



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz

DAMIAN ALEXANDER CARRERA GUANOLUISA

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

JUNIO – 2024

Yo, Damián Alexander Carrera Guanoluisa, declaro que el proyecto de investigación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento provienen de otra fuente están citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica del contenido de este Trabajo de Titulación de Maestría.

Damián Alexander Carrera Guanoluisa

C.I.: 172357480-0

© 2023, **Damián Alexander Carrera Guanoluisa** autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de titulación, modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado: **Influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz** de responsabilidad del señor **Damián Alexander Carrera Guanoluisa**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes, Mgtr.
PRESIDENTE

Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan,
Mgtr.
DIRECTOR

Ing. Edison Patricio Abarca Perez, Mgtr.
MIEMBRO

Ing. Marco Vinicio Guevara Granizo, Ph.D.
MIEMBRO

Riobamba, junio 2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi crecimiento académico y profesional. A mis padres; Silvia y Segundo, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar la distancia, desde el cielo tengo la certeza que están orgullosos de este momento, cada logro obtenido fué, es y será gracias a la Bendición a Dios y a las enseñanzas de mis padres.

A todos y cada uno de mis hermanos y hermanas que con sabios y acertados consejos estuvieron presentes cada día. A mi hermosa hija que es mi inspiración de superación. Porque sin ellos no hubiera logrado esta meta.

Damián

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fortaleza, con su bendición poder lograr cada objetivo propuesto, a mi familia y amigos, en especial a mi hermosa madre, quien siempre es y será mi inspiración y pilar fundamental, gracias por brindarme todo el apoyo, cariño, comprensión y confianza para culminar una etapa más de mi vida, recientemente partió con Dios para tener un descanso eterno, pero al igual que con mi padre serán recordados en cada palpitar por el amor y la entrega en cada uno de sus hijos. Así como a las personas que han formado parte de este trayecto de crecimiento profesional, académico y personal.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y al instituto de Posgrado y Educación Continua, por darme la oportunidad de obtener tan honorable título, y ser una persona útil a la sociedad. Agradezco a los ingenieros miembros de tribunal, por brindarme su asesoramiento en la tesis, quienes con la ayuda de su conocimiento, experiencia y comprensión se logró elaborar el presente documento.

Damián

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
SUMMARY	xv
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.1 Situación problemática.....	2
1.1.2 Formulación del problema.....	3
1.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación	3
1.3 Justificación de la investigación	4
1.3.1 Justificación teórica.....	4
1.3.2 Justificación metodológica	4
1.3.3 Justificación práctica.....	4
1.3.4 Justificación social	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis.....	6
1.5.1 Hipótesis general.....	6
1.5.2 Hipótesis específicas	6
CAPÍTULO II.....	7
2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del problema.....	7
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Espumas, esponjas y materiales celulares	9
2.2.2 Espumas metálicas	10
2.2.3 Espumas metálicas de celda abierta	10
2.2.4 Aplicaciones de espumas metálicas	11
2.2.5 Aplicaciones Automotrices.....	12

2.2.5.1	Industria automotriz	12
2.2.6	Radiador de la transmisión automática	13
2.2.6.1	Panel de radiador.....	14
2.2.6.2	Estructura del radiador	15
2.2.7	Radiador tubular con aletas onduladas.....	16
2.2.8	Radiador de panal de abeja.....	17
2.2.9	Filtros e intercambiadores de calor	18
2.2.10	Radiador de espuma de aluminio.....	19
2.2.10.1	Transferencia de calor en el intercambiador	20
2.3	Identificación de variables	20
2.4	Matriz de consistencia.....	21
2.5	Operacionalización de variables	23
CAPÍTULO III		25
3	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	25
3.1	Tipo y diseño de la investigación.....	25
3.2	Método de la investigación.....	25
3.2.1	Revisión bibliográfica	25
3.2.2	Experimental.....	25
3.3	Enfoque de la investigación.....	26
3.4	Alcance de la investigación	26
3.5	Población de estudio.....	26
3.6	Unidad de análisis	27
3.7	Selección de la muestra	27
3.8	Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.....	27
3.8.1	Método experimental	27
3.8.2	Materiales y equipos utilizados.....	28
3.8.2.1	Aluminio.....	28
3.8.2.2	Enfriador de aceite de la transmisión automática.....	29
3.8.2.3	Peso del enfriador de la transmisión.....	30
3.8.2.4	Preforma de la espuma	31

3.8.2.5	Diseño del molde	34
3.8.2.6	Preparación del proceso de fundición.....	34
3.8.3	Proceso de función de espuma pérdida	35
3.8.4	Ensamble de la espuma de aluminio con la tubería	37
3.8.5	Pruebas de temperatura del radiador con espuma metálica	38
CAPÍTULO IV		42
4	Resultados y discusión	42
4.1	Resultados de pruebas realizadas	42
4.1.1	Resultados de espesor de serpentín.....	42
4.1.2	Resultados de espumas metálicas	44
4.1.3	Comparación de resultados.....	49
CAPÍTULO V		51
5	PROPUESTA.....	51
5.1	Modelado del radiador de espuma metálica.....	51
5.2	Simulación del radiador de espuma metálica.....	51
5.2.1	Mallado de la geometría	52
5.2.2	Condiciones de borde	53
5.2.3	Resultados de la simulación	53
5.3	Radiador más eficiente	54
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Matriz de consistencia.....	21
Tabla 2-2: Operacionalización de las variables	23
Tabla 3-2: Operacionalización de las variables	24
Tabla 1-3: Instalación del serpentín con diferentes espesores	38
Tabla 2-3: Instalación del serpentín con diferentes espesores de espumas metálicas	40
Tabla 1-4: Temperaturas en el serpentín sin espuma metálica	43
Tabla 2-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 1	46
Tabla 3-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 2	47
Tabla 4-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 3	48
Tabla 5-4: Temperaturas en la espuma metálica	49
Tabla 6-4: Comparación de radiador convencional y de espuma metálica	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Materiales celulares, a) Polietileno, b) Aluminio, c) Cerámica, d) Madera, e) Hueso y f) Pan.	9
Figura 2-2. Tipos de espuma de aluminio	11
Figura 3-2. Aplicaciones automotrices en estructuras con	13
Figura 4-2. Radiador de transmisión automática	14
Figura 5-2. Radiador del vehículo	15
Figura 6-2. Panel del radiador tipo rectangular	16
Figura 7-2. Radiador tubular con aletas onduladas.....	17
Figura 8-2. Radiador tubular tipo panel de abeja.....	17
Figura 9-2. Intercambiadores de calor y filtro de espumas metálicas	18
Figura 10-2. Espuma metálica para radiador tipo rectangular.....	19
Figura 1-3. Torta de aluminio para espuma.....	28
Figura 2-3. Horno de fundición de aluminio	29
Figura 3-3. Toma de medidas estándar para el proceso de moldeo	30
Figura 4-3. Peso del enfriador de la transmisión completa	30
Figura 5-3. Peso de los tubos del enfriador	31
Figura 6-3. Modelado de los hexágonos del panel	32
Figura 7-3. Preparación del espumaflex con hexágonos del panel	32
Figura 8-3. Medidas del panel de espumaflex.....	33
Figura 9-3. Medidas del panel con tubos del enfriador.....	33
Figura 10-3. Diseño del molde para el proceso de fundición	34
Figura 11-3. Verificación del molde y matriz del panel en espumaflex	34
Figura 12-3. Verificación de componentes para fundición	35
Figura 13-3. Obtención de la espuma metálica de aluminio	36
Figura 14-3. Verificación de medidas en la espuma metálica de aluminio.....	36
Figura 15-3. Verificación de medidas.....	37
Figura 16-3. Verificación de pedo de la espuma metálica de aluminio	38
Figura 17-3. Pirómetro.....	41
Figura 1-4. Medición de temperatura con cámara termografía	43
Figura 2-4. Punto de medición de temperatura.....	44
Figura 3-4. Prueba de temperatura 1	44
Figura 4-4. Prueba de temperatura 2.....	45
Figura 5-4. Prueba de temperatura 3.....	45
Figura 6-4. Prueba de temperatura espesor 15 mm.....	46

Figura 7-4. Prueba de temperatura espesor 15 mm.....	47
Figura 8-4. Instalación del radiador convencional.....	49
Figura 1-5. Modelado radiador con la espuma metálica de aluminio	51
Figura 2-5. Preparación del modelo para simulación.....	52
Figura 3-5. Mallado del radiador	52
Figura 4-5. Condiciones de borde en el radiador.....	53
Figura 5-5. Temperatura del radiador con espuma metálica	54
Figura 6-5. Radiador de espuma metálica de aluminio.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RESUMEN FOTOGRÁFICO

ANEXO B: PRUEBAS DE TEMPERATURA TERMOGRÁFICAS

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio para la atenuación térmica en radiadores automotrices de la transmisión automática. La metodología comprendió pruebas experimentales en un prototipo de radiador utilizando diferentes configuraciones de espuma metálica de aluminio, variando el espesor de la espuma y la distancia del poro hexagonal. Los resultados experimentales destacaron que los paneles de espuma de aluminio con poros hexagonales de 12 mm y 10 mm de espesor exhibieron la mejor atenuación térmica, esto recalzó la importancia de la selección cuidadosa del tamaño de porosidad. La simulación del radiador con espuma metálica de aluminio utilizando ANSYS mediante el módulo Fluent de CFD respaldó estos hallazgos, demostrando la eficacia de la espuma en la disipación de calor. En comparación con el radiador convencional, el radiador con espuma metálica mostró una reducción significativa de la temperatura, a pesar de su mayor peso. La coherencia entre los resultados experimentales y la simulación reforzó la validez del modelo virtual. En conclusión, la variación en el tamaño de porosidad se reveló como un factor crítico para la atenuación térmica, enfatizando la eficiencia de los paneles de espuma de aluminio con poros hexagonales de 12 mm, por tanto, se recomendó una cuidadosa consideración del tamaño de porosidad en el diseño y selección de materiales para radiadores de transmisión automática automotrices, en busca de maximizar la eficiencia térmica y contribuir a un mejor rendimiento del sistema de enfriamiento en vehículos.

Palabras clave: <RADIADOR AUTOMOTRIZ>, <ATENUACIÓN TÉRMICA>, <TAMAÑO DE POROSIDAD>, <RENDIMIENTO TÉRMICO>, <POROS DE CELDAS ABIERTAS>.



0044-DBRAI-UPT-DP-2024

27-05-2024

SUMMARY

This research work has as objective to evaluate the influence of porosity size in aluminum foam panels for thermal attenuation in automotive radiators of automatic transmission. The methodology included experimental tests on a prototype radiator using different configurations of aluminum metal foam, varying the thickness of the foam and the distance of the hexagonal pore. The experimental results highlighted that aluminum foam panels with hexagonal pores of 12 mm and 10 mm thickness exhibited the best thermal attenuation, this emphasized the importance of careful porosity size selection. Simulation of the aluminum metal foam radiator using ANSYS using the Fluent CFD module supported these findings, demonstrating the effectiveness of the foam in heat dissipation. Compared to the conventional radiator, the metal foam radiator showed a significant temperature reduction, despite its greater weight. The coherence between the experimental results and the simulation reinforced the validity of the virtual model. In conclusion, variation in porosity size was revealed as a critical factor for thermal attenuation, emphasizing the efficiency of aluminum foam panels with 12 mm hexagonal pores, therefore, careful consideration of porosity size was recommended. in the design and selection of materials for automotive automatic transmission radiators, seeking to maximize thermal efficiency and contribute to better performance of the cooling system in vehicles.

Keywords: <AUTOMOTIVE RADIATOR>. <THERMAL ATTENUATION>, <POROSITY SIZE>, <THERMAL PERFORMANCE>, <OPEN CELL PORES>.



0044-DBRAI-UPT-DP-2024

27-05-2024

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

Las espumas de aluminio son materiales porosos que tienen una relevante combinación de propiedades físicas y mecánicas, tales como alta rigidez juntamente con un peso específico muy bajo o una alta permeabilidad con una conductividad térmica elevada. Las espumas metálicas son materiales con una estructura interna compleja y propiedades especiales. La estructura interna de estos materiales consiste en poros creados artificialmente en la matriz metálica. Son estos poros, o más bien su tamaño, forma y distribución en la matriz metálica, los que le confieren a estos materiales su combinación específica de propiedades. Se detallan diversas aplicaciones de las espumas de aluminio, dividiéndolas en función de los diferentes sectores industriales.

El presente estudio tiene como objetivo principal la elaboración de paneles de espumas metálicas de aluminio de celda abierta, el cual será aplicado en la elaboración de un prototipo de radiador automotriz para pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante, dicho prototipo constará de un panel de espuma de aluminio acoplada a un serpentín en la parte posterior y ensamblada mediante conexiones al sistema, el tipo de preforma con el que se trabajará será obtenida mediante bibliografía previa y mediante el diseño e impresión en 3D con diferente espesor de ligamento intersticial, el cual será el patrón a replicar para la obtención del panel de espuma, posteriormente se realizará la obtención del molde (negativo), por consiguiente se realizará fundición, dicho proceso será descrito a detalle en el trabajo de titulación. Para finalmente, realizar un estudio basado en los resultados obtenidos de las pruebas de variación de temperatura y se comparará con temperaturas de operación en radiadores convencionales.

1.1 Planteamiento del problema

En la sociedad contemporánea, la búsqueda constante de materiales innovadores que ofrezcan propiedades mecánicas, térmicas y acústicas óptimas ha llevado al interés creciente en las espumas metálicas, especialmente en el ámbito automotriz. Dentro de este contexto, el presente estudio se enfoca en la evaluación de paneles de espuma de aluminio de celda abierta para su aplicación en prototipos de radiadores automotrices.

Aunque las propiedades de las espumas metálicas, la falta de investigación y producción local de paneles de espuma de aluminio en Ecuador indica un vacío importante en el conocimiento y aplicación de este material en el sector automotriz. La falta de métodos sistemáticos y experimentales para la obtención de estos paneles limita el progreso tecnológico y la posible optimización de la transferencia de calor en los radiadores de los vehículos.

El desarrollo de prototipos de radiadores automotrices utilizando paneles de espuma de aluminio con diversa porosidad plantea desafíos específicos relacionados con la obtención, ensamblaje y evaluación de dichos paneles. La necesidad de entender cómo el tamaño de porosidad afecta la atenuación de temperatura en el refrigerante, así como la relación entre la densidad y la atenuación térmica, destaca la relevancia de esta investigación para la industria automotriz en Ecuador.

En este contexto, se identifica la falta de un marco estratégico de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) en tecnologías de materiales automotrices en Ecuador, específicamente en el campo de las espumas metálicas. La inexistencia de un plan estratégico limita el potencial de aplicación de estos materiales en el diseño y fabricación de radiadores automotrices, lo que motiva la necesidad de este estudio para contribuir a la generación de conocimiento y establecimiento de bases tecnológicas en el país.

1.1.1 Situación problemática

En el contexto actual de la industria automotriz en Ecuador, se evidencia una carencia significativa en la investigación y aplicación de materiales innovadores para mejorar la eficiencia térmica de los radiadores automotrices. A pesar de las constantes demandas de vehículos más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, la falta de atención a las propiedades térmicas de los componentes cruciales, como los radiadores, limita el avance tecnológico en el sector.

La situación problemática se agrava al constatar que no existe una producción local de paneles de espuma de aluminio en Ecuador, a pesar de las prometedoras propiedades de este material para la

transferencia de calor. La ausencia de investigación y desarrollo específico en esta área impide la optimización de los radiadores automotrices, contribuyendo a un escenario donde los vehículos en el país no aprovechan plenamente tecnologías avanzadas que podrían mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración.

