del impulsor

Nota. Muestra el diseño del impulsor

Diseño de pruebas en software

Una vez que se tiene el diseño virtual del impulsor de la bomba de agua se verifica que las medidas ingresadas en el software sean las adecuadas y que cumplan las especificaciones técnicas según el modelo del vehículo.

Selección de equipo

Criterios para selección materiales y equipos

Materiales

Para el proyecto se consideró cuatro tipos de filamentos, para la selección de los mismos se utilizó criterios como:

- Uso
- Facilidad para imprimir
- Adaptabilidad a la impresora seleccionada
- El nivel de temperatura de impresión debe ser baja
- Resistencia, fuerza y rigidez.

De acuerdo con los criterios anteriores, se ha optado por el uso de filamentos para materiales poliméricos Policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU para evaluar el funcionamiento y la fabricación del impulsor de bomba. Para el éxito del proyecto se utilizó cuatro materiales, por ende, se imprimirá cuatro impulsores según las medidas tomas y el diseño del prototipo virtual, pero tomando en cuenta la composición estructural de cada uno.

Cabe mencionar que, el policarbonato con ABS es un filamento utilizado para la fabricación de prototipos porque tiene alta resistencia a impactos, calor y a la flexión. El filamento PC Policarbonato es resistente, duradero y fuerte, incluso con técnica FDM se puede imprimir a temperaturas entre 250 – 285°C. El filamento fibra de carbono de nylon es resistente impacto, térmica, química, durable y a bajas temperaturas (-20°C), pues, se usan en la elaboración de partes mecánicas. Finalmente, el filamento TPU es resistente al impacto, abrasión, corte, al desgaste y a bajas temperaturas; así como flexibilidad (**Tabla 6**).

Tabla 6.*Características de filamentos*

| Producto | PC Policarbonato | PC + ABS | Fibra de carbono + Nylon | TPU |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| Marca | Orbitech | Polymaker | Fillamentum | Fillamentum |
| Temp. Impresión | 250-285°C | 250-270°C | 235-260°C | 220-240°C |
| Temp. base | 100-110°C | 90-105°C | 80-100°C | 50-60°C |
| Velocidad impresión | 40 – 60 mm/s | 30 – 50 mm/s | 20 – 30 mm/s | 20 – 30 mm/s |
| Tolerancia | ±0.05mm | ±0.05mm | ±0.10mm | ±0.10mm |
| Diámetro | 1.75mm 2.85mm | 1.75mm 2.85mm | 1.75mm 2.85mm | 1.75mm 2.85mm |
| Impacto | 179/1eU Kj/m ² | 25.8 kJ/m ² | 86.2 kJ/m ² | 47.3 kJ/m ² |
| Tracción | 66 Mpa | 39.9 MPa | 54.5 MPa | 53.7 MPa |
| Flexión | 97 Mpa | 63.3 MPa | 122 MPa | 4.3 MPa |
| Temperatura reblandecimiento | 145°C | 135°C | 160°C (fusión) | 90°C |

Nota. Adaptado de (Martí, 2017; Filament2print, 2023; Filament2print, 2023; Filament2print, 2023)

Impresora

Para seleccionar el equipo de impresión, en primer lugar, se tomó en consideración la información obtenida con la investigación bibliográfica documental inicial. Por lo tanto, la impresora seleccionada para aplicar la técnica FDM es Artillery Sidewinder X1 (**Figura 17**).

Figura 17.

Impresora seleccionada



Nota. Impresora Artillery Sidewinder X, tomado de Amazon (2023)

Cuyas características son las siguientes:

- Presenta un volumen de trabajo de 300*300*400mm.
- Tiene 150 mm/s de velocidad máxima.
- Muestra hasta 50 micras en la calidad de impresión.
- Tiene sistema doble husillo y recupera la impresión en caso de corte de energía eléctrica.
- Puede detectar la rotura del filamento.
- La pantalla es a color y táctil.
- Permite imprimir con filamentos como TPU, ABS, PLA, entre otros.
- No genera ruido al momento de imprimir (Amazon, 2023).

Configuración de la máquina para la impresión

En la interfaz gráfica del programa "CURA" se ingresaron varias configuraciones, entre las cuales se encuentra la densidad de relleno que es del 50%, 70% y 100%; la temperatura del relleno es de 260°C para los tres tipos de relleno con ABS, de 255°C para fibra de carbono y nylon y de 200°C para TPU. La velocidad de impresión fue de 60mm/s.

Antes de abordar la descripción detallada de los parámetros y configuraciones utilizados en el proceso de impresión de cada uno de los impulsores, es fundamental comprender los aspectos clave que tienen un impacto en la fabricación de estas piezas.

Calidad: La calidad se define en términos de la altura de cada capa que puede lograrse al imprimir una pieza. Sin embargo, esta altura de capa varía en función del ancho de la boquilla utilizada en la impresora 3D. Es decir, no se obtendrá la misma altura de capa cuando se utiliza una boquilla de 0,2 mm en comparación con una boquilla de 0,4 mm. En otras palabras, la elección del ancho de la boquilla es un factor crucial en la calidad de impresión, ya que determina la altura máxima de cada capa. Por consiguiente, para la fabricación del impulsor del presente proyecto se emplea una altura de 0.16mm y altura de capa inicial 0.16mm.

Figura 18.

Criterios para calidad

| Calidad | | |
|------------------------|---|---------|
| Altura de capa |   | 0.16 mm |
| Altura de capa inicial |   | 0.16 mm |

Nota. criterios considerados para la calidad

Paredes: El número de paredes en una pieza depende en gran medida de las necesidades específicas de la misma. Por lo general, se comienza con al menos una pared y se incrementa según sea necesario. Es fundamental que se analice las características de cada una de las piezas para adaptarlas a las necesidades específicas. En este caso el grosor de las paredes es de 1.76mm, con un recuento de líneas de pared de 4.

Figura 19.

Criterios para paredes

| Paredes | | |
|-----------------------------|------|----|
| Grosor de la pared | 1.76 | mm |
| Recuento de líneas de pared | 4 | |
| Expansión horizontal | 0.0 | mm |

Nota. criterios considerados para las paredes

Capa Superior e Inferior: es importante en la impresión 3D de una pieza. Estas capas son necesarias tanto por razones estéticas como para mejorar la resistencia y evitar la fragilidad de la pieza. Se utiliza un valor de 0.8 mm para las capas superiores e inferiores, lo cual contribuye a lograr una apariencia más estética en el impulsor. Igualmente, sobre la capa inferior se coloca el relleno de la pieza, mientras que las capas superiores e inferiores con un valor de 5 se utilizarán para sellar el relleno, proporcionando un acabado más sólido y completo.

Figura 20.

Criterios de capas superior e inferior

| Superior o inferior | | |
|--------------------------|-----|----|
| Grosor superior/inferior | 0.8 | mm |
| Grosor superior | 0.8 | mm |
| Capas superiores | 5 | |
| Grosor inferior | 0.8 | mm |
| Capas inferiores | 5 | |

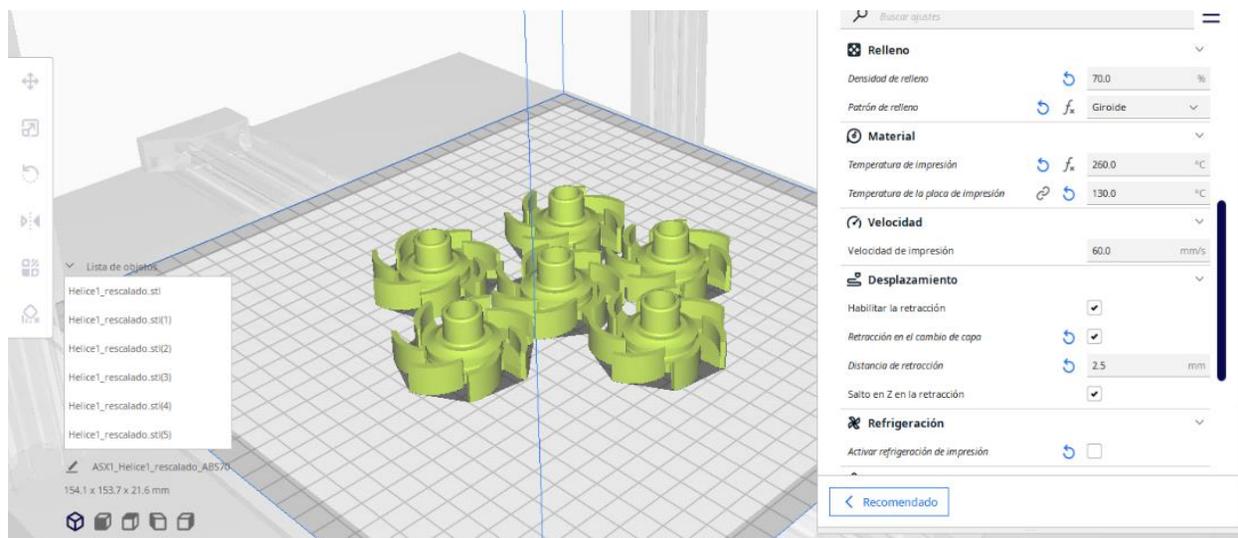
Nota. Impresiones de capas

Relleno: el relleno en la fabricación de piezas impresas en 3D es fundamental, ya que tiene un impacto significativo en la resistencia de la pieza. La configuración del relleno depende de las necesidades específicas del proyecto. Se utiliza un patrón de relleno en forma de triángulo, el cual se ha demostrado que brinda una buena combinación de resistencia y eficiencia de material. Los

valores de densidad empleados oscilan entre el 50% y el 70% y el 100% de relleno que representa una pieza maciza.

Figura 21.

