

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Maestría en Diseño Industrial y Procesos

Selección de materiales alternativos para el aislamiento de cajuela de vehículos mediante MCDM y simulación.

Jhonny Patricio Granada Molina

Nota del autor

Jhonny Patricio Granada Molina, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Internacional SEK.

Director PhD. Javier Martínez Gómez

Co-Director PhD. Diana Belén Peralta

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
jpgranada.mdin@uisek.edu.ec

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Declaración Juramentada

Yo, JHONNY PATRICIO GRANADA MOLINA, con cédula de identidad número 1723151518, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, y no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

JHONNY PATRICIO GRANADA MOLINA

C.I.: 172315151 - 8

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Índice de contenidos

Declaración Juramentada.....	2
Índice de contenidos	3
Lista de Figuras	6
Lista de Tablas.....	8
Resumen	10
Abstract.....	11
CAPITULO I.....	12
1. Introducción	12
1.1. Antecedentes.....	14
1.2. Problemática	15
1.3. Justificación	18
1.4. Objetivo General.....	22
1.5. Objetivos Específicos.....	22
1.6. Estado del Arte.....	22
1.6.2. Temperaturas que enfrentan los vehículos	25
1.6.3. Aislamiento térmico en vehículos	25
1.6.4. Materiales comúnmente usados como aislantes térmicos en vehículos ...	27
1.6.5. Materiales Aislantes	27
1.6.6. Propiedades de los Aislantes	28
1.6.7. Conductividad térmica de los aislantes	28

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

1.6.8.	Fibra Natural como alternativa en la construcción.....	29
1.6.9.	Clasificación de las fibras.....	29
1.6.10.	Fibras Naturales	30
1.6.11.	Fibras de origen mineral	30
1.6.12.	Proceso de fabricación de aislantes de origen natural	33
1.6.13.	Producción de Fibra en el Ecuador	34
1.6.14.	Fibras Naturales para selección	37
1.6.15.	Método de ponderación o pesos.....	40
1.6.16.	Método de selección multicriterio MCDM.....	40
1.6.17.	Simulación Térmica.....	43
2.	Método.....	46
2.1.	Tipo de Estudio	46
2.2.	Metodología	46
2.3.	Propiedades de los Materiales Candidatos	47
2.4.	Ponderación de criterios de selección	48
2.5.	Método Entropía.....	48
2.6.	Métodos de selección Multicriterio (MCDM)	49
2.7.	Método VIKOR.....	50
2.8.	Método TOPSIS	52
2.9.	Método COPRAS.....	54
2.10.	Método ARAS	56

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

2.11.	Método MOORA	57
2.12.	Simulación térmica	58
3.	Resultados.....	64
3.1.	Calculo de selección de Materiales Candidatos	64
3.2.	Método de Entropía para la ponderación o pesos	65
3.3.	Métodos Multicriterio MCDM.....	69
3.3.1.	Método VIKOR	69
3.3.2.	Método TOPSIS	74
3.3.3.	Método COPRAS	79
3.3.4.	Metodo ARAS	85
3.3.5.	Método MOORA.....	91
3.5.	Simulación Térmica	99
3.6.	Análisis térmico.....	99
3.6.1.	Análisis térmico Fibra de Cabuya	99
3.6.2.	Análisis térmico material ABS	103
3.7.	Modelos matemáticos de transferencia de calor	107
3.7.1.	Modelo matemático para fibra de cabuya.....	109
3.7.2.	Modelo matemático material ABS	111
4.	Análisis y discusión de resultados	115
5.1.	Conclusiones.....	118
	BIBLIOGRAFÍA	120

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Lista de Figuras

Figura 1. Fibras Naturales	23
Figura 2. Elementos diseñados con fibras naturales en vehículos.....	25
Figura 3. Zonas aisladas térmicamente en un vehículo.....	27
Figura 4. Clasificación de las fibras.	30
Figura 5. Clasificación de las fibras naturales.....	32
Figura 6. Aplicaciones de las fibras naturales.....	33
Figura 7. Proceso de producción de aislantes de origen natural.....	34
Figura 8. Artesanías elaboradas con plantas de Fibras.....	37
Figura 9. Fibra de cabuya	40
Figura 10. Modelo para la toma de decisiones	41
Figura 11. Simulación térmica	45
Figura 12. Modelo CAD de la cajuela de un vehículo.	59
Figura 13. Zona de aplicación de temperaturas.....	60
Figura 14. Complemento SolidWorks	61
Figura 15. Temperatura externa de 5 °C	61
Figura 16. Temperatura externa de 30°C	62
Figura 17. Temperatura externa de 50°C	62
Figura 18. Malla de la cajuela con el mallado basado en curvatura de combinación ..	63
Figura 19. Propiedades térmicas de la fibra de cabuya en la librería de Solid Works	100
Figura 20. Simulación térmica con temperatura externa de 5°C	100
Figura 21. Parte exterior a 5°C.....	101
Figura 22. Simulación térmica con temperatura de 30°C	101
Figura 23. Parte exterior a 30°C.....	102

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 24. Simulación térmica con temperatura de 50°C	102
Figura 25. Parte exterior a 50°C.....	103
Figura 26. Propiedades del ABS en la librería de SolidWorks	104
Figura 27. Simulación térmica con temperatura de 5°C	104
Figura 28. Parte exterior a 5°C.....	105
Figura 29. Simulación térmica con temperatura de 30°C	105
Figura 30. Parte exterior 30°C	106
Figura 31. Simulación térmica con temperatura de 50°C	106
Figura 32. Parte exterior a 50°C.....	107