Por lo tanto, genera desafíos para la industria automotriz local y el desarrollo tecnológico del país en su conjunto. La falta de iniciativa para explorar y aplicar las propiedades de las espumas metálicas, especialmente en la producción de radiadores, es una oportunidad perdida para mejorar la eficiencia de los vehículos y avanzar hacia estándares internacionales de sostenibilidad y rendimiento.

La necesidad de abordar esta situación se vuelve aún más apremiante considerando el contexto global, donde las tendencias de la industria automotriz se orientan hacia la eficiencia energética y la reducción de emisiones. La falta de investigación y aplicación de materiales como las espumas de aluminio en radiadores automotrices coloca a Ecuador en una posición rezagada en términos de innovación y competitividad en el mercado automotriz regional e internacional.

1.1.2 Formulación del problema

¿De qué manera influye la variación en el tamaño de porosidad de los paneles de espuma de aluminio, utilizados como medio para reducir la temperatura en un prototipo de radiador automotriz, en la mejora de las propiedades de absorción de calor y, por consiguiente, en la eficiencia térmica de los radiadores automotrices?

1.2 Preguntas directrices o específicas de la investigación

- ¿Cómo obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz?
- ¿Cómo ensamblar un prototipo de radiador automotriz mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo, para la realización de pruebas en campo?
- ¿Cómo evaluar paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica?
- ¿Cómo comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación teórica

Las espumas metálicas representan materiales innovadores de gran interés debido a su combinación de propiedades mecánicas, acústicas y térmicas excepcionales. Es crucial garantizar que estos materiales cumplan con estándares y protocolos para su producción, evaluando tanto sus capacidades y comportamientos como su impacto en el entorno y las condiciones de servicio. La producción de paneles de espuma metálica ofrece la oportunidad de desarrollar un material liviano con excelentes propiedades térmicas. A través de esta investigación, se busca recopilar la información fundamental necesaria para profundizar en este estudio propuesto y así comprender más a fondo sus aplicaciones y potencialidades.

1.3.2 Justificación metodológica

El fundamento metodológico de este trabajo de titulación fue la necesidad de desarrollar un enfoque sistemático y riguroso para resolver el problema de cambiar la porosidad de los paneles de espuma de aluminio en un prototipo de radiador de automóvil. La selección y aplicación de métodos y técnicas de prueba apropiados permitirán obtener datos importantes y confiables que validen la evaluación del impacto de la porosidad en las propiedades de absorción de calor y el rendimiento térmico del prototipo.

El método propuesto incluirá la producción controlada de paneles de espuma de aluminio con diversos grados de porosidad, pruebas experimentales en ambientes típicos de radiadores de automóviles y medición precisa de variables térmicas. La sistematización de estos procesos garantizará resultados confiables y repetibles.

1.3.3 Justificación práctica

La investigación es importante porque en nuestro país no existe la producción de paneles de espuma metálica de aluminio con estructuras esféricas. Este innovador proyecto tiene el potencial de estimular más investigaciones que conduzcan al desarrollo y producción de este material. Los paneles de espuma de aluminio se destacan como una tecnología avanzada y muy prometedora, particularmente para mejorar la transferencia de calor en los radiadores de los automóviles debido a su construcción liviana y de gran escala. La implementación de este proyecto no sólo llenará el

vacío en la producción local, sino que también abrirá nuevas perspectivas tecnológicas en el campo de los materiales y la ingeniería térmica.

1.3.4 Justificación social

Este proyecto se justifica porque busca mejorar la eficiencia térmica de los radiadores de los automóviles, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la industria del automóvil y reduciendo las emisiones contaminantes. El objetivo de introducir innovadores paneles de espuma de aluminio es para optimizar el rendimiento térmico, y promover el desarrollo local para fomentar prácticas más respetuosas con el medio ambiente en el sector del transporte. Además, la investigación puede inspirar avances tecnológicos en otros campos y contribuir a soluciones sostenibles en todo el mundo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz para transmisión automática.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener paneles de espumas de aluminio de celdas abiertas de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz para transmisión automática.
- Ensamblar un prototipo de radiador automotriz de transmisión automática mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo para el desarrollo de pruebas de campo.
- Evaluar los paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica.
- Comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional para transmisión automática.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Si se logrará evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Sí se logrará obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz.
- Sí se logrará ensamblar un prototipo de radiador automotriz mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo, para la realización de pruebas en campo.
- Sí se podrá evaluar paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica.
- Sí se podrá comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

La evolución tecnológica en la industria automotriz, la eficiencia térmica de los sistemas de enfriamiento, especialmente en los radiadores, es un área crucial de investigación. La necesidad de mejorar la gestión térmica de los automóviles ha suscitado interés en materiales avanzados, y los paneles de espuma de aluminio han surgido como una posible solución para optimizar la transferencia de calor en estos sistemas. Debido a sus propiedades únicas, como porosidad y características mecánicas, acústicas y térmicas, estos paneles son candidatos ideales para aplicaciones en el enfriamiento vehicular. Por tal motivo se ha realizado una búsqueda de investigaciones que anteceden a este estudio que permiten una comprensión más detallada que se presentan a continuación:

En la investigación realizada por Zhang, (2017), se analizó la optimización del proceso de fabricación y comportamiento térmico de espumas metálicas, enfocándose su aplicación para el almacenamiento de energía. Se emplearon dos modelos de espuma de aluminio (MAHP/MCP y MAFP/MCP) para simulación numérica, evidenciando mejoras significativas en la transferencia de calor en la fusión del PCM en un sistema de almacenamiento térmico. La porosidad de las espumas impactó tanto en el proceso de fusión del PCM como en el rendimiento del almacenamiento de energía. La metodología se basó en técnicas de impresión 3D para desarrollar espumas de aluminio de poro abierto y periódico. Se realizó un análisis experimental del comportamiento térmico, contribuyendo al entendimiento de la influencia de las espumas metálicas en el almacenamiento de energía térmica (p. 24).

Por otro lado, en el estudio realizado por Lafdi et al. (2007), se examinó la influencia de la porosidad y tamaño de poro en materiales de cambio de fase (PCM) para la gestión térmica de chips electrónicos. La investigación de Velraj destaca la eficacia de métodos de mejora, como aletas y anillos, para la solidificación. Otros estudios, Cabeza y Uros, exploran la adición de piezas metálicas para mejorar la transferencia de calor. Además, un estudio específico con espumas de aluminio y PCM resalta la influencia significativa de la porosidad de la espuma en el rendimiento térmico del compuesto cera/aluminio. Estos antecedentes subrayan la importancia de optimizar porosidad y tamaño de poro para aprovechar los efectos de conducción y convección en la transferencia de calor, mejorando el rendimiento térmico del compuesto (p. 4).

Tomando en cuenta a Raja et al. (2021) realizó el estudio sobre Espumas metálicas de célula abierta también llamadas sustrato poroso, se consideran uno de los mejores contendientes para mejorar la tasa de transferencia de calor, con ventajas adicionales de peso ligero y tamaño compacto. La característica única de las espumas metálicas que las distingue de los metales sólidos típicos ha ganado mucha atención y encuentra posibilidades de uso en muchas aplicaciones industriales. La mejora de la transferencia de calor y la mejora de la conductividad térmica efectiva mediante el uso microporos espumas metálicas con un tamaño de poro de ≤ 1 mm. Además, el estudio resume que, los resultados de transferencia de calor por convección forzada con aire, agua, refrigerantes y nano fluidos (HTE). También se discuten trabajos experimentales/numéricos. Finalmente, concluye con las aplicaciones del uso de espumas metálicas en diversos campos e identifica las oportunidades y desafíos para futuras investigaciones porque mejora la transferencia de calor y la densidad de los poros en efectos de la porosidad utilizando espumas metálicas de microporos que no se han abordado en la literatura existente.

El estudio realizado por Rodríguez et al. (2019) , evaluó la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz, destaca la combinación única de propiedades físicas y mecánicas de las espumas metálicas de aluminio, incluyendo alta resistencia, rigidez, amortiguación y absorción de sonido y energía. Estas características, junto con la eficiente reflexión de las ondas electromagnéticas y una buena conductividad eléctrica, han sido reconocidas como ventajas significativas para el uso de este material como blindaje.

Citando a Sharma et al. (Sharma et al., 2019) investigaron la "Influencia de la porosidad en el comportamiento mecánico durante pruebas de compresión uniaxial en espuma de aluminio de celda abierta a base de Voronoi". Utilizando el método de teselación de Voronoi, exploraron el modelado de espuma de aluminio de celda abierta y su respuesta mecánica bajo cargas de compresión uniaxial. Fusionaron el código Voronoi con el diseño asistido por computadora (CAD) para crear muestras porosas y realizaron simulaciones numéricas de compresión uniaxial con diferentes porosidades (30%, 60% y 80%). Aplicaron un modelo elastoplástico no lineal y analizaron las curvas tensión-deformación, destacando la influencia de la porosidad en el mecanismo de deformación. Las muestras más porosas exhibieron tensiones normales más altas y mayores niveles de tensión, mientras que el aumento de la porosidad generó incrementos en las tensiones de compresión y tracción. El modelado basado en Voronoi concordó con resultados experimentales en condiciones cuasi estáticas y en la región elástica lineal (por debajo del 1% de deformación).

Citando a Fernández et al. (2017) realizó estudio para evaluar las propiedades termo físicas y la permeabilidad de la espuma de aluminio metálico con fines funcionales. Para determinar el coeficiente de permeabilidad y la conductividad térmica de la espuma de aluminio metálico, se realizaron pruebas de transferencia de calor y caída de presión. Para ambos ensayos se utilizaron muestras de espuma metálica con un diámetro de 50 mm y un espesor de 20 mm, con tamaños de poro que oscilaban entre 0,5 y 2,0 mm. El sistema de flujo de fluido se ajustó para realizar pruebas de caída de presión y se utilizó la ley de Darcy para calcular los valores de permeabilidad. Para determinar el coeficiente de conductividad se utilizan pruebas de caja térmica y la ley de Fourier. Los resultados muestran que el tamaño de los poros tiene una influencia significativa en los valores de permeabilidad y conductividad térmica. Finalmente, los resultados se compararon con los de otros investigadores y se encontró que eran consistentes con los obtenidos en trabajos anteriores.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Espumas, esponjas y materiales celulares

Las estructuras con características similares a las espumas se encuentran de forma natural en diversos materiales como la madera, esponjas, corales, corcho y huesos, así como en productos elaborados por el ser humano desde tiempos antiguos, como el pan. En el ámbito de la ingeniería, se utiliza el término "espumas" para referirse a un tipo específico de materiales que, a diferencia de los sólidos masivos, son diseñados con una estructura celular (Carranza, 2023).

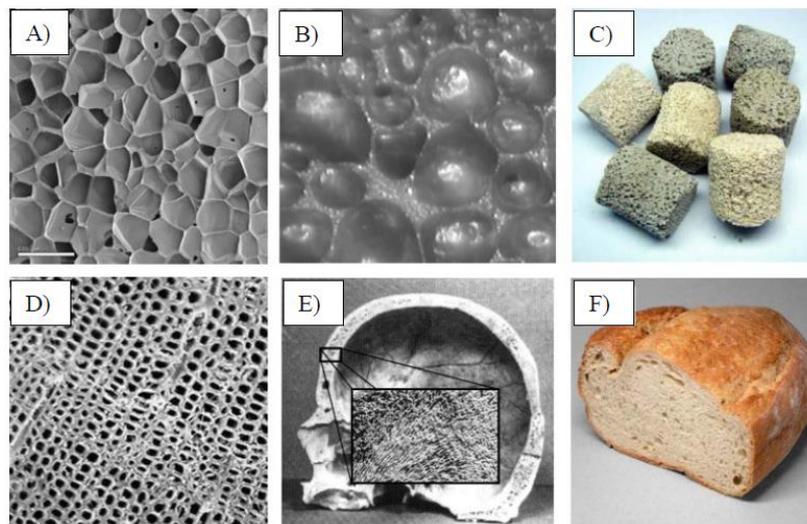


Figura 1-2. Materiales celulares, a) Polietileno, b) Aluminio, c) Cerámica, d) Madera, e) Hueso y f) Pan.

Fuente: (Carranza, 2023)

La palabra "celda" tiene su origen en el latín, *cella*, que significa pequeño compartimiento o espacio cerrado. Estas celdas pueden agruparse formando sólidos celulares, también conocidos como *cellarium* en la terminología romana. Un sólido celular se define como una red o conjunto de celdas (o polígonos) con caras y/o ejes sólidos unidos entre sí, formando una estructura bidimensional o tridimensional. Este tipo de materiales no es novedoso y se encuentra ampliamente presente en la naturaleza (Carranza, 2023).

2.2.2 *Espumas metálicas*

El primer registro conocido de espumas metálicas se remonta a 1940, cuando Benjamin Sosnick patentó un proceso para fabricar una "Masa Metálica con Aspecto de Espuma". Este método se basaba en las fases diferenciales de fusión de los componentes de ciertas aleaciones metálicas, aprovechando que estos componentes tenían puntos de fusión distintos. La aleación se mantenía en un recipiente presurizado durante el calentamiento, evitando que el metal en forma gaseosa escapara antes de la liberación de la presión. Al enfriarse rápidamente, el metal se solidificaba formando una estructura sólida llena de poros cerrados (Santos da Costa, 2009).

Las espumas metálicas ofrecen ventajas significativas, como una mayor resistencia a los daños y a las fracturas repentinas, ya que las estructuras de poros abiertos tienen la capacidad de absorber fuerzas de tracción o compresión. Este atributo las convierte en una opción ampliamente utilizada para propósitos protectores, destacando su excelente capacidad para disipar la energía de impacto (Santos da Costa, 2009).

Las espumas metálicas, aunque conocidas desde hace tiempo, se encuentran actualmente en una fase activa de investigación y desarrollo. Gracias a nuevas formas de producción, se ha logrado fabricar espumas con aplicaciones de mayor valor económico y hacer viable su producción a gran escala. El tamaño y la forma de las células o poros determinan las propiedades de estas estructuras, las cuales pueden satisfacer requisitos específicos de distintas partes de una estructura (Santos da Costa, 2009).

2.2.3 *Espumas metálicas de celda abierta*

La estructura de celda abierta se refiere a la disposición de los poros en un material en el que todos los poros están interconectados como se muestra en la figura 2-2. En esta configuración se obtiene una fase gaseosa continua en todo el material. Este tipo de espuma metálica tiene una serie de propiedades y beneficios relacionados con su capacidad para hacer pasar gases o líquidos a través de su estructura porosa (Pacha & Chango, 2019, p. 6-10).

Las espumas se utilizan por sus propiedades térmicas, ya que tienen una excelente capacidad de disipación de calor, durante la producción de espuma de células abiertas se utilizan rellenos y luego se eliminan. Esta técnica crea una estructura porosa interconectada que confiere al material ciertas propiedades, como la capacidad de facilitar el flujo de gases o líquidos, lo que resulta útil en aplicaciones como intercambiadores de calor y otros equipos de transferencia de calor (Pacha & Chango, 2019, p. 6-10).