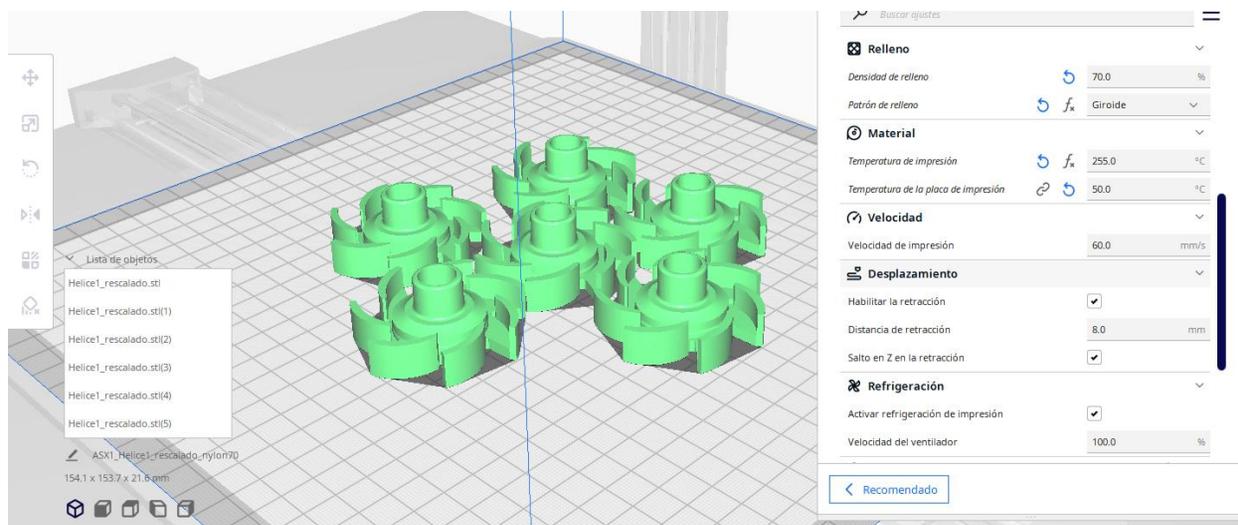
Configuración para la impresión del impulsor al 50%



Nota. Impresiones de capas del impulsor color verde con relleno al 50%.

Figura 22.

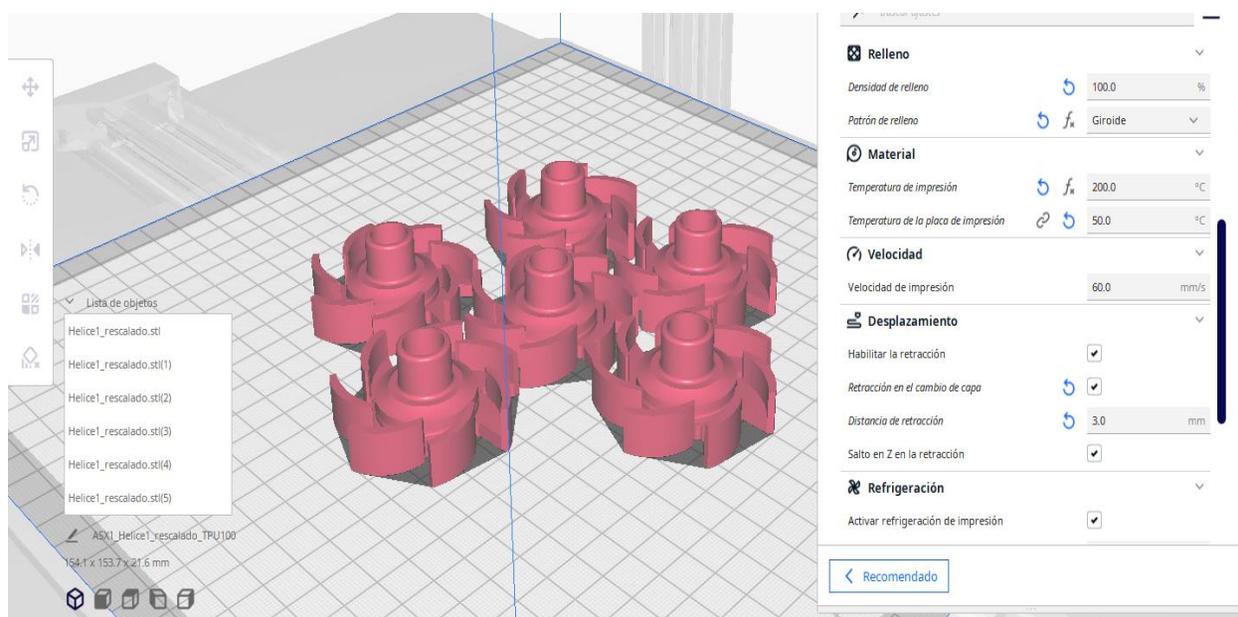
Configuración para la impresión del impulsor al 70%



Nota. Impresiones de capas del impulsor color verde claro con relleno al 70%.

Figura 23.

Configuración para la impresión del impulsor al 100%



Nota. Impresiones de capas del impulsor color rojo con relleno al 100%.

Material: temperatura de fusión del plástico varía dependiendo del tipo de material utilizado. Las temperaturas pueden oscilar entre valores bajos y altos, que van desde los 50°C hasta los 260°C. Esta variación en las temperaturas se debe a las diferentes propiedades y características de los distintos materiales utilizados en la impresión 3D.

Tabla 7.

Material utilizado en función de las temperaturas de fusión ABS

| Material | 50% | 70% | 100% |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|
| Temperatura de impresión | 260°C | 260°C | 260°C |
| Temperatura de la placa de impresión | 130°C | 130°C | 130°C |

Nota. En la tabla se describe los materiales con su correspondiente temperatura de fundición de abs

Tabla 8.

Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de fibra de carbono

| Material | 50% | 70% | 100% |
|--------------------------------------|------------|------------|-------------|
| Temperatura de impresión | 255°C | 255°C | 255°C |
| Temperatura de la placa de impresión | 100°C | 100°C | 100°C |

Nota. En la tabla se describe los materiales con su correspondiente temperatura de fundición de fibra de carbono

Tabla 9.

Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de nylon

| Material | 50% | 70% | 100% |
|--------------------------------------|------------|------------|-------------|
| Temperatura de impresión | 255°C | 255°C | 255°C |
| Temperatura de la placa de impresión | 55°C | 50°C | 50°C |

Nota. En la tabla se describe los materiales con su correspondiente temperatura de fundición de nylon

Tabla 10.

Material utilizado en función de las temperaturas de fusión de TPU

| Material | 50% | 70% | 100% |
|--------------------------------------|------------|------------|-------------|
| Temperatura de impresión | 200°C | 200°C | 200°C |
| Temperatura de la placa de impresión | 50°C | 50°C | 50°C |

Nota. En la tabla se describe los materiales con su correspondiente temperatura de fundición de fibra de TPU

Velocidad: Se aplicaron diferentes velocidades de impresión para cada tipo de relleno. La velocidad de impresión se ajusta según el tipo de relleno utilizado, asegurando que el material se funda de manera óptima y se deposite correctamente en cada capa, como se muestra a continuación:

Tabla 11.

Velocidades de impresión para el filamento ABS, fibra de carbono, nylon y TPU

| Velocidad | 50% | 70% | 100% |
|------------------------|------------|------------|-------------|
| Velocidad de impresión | 60 mm/s | 60 mm/s | 60 mm/s |

Nota. En la tabla se muestra la velocidad de impresión

Refrigeración: Dentro del proceso de impresión 3D, la refrigeración desempeña un papel esencial. Es igualmente significativo tanto la velocidad del ventilador como la velocidad inicial del ventilador, debido a que diferentes materiales requieren distintos porcentajes de refrigeración. Estos porcentajes se aplican de acuerdo a las necesidades específicas de cada material utilizado. La refrigeración apropiada durante la impresión 3D ayuda a controlar la temperatura del material depositado, evitando que existan deformaciones y mejorando la calidad general del impulsor impreso.

Tabla 12.

Refrigeración para los diferentes tipos de filamentos

| | PC+ABS | Fibra de Carbono | Nylon | TPU |
|--------------------------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Velocidad | Ninguna | 50%,70%,100% | 50%,70%,100% | 50%,70%,100% |
| Velocidad del ventilador | | 100% | 100% | 100% |

Nota. En la tabla se muestra los porcentajes de velocidad del ventilador

Figura 24.

Porcentaje de velocidad de ventilador de los filamentos ABS 50%, 70% y 100%



Nota. En el filamento ABS no se aplica refrigeración

Figura 25.

Porcentaje de velocidad de ventilador de los filamentos al 50%, 70% y 100%



Nota. En cualquier filamento (a excepción de ABS) necesita una velocidad del 100%

Soporte: el soporte se refiere a estructuras temporales o elementos adicionales que se imprimen junto con la pieza principal para proporcionar estabilidad y evitar deformaciones durante el proceso de impresión. Los soportes se utilizan cuando una parte de la pieza tiene voladizos o características que no pueden mantenerse en su posición sin un soporte adicional.

Tabla 13.

Soporte para impresión para el filamento ABS, fibra de carbono, nylon y TPU

| Soporte | 50% | 70% | 100% |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Colocación de soporte | En todos los sitios | En todos los sitios | En todos los sitios |
| Ángulo de voladizo de soporte | 53° | 53° | 53° |
| Expansión horizontal de soporte | 0.0mm | 0.0mm | 0.0mm |

Nota. En la tabla características del soporte utilizado

Adicionalmente se utiliza, la falda como tipo de adherencia de la placa de impresión, la cual se crea alrededor del contorno de la pieza antes de comenzar la impresión real. Ayuda a

establecer la adherencia inicial, nivelar la cama de impresión y verificar la extrusión de material antes de la impresión principal.