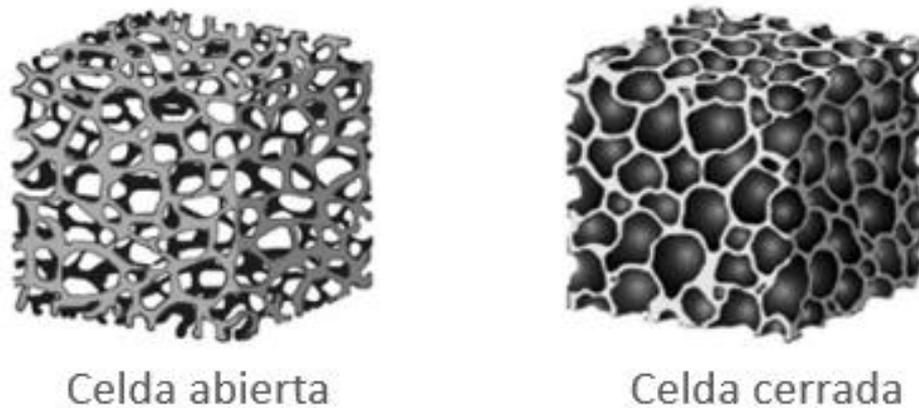


Figura 2-2. Tipos de espuma de aluminio

Fuente: (Mexpolímeros, 2023)

2.2.4 Aplicaciones de espumas metálicas

Las espumas metálicas tradicionales y las espumas metálicas reforzadas son dos clases diferentes de materiales que se utilizan ampliamente en diferentes aplicaciones debido a sus propiedades únicas. La espuma metálica tradicional se caracteriza por una estructura porosa abierta y es un material metálico poroso con baja densidad y alta superficie específica. Estas propiedades lo hacen ideal para aplicaciones como aislamiento térmico, absorción de impactos y amortiguación de vibraciones. Sin embargo, tienen limitaciones en términos de resistencia mecánica y rigidez (Surappa, 2003).

En contraste, las espumas metálicas reforzadas constituyen una versión mejorada de las espumas convencionales diseñadas con una estructura celular más robusta y reforzadas con elementos adicionales como fibras o partículas, estas espumas experimentan un notable aumento en su resistencia mecánica y rigidez. Esto las posiciona como materiales adecuados para aplicaciones que demandan niveles elevados de resistencia y rigidez, como la fabricación de piezas estructurales en las industrias aeroespacial y automotriz (Surappa, 2003).

2.2.5 Aplicaciones Automotrices

La espuma de aluminio se ha convertido en un material innovador con propiedades únicas que llama la atención de la industria automotriz. Esta sección describe el papel cada vez mayor de la espuma de aluminio en diversas aplicaciones como la necesidad de materiales livianos y eficientes en la industria automotriz actual y se exploran las propiedades únicas que hacen de la espuma de aluminio una opción atractiva. Esta sección analiza la importancia de estos materiales en la producción de piezas de automóviles y sienta las bases para investigaciones específicas sobre el uso de espuma de aluminio para reducir las temperaturas en los radiadores de automóviles.

Estos metales porosos se dividen en dos grupos: espumas metálicas de células cerradas y metales porosos con estructuras de células abiertas. El aluminio poroso, debido a sus ventajas, se ha convertido en uno de los más estudiados y aplicados, con potencial en la industria aeroespacial, automotriz, petroquímica y de construcción (Wan et al., 2021, p. 12).

2.2.5.1 Industria automotriz

La necesidad de garantizar la seguridad de los automóviles ha experimentado un aumento, en gran medida atribuible al incremento de peso en varios componentes. Sin embargo, se ha suscitado un debate en torno a la importancia de reducir el consumo de combustible y lograr disminuciones en el peso de los vehículos. Específicamente en Japón y en países europeos, se han establecido requisitos para vehículos con menor peso, con la condición de que esta reducción no comprometa la seguridad en el área de pasajeros. La estrategia inicial consistía en desarrollar motores más compactos o reducir el tamaño de otras partes estructurales para preservar la comodidad de los pasajeros. (Srivastava & Sahoo, 2007).

Adicionalmente, la creciente exigencia de reducir las emisiones acústicas de los vehículos ha generado una nueva demanda en el ámbito de los amortiguadores o absorbedores de sonido. La figura adjunta ilustra cómo las espumas metálicas han influido en estos componentes automotrices, evidenciando cambios significativos en su diseño y función (Srivastava & Sahoo, 2007)

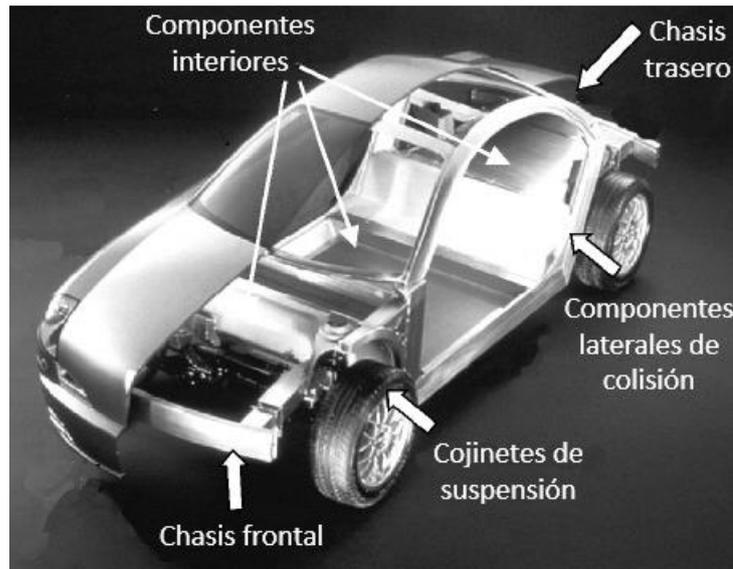


Figura 3-2. Aplicaciones automotrices en estructuras con espumas metálicas

Fuente: (Srivastava & Sahoo, 2007)

2.2.6 Radiador de la transmisión automática

El refrigerador de la transmisión automática es un componente esencial en los vehículos equipados con transmisión automática y juega un papel clave en la regulación térmica del líquido de la transmisión. Suele estar ubicado en el radiador del vehículo y consta de canales por donde fluye el líquido de transmisión. Durante el funcionamiento, el fluido caliente se dirige a través de estos conductos y el flujo de aire creado por el sistema de enfriamiento ayuda a disipar el calor para mantener temperaturas óptimas. Esto es esencial para evitar el sobrecalentamiento, la degradación de los fluidos y el desgaste prematuro de las piezas de la transmisión, lo que ayuda a lograr un rendimiento suave y una larga vida útil de la transmisión automática (Aliexpress, 2023).

Enfriadores de aceite de 4, 6 y 8 filas, radiadores de transmisión de aluminio y piezas típicas de modificación de automóviles. Este enfriador versátil se puede utilizar para enfriar el aceite del motor, el aceite de la transmisión automática y el diferencial trasero, proporcionando un rendimiento eficiente en una variedad de aplicaciones. Su revestimiento anodizado aumenta la resistencia y la protección contra la corrosión para una vida más larga, lo que la convierte en una inversión confiable. Esto es especialmente beneficioso para vehículos de alto rendimiento. Mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración ayuda a prolongar la vida útil del motor y transmisión automática manteniendo el máximo rendimiento (Aliexpress, 2023).

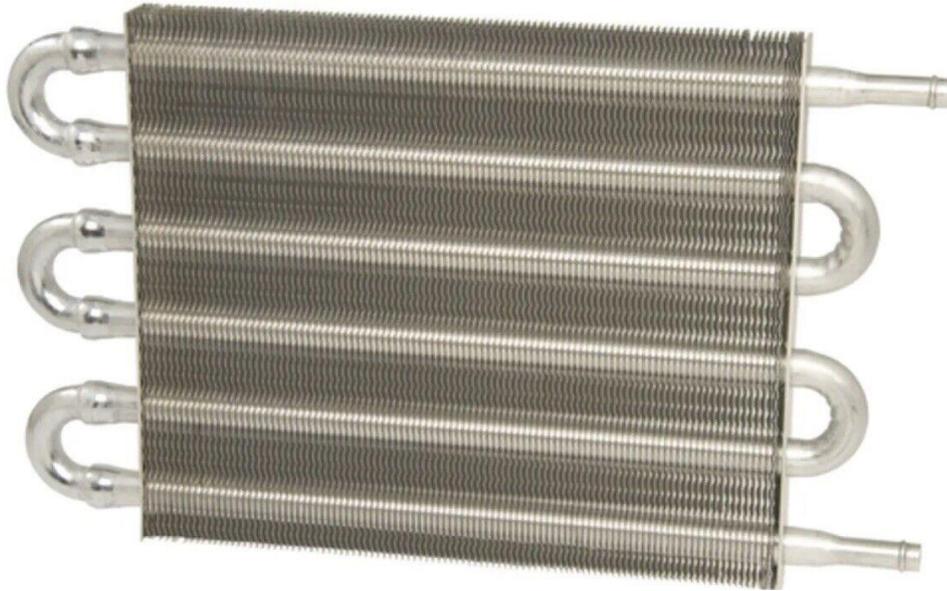


Figura 4-2. Radiador de transmisión automática

Fuente: (Aliexpress, 2023)

2.2.6.1 *Panel de radiador*

El panel del radiador es una parte integral del sistema de refrigeración del vehículo, especialmente el radiador. Este componente contribuye significativamente a la eficiencia del intercambio de calor. Consiste en una estructura plana que suele situarse entre los depósitos superior e inferior del radiador. La función principal del panel del radiador es garantizar una transferencia de calor eficiente entre el refrigerante y el aire que fluye a través de este. El proceso es fundamental para disipar el exceso de calor generado por el vehículo durante su funcionamiento (Valeo, 2023).

El diseño del panel de radiador suele incluir una serie de canaletas y aletas que aumentan la superficie de contacto entre el líquido refrigerante y el aire. Estas características estructurales favorecen la disipación eficiente del calor, garantizando que el sistema de enfriamiento funcione de manera efectiva (Valeo, 2023).

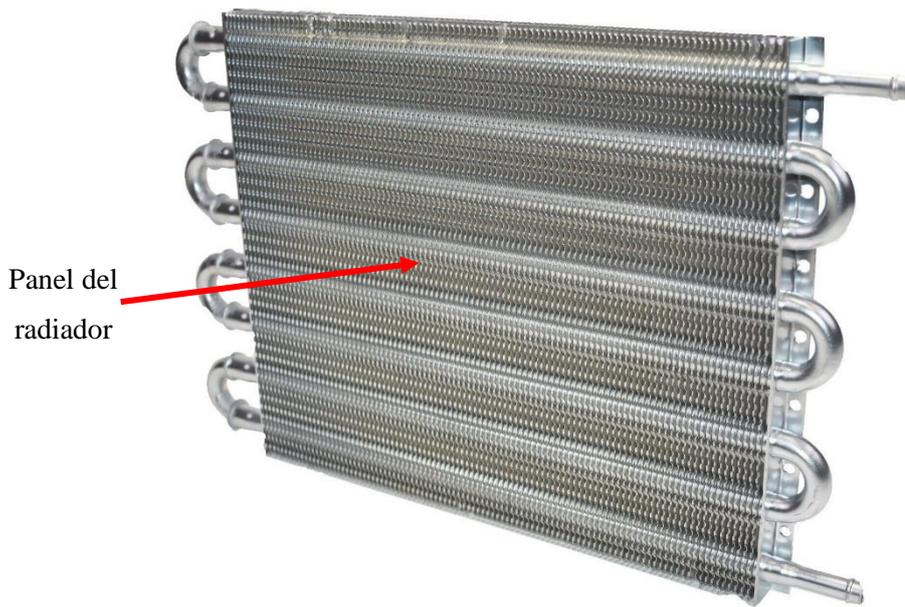


Figura 5-2. Radiador del vehículo

Fuente: (Valeo, 2023)

2.2.6.2 Estructura del radiador

La estructura del radiador en las transmisiones de automóviles suele ser alveolar, cuadrada o rectangular mediante tubos planos que están equipados con un sistema de aletas que aumenta la superficie de disipación de calor (Morales, 2020).

El proceso funciona dirigiendo el refrigerante a través de finas aletas metálicas, promoviendo así una transferencia de calor más eficiente hacia el exterior. Básicamente, el radiador ayuda a enfriar el refrigerante que enfría el aceite del motor y transmisión automática. Existen diferentes clasificaciones de radiadores según factores como la ubicación del tanque, los materiales de construcción y el diseño de construcción tubular (Morales, 2020).

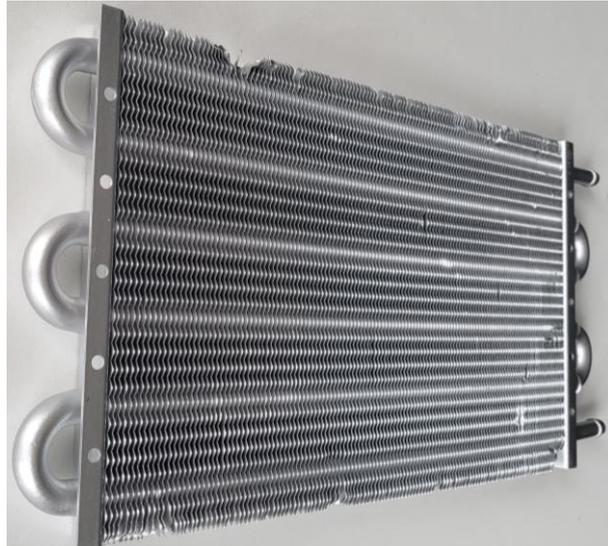


Figura 6-2. Panel del radiador tipo rectangular

Fuente: (Valeo, 2023)

2.2.7 Radiador tubular con aletas onduladas

Hoy en día, este tipo de radiador es el más utilizado en vehículos. Su estructura consta de una serie de conductos, generalmente de forma rectangular, y es común observarlos ubicados tanto en posición vertical como horizontal. En este diseño, la superficie de disipación está compuesta por aletas de tamaño reducido y con formas onduladas. Algunas secciones de estas aletas entran en contacto directo con los tubos por los cuales circula el refrigerante, facilitando la transferencia de calor desde los tubos hacia las aletas y, posteriormente, hacia el entorno. La disposición específica de las aletas en la Figura 4-2 busca maximizar la superficie de intercambio de calor con el entorno y, al mismo tiempo, mediante su geometría, generar turbulencias en el aire que atraviesa el radiador. Esto logra que el aire recorra la mayor superficie posible sobre las aletas (Palos, 2020, p. 35).

Esta configuración de radiadores se considera actualmente la más eficiente en términos de relación peso/capacidad de refrigeración. Esto es especialmente importante porque el diseño es fácil de mantener y presenta pocos daños y obstrucciones.



Figura 7-2. Radiador tubular con aletas onduladas

Fuente: (Palos, 2020)

2.2.8 Radiador de panal de abeja

Este diseño, conocido también como de nido de abeja o celular debido a su característica geometría, tiene sus raíces en los primeros años del siglo XX. El radiador se compone de numerosos tubos soldados entre sí en sus extremos, creando un espacio libre en la sección central por donde fluye el refrigerante en dirección descendente. En este diseño, no hay conductos específicos destinados al paso del refrigerante; en cambio, este circula a través de los espacios libres generados por las soldaduras entre los tubos, mientras el aire fluye perpendicularmente (Palos, 2020, p. 35).

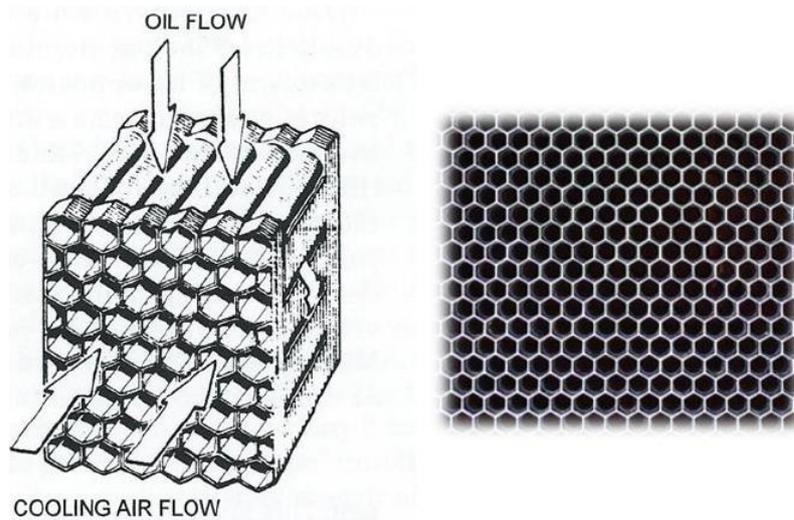


Figura 8-2. Radiador tubular tipo panel de abeja

Fuente: (Palos, 2020)

La singularidad de este diseño aporta tanto ventajas como desventajas. Por un lado, la relación entre el volumen de líquido refrigerante y la superficie de transferencia de calor es altamente

eficiente, lo que implica una menor cantidad de refrigerante necesaria, resultando en una reducción de peso y un tiempo de calentamiento. Sin embargo, las desventajas incluyen una propensión significativa a la obstrucción de los estrechos orificios por donde circula el refrigerante entre los tubos, debido al reducido tamaño de estos pasajes. Además, la fragilidad del sistema completo, derivada de los múltiples puntos de unión mediante soldadura, representa otro inconveniente (Palos, 2020).

2.2.9 Filtros e intercambiadores de calor

Las espumas metálicas de porosidad abierta exhiben una significativa área superficial, convirtiéndolas en materiales altamente idóneos para su aplicación como intercambiadores de calor. Se puede inducir calor a la espuma o extraer calor de esta al hacer pasar un gas o un líquido, como aire o agua, a través de sus poros. Un ejemplo concreto de estas aplicaciones se encuentra en los colectores compactos de calor, ampliamente empleados para refrigerar dispositivos electrónicos como chips o fuentes de energía en computadoras (Posadas, 2018, p. 29).

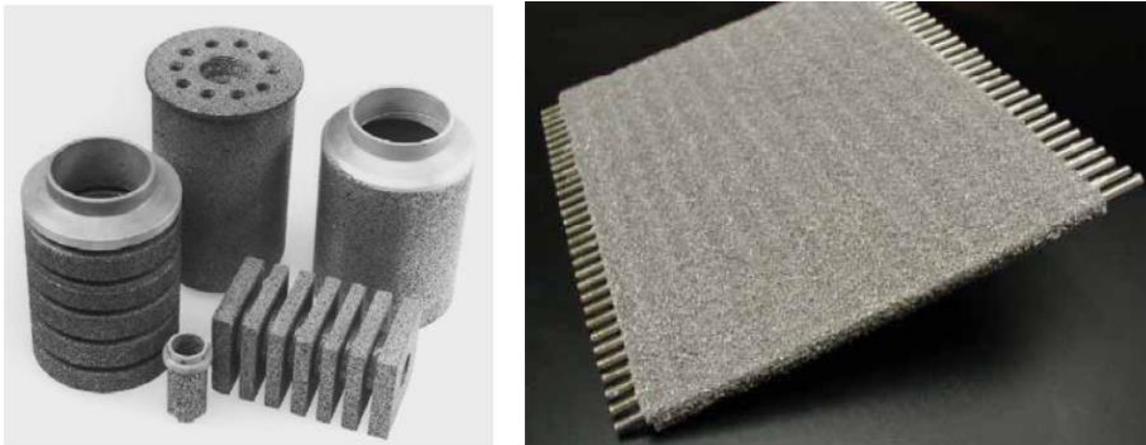


Figura 9-2. Intercambiadores de calor y filtro de espumas metálicas

Fuente: (Posadas, 2018, p. 29)

Dada su estructura celular única, las espumas también son apropiadas para desempeñar funciones de filtrado al permitir el paso de un fluido que contiene partículas en suspensión. Se pueden distinguir dos categorías de filtros: aquellos que separan y retienen partículas sólidas en líquidos (suspensiones) y aquellos que retienen partículas sólidas o líquidas en gases. Las propiedades cruciales que determinan la idoneidad de un material como filtro incluyen la capacidad de filtrado, la retención de partículas, la facilidad de limpieza, las propiedades mecánicas, la resistencia a la corrosión, aspecto que se explorará más adelante, y el coste. En este contexto, las espumas metálicas tienen la capacidad de competir eficazmente con los materiales convencionales utilizados en la fabricación de filtros e intercambiadores de calor (Posadas, 2018, p. 29).

2.2.10 Radiador de espuma de aluminio

La espuma de aluminio del panel de instrumentos es un innovador material metálico con una estructura de esponja formada después de la fusión de lingotes de aluminio con diversos ingredientes químicos. Este material presenta numerosas estructuras internas de células porosas, configurándose como una estructura celular compuesta por aluminio sólido con una significativa fracción de volumen de gas lleno de poros. Estos poros pueden estar sellados (conocido como AFP de celda cerrada) o constituir una red interconectada de células abiertas (AFP), además de sus propiedades acústicas.



Figura 10-2. Espuma metálica para radiador tipo rectangular

Fuente: (Valeo, 2023)

Las ventajas de la espuma de célula abierta de aluminio (AFP) se manifiestan principalmente en la combinación de atributos como alta rigidez con bajo peso y la capacidad de absorber energía hacen que estos paneles de Al-Foam sean ideales para componentes livianos con requisitos específicos. Las características de AFP incluyen la absorción de ruido, ventilación, resistencia al fuego, ultraligera, 100% de reciclabilidad y ser respetuoso con el medio ambiente.

Detalles del radiador de espuma de aluminio:

- La porosidad varía entre el 63% y el 90%.
- El grosor del panel comienza desde 4 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 20 mm, 25 mm, etc.
- Número de poros por pulgada (PPI): 10PPP, 20PPP, 30PPP.

- Tamaño desde 50PPP hasta 500x500 mm.
- Densidad: 0.7 g/cm³.

Propiedades destacadas en la espuma de aluminio del radiador:

- Absorción de energía de alto impacto.
- Absorción acústica.
- Baja conductividad térmica.
- Fuerza compresiva.
- Estructura reducida de vibraciones y amortiguación de ondas electromagnéticas.
- Baja conductividad eléctrica.

2.2.10.1 *Transferencia de calor en el intercambiador*

La celda de espuma de aluminio destaca como un excelente medio de transferencia de calor mediante convección forzada. Su aplicabilidad como disipador de calor de alta densidad de flujo de calor es notable, ya que la espuma de aluminio presenta baja conductividad térmica, buena resistencia al calor y capacidad de resistir el fuego. Este material exhibe una relación de aspecto de celda abierta ideal, con una superficie que oscila entre 10,000 y 20,000 m²/m³, considerablemente mayor que la de los metales con aletas utilizados en intercambiadores de calor (con una relación de 10,002/m³). Esto lo hace especialmente adecuado para intercambiadores de calor compactos (Chalco, 2019).

Además, la espuma de aluminio, con su alta conductividad térmica y gran superficie específica, puede servir directamente como superficie de transferencia de calor por convección forzada. Las ventajas estructurales de su red tridimensional ofrecen mejoras notables en la transferencia de calor mediante cambio de fase. La eficiencia en la transferencia de calor se atribuye principalmente a la destacada conductividad térmica del aluminio (Chalco, 2019).

2.3 **Identificación de variables**

Variable independiente:

Variable dependiente:

2.4 Matriz de consistencia

Tabla 1-2: Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
¿Como evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz?	Evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz.	Si se logrará evaluar la influencia del tamaño de porosidad en paneles de espuma de aluminio aplicadas como medio de atenuación de temperatura en un prototipo de radiador automotriz.	V. Independiente <i>Tamaño de poro</i> D1: Molde D2: Fundición D3: Panel de espuma	- Material - Configuración - Espesor de ligamento - Inserción de serpentín de bronce en molde - Carga - Limpieza de material - Temperatura - Purificación de la colada	-Impresión 3D / Moldeo -Impresión de 3 matrices. Medición directa. Cálculo de carga. Selección Observación Experimental.	- Calibrador - Termocupla - Balanza - Impresora 3D - Software (Image J) - ASTM D3575 (Foam test) - Medidor de espesores - Microscopio óptico - Cronómetro
¿Cómo obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz?	Obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz.	Sí se logrará obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante procedimiento experimental para aplicaciones en un prototipo de radiador automotriz.	V. Dependiente <i>Paneles de espumas de aluminio</i> D1: Dimensión	- Dimensión de poro - Espesor del ligamento - Colado de metal - Temperatura del radiador - Tiempo de atenuación de temperatura	Destructiva Moldeo por gravedad Observación Experimental Toma de datos	- Medidor de espesores - Microscopio óptico - Cronómetro

<p>¿Cómo ensamblar un prototipo de radiador automotriz mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo, para la realización de pruebas en campo?</p>	<p>Ensamblar un prototipo de radiador automotriz mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo, para la realización de pruebas en campo.</p>	<p>Sí se logrará ensamblar un prototipo de radiador automotriz mediante el acople entre paneles de espuma de aluminio y sistema de refrigeración de un vehículo, para la realización de pruebas en campo.</p>	<p>D2: Temperatura</p> <p>D3: Tiempo</p>			
<p>¿Cómo evaluar paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica?</p>	<p>Evaluar paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica.</p>	<p>Sí se podrá evaluar paneles de espumas de aluminio de celda abierta de diverso tamaño de porosidad, mediante la realización de pruebas experimentales de atenuación de temperatura en el refrigerante y la relación densidad-atenuación térmica.</p>				
<p>¿Cómo comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional?</p>	<p>Comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional.</p>	<p>Sí se podrá comparar valores obtenidos en pruebas experimentales de atenuación de temperatura entre prototipo de radiador automotriz y un radiador convencional.</p>				

Realizado por: Carrera Damián, 2024

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 2-2: Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Tamaño de porosidad	La variación del tamaño de porosidad es la dimensión influyente en la porosidad de la espuma de aluminio y depende de la formación del molde, ejecución de la fundición y extracción de la probeta de panel de espuma de este.	Molde	Material	Sustancia útil para realización del molde	PLA – Polímero - Cerámico	Moldeo	Calibrador	mm
			Configuración	Forma del molde a emplear	Manual	Amasado – 3D	Software	1:1
			Espesor de Ligamento en molde	Dimensión del ligamento influyente en tamaño de porosidad	1 – 2 – 3mm	matrices	PLA	1:1
			Inserción de serpentín de bronce en molde	Incorporación del serpentín al molde	Manual	Selección	Calibrador	mm
		Fundición	Carga (material)	Elemento utilizado para posterior fundición	Perfiles de aluminio	Selección	Hoja técnica	gr
			Limpieza del material	Proceso de remoción física de la materia orgánica y/o suciedad	Desengrasante - alcohol	Atomización	Atomizador	u
			Temperatura	Magnitud física referida a la noción de decremento de calor	Fluidez	Medición directa	Termocupla	(760° - 800°) C
			Purificación de la colada	Proceso por el cual se ligan las impurezas en forma de cloruro	Cloruro de sodio- Grafito	Cálculo de carga	Balanza	ml
		Panel Espuma de	Extracción del panel Configuración	Proceso realizado para remover partículas de yeso de la probeta	Fragmentación - Desintegración	Temperatura	Termocupla – Indicador de temperatura	°C
					Largo - Ancho - Profundidad	Medición Directa	Calibrador	mm

Realizado por: Carrera Damián, 2024

Tabla 3-2: Operacionalización de las variables

VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES	CRITERIO DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO	ESCALA
Paneles de espumas de aluminio	El panel metálico de espuma de aluminio es un material con alto porcentaje de porosidad que depende de la morfología, y su aplicación en prototipos de radiadores automotrices en el cual la variación de temperatura en el transcurso del tiempo es significativamente relevante	Dimensión de porosidad	Dimensión de poro	Dimensión de espacios vacíos en el panel de Espuma de aluminio	Medición por medio de análisis de imagen del espesor del ligamento de los poros a través de un corte transversal, luego de obtener el panel experimental.	Destructiva	Análisis de imagen Cámara (fotografía) Microscopio	mm3
			Espesor de Ligamento	Es la medida del espesor de intersticio obtenida al realizar la espuma metálica	Medición por medio de análisis de imagen del espesor del ligamento de los poros a través de un corte transversal, luego de obtener el panel experimental.	Destructiva	Análisis de imagen Cámara (fotografía) Microscopio	1 a 3 mm
		Temperatura	Temperatura de la transmisión automática	Mide la temperatura del refrigerante de la transmisión automática del vehículo, dicho valor indica si está frío, norma o sobrecalentado	Medición de la temperatura del refrigerante al ingreso y salida del refrigerante de la transmisión automática.	Observación Experimental	Termocuplas Indicadores de Temperatura	20 a 300°C
		Tiempo	Tiempo de variación de temperatura	Se define como el tiempo de cambio de temperatura en la apertura o cierre del termostato del radiador, oscila entre 90 y 100°C	Será considerada en la transición de encendido y apagado del radiador del vehículo	Observación Experimental	Cronómetro	Segundos

Realizado por: Carrera Damián, 2024

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo y diseño de la investigación

La metodología de esta investigación se adscribe a un enfoque de investigación aplicada, con un diseño de estudio que combina elementos descriptivos y experimentales. El objetivo central es explorar y examinar las propiedades térmicas, así como la eficiencia, de los intercambiadores de calor que emplean espuma metálica de aluminio, este análisis se realiza con un enfoque específico en la aplicación de esta tecnología en los radiadores de vehículos.

Esta metodología se sustenta en la revisión de literatura especializada y en la realización de experimentos destinados a evaluar las características térmicas y el rendimiento de los intercambiadores de calor con espuma metálica de aluminio. La recopilación de datos se llevará a cabo mediante pruebas específicas, utilizando instrumentos de medición especializados para evaluar propiedades clave, tales como la conductividad térmica enfocado en radiadores para cajas de transmisión automáticas de vehículos.

3.2 Método de la investigación

3.2.1 *Revisión bibliográfica*

Se llevará a cabo una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con las espumas metálicas, intercambiadores de calor y su implementación en radiadores de transmisión automática de vehículos. Este análisis bibliográfico contribuirá a establecer una base teórica sólida para la investigación y a comprender los antecedentes y desarrollos previos en este campo por lo tanto se ha tomado como referencia libros, tesis de doctorado y maestría, artículos científicos, biblioteca virtual de la ESPOCH, y manuales técnicos que permitan el desarrollo del trabajo de titulación.

3.2.2 *Experimental*

El proceso de obtención de espumas metálicas de aluminio con variados tamaños de poro implica una fase experimental que abarca la utilización de diversos equipos, moldes y materiales específicos. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de los datos obtenidos durante la caracterización. Este análisis se respalda con un análisis estadístico diseñado para discernir la

influencia del método empleado en las propiedades mecánicas de las espumas metálicas. Además, se realiza pruebas de transferencia de calor, como la medición de la temperatura del radiador, proporcionando así una evaluación detallada de las características térmicas. Los resultados obtenidos se utilizan como base para la formulación de instrucciones y procedimientos detallados. Este trabajo de titulación culmina con la creación de un protocolo completo de obtención de espuma metálica de aluminio que sirve como guía fundamental para implementaciones futuras y estudios subsiguientes.