Preparación de impresora

Para el funcionamiento de la impresora seleccionada se necesita de un archivo en formato .gcode, en la cual se desarrolla el diseño del impulsor de la bomba y otro en formato .stl para la configuración de la misma. En cuanto a la preparación de la impresora se revisó que se ubique en un sitio de trabajo seguro y ventilación, así como buen almacenamiento de filamento, evitando humedad y polvo. Luego se limpia la cama caliente y calibrar la distancia con la boquilla, nivelando la temperatura de la impresión. Después, se comprobó la tensión de correa y lubricación de husillos, incluyendo herramientas como alicate, llave y tarjeta SD para insertar el diseño de prototipo.

Impresión

Configuración de parámetros

Para la configuración de parámetros se tomó en cuenta las características de los filamentos (**Tabla 6**). Luego, se configura la densidad, tipo de relleno, temperatura y velocidad de impresión (depende del tipo de relleno), incluyendo la velocidad de refrigeración (10 – 20%).

Por ende, se realiza tres pruebas y dependerá de la temperatura que va aumentado (35°C, 50°C y 90°C). El porcentaje de relleno es de 50% y 70% mientras que en el diseño final se utiliza un 100% de relleno con el fin de obtener la pieza sólida como es el impulsor de la bomba. El tipo de relleno es triangular debido a que es resistente en diferentes direcciones, pues, se utiliza en piezas sometidas a tensión, es rápido y ahorra material, siendo, uno de los mejores rellenos (Goldschmidt, 2022).

Cabe mencionar que, los parámetros señalados se van modificando porque dependen de cantidad de pruebas y la temperatura, es decir, por los cuatro materiales (filamentos) determinados para el análisis del impulsor de bomba. Lo cual es importante para determinar el comportamiento de los materiales con los que fueron construidos los impulsores y al final determinar la que presenta mejor característica para utilizar en el vehículo.

Por otro lado, para la fabricación del prototipo de impulsor de bomba se consideró los siguientes aspectos (**Tabla 14**):

Tabla 14.

Características para impresión

| Características | Descripción |
|------------------------|--|
| Calidad | <ul style="list-style-type: none"> • Altura de capa según ancho de boquilla. |
| Paredes | <ul style="list-style-type: none"> • Depende de la necesidad de la pieza |
| Capas | <ul style="list-style-type: none"> • Tomar en cuenta la apariencia, evitando que la pieza se vuelva frágil. |
| Relleno | <ul style="list-style-type: none"> • Tomar en cuenta el tipo de relleno triangular para las densidades de 50% y 70%. • El 100% de relleno representa una pieza maciza. |
| Material | <ul style="list-style-type: none"> • Se determina la temperatura para fundir el plástico, este depende el tipo de filamento. |
| Velocidad | <ul style="list-style-type: none"> • Se considera que la velocidad depende del tipo de filamento. |
| Refrigeración | <ul style="list-style-type: none"> • Determinar el nivel de refrigeración para la velocidad inicial del ventilador y ventilador en general. |

Nota. La tabla presenta la descripción de las características que debe tener el impulsor.

De igual manera, se presenta el resumen de los parámetros que se utilizan para la impresión 3D del impulsor de bomba (**Tabla 15**).

Tabla 15.*Resumen de los parámetros para impresión*

| Parámetro | PC Policarbonato | | PC + ABS | | Fibra de carbono + Nylon | | TPU | |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 50% | 70% | 50% | 70% | 50% | 70% | 50% | 70% |
| Temp. | 255°C | 255°C | 260°C | 260°C | 255°C | 255°C | 200°C | 200°C |
| Impresión | | | | | | | | |
| Temp. base | 100°C | 100°C | 130°C | 130°C | 80°C | 80°C | 50°C | 50°C |
| Altura capa | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm | 0.16mm |
| Velocidad imp. | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s | 60.0 mm/s |
| Tipo de relleno | Triángulo | Triángulo | Triángulo | Triángulo | Triángulo | Triángulo | Triángulo | Triángulo |
| Densidad | 50% | 70% | 50% | 70% | 50% | 70% | 50% | 70% |
| Tiempo imp. | 50 min. | 50 min. | 50 min. | 50 min. | 50 min. | 50 min. | 50 min. | 50 min. |
| Material | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. | 8 gr. |

Nota. La tabla presenta la descripción de los parámetros para fabricar.

Impresión 3D

El proceso de impresión implicó tomar en cuenta la configuración de los parámetros y diseño del prototipo virtual del impulsor de la bomba en SolidWorks con formato STL. El archivo de diseño se carga a la impresora. Por último, tiene los prototipos de impulsores de la bomba según los filamentos utilizados en la impresión 3D mediante adición FDM.

En la Figura 26 se puede observar la impresión del impulsor de la bomba que tuvo un tiempo aproximado de 5 horas para la impresora 3D.

Figura 26.

Impresión de impulsor de bomba



Nota. en la figura se muestra la base del impulsor de bomba y la placa de la impresora

De igual manera, en la Figura 27 se muestra los dos impulsores, de policarbonato y de la Fibra de carbono + Nylon.

Figura 27.

Impulsores fabricados



Nota. en la figura se muestra la base del impulsor de bomba y la placa de la impresora

Protocolo de pruebas

Validación de impulsores

Para validar los impulsores se utilizó el banco de prueba previamente instalado, el cual cuenta con un motor eléctrico de inducción monofásico marca EBERLE cuyo modelo es 746NB, el cual tiene un voltaje nominal desde 110 a 220 voltios, $\frac{1}{4}$ Hp y 1730rpm (Red Motor, 2022). Adicional cuenta con un manómetro de temperatura, retroalimentación de la bomba y la salida de tanque. El banco de pruebas usado en el análisis del comportamiento se encuentra en la **Figura 28**.

Figura 28.

Banco de pruebas funcional



*Nota. Banco de pruebas utilizado para evaluación
Simulación y análisis de comportamiento*

En el banco de pruebas se procede a poner el funcionamiento de los impulsores, es decir, se cambia cada uno en la bomba de agua para recopilar información de la funcionalidad. Cabe mencionar que se validó el funcionamiento del desempeño del prototipo de impulsores obtenidos de la impresión por FDM, estos se reemplazaron en la bomba de agua. Es así que, se realizó una prueba a temperatura ambiente en una bomba de agua y se evaluó el funcionamiento de estos durante 2 horas. Para ello, se consideró tres opciones de densidad de relleno (50%, 70% y 100%),

a una velocidad de 60mm/s en todos los casos y pruebas a distintas temperaturas por tipo de material. Se consideraron diversas configuraciones que incluyen tres opciones de densidad de relleno (50%, 70% y 100%), distintas temperaturas según el tipo de material utilizado, y se mantuvo una velocidad constante de 60mm/s en todos los casos. Para policarbonato se consideró la temperatura de 35, 50 y 70 mientras que nylon con carbono, TPU y PC-ABS fueron a temperaturas de 35, 50 y 90. Por lo tanto, se efectuó nueve pruebas por cada material, es decir, se realizó un total de 36 pruebas.

Análisis de impulsores de policarbonato

A continuación, se detalla los resultados de las pruebas a diferentes temperaturas y rellenos:

- ***Impulsores de policarbonato con relleno al 50%***

Para este nivel de relleno se realizó prueba a temperaturas de 35°, 50° y 70° con 4.382 rpm.

El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. A continuación, se tienen los impulsores utilizados en las pruebas (**Figura 29**):

Figura 29.

Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 50%



Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Luego, se realiza el montaje de cada impulsor en la bomba de agua del vehículo, esto se aprecia en la siguiente **Figura 30**:

Figura 30.

Montaje de impulsores policarbonato en la bomba de agua



Nota. Montaje de impulsores

Una vez colocado el impulsor en la bomba se procede a instalar en el banco de pruebas para verificar el funcionamiento (**Figura 31**). Este proceso se repite por cada impulsor fabricado.

Figura 31.

Montaje de la bomba de agua en banco de prueba



Nota. Montaje de bomba de agua

Además, se realizó el ajuste en manómetro instalado en el banco de pruebas, es decir, se estableció las temperaturas para 35° y 70°, tal como se muestra a continuación (**Figura 32**):

Figura 32.

Manómetro de temperatura 35° y 70° (policarbonato)



35°



70°

Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 50%.

Por último, se presenta los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de bomba fabricados con distintas temperaturas y relleno a 50% (**Tabla 16**).

Tabla 16.

Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 50%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|--|---|
| 35° | No se deforma los alabes |  |
| 50° | No se deforma los alabes |  |
| 70° | Se desprende los alabes y pérdida de presión |  |

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 50%.

Por lo tanto, en los resultados con relleno al 50% se identificó que, a 35 y 50 grados se presentó mejores resultados, es decir, no se deformó los alabes de los impulsores de bomba. Esto indica que, a temperaturas no altas se tiene buenos resultados, pues, es más resistente.

- ***Impulsores de policarbonato con relleno al 70%***

Para el nivel de relleno al 70% se efectuó una prueba a temperaturas de 35°, 50° y 80° con 4.382 rpm. El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. Los impulsores utilizados en las pruebas se muestran a continuación (**Figura 33**):

Figura 33.

Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 70%



35°

50°

80°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Al igual que en el relleno del 50%, se realizó el montaje del impulsor en la bomba de agua y esto a su vez en el banco de pruebas, lo cual se repite por cada impulsor. Incluso se realizó ajuste al manómetro a temperaturas de 35°, 50° y 80° (**Figura 34**).

Figura 34.

Manómetro de temperatura 35°, 50° y 80° (policarbonato)



35°



50°



80°

Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 70%.