3.3 Enfoque de la investigación

Se centra en un enfoque con un diseño de estudio descriptivo y experimental. El propósito principal es explorar y analizar las propiedades térmicas y la eficiencia de los intercambiadores de calor basados en espuma metálica de aluminio, con especial énfasis en su aplicación en radiadores de transmisión automática de vehículos. El trabajo de titulación implica la experimentación con diferentes tamaños de poro y la caracterización mecánica y estructural de las espumas metálicas. Este enfoque integrado busca proporcionar una comprensión completa de la eficacia de las espumas metálicas en aplicaciones de transferencia de calor en radiadores vehiculares de transmisión automática.

3.4 Alcance de la investigación

La fase inicial se desarrollará mediante un enfoque documental, profundizando en diversos enfoques teóricos para contextualizar la investigación. Posteriormente, se llevarán a cabo varios experimentos con el objetivo de obtener paneles de espuma de aluminio con porosidad variable. La investigación se centrará en tres paneles experimentales de espuma de aluminio, y se realizará una comparación de los valores de atenuación de temperatura obtenidos en el campo. Se procederá a verificar el dimensionamiento de las porosidades mediante un análisis de imagen. Es crucial destacar que la investigación se limitará exclusivamente a la fase experimental, comprobando los resultados realizando simulaciones numéricas haciendo uso de elementos finitos. Además, se aclara que los experimentos no estarán regidos por ninguna normativa específica debido a la falta de estas en este ámbito.

3.5 Población de estudio

La población de estudio para esta investigación estará compuesta por paneles de espuma de aluminio con diferentes tamaños de poro obtenidos mediante el método experimental seleccionado. La investigación se enfocará en analizar y comparar las propiedades térmicas de

estos paneles, específicamente en el contexto de su aplicación como intercambiadores de calor en radiadores de transmisión automática de vehículos. Los paneles de espuma de aluminio con diversas porosidades constituirán la muestra representativa para la realización de los experimentos y la obtención de datos relevantes para el trabajo de titulación.

3.6 Unidad de análisis

La unidad de análisis para este trabajo de titulación será cada panel individual de espuma de aluminio con diferentes tamaños de poro. Cada panel será tratado como una entidad única y se evaluarán sus propiedades térmicas y características específicas en relación con el intercambio de calor. La recolección y el análisis de datos se centrarán en las propiedades individuales de cada panel experimental, permitiendo una comprensión detallada de cómo varían las características térmicas según el tamaño de poro y otros factores específicos.

3.7 Selección de la muestra

En el contexto de investigación experimental sobre espumas metálicas de aluminio para paneles de espuma en radiadores de transmisión automática de vehículos, la selección de la muestra se basará en la variación de los tamaños de poro. Se elegirán varios paneles de espuma de aluminio con diferentes tamaños de poro para constituir la muestra. La variación en los tamaños de poro permitirá observar cómo esta característica específica afecta las propiedades térmicas y la eficiencia del intercambio de calor en los radiadores. Además, se pueden incluir paneles de referencia con porosidades estándar para establecer comparaciones y evaluar la mejora relativa de los paneles experimentales. La muestra será seleccionada de manera representativa para abordar la diversidad de tamaños de poro y garantizar resultados robustos y generalizables.

3.8 Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios

3.8.1 Método experimental

El método experimental se centrará en la fabricación y caracterización de espumas metálicas de aluminio con diferentes tamaños de poro, específicamente diseñadas para paneles de radiadores de transmisión automática de vehículos. A continuación, se detallan las principales etapas del método experimental:

- Preparación de Materiales: Adquisición de lingotes de aluminio y otros ingredientes químicos necesarios para la creación de la espuma.

- **Fabricación de Espuma Metálica:** Utilización de un método de fabricación específico para obtener espumas de aluminio con diferentes tamaños de poro y la fusión de lingotes de aluminio con agentes espumantes y otros aditivos.
- **Conformado de Paneles:** Moldeado y conformado de las espumas metálicas para obtener paneles con la geometría adecuada para su aplicación en radiadores de transmisión automática de vehículos.
- **Análisis de Propiedades Térmicas:** Medición de la eficiencia de transferencia de calor de los paneles mediante pruebas específicas que simulan condiciones de operación de un radiador.
- **Estudio Estadístico:** Aplicación de análisis estadístico para identificar patrones, relaciones y evaluar la variación en propiedades mecánicas y térmicas en función de los tamaños de poro.

3.8.2 *Materiales y equipos utilizados*

La fabricación de un radiador de espuma con panel tipo abeja implica seguir un proceso específico. A continuación, se presenta una descripción general de los pasos materiales y equipos necesarios para crear un radiador utilizando espuma metálica con un diseño tipo panal:

3.8.2.1 *Aluminio*

El aluminio es un metal ligero, no ferroso y resistente a la corrosión que se utiliza comúnmente en diversas aplicaciones industriales debido a sus propiedades excepcionales. En la fabricación de la espuma metálica, el aluminio se utiliza como material base debido a su combinación única de propiedades, que son cruciales para lograr el rendimiento deseado en aplicaciones de intercambio de calor y otros campos de ingeniería.



Figura 1-3. Torta de aluminio para espuma

Fuente: Propia

En la figura 2-3 se representa el horno de fundición de aluminio, una herramienta fundamental en el proceso de fabricación de la espuma metálica. Este horno desempeña un papel crucial al alcanzar temperaturas necesarias para fundir el aluminio y dar forma a la espuma. El procedimiento inicia con la cuidadosa preparación de las preformas y materiales esenciales. Luego, se acondiciona el lodo con una mezcla especial de yeso para metales y agua, aplicándolo uniformemente en las superficies perforadas del espumaflex.



Figura 2-3. Horno de fundición de aluminio

Fuente: Propia

3.8.2.2 *Enfriador de aceite de la transmisión automática*

Se realiza un proceso de toma de medidas estándar o básicas del enfriador. Este paso implica la recopilación precisa de las dimensiones y especificaciones del enfriador que servirán como referencia para el diseño de la preforma. Algunas de las medidas esenciales pueden incluir la longitud, el ancho, el grosor y otras características relevantes del enfriador. En la figura 2-3 se evidencia las medidas obtenidas del enfriador tomado de modelo para este trabajo de titulación.



Figura 3-3. Toma de medidas estándar para el proceso de moldeo

Fuente: Propia

3.8.2.3 *Peso del enfriador de la transmisión*

Se lleva a cabo la medición del peso del enfriador con el propósito de conocer su peso actual, que posteriormente se compara con el peso después de la incorporación de la espuma metálica. Esta práctica es esencial para mantener el equilibrio en el rendimiento del sistema de enfriamiento, asegurando que la adición de la espuma metálica no genere un aumento significativo de peso que pueda afectar negativamente el funcionamiento del sistema. En la figura 3-3 se evidencia el peso de 450 gr de todo el enfriador.

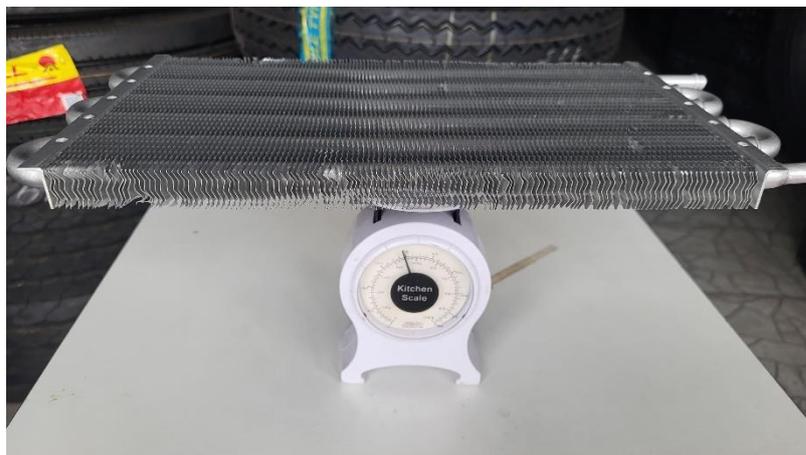


Figura 4-3. Peso del enfriador de la transmisión completa

Fuente: Propia

También se midió el peso neto del tubo, que fue de 220 gramos, para distinguir claramente el peso de la placa de aletas del peso del tubo. Este enfoque da una idea precisa del peso exacto de las aletas que serán reemplazadas por espuma metálica, lo que permite un análisis detallado de la contribución de cada componente al peso total del disipador.



Figura 5-3. Peso de los tubos del enfriador

Fuente: Propia

3.8.2.4 *Preforma de la espuma*

Se utilizó como material base en el proceso de obtención de los huecos para paneles de espuma metálica la espuma flexible, que es un material maleable y fácil de trabajar que permite formar paneles y darles la forma del diseño deseado. Esta espuma flexible actúa como un patrón que deseas replicar en el metal fundido. Durante el proceso de fabricación de la preforma, la espuma flexible se moldea cuidadosamente para representar la estructura interna y los detalles específicos de los futuros paneles de espuma metálica. La flexibilidad de la espuma facilita la creación de formas complejas y define con precisión las cavidades y características deseadas.

La espuma tiene 1 cm de espesor y tiene una marca única aplicada en forma de hexágonos con un espacio de 10 mm entre las esquinas opuestas, lo que indica un espacio de 3 mm. Estas marcas proporcionan instrucciones claras para el proceso de fabricación y garantizan una distribución precisa en la espuma metálica, asegurando las dimensiones requeridas y la consistencia de la estructura interna.

Mediante el programa de diseño CAD SolidWorks se crearon los parámetros de la matriz que representan la distribución hexagonal, como se muestra en la figura 5-3. Este método permite una visualización clara y precisa de la colocación de las marcas en la espuma y, por lo tanto, ayuda a diseñar y planificar procesos de producción de espumas metálicas con dimensiones especiales requeridas.

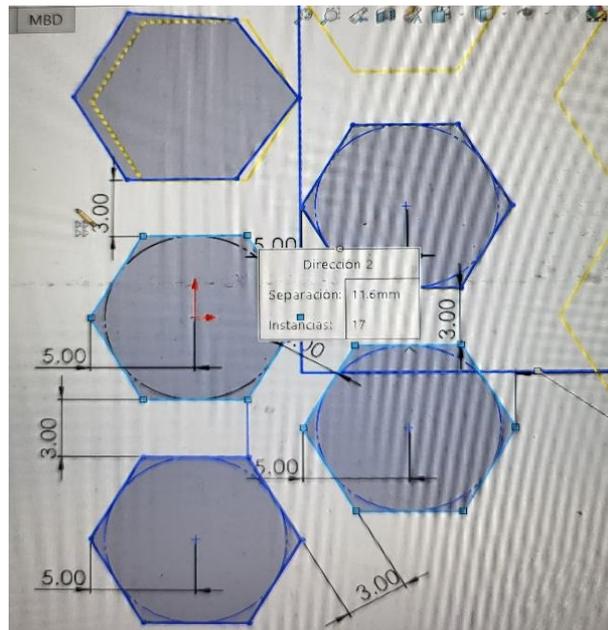


Figura 6-3. Modelado de los hexágonos del panel

Fuente: Propia

Después de obtener la matriz de hexágonos del panel del enfriador, se procede a perforar el espumaflex para crear los agujeros, dando como resultado el modelo que se muestra en la figura 6-3. Este paso es crucial para preparar la preforma de manera precisa, asegurando que los hexágonos estén correctamente formados y posicionados de acuerdo con las dimensiones previamente establecidas en el diseño.

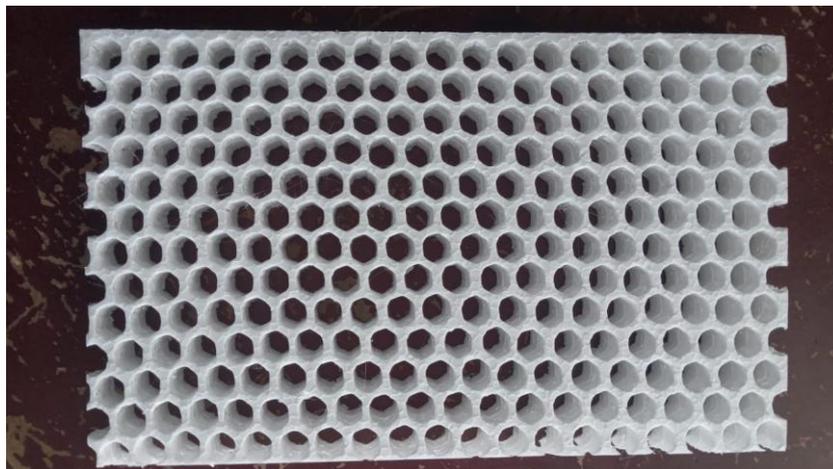


Figura 7-3. Preparación del espumaflex con hexágonos del panel

Fuente: Propia

Además, se llevan a cabo pruebas de medidas conforme a los estándares del enfriador. En la figura 7-3, se muestra la medición y verificación de los datos obtenidos, los cuales cumplen con los requisitos para el intercambiador con este trabajo de titulación.

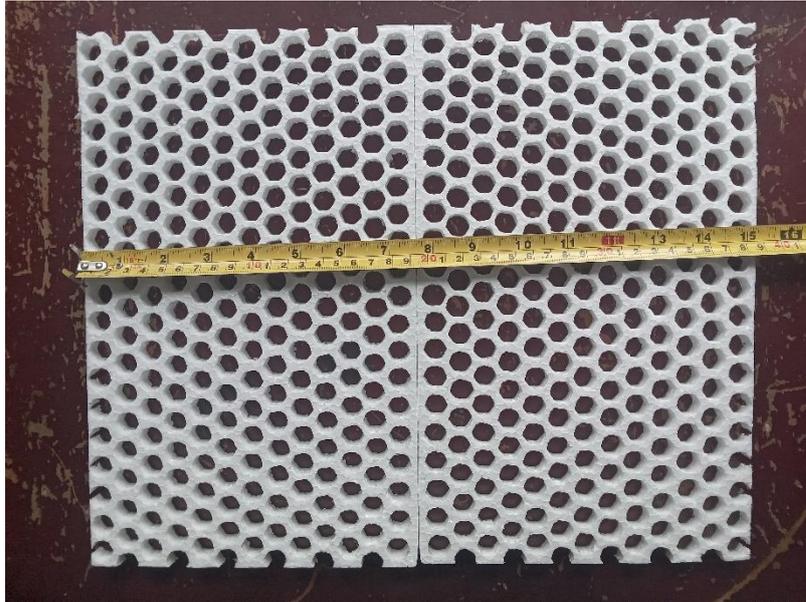


Figura 8-3. Medidas del panel de espumaflex

Fuente: Propia

Se realizaron pruebas con los tubos extraídos de los paneles para verificar que el arco de espuma se ajustaba a las dimensiones especificadas. La figura 7-4 muestra una verificación de ajuste para garantizar que los paneles de espuma metálica encajen correctamente en las dimensiones especificadas, lo que confirma la precisión y la implementación adecuada del nuevo diseño en el enfriador. Este proceso de prueba y validación garantiza la funcionalidad y la integración eficiente de la espuma metálica en el sistema de refrigeración del vehículo.



Figura 9-3. Medidas del panel con tubos del enfriador

Fuente: Propia

3.8.2.5 *Diseño del molde*

Se fabricó el molde para la espuma metálica utilizando las dimensiones básicas del radiador, ver figura 9-3. La placa de acero tiene 1/4 de pulgada de espesor, 2 cm de alto, 1,5 cm de largo y 22 cm de ancho. El proceso implica cortar y formar láminas de acero a dimensiones específicas, asegurando que la caja final cumpla con las dimensiones exactas requeridas para colocar el sistema de espuma metálica en el radiador. La elección del acero ASTM A36 garantiza resistencia y durabilidad del molde.