Finalmente, se tiene los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba a distintas temperaturas y relleno a 70% (**Tabla 17**).

Tabla 17.

Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 70%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|--------------------------|---|
| 35° | No se deforma los alabes |  |
| 50° | No se deforma los alabes |  |

80° Se desprende los alabes y pérdida de presión



Nota. Resultados para pruebas con relleno al 70%.

Por lo tanto, con relleno al 70% se evidencia que, a 35 y 50 grados se tiene buenos resultados, pues, no se deformó los alabes de los impulsores de la bomba, es así que fueron más resistentes a bajas temperaturas.

- ***Impulsores de policarbonato con relleno al 100%***

Para el nivel de relleno al 100% se realizó pruebas a temperaturas de 35°, 50° y 90° con 4.382 rpm. El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. A continuación, se tienen los impulsores utilizados en las pruebas (**Figura 35**):

Figura 35.

Impulsores policarbonato para pruebas de temperatura con relleno al 100%



35°



50°



90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Seguidamente, se revisa la presión del funcionamiento de la bomba de agua cuando se tiene una temperatura de 90 grados (**Figura 36**), esto con la finalidad de verificar que la prueba se realice de manera satisfactoria, pues, a mayor temperatura se tiene mayor presión.

Figura 36.*Presión de funcionamiento (policarbonato)**Nota. Presión de funcionamiento de la bomba a 90°.*

Al igual que en el relleno del 50% y 70%, se efectuó el montaje del impulsor en la bomba de agua y esto a su vez en el banco de pruebas, lo cual se repite por cada impulsor. Incluso se ajustó el manómetro a temperaturas de 35°, 50° y 90° (**Figura 37**).

Figura 37.*Manómetro de temperatura 35°, 50° y 90° (policarbonato)*

35°



50°



90°

Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 100%.

Por último, se tiene los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba a distintas temperaturas y relleno a 100% (

Tabla 18).

Tabla 18.

Resultados policarbonato de la prueba de temperatura con relleno a 100%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|---|---|
| 35° | No se deforma los alabes |  |
| 50° | No se deforma los alabes |  |
| 90° | Se deformaron los alabes y pérdida de presión |  |

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 100%.

En este caso, con relleno al 100% se evidencia que, a 35 y 50 grados tiene buenos resultados debido a que no se deformó los alabes de los impulsores de la bomba, siendo, más resistentes a bajas temperaturas.

Análisis de impulsores de nylon con carbono

A continuación, se detalla los resultados de las pruebas a diferentes temperaturas y rellenos:

- ***Impulsores de nylon con relleno al 50%***

Para este nivel de relleno se realizó prueba a temperaturas de 35°, 50° y 90° con 4.382 rpm. El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. A continuación, se tienen los impulsores utilizados en las pruebas (**Figura 38**):

Figura 38.

Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 50%



35°



50°



90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Luego, se realiza el montaje de cada impulsor en la bomba de agua del vehículo, esto se aprecia en la siguiente. Una vez colocado el impulsor en la bomba se procede a instalar en el banco de pruebas para verificar el funcionamiento (**Figura 31**). Este proceso se repite por cada impulsor fabricado. Además, se realizó el ajuste en manómetro instalado en el banco de pruebas, es decir, se estableció las temperaturas para 35°, 50° y 90°, tal como se muestra a continuación (**Figura 39**):

Figura 39.

Manómetro de temperatura 35°, 50° y 90° (nylon)



35°

50°

90°

Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 50%.

Seguidamente, se revisa la presión del funcionamiento de la bomba de agua cuando se tiene una temperatura de 90 grados (**Figura 40**), esto con la finalidad de verificar que la prueba se realice de manera satisfactoria, pues, a mayor temperatura se tiene mayor presión.

Figura 40.

Presión de funcionamiento 0,4 bar (nylon)



Manómetro de presión en el sistema de refrigeración 0,2 bar

Nota. Presión de funcionamiento de la bomba.



Pérdida de presión a 0

Por último, se presenta los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba fabricados con distintas temperaturas y relleno a 50% (**Tabla 19**).

Tabla 19.

Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 50%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|--|--|
| 35° | No se deforma los alabes |  A photograph of a blue, multi-bladed impeller (propeller) resting on a wooden surface. The blades are curved and appear to be in their original, undeformed state. |
| 50° | No se deforma los alabes |  A photograph of the same blue impeller as in the first image, resting on a wooden surface. The blades are still in their original, undeformed state. |
| 90° | Se deforman el ángulo de lo alabes y hay pérdida de presión cayendo a 0. |  A photograph of the same blue impeller as in the previous images, resting on a wooden surface. The blades are noticeably bent and deformed, with a loss of their original curved shape. |

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 50%.

Por lo tanto, en los resultados con relleno al 50% se identificó que, a 35 y 50 grados se presentó mejores resultados, pues, no se deformó el ángulo de los alabes de los impulsores de nylon.

- ***Impulsores de nylon con relleno al 70%***

Para el nivel de relleno al 70% se efectuó una prueba a temperaturas de 35°, 50° y 80° con 4.382 rpm. El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. Los impulsores utilizados en las pruebas se muestran a continuación (**Figura 41**):

Figura 41.

Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 70%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Al igual que en el relleno del 50%, se realizó el montaje del impulsor en la bomba de agua y esto a su vez en el banco de pruebas, lo cual se repite por cada impulsor. Incluso se realizó ajuste al manómetro a temperaturas de 35°, 50° y 90° (**Figura 39**). Finalmente, se tiene los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba a distintas temperaturas y relleno a 70% (**Tabla 20**).

Tabla 20.

Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 70%

| Prueba temperatura | Resultado |
|--------------------|-----------|
|--------------------|-----------|

35°

No se deforma los alabes



50°

No se deforma los alabes



90°

Se deforman el ángulo de los alabes y hay pérdida de presión cayendo a 0.



Nota. Resultados para pruebas con relleno al 70%.

Por lo tanto, con relleno al 70% se evidencia que, a 35 y 50 grados se tiene buenos resultados, pues, no se deformó los alabes de los impulsores de la bomba, es así que fueron más resistentes a bajas temperaturas.

- ***Impulsores de nylon con relleno al 100%***

Para el nivel de relleno al 100% se efectuó una prueba a temperaturas de 35°, 50° y 80° con 4.382 rpm. El tiempo de pruebas por cada impulsor es de 2 horas. Los impulsores utilizados en las pruebas se muestran a continuación (**Figura 42**):

Figura 42.

Impulsores nylon para pruebas de temperatura con relleno al 100%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura

Al igual que en el relleno del 50 y 70%, se realizó el montaje del impulsor en la bomba de agua y esto a su vez en el banco de pruebas, lo cual se repite por cada impulsor. Incluso se realizó ajuste al manómetro a temperaturas de 35°, 50° y 90° (**Figura 39**). Seguidamente, se revisa la presión del funcionamiento de la bomba de agua cuando se tiene una temperatura de 90 grados (**Figura 43**), esto con la finalidad de verificar que la prueba se realice de manera satisfactoria, pues, a mayor temperatura se tiene mayor presión.

Figura 43.

Presión de funcionamiento 0,4 bar (nylon)



Presión de funcionamiento de 0,2 bar

Nota. Presión de funcionamiento de la bomba.

Finalmente, se tiene los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de bomba a distintas temperaturas y relleno a 100% (**Tabla 21**).

Tabla 21.

Resultados nylon de la prueba de temperatura con relleno a 100%

| Prueba temperatura | Resultado |
|--------------------|--------------------------|
| 35° | No se deforma los alabes |



50° No se deforma los alabes



90° No se deforma los alabes



Nota. Resultados para pruebas con relleno al 70%.

Por lo tanto, con relleno al 100% se evidencia que, en todos los niveles de temperatura se tiene buenos resultados, pues, no se deformó los alabes de los impulsores de la bomba.

Análisis de impulsores de TPU

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a distintas temperaturas y configuraciones de relleno:

- ***Impulsores de TPU con relleno al 50%***

Para el 50% de relleno, se llevaron a cabo pruebas a diferentes temperaturas: 35°, 50° y 90°, manteniendo una velocidad de 4.382 rpm. El tiempo de prueba para cada impulsor fue de 2 horas. A continuación, se muestran las imágenes de los impulsores utilizados en las pruebas (Figura 44).

Figura 44.

Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 50%



Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

Después de fabricar cada impulsor, se procede al montaje de cada uno en la bomba de agua del vehículo, tal como se realizó en el impulsor de policarbonato (Figura 30). Una vez instalado el impulsor en la bomba, se procede a colocarlo en el banco de pruebas para verificar su funcionamiento (Figura 31). Este proceso se repite para cada impulsor fabricado. De igual manera, se realiza un ajuste en el manómetro que se encuentra instalado en el banco de pruebas, lo que implica establecer las temperaturas para 35°, 50° y 90°.

Finalmente, se muestran los resultados de las pruebas efectuadas en cada impulsor de bomba fabricado, con variaciones en las temperaturas y un relleno del 50% (Tabla 22).

Tabla 22.

Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 50%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|---------------------------|--------------------------|--|
| 35° | No se deforma los alabes |  |

50°

No se deforma los alabes



90°

Se desprende la base y los alabes, así como pérdida de presión.



Nota. Resultados para pruebas con relleno al 50%.

Por consiguiente, los resultados con un relleno del 50% revelaron que a 35 y 50 grados se obtuvieron mejores resultados, ya que no se produjo deformación en el ángulo de los alabes de los impulsores de TPU. Sin embargo, a 90 grados se observó el desprendimiento de la base, alabes y se perdió presión. Cabe indicar que se tuvo que esperar una hora hasta llegar a la temperatura de 90° y de ahí se tomó las dos horas de prueba.

- ***Impulsores de TPU con relleno al 70%***

Se llevó a cabo una prueba para el nivel de relleno del 70%, en la que se evaluaron diferentes temperaturas: 35°, 50° y 90°, manteniendo una velocidad de 4.382 rpm. Cada impulsor se sometió a un tiempo de prueba de 2 horas. A continuación, se presentan las imágenes de los impulsores utilizados en estas pruebas (**Figura 45**):

Figura 45.

Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 70%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

De manera similar al relleno del 50%, se procedió a montar cada impulsor en la bomba de agua y luego en el banco de pruebas, repitiendo este proceso para cada impulsor. Además, se realizaron ajustes al manómetro para medir las temperaturas de 35°, 50° y 90°. Por último, se presentan los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba con diferentes temperaturas y un relleno del 70% (Tabla 23).

Tabla 23.

Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 70%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|--------------------------|--|
| 35° | No se deforma los alabes | |

50°

No se deforma los alabes



90°

Se desprende los alabes y
pierde presión

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 70%.

Así, se puede observar que con un relleno del 70%, se obtienen resultados favorables a temperaturas de 35° y 50°, ya que no se produjo deformación en los alabes de los impulsores de la bomba. Esto indica que los impulsores fueron más resistentes a bajas temperaturas. No obstante, a una temperatura de 90°C, se observó que los álabes se desprendieron y se perdió presión. Es importante mencionar que fue necesario esperar una hora para alcanzar la temperatura de 90° antes de comenzar las dos horas de prueba.

- ***Impulsores de TPU con relleno al 100%***

Para el nivel de relleno del 100%, se realizó una prueba a diferentes temperaturas: 35°, 50° y 90°, manteniendo una velocidad de 4.382 rpm. Cada impulsor fue sometido a un tiempo de prueba de 2 horas. A continuación, se presentan las imágenes de los impulsores utilizados en estas pruebas (Figura 46):

Figura 46.

Impulsores TPU para pruebas de temperatura con relleno al 100%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

De manera similar a los niveles de relleno del 50% y 70%, se procedió al montaje de cada impulsor en la bomba de agua y luego en el banco de pruebas, repitiendo este proceso para cada impulsor. Además, se realizaron ajustes al manómetro para medir las temperaturas de 35°, 50° y 90° (Figura 47).

Figura 47.

Manómetro de temperatura 90° (TPU)



Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 100%.

Por último, se presentan los resultados de las pruebas realizadas a cada impulsor de la bomba con diferentes temperaturas y un relleno del 100% (Tabla 24).

Tabla 24.

Resultados TPU de la prueba de temperatura con relleno a 100%

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|---|---|
| 35° | No se deforma los alabes |  |
| 50° | No se deforma los alabes |  |
| 90° | Se deforman los alabes y hay pérdida de presión |  |

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 100%.

Por lo tanto, con relleno al 100% se evidencia que, en las temperaturas de 35° y 50° no se deforman, es decir, los resultados son satisfactorios y se tienen impulsores de la bomba adecuados como repuesto para el vehículo; siendo, más resistentes a bajas temperaturas. Sin embargo, a 90 grados no se tienen resultados adecuados debido a que deformaron los alabes y existe pérdida de presión. Cabe señalar que, se tuvo que esperar una hora para llegar a la temperatura de 90 grados antes de iniciar con las dos horas de prueba.

Análisis de impulsores de PC-ABS

A continuación, se muestran los resultados adquiridos a partir de los experimentos llevados a cabo a diversas temperaturas y con diferentes configuraciones de relleno:

- ***Impulsores de PC-ABS con relleno al 50%***

Se realizaron experimentos a distintas temperaturas (35°, 50° y 90°) con un nivel de relleno del 50% y una velocidad constante de 4.382 rpm. Cada impulsor fue sometido a pruebas durante un período de 2 horas. A continuación, se presentan las imágenes de los impulsores empleados en estas pruebas (Figura 48).

Figura 48.

Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 50%



35°



50°



90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

Después de eso, se procede con el ensamblaje de cada impulsor en la bomba de agua del vehículo (Figura 30). Una vez que el impulsor ha sido colocado en la bomba, se procede a someterlo a pruebas en el banco de pruebas para evaluar su funcionamiento, tal como se realizó en el impulsor de policarbonato (Figura 31). Este procedimiento se repite para cada impulsor fabricado. Asimismo, se lleva a cabo una calibración en el manómetro instalado en el banco de pruebas, lo que implica configurar las temperaturas a 35°, 50° y 90°.

Luego, se procede a comprobar la presión de funcionamiento de la bomba de agua a una temperatura de 90 grados (**Figura 49**). El objetivo es asegurarse de que la prueba se lleve a cabo de manera exitosa, ya que, a temperaturas más altas, se obtiene una mayor presión.

Figura 49.

Presión de funcionamiento 0,2 bar (PC-ABS)



Nota. Presión de funcionamiento de la bomba.

Después de someter el impulsor a pruebas en el banco de pruebas para evaluar su funcionamiento, se procede a desmontarlo (Figura 50).

Figura 50.*Desmontaje de la bomba de agua**Nota. desmontaje de la bomba de agua después de funcionamiento a 90°*

Finalmente, se muestran los resultados de las pruebas efectuadas en cada impulsor de bomba fabricado, con variaciones en las temperaturas y un relleno del 50% (Tabla 22).

Por último, se presentan los resultados de las pruebas realizadas en cada impulsor de la bomba fabricado, considerando las variaciones en las temperaturas y un nivel de relleno del 50% (Tabla 25).

Tabla 25.*Resultados PC-ABS de la prueba de temperatura con relleno a 50%*

| Prueba temperatura | Resultado |
|--------------------|--------------------------|
| 35° | No se deforma los alabes |

50°

No se deforma los alabes



90°

No se deforma los alabes y
no pierde presión

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 50%.

Por lo tanto, los resultados obtenidos con un relleno del 50% indicaron que a 35, 50 y 90 grados se obtuvieron resultados similares, ya que no se observó deformación en el ángulo de los alabes de los impulsores de PC-ABS. Además, al realizar las pruebas a una temperatura de 90 grados, no se registró ninguna pérdida de presión. Cabe destacar que para alcanzar la temperatura de 90° se requirió una espera de una hora antes de iniciar las dos horas de prueba.

- ***Impulsores de PC-ABS con relleno al 70%***

Se realizó un experimento con un nivel de relleno del 70%, en el que se evaluaron diversas temperaturas: 35°, 50° y 90°, manteniendo una velocidad constante de 4.382 rpm. Cada impulsor fue sometido a una prueba de 2 horas. A continuación, se muestran las imágenes de los impulsores utilizados en estos experimentos (Figura 51):

Figura 51.

Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 70%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

Siguiendo una metodología similar a la utilizada para el relleno del 50%, se procedió a ensamblar cada impulsor en la bomba de agua y luego en el banco de pruebas, repitiendo este procedimiento para todos los impulsores. Además, se realizaron ajustes en el manómetro para medir las temperaturas de 35°, 50° y 90°, en este último se comprobó la presión de funcionamiento 0,3 bar y posteriormente se realizó el desmontaje (Figura 50). Por último, se presentan los resultados de las pruebas efectuadas en cada impulsor de bomba, con variaciones en las temperaturas y un relleno del 70% (**Tabla 26**).

Tabla 26.

Resultados PC-ABS de la prueba de temperatura con relleno a 70%

| Prueba temperatura | Resultado |
|--------------------|--|
| 35° | No se deforma los alabes  |

50°

No se deforma los alabes



90°

No se deforma los alabes y no
pierde presión

Nota. Resultados para pruebas con relleno al 70%.

De este modo, se puede observar que con un nivel de relleno del 70%, se obtuvieron resultados positivos a temperaturas de 35°, 50° y 90°, ya que no se registró deformación en los alabes de los impulsores de la bomba. Esto sugiere que los impulsores mostraron una mayor resistencia tanto a temperaturas altas como bajas. Es destacable que, incluso a una temperatura de 90°, no se observó pérdida de presión. Es relevante mencionar que fue necesario esperar una hora para alcanzar la temperatura de 90° antes de comenzar las dos horas de prueba.

- ***Impulsores de PC-ABS con relleno al 100%***

Para el nivel de relleno del 100%, las pruebas se realizaron a distintas temperaturas: 35°, 50° y 90°, manteniendo una velocidad constante de 4.382 rpm. Cada impulsor fue sometido a una prueba de 2 horas. A continuación, se muestran las imágenes de los impulsores utilizados en estos experimentos (Figura 52):

Figura 52.

Impulsores PC-ABS para pruebas de temperatura con relleno al 100%



35°

50°

90°

Nota. Impulsores para pruebas de temperatura a 35°, 50° y 90°

De manera similar a los niveles de relleno del 50% y 70%, se procedió al ensamble de cada impulsor en la bomba de agua (Figura 53) y posteriormente en el banco de pruebas, repitiendo este proceso para cada impulsor.

Figura 53.

Montaje de impulsores PC-ABS en la bomba de agua



Nota. Montaje de impulsores para la prueba hasta los 90 grados

Adicionalmente, se llevaron a cabo ajustes en el manómetro para medir las temperaturas de 35°, 50° y 90° (Figura 54).

Figura 54.*Manómetro de temperatura 90° (PC-ABS)**Nota. Manómetro para pruebas con relleno al 100% (PC-ABS).*

Por último, se muestran los resultados de las pruebas realizadas en cada impulsor de la bomba con variaciones en las temperaturas y un nivel de relleno del 100% (Tabla 27).