Figura 10-3. Diseño del molde para el proceso de fundición

Fuente: Propia

3.8.2.6 *Preparación del proceso de fundición*

A continuación, la figura 10-3 muestra la ubicación del espumaflex preparada dentro de la caja de acero. La disposición hexagonal de los agujeros ya está predefinida y se alinea de manera precisa con la forma interna de la caja, cumpliendo con las medidas establecidas para el panel.



Figura 11-3. Verificación del molde y matriz del panel en espumaflex

Fuente: Propia

El espumaflex también se adapta al radio del tubo, asegurando que, al ser colocado, no afecte esta medida. Además, esta adaptación se compensa con la otra capa de espumaflex que se ubica en la parte superior. En la figura 11-3, se ilustra el proceso de ensamblaje del enfriador con los nuevos paneles de espuma metálica de aluminio, evidenciando la compatibilidad y la correcta integración de la espuma en el diseño, lo que contribuye a la eficiencia del proceso de fundición y obtención de los paneles de espuma metálica.



Figura 12-3. Verificación de componentes para fundición

Fuente: Propia

3.8.3 Proceso de función de espuma pérdida

Después de preparar cuidadosamente las preformas y los materiales esenciales para el proceso de fundición, se acondiciona el lodo con una mezcla de yeso especial para metales y agua. Se aplica una capa uniforme de lodo en las superficies del espumaflex perforado, con un espesor de 1 mm, y se posiciona el patrón dentro de la caja metálica. Posteriormente, se procede a verter lodo sobre todo el molde, asegurándose de cubrirlo completamente, y se deja secar durante al menos 3 horas.

Una vez que el molde está completamente seco, se inicia el proceso de inyección con un incremento de temperatura de 10 °C/min hasta alcanzar los 600 °C. Este paso tiene como objetivo eliminar la humedad de la mezcla y evaporar el espumaflex. La temperatura crítica para la desaparición del espumaflex es aproximadamente de 380 °C. Una vez evaporada, se vierte aluminio fundido a una temperatura de 700 °C. Después de un período de fraguado de 24 horas, se procede a retirar la probeta de la matriz, marcando el inicio del proceso de limpieza y eliminación de impurezas.

Es fundamental destacar que el proceso de secado posterior debe llevarse a cabo en un ambiente sin presencia de agua, ya que esto contribuye a lograr una mayor dureza y reduce la fragilidad del producto final en la figura 12-3 se presenta el proceso de aplicación del lodo en el espumaflex.

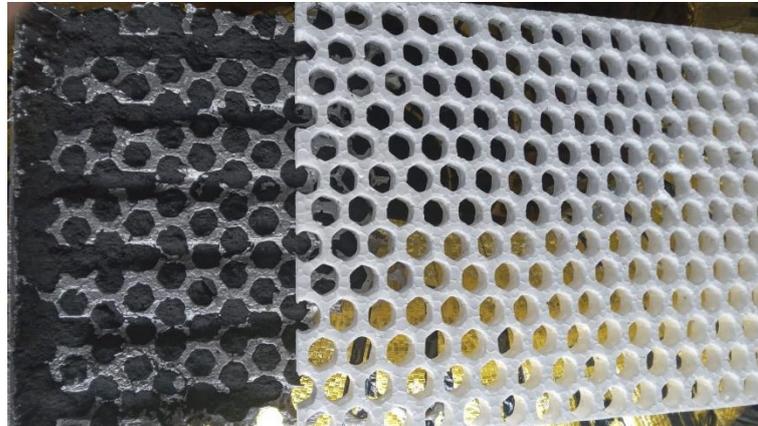


Figura 13-3. Obtención de la espuma metálica de aluminio

Fuente: Propia

Una vez que se haya completado el proceso de moldeo, pasa a la fase de retirada, retirando con cuidado la caja de metal para revelar un molde hecho de espuma y aluminio fundido. Luego se limpia a fondo para eliminar cualquier depósito, impureza o exceso de material de la superficie de la espuma metálica. Este paso es esencial para garantizar la calidad y precisión de las dimensiones finales. A continuación, se comprueba el cumplimiento de los resultados de medición especificados mediante un flexómetro y otros instrumentos de medición adecuados. Se lleva a cabo una inspección detallada para garantizar que las características geométricas y las dimensiones cumplan con los estándares requeridos por la enfriadora. Cualquier desviación se corregirá según sea necesario.

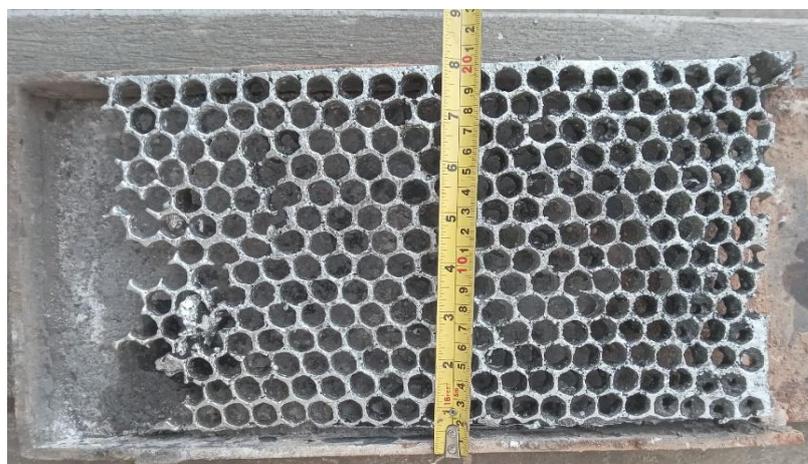


Figura 14-3. Verificación de medidas en la espuma metálica de aluminio

Fuente: Propia

Este proceso de inspección y ajuste se realiza con meticulosidad para garantizar la calidad y la precisión del panel de espuma metálica de aluminio.

3.8.4 Ensamble de la espuma de aluminio con la tubería

En este paso, se preparan las conexiones y se realizan ajustes finos para garantizar un montaje sin problemas. Las tuberías fueron colocadas estratégicamente en la espuma metálica según diseños y especificaciones preestablecidas. Este conjunto está diseñado precisamente para evitar fugas o inconsistencias estructurales. La imagen muestra el ensamblaje de tuberías con espuma metálica, formando una estructura tipo sándwich. Esta construcción presenta dos paneles que rodean y cubren completamente el tubo, creando un fuerte dispositivo protector.



Figura 15-3. Verificación de medidas

Fuente: Propia

A continuación, se realizó la medición del peso de la probeta, la cual posee una longitud entre vértices del hexágono de 10 mm, como se indica en la figura. La medición reveló un valor de 650 gramos. Al comparar este resultado con el peso del modelo original de 450 gramos, se observa un incremento de 200 gramos.



Figura 16-3. Verificación de peso de la espuma metálica de aluminio

Fuente: Propia

3.8.5 Pruebas de temperatura del radiador con espuma metálica

a) Ubicación del serpentín en el carro

La colocación de tuberías sin espuma metálica se realizó con fines de prueba comparativa para evaluar el efecto de la presencia de espuma metálica en el rendimiento del sistema. La prueba fue diseñada para analizar cómo la espuma metálica afecta la conductividad térmica y la eficiencia de un radiador de la transmisión automática del vehículo. Al tomar mediciones de temperatura en tuberías sin espuma metálica, se puede establecer una línea de base para comparar con la temperatura registrada en tuberías con este aislamiento.

Tabla 1-3: Instalación del serpentín con diferentes espesores

Descripción	Figura
<p>Espesor del serpentín de 1.5 mm</p>	

<p>Espesor del serpentín de 2 mm</p>	
<p>Espesor del serpentín de 3 mm</p>	

Elaborado por: Carrera Damián, 2023

b) Instalación del radiador con placa de espuma metálica

Se inicia la instalación del radiador de la transmisión automática, asegurándose de que esté completamente lleno de aceite y verificando meticulosamente la ausencia de fugas y el correcto ensamblaje de las espumas metálicas. Luego se conecta la manguera para hacer circular el fluido. Luego de arrancar el vehículo y conducirlo durante 45 minutos, se realice una prueba para medir con precisión la temperatura del enfriador de aceite. Este proceso garantiza un control completo del sistema, asegura su correcto funcionamiento y detecta posibles anomalías en el funcionamiento térmico del radiador de la transmisión automática del vehículo.

Tabla 2-3: Instalación del serpentín con diferentes espesores de espumas metálicas

Descripción	Figura
Espesor de placa de la espuma metálica 1 cm	
Espesor de placa de espuma metálica 1.25 cm	
Espesor de placa de espuma metálica de 1.5cm	

Elaborado por: Carrera Damián, 2023

c) Equipo para medir la temperatura

El termómetro digital de Fluke representan una herramienta de prueba portátil y robusta, caracterizada por su rápida respuesta y precisión comparada con estándares de laboratorio. Estos dispositivos son versátiles y pueden emplearse para la medición precisa de la temperatura en una variedad de aplicaciones, como motores, cajas de transmisión, aislamientos, interruptores,

tuberías, conexiones corroídas, líquidos y cables, brindando confiabilidad y eficiencia en diversas situaciones de prueba.



Figura 17-3. Pirómetro

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

4 Resultados y discusión

Este capítulo recopilará los datos y detallará las temperaturas registradas en cada situación de prueba. El proceso consiste únicamente en evaluar los cambios en la temperatura de la bobina y la temperatura de la lámina de espuma metálica, así como el espesor aplicado. Recopilar estos datos es fundamental para comprender cómo las diferentes configuraciones de espuma metálica afectan las temperaturas del disipador térmico. Este análisis exhaustivo proporcionará información importante para lograr los objetivos de la investigación y sacar conclusiones válidas sobre el rendimiento térmico del sistema.

4.1 Resultados de pruebas realizadas

Así mismo en la tabla 4-1 se presentan resultados experimentales sobre la temperatura del tubo del radiador, cambiando su espesor en condiciones de operación específicas. El propósito de este estudio es comprender la relación entre el espesor del tubo y la temperatura alcanzada después de 30 km de conducción. Se realizaron experimentos en diferentes condiciones de temperatura ambiente para evaluar el efecto del espesor del tubo y la temperatura externa sobre el rendimiento térmico del sistema de refrigeración.

4.1.1 Resultados de espesor de serpentín

En el caso del tubo con un espesor de 1 mm, se observa que la temperatura alcanzada después de 30 Km de recorrido es de 99 °C. Este resultado inicial sugiere una respuesta térmica del sistema en línea con la teoría de resistencia térmica, ya que se espera que un espesor menor facilite una disipación más eficiente de calor. Con el tubo de 1.25 mm, la temperatura registrada después de recorrer los 30 km es de 100.35 °C. Este aumento en la temperatura respalda la hipótesis de que un mayor espesor del tubo podría resultar en una mayor resistencia térmica, afectando negativamente la capacidad del sistema para disipar el calor. Para el tubo con un espesor de 1.5 mm, la temperatura alcanza los 101.45 °C después del mismo recorrido. Estos datos refuerzan la tendencia observada en los casos anteriores, donde un mayor espesor se asocia con temperaturas más altas, indicando una posible relación inversa entre el espesor del tubo y la eficiencia de enfriamiento, estos datos se presentan en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Temperaturas en el serpentín sin espuma metálica

Espesor del tubo (mm)	Temperatura ambiente	Temperatura después de recorrer 30 km
1	27	66
1.25	26.5	65.4
1.5	26.4	65.6

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

En la Figura 1-4, se observa el proceso de medición de la temperatura del radiador tras recorrer 30 km desde la puesta en marcha del vehículo, además, estas mediciones se llevan a cabo con el vehículo apagado.



Figura 1-4. Medición de temperatura con cámara termografía

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

El análisis de los datos evidencia una tendencia en relación con el impacto del espesor del tubo en la eficiencia del sistema de enfriamiento especialmente destaca el tubo con un espesor de 1 mm porque exhibe una temperatura baja después de recorrer 30 km, indicando así una mayor capacidad para disipar el calor generado durante el funcionamiento del vehículo. Este resultado respalda la premisa de que un menor espesor favorece una disipación de calor más eficiente.

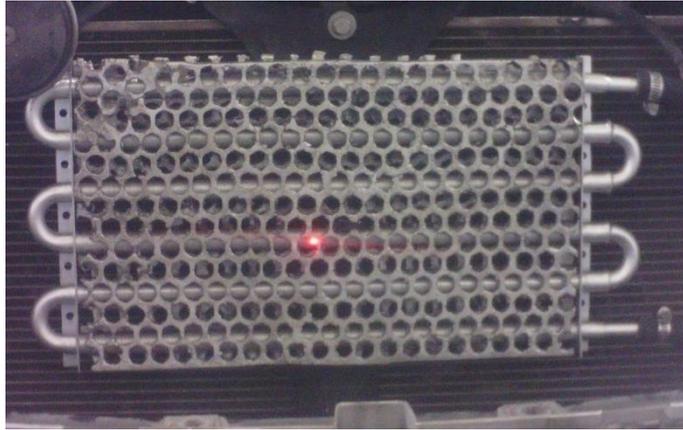


Figura 2-4. Punto de medición de temperatura

Fuente: Propia

En consecuencia, se ha considerado el espesor de 1 mm para llevar a cabo las pruebas de temperatura con las espumas metálicas de espesor de 10, 12.5, 15 mm y con una distancia diagonal del hexágono de 8, 10 y 12 mm. Este enfoque busca optimizar la eficiencia del sistema de enfriamiento, contribuyendo a la selección adecuada de componentes para garantizar un rendimiento óptimo durante el uso continuo del vehículo.

4.1.2 Resultados de espumas metálicas

Se realizó pruebas de temperatura utilizando la cámara termográfica bajo las siguientes condiciones: temperatura ambiente de 27 °C , humedad de 75% y emisividad de 0.95 con la cámara colocada a una distancia de 1 metro obteniendo los valores que se muestran en la figura donde la temperatura de la cámara es de máximo 53.3°C y la mínima es de 27.8°C



Figura 3-4. Prueba de temperatura 1

Fuente: Propia

En la segunda medición de temperatura en el radiador de la transmisión automática se registró temperaturas de 51.2 °C y una mínima de 27.6 °C como se evidencia en la figura 4-4, en estos datos se refleja una variación de 2 grados en comparación con la temperatura de la primera prueba que fue de 53.3°C.



Figura 4-4. Prueba de temperatura 2

Fuente: Propia

En la tercera medición se registró temperaturas de 45.1 °C y de 24.1 °C demostrando ser una tendencia a reducir la temperatura del radiador de la transmisión automática del vehículo. Al comparar los resultados obtenidos se observa una disminución notable como se observa en la Figura 4-4.



Figura 5-4. Prueba de temperatura 3

Elaborado por: Carrera Damián, 2023

En la tabla 2-4 se presenta las temperaturas obtenidas de las pruebas realizadas de la espuma metálica con espesor del tubo de 1mm, distancia del hueco hexágono de 8 mm y varios espesores de esponja. La configuración de espuma con un espesor de 10 mm muestra una temperatura,

después de 30 km de recorrido de 45.1, para la configuración de 8 mm del hexágono y para espesor de espuma de 12.5 mm la temperatura es de 51.2 °C, mientras que para la configuración de 15 mm de espesor y mismo tamaño del hexágono la temperatura que se registro es la más baja siendo de 53.3°C. Este resultado sugiere que la espuma de aluminio con un espesor de 10 mm, tipo sándwich aplicado en el tubo del radiador de la transmisión automática, es la que mejores resultados genera para el sistema de enfriamiento al ofrecer una mayor capacidad de disipación de calor, respaldando así la hipótesis de que el tamaño de porosidad influye en el rendimiento térmico del radiador automotriz para la transmisión automática.