Tabla 27.*Resultados PC-ABS de la prueba de temperatura con relleno a 100%*

| Prueba temperatura | Resultado | |
|--------------------|--------------------------|--|
| 35° | No se deforma los alabes | |
| 50° | No se deforma los alabes | |

90°

No se deforma los alabes y
no pierde presión



Nota. Resultados para pruebas con relleno al 100%.

En consecuencia, con un nivel de relleno del 100%, se puede observar que los impulsores de bomba no experimentan deformación a temperaturas de 35°, 50° y 90°, lo que indica que los resultados son satisfactorios y se obtienen impulsores adecuados como repuestos para el vehículo. Estos impulsores demuestran una mayor resistencia tanto a altas como bajas temperaturas. Además, a una temperatura de 90 grados, no se observa pérdida de presión. Es relevante mencionar que fue necesario esperar una hora para alcanzar la temperatura de 90° antes de comenzar las dos horas de prueba.

Resultados generales

Después de poner en funcionamiento los impulsores de la bomba de agua dentro de un banco de pruebas, se determinó que todos los filamentos a baja temperatura son capaces de permitir el funcionamiento normal de la bomba. Sin embargo, en altas temperaturas, se observaron deformaciones en algunos casos.

Para confirmar la validación de los impulsores se tomaron en cuenta tres rangos de temperatura entre 35°C hasta los 90°C, esto debido a que un motor de combustión opera a temperaturas aproximadas de 80°C. En tal virtud, es fundamente que el componente funcione a una temperatura semejante a la señalada.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en las pruebas y análisis de comportamiento tomando en cuenta los rellenos 50%, 70% y 100%.

Resultados con un relleno del 50%

En la Tabla 28 se presenta los resultados con una concentración de material al 50%, a distintas temperaturas entre 35°C a 90°C y utilizando los siguientes filamentos: policarbonato, nylon de carbono, TPU y PC-ABS se muestran a continuación

Tabla 28.

Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 50%

| Material al 50% | Temperatura 35°C | Temperatura 50°C | Temperatura 70°C | Temperatura 90°C |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--|
| Policarbonato | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | Se desprende los alabes y pérdida de presión | |
| Nylon con carbono | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | Se deforman el ángulo de lo alabes y hay pérdida de presión cayendo a 0. |
| TPU | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | Se desprende la base y los alabes, así como pérdida de presión. |
| PC-ABS | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | No se deforma los alabes y no pierde presión |

Nota. Resultados para las pruebas después de la simulación de impulsores con un relleno del 50%

Resultados con un relleno del 70%

Los resultados con una concentración de material al 70% y a distintas temperaturas entre 35°C a 90°C se muestran a continuación (Tabla 29):

Tabla 29.

Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 70%

| Material al | Temperatura | Temperatura | Temperatura | Temperatura |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|--|--|
| 70% | 35°C | 50°C | 80°C | 90°C |
| Policarbonato | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | Se desprende los alabes y pérdida de presión | |
| Nylon con carbono | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | Se deforman el ángulo de lo alabes y hay pérdida de presión cayendo a 0. |
| TPU | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | Se desprende los alabes y pierde presión |
| PC-ABS | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | | No se deforma los alabes y no pierde presión |

Nota. Resultados para las pruebas después de la simulación de impulsores con un relleno del 70%

Resultados con un relleno del 100%

Los resultados con una concentración de material al 100% y a distintas temperaturas entre 35°C a 90°C se muestran a continuación (Tabla 30):

Tabla 30.

Resultados en el banco de pruebas para cada impulsor con un relleno del 100%

| Material al | Temperatura | Temperatura | Temperatura |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|---|
| 100% | 35°C | 50°C | 90°C |
| Policarbonato | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | Se deformaron los alabes y pérdida de presión |
| Nylon con carbono | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes |
| TPU | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | Se deforman los alabes y hay pérdida de presión |
| PC-ABS | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes | No se deforma los alabes y no pierde presión |

Nota. Resultados para las pruebas después de la simulación de impulsores con un relleno del 100%

Resultados

Tras llevar a cabo la simulación y pruebas de comportamiento de los impulsores de bombas de agua elaborados se obtuvo los siguientes resultados:

Con un relleno del 50%, los filamentos de policarbonato, nylon con carbono, TPU y PC-ABS mantuvieron la integridad de sus álabes sin deformarse, después de someterse al banco de pruebas a temperaturas de 35° y 50°. Al contrario, el policarbonato mostró alteraciones significativas al ser sometido a una temperatura máxima de 70°, con el desprendimiento de los álabes y una pérdida de presión notable. Por otro lado, cuando los filamentos de nylon con carbono y TPU fueron sometidos a una temperatura máxima de 90°, en ambos casos la presión cayó a 0, mientras que con el PC-ABS se obtuvieron resultados favorables. Evidenciando que con este nivel

de relleno a temperaturas de 70° y 90° hay deformación de los impulsores, por ende, no se tendrá un buen rendimiento de la bomba de agua. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra las imágenes tomadas antes y después del funcionamiento en la bomba de agua con un relleno del 50%.

Tabla 31.

Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 50%

| Temperatura | Antes de funcionamiento | Después de funcionamiento |
|-------------|---|--|
| | Policarbonato | |
| 70° |  |  |
| | Nylon con carbono | |
| 90° |  |  |
| | TPU | |
| 90° |  |  |
| | PC-ABS | |

| Temperatura | Antes de funcionamiento | Después de funcionamiento |
|-------------|--|--|
| 90° |  A white, multi-bladed impeller component is shown from a top-down perspective against a dark wooden background. The impeller has a central hub with a circular opening and eight curved blades radiating outwards. |  The same white impeller component is shown from a top-down perspective, but with a dark, semi-transparent simulation overlay. The overlay highlights the flow patterns around the blades, showing a dark region in the center and lighter regions on the blades, indicating the simulation results. |

Nota. Evidencias fotográficas del antes y después de la simulación de impulsores con un relleno del 50%

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados de los impulsores donde se tiene un relleno del 50% en el banco de pruebas sometido a diferentes temperaturas con válvula abierta y cerrada.

Tabla 32.*Resultados de impulsores con un relleno del 50% en el banco de pruebas*

| Material | Temperatura | | | | | Válvula abierta | | | | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|
| | 35° | 50° | 70° | 80° | 90° | Inicia l psi | ba r | Medi a psi | ba r | Fina l psi | ba r |
| Policarbonato | Funciona correctamente | Funciona correctamente | Torcedura parcial de aspas | X | X | 4 | 0, 2 | 4 | 0, 2 | 0 | 0 |
| Nylon con carbono | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Torcedura parcial de aspas | 4 | 0, 2 | 4 | 0, 2 | 0 | 0 |
| TPU | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Torcedura total de aspas | 4 | 0, 2 | 4 | 0, 2 | 0 | 0 |
| PC-ABS | Funciona correctamente | Funciona correctamente | Funciona correctamente | Funciona correctamente | Funciona correctamente | 4 | 0, 2 | 4 | 0, 2 | 4 | 0, 2 |

Nota. Resultados de impulsores con un relleno del 50%

Se obtuvieron resultados similares con un relleno del 70%. Tanto con los filamentos de policarbonato, nylon con carbono, TPU y PC-ABS no se observaron deformaciones en los álabes al someterlos a temperaturas de 35° y 50°. Sin embargo, el policarbonato mostró alteraciones significativas al ser expuesto a una temperatura máxima de 80° con el desprendimiento de los álabes y pérdida de presión notable.

Cuando los filamentos de nylon con carbono y TPU fueron sometidos a una temperatura máxima de 90° se notó una deformación en el ángulo de los álabes en el primer caso y en ambos se registró una pérdida de presión. Con el filamento PC-ABS no se observaron deformaciones en los álabes ni pérdida de presión a los 90°. Evidenciando que, a temperaturas de 80° y 90° hay deformación de los impulsores, por ende, no son viables. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las imágenes antes y después del funcionamiento en la bomba de agua, utilizando un relleno del 70%.

Tabla 33.

Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 70%

| Temperatura | Antes de funcionamiento | Después de funcionamiento |
|-------------|---|--|
| 80° | Policarbonato | |
| |  |  |
| | Nylon con carbono | |

| Temperatura | Antes de funcionamiento | Después de funcionamiento |
|---------------|---|--|
| 90° |  |  |
| TPU | | |
| 90° |  |  |
| PC-ABS | | |
| 90° |  |  |

Nota. Evidencias fotográficas del antes y después de la simulación de impulsores con un relleno del 70%

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados de los impulsores donde se tiene un relleno del 70% en el banco de pruebas sometido a diferentes temperaturas con válvula abierta y cerrada.

Tabla 34.*Resultados de impulsores con un relleno del 70% en el banco de pruebas*

| Material | Temperatura | | | | | Válvula abierta | | | | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|-----|---------------------------------------|-----|-----------------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 35° | 50° | 70° | 80° | 90° | Inicial | | Media | | Final | |
| | | | | | | psi | bar | psi | bar | psi | bar |
| Policarbonato | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | Torcedura parcial de aspas | X | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| Nylon con carbono | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X Torcedura parcial de aspas | | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| TPU | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X Torcedura total de aspas | | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| PC-ABS | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X Funciona correctamente | | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 |

Nota. Resultados de impulsores con un relleno del 70%

En tanto que, con un relleno del 100%, los álabes se mantienen intactos a temperaturas de 35° y 50°. Contrariamente, al someterlos a una temperatura de 90°, se observó deformación en los álabes y pérdida de presión con el filamento de policarbonato y TPU. En contraste, con el nylon de carbono y PC-ABS, los álabes no se deformaron y no se produjo pérdida de presión a esa misma temperatura. Evidenciando que con este nivel de relleno a temperaturas de 90° hay deformación de los impulsores, por ende, no son viables. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta las imágenes capturadas antes y después del funcionamiento en la bomba de agua.

Tabla 35.

Evidencias de las pruebas de temperatura con un relleno del 100%

| Temperatura | Antes de funcionamiento | Después de funcionamiento |
|-------------|---|---|
| | Policarbonato | |
| 90° |  |  |
| | Nylon con carbono | |
| 90° |  |  |
| | TPU | |
| 90° |  |  |
| | PC-ABS | |
| 90° |  |  |

Nota. Evidencias fotográficas del antes y después de la simulación de impulsores con un relleno del 100%

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados de los impulsores donde se tiene un relleno del 100% en el banco de pruebas sometido a diferentes temperaturas con válvula abierta y cerrada.

Tabla 36.

Resultados de impulsores con un relleno del 100% en el banco de pruebas

| Material | Temperatura | | | | | Válvula abierta | | | | | |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|-----|-----|----------------------------------|-----------------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | 35° | 50° | 70° | 80° | 90° | Inicial | | Media | | Final | |
| | | | | | | psi | bar | psi | bar | psi | bar |
| Policarbonato | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Torcedura parcial de aspas | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| Nylon con carbono | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Funciona correctamente | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 |
| TPU | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Torcedura total de aspas | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 0 | 0 |
| PC-ABS | Funciona correctamente | Funciona correctamente | X | X | Funciona correctamente | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 | 4 | 0,2 |

Nota. Resultados de impulsores con un relleno del 100%

En el contexto de este proyecto, se resalta la elección del PC-ABS como material para la fabricación de impulsores. Esta selección se fundamenta en sus características sobresalientes, como su baja tasa de desgaste, mayor ligereza, rigidez y capacidad para tolerar fluidos a altas temperaturas sin sufrir deformaciones. Asimismo, el PC-ABS exhibe una elevada tenacidad y resistencia al impacto, lo que le proporciona una mayor durabilidad y lo hace menos propenso a fracturas o grietas.

Es relevante mencionar que la incorporación de estos componentes en la industria automotriz requiere un estudio y análisis exhaustivo previo, asegurando que sean compatibles con los requisitos y estándares específicos de la aplicación.

Discusión

La presente investigación sobre el rediseño del impulsor de la bomba de agua del automóvil construido mediante proceso de Manufactura aditiva FDM para materiales poliméricos Policarbonato con ABS, PC Policarbonato, fibra de carbono de nylon y TPU considera este proceso como una alternativa viable en la fabricación de autopartes debido a que se puede utilizar cuando se presenta una suspensión en la fabricación de piezas de modelos de vehículos que ya están discontinuados en el mercado.

En esta misma línea, Fernández et al. (2016) plantean que la selección de nuevos materiales para la construcción de la bomba de agua es una necesidad considerando las características de los automotores. Los resultados evidenciaron que en el proceso de comparar ABS y ácido poliláctico (PLA), los filamentos ABS mostraron mayor resistencia mecánica y también una mayor vida útil. Resultados similares se observaron en la investigación de Pavlovic et al. (2017) en donde se estudió los polímeros como ABS plus, ABS y PLA, comparando las propiedades de tracción y flexión, los

autores comprobaron que ABS y ABSplus cumplen con los requerimientos mecánicos y favorecen la funcionalidad del impulsor.

De manera similar, Briceño et al. (2019) señala la importancia de elegir una tecnología de impresión 3D que haga posible un adecuado proceso de elaboración de autopartes que se adapten al modelo del automotor y que sean efectivos en función del tipo de materiales utilidad. Contrario a los que se encontró en el presente estudio en donde se elaboró el diseño CAD elaborado en SolidWorks, en la investigación de Briceño et al. (2019) la más adecuada fue la tecnología PolyJet ya que presentó mejores resultados, en con el filamento de VeroWhitePlus RDG 835.

En la configuración de la máquina Artillery Sidewinder X para la impresión se ingresó la configuración en el programa CURA sobre la calidad, paredes, capas, relleno (50%, 70% y 100%), material, velocidad (60mm/s), temperatura de relleno para ABS fue de 260°C, fibra de carbono (255°C) y TPU (200°C). Con esto se procedió a la impresión 3D de los filamentos mediante adición FDM.

En el protocolo de pruebas se analizó el funcionamiento de los impulsores de bomba impresos a diferentes rellenos. En relleno del 50% y a temperaturas de 35° y 50°, los impulsores de policarbonato, nylon con carbono, TPU y PC-ABS presentaron álabes sin deformación. En el relleno a 70% el policarbonato mostró desprendimiento de los alabes y pérdida de presión en una temperatura de 80°. Mientras TPU presentó desprendimiento de los alabes y pierde presión a 90°. Por su parte, PC-ABS no mostró ningún inconveniente o deformación. En el relleno al 100%, los impulsores de policarbonato y TPU se deformaron los alabes con pérdida de presión a 90°. No obstante, los impulsores con material de Nylon y PC-ABS no mostraron deformaciones ni pérdida de presión, por ende, el impulsor fabricado con PC-ABS mostró mejores beneficios a distintas temperaturas. Similares resultados se presentaron en el estudio de Fernández et al. (2016) evaluó

el funcionamiento de ABS y ácido poliláctico; donde el primero tiene mejor resistencia mecánica y vida útil, por ende, se muestra mejor rendimiento. De igual modo, en la investigación de Pavlovic et al. (2017) se realizó una evaluación de ABS plus, ABS y PLA, evidenciando con material ABS y ABSplus tiene mejor funcionalidad del impulsor. Por consiguiente, se puede elaborar piezas para el uso en el vehículo. No obstante, en el trabajo de Silva (2022) utilizó materiales poliméricos alternativos como ABS KEVLAR, CF20, GF30-PA6 y GF30-PP, usando el software Ultimaker Cura para la impresión en 3D con una densidad de relleno del 100%, luego se aplicó el ensayo de resistencia a la corrosión. En la que se determinó que el filamento CF20 compuesto de copoliéster reforzado con fibra de vidrio es la mejor alternativa debido a que no presentó afecciones, lo cual difiere de la presente investigación, pues, únicamente se aplicó la prueba de temperatura y distintos rellenos.

Conclusiones

Los parámetros de impresión del impulsor se configuraron teniendo en cuenta los distintos materiales utilizados. Se emplearon tres niveles de densidad de relleno: 50%, 70% y 100%. La temperatura de impresión fue de 260°C para los tres tipos de relleno con ABS, 255°C para la fibra de carbono y el nylon, y 200°C para el TPU. La velocidad de impresión se fijó en 60mm/s.

Tras analizar el comportamiento de los materiales utilizados en la construcción de los impulsores, se determinó que PC-ABS representa un material alternativo idóneo para la fabricación de autopartes en la industria automotriz local debido a que es resistente al calor, impactos y cuenta con excelentes propiedades mecánicas. La elección de este material se fundamenta en que, sin importar la temperatura o el nivel de relleno, los prototipos se mantuvieron íntegros, sin deformación en los álabes y sin presentar pérdida de presión es decir resisten diferentes temperaturas y niveles de relleno. Este resultado destaca la robustez y confiabilidad del

PC-ABS como una opción viable para asegurar el óptimo desempeño de los impulsores en dicha aplicación industrial.

El estudio también permitió comprobar que el uso de impulsores elaborados con nylon de carbono, policarbonato y TPU sigue siendo una alternativa favorable, siempre y cuando se mantengan a una temperatura ambiente y hasta 50°C. Además, el impulsor fabricado con filamentos de nylon de carbono también se presenta como una buena opción cuando el material de relleno es al 100%, ya que es resistente a temperaturas de hasta 90°C.

Por lo tanto, los resultados ponen de manifiesto que el nylon de carbono, gracias a la fortaleza y rigidez que le aportan las fibras de carbono, así como su capacidad para resistir altas temperaturas, se convierte en una opción confiable para aplicaciones que demanden resistencia térmica y mecánica.

Recomendaciones

El uso continuo del software SolidWorks y la realización de pruebas detalladas en este programa son fundamentales para asegurar la calidad y la eficiencia del prototipo virtual del impulsor de la bomba de agua antes de la impresión en manufactura FDM. Esto ayudará a maximizar la funcionalidad y el rendimiento del impulsor en su aplicación final.

Se recomienda seguir utilizando el filamento Orbitech para la impresión de policarbonato, el filamento Polymaker para PC-ABS, el filamento Fillamentum para nylon de carbono y TPU. Estos filamentos han demostrado ser adecuados y eficientes en el proceso de impresión con los materiales respectivos.

Se recomienda para futuros trabajos seguir ajustando los parámetros de impresión del impulsor de acuerdo con los diferentes materiales utilizados. Es fundamental mantener la

configuración de densidad de relleno en niveles del 50%, 70% y 100% para cada material específico. Además, es importante asegurarse de que la temperatura de impresión sea adecuada para cada tipo de relleno: 260°C para ABS, 255°C para fibra de carbono y nylon, y 200°C para TPU. Esta configuración permitirá obtener una óptima calidad de impresión y garantizará que los impulsores sean resistentes y duraderos.

Considerar el uso de impulsores de bomba de agua fabricados con PC-ABS en la industria automotriz local. Estos impulsores han demostrado un comportamiento satisfactorio al no deformarse bajo diversas condiciones de temperatura y relleno. La elección del material PC-ABS puede garantizar un óptimo rendimiento y durabilidad de los impulsores, lo que contribuirá a mejorar la eficiencia y fiabilidad del sistema de refrigeración de los vehículos.