Tabla 2-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 1

Distancia del hexágono (mm)	Espesor de la esponja (mm)	Temperatura del interior del tubo (°C)	Temperatura después de 30 km de recorrido (°C)
8	10	66	45.1
	12.5	64.5	51.2
	15	65	53.3

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

En la medición de temperatura con el hexágono de 10 mm y variando los espesores de las espumas del radiador, se obtiene una temperatura de 44.1 °C para el espesor de 10 mm como se muestra en la figura 6-4, para esta prueba se tomó la que mejor resultado presenta.



Figura 6-4. Prueba de temperatura espesor 15 mm

Fuente: Propia

En la tabla 3-4 para una distancia del hexágono de 10 mm y espesor de 10 mm, se observa que la temperatura es de 44.1°C, para el espesor de 12.5 mm, la temperatura registrada es de 50.8 °C y

para espesor de 15 mm, la temperatura es de 52.8 °C. Aunque las diferencias en las temperaturas no son muy pronunciadas, estas observaciones respaldan la premisa de que el espesor de la esponja influye en el rendimiento térmico del radiador al comparar los resultados obtenidos en las mediciones realizadas.

Tabla 3-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 2

Distancia del hexágono (mm)	Espesor de la esponja (mm)	Temperatura del interior del tubo (°C)	Temperatura después de 30 km de recorrido (°C)
10	10	65.2	44.1
	12.5	63.7	50.8
	15	61.4	52.8

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

En la medición de temperatura con el hexágono de 12 mm y variando los espesores de las espumas del radiador se obtiene una temperatura de 43.6 °C para el espesor de 10 mm como se muestra en la figura 7-4.

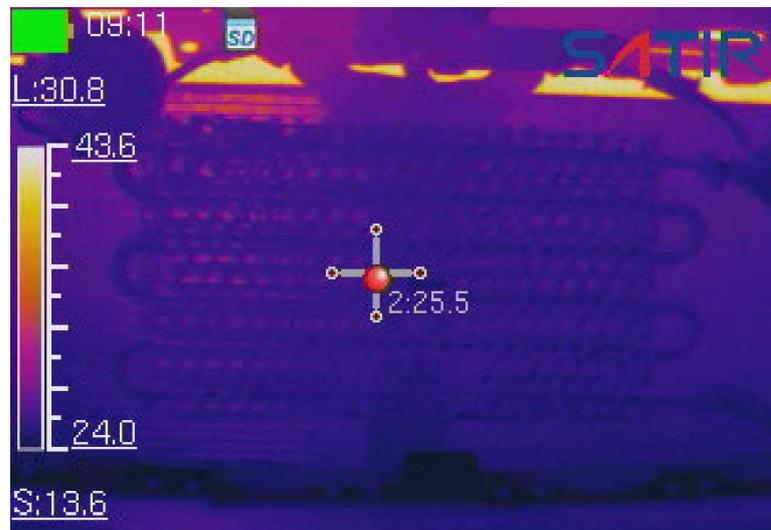


Figura 7-4. Prueba de temperatura espesor 15 mm

Fuente: Propia

Los resultados de la tabla 4-4 indican que, para una distancia del hexágono de 12 mm, la variación en el espesor de la esponja sigue afectando la eficiencia del sistema de enfriamiento. Específicamente, se observa una tendencia similar a los resultados anteriores, donde un aumento en el espesor de la esponja está asociado con un aumento en la temperatura después de 30 km de recorrido. En este caso, la configuración con un espesor de esponja de 12 mm muestra la temperatura más baja, alcanzando los 43.6 °C. Esta observación respalda la idea de que un menor

espesor de la esponja puede contribuir a una disipación más efectiva del calor generado durante el funcionamiento del vehículo.

Tabla 4-4: Temperaturas en la espuma metálica prueba 3

Distancia del hexágono (mm)	Espesor de la esponja (mm)	Temperatura del interior del tubo (°C)	Temperatura después de 30 km de recorrido (°C)
12	10	65.2	43.6
	12.5	63.7	50.5
	15	61.4	51.5

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

La espuma de 10 mm podría tener poros más pequeños y mayor densidad en comparación con espesores mayores. Esto puede limitar el flujo de aire y la capacidad de almacenamiento térmico, resultando ineficiente para disipar el calor. En cambio, sí se utiliza con diámetro del hexágono a 12 mm manteniendo un espesor de espuma metálica de 10 mm resultaría en un hueco más grande, lo que mejora la circulación de aire y, por ende, la eficiencia del sistema de enfriamiento al facilitar una disipación más efectiva del calor. Sin embargo, este cambio, puede afectar la estructura y el peso total de la espuma.

La tabla 5-4 presenta los resultados de las pruebas realizadas, donde la temperatura después de 30 km de recorrido para diferentes combinaciones de distancia del hexágono de 12 mm y un espesor de esponja de 10 mm exhibe la temperatura más baja después del recorrido, registrando 43.6 °C. Aunque las diferencias en las temperaturas no son significativas entre las pruebas realizadas.

Este hallazgo respalda la recomendación de verificar el fluido de transmisión a temperatura de 43.6°C, alcanzadas después de un recorrido de 30 km. La relación entre el espesor de la esponja y la temperatura del radiador sugiere que mantener el vehículo en operación durante este intervalo puede ser crucial para garantizar una medición precisa y representativa de la temperatura normal de operación.

Tabla 5-4: Temperaturas en la espuma metálica

Distancia del hexágono (mm)	Espesor de la esponja (mm)	Temperatura del interior del tubo (°C)	Temperatura después de 30 km (°C)
8	10	65	45.1
10	10	61.4	44.1
12	10	61.4	43.6

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

4.1.3 Comparación de resultados

Para comparar los resultados obtenidos en simulación con los experimentales se procede a instalar el radiador convencional en el vehículo esto permite realizar pruebas de temperatura y comprobar los datos recopilados del presente trabajo de titulación.



Figura 8-4. Instalación del radiador convencional

Elaborado por: Carrera Damián, 2023

La tabla 6-4 analiza los resultados de las pruebas comparativas del radiador tradicional y radiador de espuma de aluminio para la transmisión automática. El peso de los radiadores de espuma metálica es de 648 gr siendo este, superior al peso de los radiadores tradicionales 451,40 gr, encontrándose una diferencia de temperatura significativa, lo que indica que el radiador de espuma metálica logra una reducción de temperatura significativa en comparación con los radiadores convencionales.

La temperatura media de los radiadores tradicionales es de 65.2 °C y esta temperatura son superior al de los radiadores de espuma metálica que alcanzan un promedio de 47.46 °C. Analizando el coeficiente de variación (CV), también se observó que la temperatura del radiador de espuma metálica tiene una variabilidad relativa menor $CV = 4.468$ lo que significa que esta temperatura es representativa porque no supera el 30% de promedio de datos, además se verifica que las temperaturas registradas en la espuma metálica son consistentes y representativas comparadas con los radiadores convencionales.

Estas observaciones respaldan la hipótesis de que los disipadores de calor de espuma metálica de aluminio pueden proporcionar un rendimiento térmico superior a pesar de su mayor peso que los disipadores de calor convencionales. Los cambios de temperatura más bajos de los radiadores de espuma metálica también muestran una mayor estabilidad de su capacidad de disipación de calor.

Tabla 6-4: Comparación de radiador convencional y de espuma metálica

Prueba	Peso		Temperatura	
	Convencional (gr)	Espuma metálica (gr)	Convencional (°C)	Espuma metálica (°C)
1	450	650	66	53.3
2	455	647	64.5	51.2
3	448	653	65	45.1
4	454	642	66	44.1
5	450	648	64.5	43.6
Promedio	451.4	648	65.2	47.46
Desviación estándar	2.966	4.062	0.758	4.468
Varianza	8.8	16.5	0.6	20.0
CV	0.6572	0.6269	1.1630	9.4142

Elaborado por: Carrera Damián, 2024

CAPÍTULO V

5 PROPUESTA

5.1 Modelado del radiador de espuma metálica

En esta sección, se presenta la simulación del ensamblaje del radiador con espuma metálica, cuyos poros hexagonales están diseñados para mejorar la eficiencia térmica. La espuma metálica de aluminio se ha convertido en un material atractivo para aplicaciones de enfriamiento debido a su capacidad para combinar resistencia estructural con una alta conductividad térmica. La geometría del radiador se diseñó en el programa SolidWorks, que incorpora la espuma metálica con poros hexagonales como se muestra en la figura 8-1, se ha replicado fielmente en el entorno virtual para analizar su desempeño térmico y la distribución de temperatura.

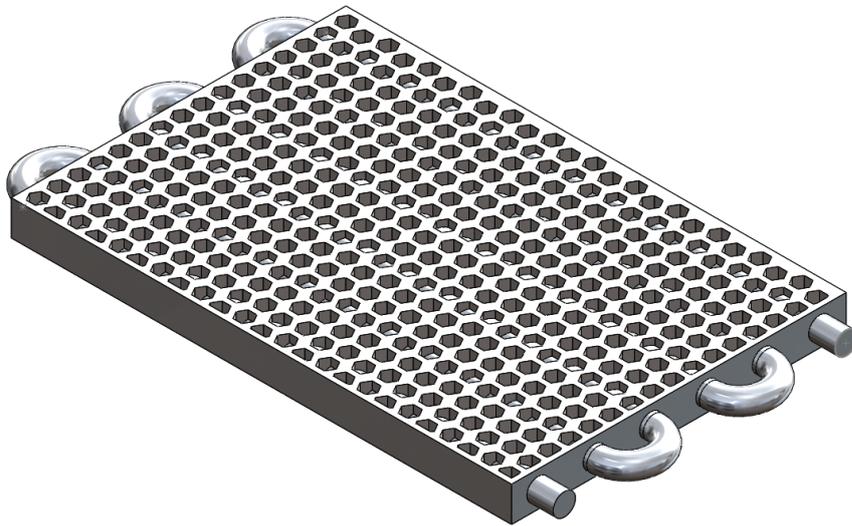


Figura 1-5. Modelado radiador con la espuma metálica de aluminio

Fuente: Propia

5.2 Simulación del radiador de espuma metálica

Las simulaciones se realizaron utilizando el programa de elementos finitos ANSYS, que es reconocido por su capacidad para modelar con precisión el comportamiento térmico y estructural de componentes. El proceso de simulación del radiador se explica a continuación.

La simulación se realiza para mejorar la calidad del modelo, y se confirma que la geometría esté en un formato compatible con el software. Esta preparación meticulosa del modelo establece las bases para una simulación efectiva que permitirá al software ANSYS mediante el módulo Fluent utilizando la resolución por CFD que permite analizar con precisión el comportamiento térmico y estructural del fluido y el radiador con espuma metálica como se muestra en la figura 9-4.

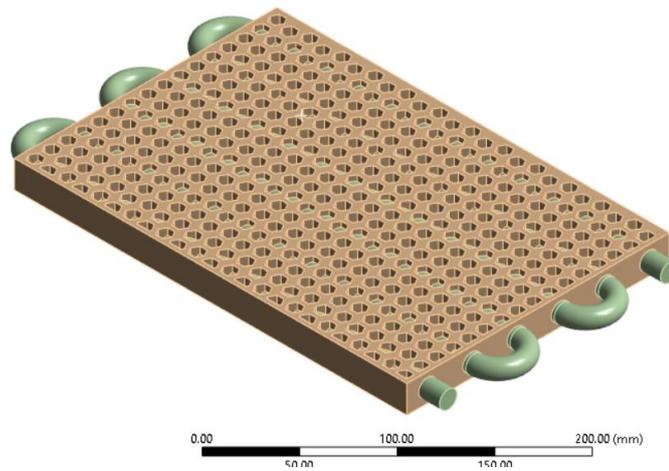


Figura 2-5. Preparación del modelo para simulación

Fuente: Propia

5.2.1 Mallado de la geometría

La malla se utilizó para dividir la geometría del radiador de espuma metálica en elementos más pequeños, lo que permitió que el software calculara con mayor precisión cada área. Se menciona específicamente que el módulo CFD requiere el uso de mallas tetraédricas. La figura 10-4 muestra la malla utilizada en la simulación. Esta representación gráfica permite la visualización de discretizaciones de mallado con tamaño de 5 mm, que son esenciales para capturar con precisión los detalles del flujo alrededor de la espuma metálica en el disipador de calor.

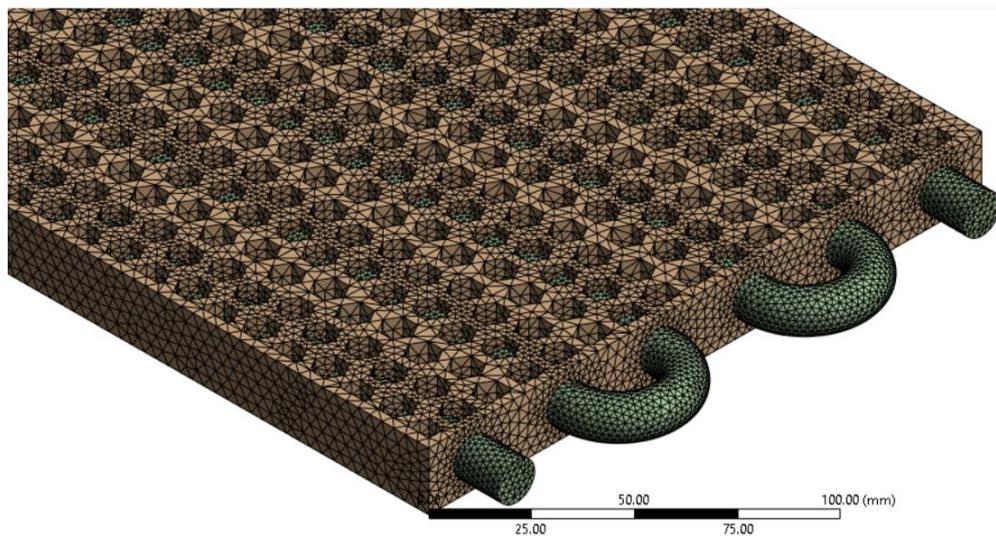


Figura 3-5. Mallado del radiador

Fuente: Propia

5.2.2 Condiciones de borde

En la figura 11-4, se muestra las condiciones de borde se aplicaron para modelar de manera realista el comportamiento del sistema. Por lo tanto, se asignaron las condiciones de temperatura con las que serializaron las pruebas experimentales a las superficies del radiador. Además, se determinaron las propiedades del aluminio, que es el material con el cual se fabricaron las espumas metálicas. Estas condiciones límite son esenciales para capturar completamente la transferencia de calor en un radiador y evaluar su rendimiento térmico.