Lista de referencias

- AEADE. (2023). *Anuario 2022*. Quito : Asociación de Empresas Automotores del Ecuador .
- Amazon. (5 de febrero de 2023). *Artillery Sidewinder X1 - Impresora 3D de 11.811 x 11.811 x 15.748 in, tamaño grande, cama climatizada, pantalla táctil*. Recuperado el 2 de junio de 2023, de <https://www.amazon.com/-/es/Artillery-Sidewinder-Impresora-15-748-climatizada/dp/B09J1GWGF6>
- Amazon. (3 de marzo de 2023). *Bobina de filamentos para impresoras 3D SainSmart, 0.06 pulgadas, flexible, TPU, 1,7 libras, Negro, 1*. Recuperado el 1 de junio de 2023, de https://www.amazon.com/filamentos-impresoras-SainSmart-pulgadas-flexible/dp/B00TI3JUTM?pd_rd_w=AriaT&content-id=amzn1.sym.87a48bff-0d65-465c-9848-dfd8668d09df&pf_rd_p=87a48bff-0d65-465c-9848-dfd8668d09df&pf_rd_r=S8FXSNSH5FWEVKWC14J7&pd_rd_wg=J1odv&pd_rd_r
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2021). *Anuario* . Quito: AEADE.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2023). *Sector automotriz en cifras*. Quito: AEADE.
- AutoMagazine. (11 de 01 de 2023). *Las ventas de vehículos en Ecuador a diciembre de 2022*. Obtenido de Automagazine.ec: <https://automagazine.ec/las-ventas-de-vehiculos-en-ecuador-a-diciembre-de-2022/>
- Bermúdez, P., & Quenan, L. (2015). *Diseño de un dispositivo para la prevención del aumento de temperatura en el motor, complementario a la información de los testigos visuales en un automóvil (punto alerta)*. [TFG] UNIMINUTO. En <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/4787>.

- Briceño, B., Llanes, E., Rocha, J., Chamba, E., Cuasapud, D., & Cárdenas, A. (2019). Tecnologías de impresión 3D: evaluaciones de FDM y Polyjet en la fabricación de autopartes de automóviles. *Enfoque UTE*. doi:<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v10n3.414>
- Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana. (2021). *Boletín estadístico y autopartes*. Quito: CINAE.
- Cano, A., & Serrano, Á. (2021). Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas. *Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*(13), 227-238.
- Carburando. (19 de 09 de 2022). *Los SUV más populares de Ecuador en el 2022*. Obtenido de Carburando.ec: <https://www.carburando.ec/actualidad/suv-populares-ecuador-2022.html>
- Fajardo, C. (2021). *Manufactura aditiva en materiales poliméricos por procesos 3D FDM*. [TFG] Universidad de Pamplona. En <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5315>.
- Fernández, S., Jimenez, M., Porras, J., Romero, L., Espinosa, M., & Dominguez, M. (2016). Additive manufacturing and performance of functional hydraulic pump impellers in fused deposition modeling technology. *Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME*, 1(1), 1-5.
- Filament2print. (23 de 05 de 2023). *Filamento de Nylon-Fibra de Carbono (CF15)*. Obtenido de filament2print.com: <https://filament2print.com/es/nylon-pa/797-nylon-fibra-carbono-cf15.html>
- Filament2print. (23 de 05 de 2023). *PC (Policarbonato)*. Obtenido de filament2print.com: <https://filament2print.com/es/pc-policarbonato/661-pc-policarbonato.html>

- Filament2print. (23 de 05 de 2023). *PC-ABS Polymaker - Filament2Print*. Obtenido de filament2print.com: <https://filament2print.com/es/abs-especiales/1041-pc-abs-polymaker.html>
- Galaz, Y., & Ruiz, S. (2020). *Perspectiva Industrial Industria Automotriz*. CDMX: Deloitte.
- Goldschmidt, B. (17 de noviembre de 2022). *Infill en Cura: los mejores patrones de relleno*. Recuperado el 8 de mayo de 2023, de [https://all3dp.com/es/2/infill-cura-relleno-impresion-3d/#:~:text=El%20relleno%20\(frecuentemente%20llamado%20por,que%20est%C3%A1n%20disponibles%20en%20Cura.](https://all3dp.com/es/2/infill-cura-relleno-impresion-3d/#:~:text=El%20relleno%20(frecuentemente%20llamado%20por,que%20est%C3%A1n%20disponibles%20en%20Cura.)
- González, D. (2015). *Mantenimiento de sistemas de refrigeración y lubricación de motores térmicos*. Madrid: Paraninfo.
- Granell, A. (20 de marzo de 2016). *¿Qué es la bomba de agua del coche y cómo funciona?* Recuperado el 18 de abril de 2023, de <https://www.ro-des.com/mecanica/que-es-la-bomba-de-agua/>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGrawHill .
- InformaciónEcuador. (23 de 05 de 2023). *Autos más vendidos en Ecuador 2023*. Obtenido de informacionecuador.com: <https://informacionecuador.com/autos-mas-vendidos-en-ecuador-marcas-modelos/>
- Jaramillo, L. (2019). *Diseño de una impresora 3D bajo costo para la Escuela de Diseño de la PUCESI*. Quito: PUCE.
- Jorquera, A. (2016). *Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D*. España: Aula Mentor.

- López, N. (2021). *Impresión 3D para la fabricación de prototipos con blender y artillery genius*. Valencia : Universitat Politècnica de València.
- Martí, B. (2017). *Estudio sobre la optimización de los parámetros de fabricación en una impresora 3D con tecnología FDM*. [TFG] Universitat Politecnica de Catalunya. En <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106056>.
- Montalvo, L. (2017). *Análisis y optimización en el diseño mediante CFD de la bomba centrífuga del sistema de refrigeración de un motor kubota V3307, para fabricación nacional del elemento*. [TFM] UISEK. En <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2652>.
- Moreno, K. (2022). *Estudio de las aplicaciones y ventajas que ofrece la impresión 3D en el ámbito de la automoción*. [TFG] Universitat Politecnica de Catalunya. En https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/342961/REPORT%20%281%29_fitxer%20de%20consulta.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Patiotuerca. (02 de 02 de 2023). *Estos fueron los 5 autos más vendidos en Ecuador en el 2022*. Obtenido de Ecuador.patiotuerca.com: <https://ecuador.patiotuerca.com/blog/estos-fueron-los-cinco-autos-mas-vendidos-en-ecuador-en-el-2022/>
- Pavlovic, A., Sljivic, M., Kraisnik, M., Ilic, J., & Anic, J. (2017). Polymers in additive manufacturing: The case of a water pump impeller. *FME Transactions*, 45(3), 354–359.
- Predictiva. (10 de octubre de 2019). *Impulsores*. Recuperado el 21 de abril de 2023, de <https://predictiva21.com/2-1-impulsores/>
- Puertas, F., Alonso, M., & Palacios, M. (2020). Construcción sostenible. El papel de los materiales. *Material-ES*, 54-77. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/234187/1/construcmateri.pdf>

- Red Motor. (2022). *Motores eléctricos trifásicos uso industrial IEC-estándar*. Buenos Aires: EBERLE.
- Rodríguez, C., & López, J. (2015). *Diseño mecánico con SolidWorks*. Ra-Ma.
- Romero, C., & Carranza, Y. (2007). Elementos de diseño de sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna. *Scientia et Technica*. Obtenido de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5605/3085>
- Sánchez, C. (2018). Desarrollo de producto en la industria automotriz. *Consultora en Innovación Tecnológica*, 8(5), 2-7.
- Sánchez, R. (2014). *Sistema de refrigeración en automóviles*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Santana, M. (2007). *Diseño y especificación de la manufactura para las aspas*. Bogotá : Universidad de Los Andes.
- Silva, E. (2022). *Propuesta de material alternativo para impulsor de la bomba de agua del vehículo Chevrolet Sail 2016*. [TFG] UISEK. En <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4889>.
- SolidWorks. (19 de 5 de 2023). *CAD 3D de SOLIDWORKS para equipos de escritorio*. Obtenido de SolidWorks.com: <https://www.solidworks.com/es/domain/design-engineering>
- Tambrallimath, V., Keshavamurthy, R., Saravanabavan, D., Koppad, P., & Pradeep, G. (2019). Thermal behavior of PC-ABS based graphene filled polymer nanocomposite synthesized by FDM process. *Composites Communications*, 129-134.
- Torrice, K. (2021). *Estudio de la aplicación de impresoras 3D en el ámbito estructural*. Cataluña: UPC.
- Velasco, M., Suárez, R., & Restrepo, D. (2016). Caracterización de propiedades mecánicas de piezas en ABS en función de parámetros de proceso de manufactura aditiva FDM.

Asociación Española de Ingeniería Mecánica. Obtenido de
[https://www.researchgate.net/profile/Marco-](https://www.researchgate.net/profile/Marco-Velasco/publication/312937308_Caracterizacion_de_propiedades_mecanicas_de_piezas_en_ABS_en_funcion_de_parametros_de_proceso_de_manufactura_aditiva_FDM/links/588a2ec092851c2779b257ed/Caracterizacion-de-propiedades)

[Velasco/publication/312937308_Caracterizacion_de_propiedades_mecanicas_de_piezas_en_ABS_en_funcion_de_parametros_de_proceso_de_manufactura_aditiva_FDM/links/588a2ec092851c2779b257ed/Caracterizacion-de-propiedades](https://www.researchgate.net/profile/Marco-Velasco/publication/312937308_Caracterizacion_de_propiedades_mecanicas_de_piezas_en_ABS_en_funcion_de_parametros_de_proceso_de_manufactura_aditiva_FDM/links/588a2ec092851c2779b257ed/Caracterizacion-de-propiedades)

Zuluaga, D. (2018). *Fabricación del tenedor delantero de un vehículo de tracción humana (VTH) mediante el uso de la impresión 3D en fibra de carbono.* [TFG] UNIANDES. En <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/40175>.

Anexos

Anexo 1. Fotografías de impulsor