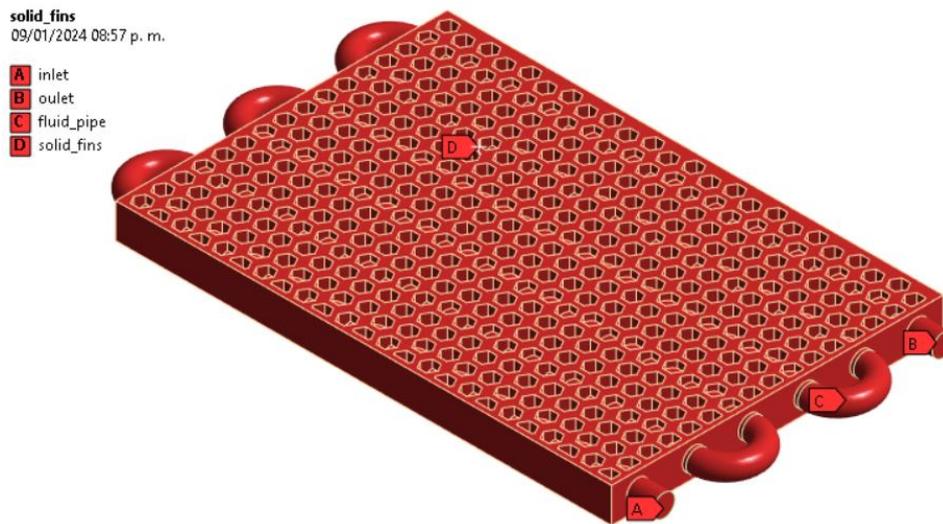


Figura 4-5. Condiciones de borde en el radiador

Fuente: Propia

5.2.3 Resultados de la simulación

La comparación de los resultados experimentales con las configuraciones obtenidas en las simulaciones muestra una notable concordancia, especialmente en el caso de hexágonos de 8 mm y esponjas de 10 mm de espesor. La temperatura en la simulación es de 45.119 °C, que está en el rango de temperaturas experimentales, lo que muestra veracidad entre la realidad y los modelos de simulación. Esta consistencia respalda la validez del modelo de simulación y su capacidad para predecir el comportamiento térmico del sistema en condiciones similares a las experimentales.

La figura 12-4 muestra los resultados obtenidos de la simulación de las espumas de aluminio evidenciando que efectivamente cumple la función de disipación de calor y logra una reducción significativa de la temperatura exterior de la espuma. Al realizar la comparación con la temperatura obtenida con la cámara termográfica de 45.1 °C se observan valores similares, por lo tanto, la espuma absorbe y disipa el calor de forma eficaz. Este comportamiento ayuda a mantener

una temperatura más baja en la superficie exterior del sistema, confirmando la efectividad de la espuma metálica en el proceso de enfriamiento del radiador de la caja de transmisión.

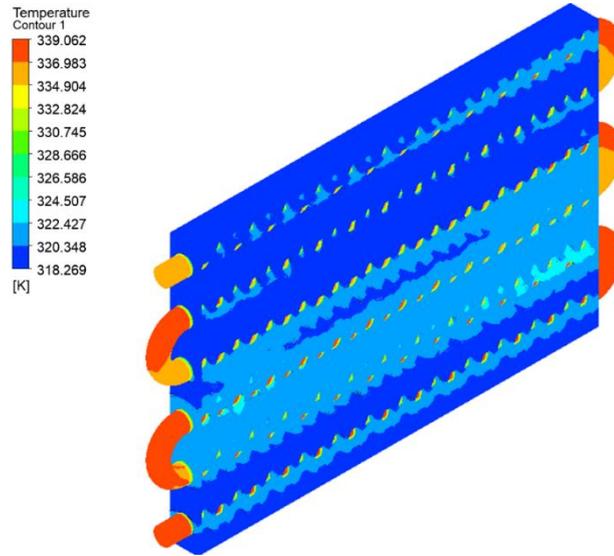


Figura 5-5. Temperatura del radiador con espuma metálica

Fuente: Propia

5.3 Radiador más eficiente

Luego de un exhaustivo estudio, experimentación, análisis de datos y simulación del comportamiento de la espuma metálica de aluminio para un radiador de transmisión automática de vehículos se logró obtener los mejores resultados de transferencia térmica con una espuma de 10mm de espesor y poros de 12mm lo que generó una disminución considerable frente a los otros formatos fabricados y al radiador estándar con una temperatura máxima de 43.6 °C, aun cuando este presenta un leve incremento en su peso es la configuración que más beneficios genera frente al intercambio térmico deseado.

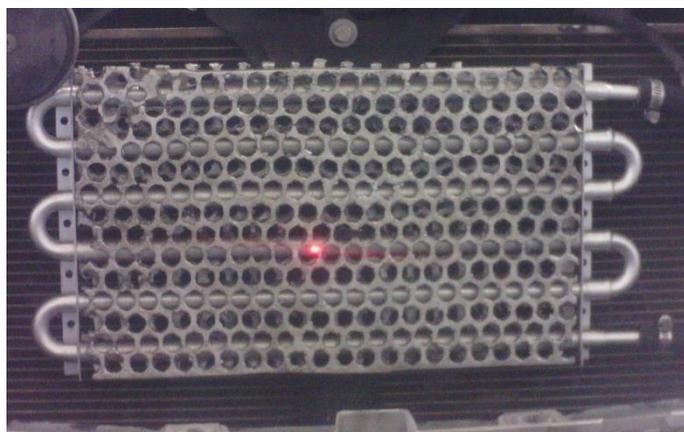


Figura 6-5. Radiador de espuma metálica de aluminio

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- Se logró obtener paneles de espumas de aluminio de celda abierta con diverso tamaño de porosidad a través de procedimientos experimentales mediante el proceso de manufactura de fundición, realizando la variación en el tamaño de porosidad permitiendo la configuración de diferentes tipos de espumas, esenciales para las pruebas.
- El ensamble realizado del prototipo de radiador automotriz de transmisión automática mediante el acople entre los paneles de espuma de aluminio y el sistema de refrigeración del vehículo permitió realizar pruebas experimentales y obtener datos sobre la eficacia de estos en la atenuación de temperatura.
- Los experimentos con diferentes configuraciones de espuma metálica revelaron que el tamaño de porosidad influye en la capacidad de disipación de calor. La espuma con un espesor de 10 mm demostró ser más efectiva, especialmente en combinación con una distancia de hexágono de 12 mm, logrando una temperatura más baja después de 30 km de recorrido obteniendo una buena relación densidad-atenuación térmica.
- A pesar de tener un peso mayor del radiador por la espuma metálica, se observó una reducción significativa en la temperatura en comparación con el radiador convencional, la menor variabilidad en la temperatura del radiador con espuma metálica indica una mayor consistencia en su rendimiento térmico, respaldando la idea de que este diseño ofrece una mejora en la eficiencia térmica.
- La configuración con una distancia de hexágono de 10 mm y un espesor de espuma de 10 mm, se observó una temperatura de 45.12°C después de recorrer 30 km. Este resultado específico subraya la eficacia de esta combinación particular de este parámetro, demostrando una significativa capacidad de reducción de temperatura en el sistema de enfriamiento del radiador automotriz.
- Se observó que el espesor del tubo en el radiador afecta significativamente la temperatura alcanzada después de recorrer 30 km, los resultados respaldan la teoría de resistencia térmica, donde un menor espesor del tubo facilita una disipación más eficiente del calor.
- La simulación del radiador con espuma metálica en ANSYS demostró coherencia con los resultados experimentales. La temperatura obtenida por simulación fue de 45.119 °C para la configuración de hexágono de 8 mm y espuma metálica de 10 mm, se aproximó a los valores experimentales de 45,1°C, respaldando la validez del modelo de simulación y la veracidad de los resultados experimentales.

RECOMENDACIONES

- Emplear nuevos procesos de manufactura para la fabricación de paneles de espuma metálica de aluminio que permita mejorar la calidad de las juntas y áreas de contacto con el serpentín del radiador.
- Estudiar el comportamiento de la espuma metálica de aluminio mediante la fabricación en un solo cuerpo, realizando perforaciones para el paso del serpentín y determinar si mejora la tolerancia de la junta y áreas de contacto para favorecer la transferencia de calor.
- Explorar el uso de combinación de diferentes tamaños de poros para optimizar el diseño y minimizar el exceso de peso sin comprometer la eficiencia térmica.
- Realizar pruebas comparativas con otros materiales utilizados en radiadores convencionales. Esto puede ayudar a determinar si la espuma metálica ofrece beneficios significativos en términos de rendimiento térmico y peso en comparación con alternativas
- Seleccionar la configuración específica de espuma metálica de aluminio con poros hexagonales de 12 mm y 10 de espesor, ya que ha demostrado consistentemente la mejor atenuación térmica.
- Realizar monitoreos periódicos del sistema en condiciones de uso continuo. Esto garantizará un mantenimiento efectivo y proporcionará datos precisos sobre la temperatura normal de operación, especialmente en condiciones reales de conducción.
- Realizar pruebas de resistencia y durabilidad en condiciones extremas. Esto puede incluir ciclos repetidos de encendido y apagado del vehículo, así como simulaciones de situaciones climáticas adversas.

GLOSARIO

Acople: Unión o conexión de componentes o partes.

Celda abierta: Tipo de estructura celular que permite la circulación de fluidos o aire a través de la espuma.

Coefficiente de variación (CV): medida estadística que expresa la variabilidad relativa de un conjunto de datos.

Conductividad térmica: capacidad de un material para conducir el calor. Densidad: Masa por unidad de volumen.

Desviación estándar: medida de la dispersión de un conjunto de datos en relación con su media.

Diámetro del hexágono: la distancia entre dos esquinas opuestas de un hexágono.

Eficiencia térmica: la capacidad de un sistema para disipar el calor de manera eficiente.

Refrigeración: proceso de enfriamiento.

Espesor: La dimensión perpendicular a la superficie de un objeto o material.

Espuma metálica: material formado por estructuras metálicas y de espuma.

Experimento: proceso de realizar pruebas y observaciones para recopilar información.

Flujo de aire: Movimiento del aire a través de una estructura o espacio.

Geometría: Forma y estructura de un objeto o sistema.

Mallado: División de una geometría en elementos más pequeños para análisis.

Operación continua: Funcionamiento constante y prolongado de un sistema.

Porosidad: Proporción de espacios vacíos en un material en relación con su volumen total.

Prototipo: Modelo inicial o representación experimental de un sistema.

Radiador de automóvil: pieza utilizada en el sistema de enfriamiento de un automóvil para disipar el calor.

Refrigerante: Líquido utilizado en un sistema de refrigeración para absorber y disipar el calor.

Simulación: una representación virtual del comportamiento del sistema.

Sistema de refrigeración: conjunto de componentes diseñados para reducir la temperatura del sistema.

Tamaño de porosidad: El tamaño de los huecos en un material.

transferencia de calor: El movimiento de energía térmica de un lugar a otro.

BIBLIOGRAFÍA

ALIEXPRESS. *Enfriador de aceite de transmisión remota de aluminio Universal, convertidor de radiador Manual automático, piezas modificadas para automóvil, 4 filas, 6 filas, 8 filas.* [blog]. Hangzhou. 2023. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/1005005633194974.html>

CARRANZA GARCÍA, MC Juan Carlos. Obtención, caracterización y modelado de espumas de aluminio reforzadas, fabricadas mediante infiltración. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Instituto de Investigaciones en Materiales-UNAM. Morelia, Michoacán-México. 2023. págs. 25-28. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14663>

CHALCO, Hernán. *Espuma de aluminio para la transferencia de calor.* [blog]. Zhengzhou. 2019. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.porousaluminum.com/Solicitud/Espuma_de_aluminio_para_la_transferencia_de_calor.html

FERNÁNDEZ MORALES, Patricia. et al. “*Thermal and permeability properties of metal aluminum foams for functional applications*”. *Creative Commons Attribution 4.0 International* [en línea], 2017, (United State of America), Vol. 21 (1), págs. 1-12. [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/477/47749034008/html/>

LAFDI, K. et al. “Experimental study on the influence of foam porosity and pore size on the melting of phase change materials”. *Journal of Applied Physics*. [en línea], 2007, (United State of America), Vol. 102 (8), págs. 7. [Consulta: 20 diciembre 2023]. ISSN 1089-7550. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.2802183>

MEXPOLÍMEROS. *Teoría de la formación de espuma.* [blog]. México 2023, [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.mexpolimeros.com/formaci%C3%B3n%20de%20espuma.html>

MORALES, Guillermo. *¿Qué función cumple el radiador en un auto?* [blog]. Santiago. 2020, [Consulta: 20 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.guillermomoraes.cl/funcion-radiador-autos/>

PACHA CHICAIZA, Alex Darío & CHANGO MONTACHANA, Braulio Gabriel. Obtención y caracterización de espumas metálicas de aluminio de celda abierta para aplicaciones de absorción de energía de impacto en el campo automotriz. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba – Ecuador. 2019. págs. 6-10. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/13564>

PALOS CUESTA, Jaime. Diseño de un radiador tipo panal de abeja para una moto de competición. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Valencia-España. 2020. págs. 35-37. Disponible en: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/155284/Palos%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20radiador%20tipo%20panal%20de%20abeja%20para%20una%20moto%20de%20competici%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GANGOSO POSADAS, Ignacio. Espumas Metálicas de Níquel. Caracterización y Comportamiento en servicio. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad De Valladolid, Escuela De Ingenierías Industriales, Valladolid-España. 2018. págs. 29-31. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/28843/TFG-I-796.pdf?sequence=1>

ROJA BOSE, Jefferson. et al. “Comprehensive case study on heat transfer enhancement using micro pore metal foams: From solar collectors to thermo electric generator applications”. *ScienceDirect* [en línea], 2021, (United State of America), Vol. 27, [Consulta: 10 diciembre 2023]. ISSN 2214-157X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.CSITE.2021.101333>

RODRÍGUEZ MÉNDEZ, Francisco. et al. “Comportamiento de una espuma de aluminio como atenuador de la radiación electromagnética”. *Revista Tecnología En Marcha* [en línea], 2019, (Costa Rica), Vol. 32 (5), págs. 7-17. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331844758_Comportamiento_de_una_espuma_de_aluminio_como_atenuador_de_la_radiacion_electromagnetica

SANTOS DA COSTA, António Paulo. Tecnologias de Ligação de Espumas Metálicas. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad de Nova de Lisboa, Facultad de Ciencias y tecnología, Departamento de Engenharia Mecânica Industrial, Monte da Caparica-Portugal. 2009. págs. 31-32. Disponible en: https://run.unl.pt/bitstream/10362/1917/1/Costa_2009.pdf

SHARMA, Varun. et al. “*Influence of Porosity on the Mechanical Behavior during Uniaxial Compressive Testing on Voronoi-Based Open-Cell Aluminium Foam*”. *MDPI* [en línea], 2019, (United State of America), Vol. 12 (7), págs. 1041. [Consulta: 5 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/MA12071041>

SRIVASTAVA, V. C., & SAHOO, K. L. *Processing, stabilization and applications of metallic foams. Art of science. Materials Science-Poland, vol. 25, n° 3, (2007), (India). págs. 733–753.* Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235975508_Processing_stabilization_and_applications_of_metallic_foams_Art_of_science

SURAPPA, M.K. “*Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities*”. *Sadhana* [en línea], 2003, (United State of America), Vol. 28, págs. 319-334. [Consulta: 8 enero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF02717141>

PANEL DE RADIADOR. [Blog], España: Valeo Service, 2023. [Consulta: 8 enero 2024]. Disponible en: <https://www.valeoservice.es/es/vehiculo-comercial-ligero/refrigeracion-y-gestion-del-aire-para-vehiculos-comerciales-ligeros/refrigeracion-y-gestion-del-aire-panel-de-radiador>

WAN, Tan. et al. “*Fabrication, properties, and applications of open-cell aluminum foams: A review*”. *ScienceDirect* [en línea], 2021, (United State of America), vol. 62, págs. 11-24, [Consulta: 18 diciembre 2023]. ISSN 1005-0302. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.JMST.2020.05.039>

ZHANG, Chuan. *Aluminum Foams Composite: Elaboration and Thermal Properties for Energy Storage.* (Trabajo de titulación) (Doctoral). Université de Technologie de Troyes. Troyes-Francia. 2019. págs. 73–75. Disponible en: <https://www.theses.fr/2017TROY0015.pdf>

Total 19 referencias bibliográficas

ANEXOS
ANEXO A: RESUMEN FOTOGRÁFICO



ANEXO B: PRUEBAS DE TEMPERATURA TERMOGRÁFICAS