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Lista de Tablas

Tabla 1. Plantas vasculares en la zona de los Andes Centrales	35
Tabla 2. Distribución por categoría sobre el uso de plantas de fibra en Ecuador, Perú y Bolivia.	36
Tabla 3. Criterios de Selección de los Materiales Candidatos.....	47
Tabla 4. Materiales candidatos	50
Tabla 5. Definición de criterios positivos y negativos	50
Tabla 6. Parámetros a utilizar en la simulación.....	60
Tabla 7. Materiales candidatos	64
Tabla 8. Matriz de decisión estándar.....	65
Tabla 9. Matriz de decisión normalizada.....	66
Tabla 10. Entropía E_i	67
Tabla 11. Diversidad D_j	68
Tabla 12. Peso de los criterios W_j	69
Tabla 13. Matriz de decisión normalizada.....	70
Tabla 14. Mejor valor f_i^*	71
Tabla 15. Peor valor f_i^-	71
Tabla 16. Solución Ideal positiva (S_i).....	72
Tabla 17. Máximo y Mínimo S_i	73
Tabla 18. Máximo (R_i).....	73
Tabla 19. Mínimo (R_i)	73
Tabla 20. Ranking VIKOR	73
Tabla 21. Matriz normalizada de decisión.....	75
Tabla 22. Matriz estandarizada de pesos obtenidos.....	76
Tabla 23. Solución de ideas positivas y negativas.....	77

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 24. Distancia entre soluciones positivas y negativas ideales.....	78
Tabla 25. Proximidad relativa a solución ideal y ranking	78
Tabla 26. Matriz de decisión normalizada $X_{ij} *$	80
Tabla 27. Matriz de decisión normalizada de pesos D_{ij}	81
Tabla 28. Valores beneficiosos $S_i +$	82
Tabla 29. Valores No beneficiosos $S_i +$	82
Tabla 30. Prioridades relativas de cada alternativa	83
Tabla 31. Proximidad relativa a la ideal (P_i) y ranking	84
Tabla 32. Matriz de decisión normalizada X_{ij}	86
Tabla 33. Matriz de decisión normalizada de pesos	88
Tabla 34. Función de optimización S_i	89
Tabla 35. Ranking método ARAS	91
Tabla 36. Matriz normalizada de decisión.....	92
Tabla 37. Matriz de decisión normalizada.....	93
Tabla 38. Ranking método MORA.....	97
Tabla 39 Resultados de los métodos multicriterio.....	98
Tabla 40. Resultados simulación y método numérico	117
Tabla 41. Coeficiente de variación fibra de cabuya	117
Tabla 42. Coeficiente de variación ABS	117

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Resumen

Debido a la gran radiación del sol que existe en nuestro país por encontrarnos en la línea ecuatorial, el aislamiento térmico en los vehículos ayuda a disminuir la conducción de calor desde la parte exterior hacia la parte interna del vehículo, teniendo un ambiente más fresco en el interior de la cajuela y reduciendo el uso del aire acondicionado. El presente estudio establece una serie de criterios que permitan seleccionar distintos tipos de fibras aislantes de origen natural que satisfagan no solo el aislamiento térmico sino también requerimientos ambientales. Teniendo en cuenta que Ecuador es un país que tiene una diversidad extensa de especies vegetales vasculares se realiza un estudio previo de las propiedades térmicas de las fibras de origen natural, para luego investigar mediante análisis que permita calcular los pesos de los criterios de evaluación y otros métodos MCDM para su solución, en donde se analiza al menos diez tipos de fibras y cinco propiedades de cada una de estas, de tal manera, tener algunas de las características necesarias entre todos los materiales analizados y hacer una comparativa entre sus propiedades térmicas que permitan seleccionar el material óptimo para utilizarlo como aislante térmico sin requerir el funcionamiento de algún sistema del vehículo que aumente el consumo y costo, además, que sea amigable con el medio ambiente y cumpla que las estrictas regulaciones que se imponen en el sector automotriz para que más del 80% del auto sea reutilizable. Para corroborar que el material seleccionado es el de mejores prestaciones se realiza una simulación térmica mediante un software computacional que permite experimentar las condiciones de trabajo de la fibra escogida.

Palabras claves: Aislamiento térmico, Materiales alternativos, Simulación computacional, Fibra Natural, Cajuela, Vehículo.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Abstract

Due to the high sun radiation that exists in our country because we are on the equatorial line, thermal insulation in vehicles helps to reduce heat conduction from the outside to the inside of the vehicle, having a cooler environment inside the trunk and reducing the use of air conditioning. This study establishes a series of criteria to select different types of insulating fibers of natural origin that satisfy not only thermal insulation but also environmental requirements. Taking into account that Ecuador is a country with a great diversity of vascular plant species, it starts with a previous study of the thermal properties of these natural fibers, to then investigate through analysis that allows to calculate the weights of the evaluation criteria and other MCDM methods for its solution, where at least ten types of fibers and five properties of each of these are analyzed, in such a way, to have some of the necessary characteristics among all the analyzed materials and make a comparison between their thermal properties that allow selecting the optimal material to be used as thermal insulation without requiring the operation of any vehicle system that increases consumption and cost, in addition, that is environmentally friendly and complies with the strict regulations imposed in the automotive sector so that more than 80% of the car is reusable. To corroborate that the selected material is the one with the best performance, a thermal simulation is carried out by means of a computer software that allows experimenting the working conditions of the chosen fiber.

Keywords: Thermal insulation, Alternative materials, Computational simulation, Natural fiber, Trunk, Vehicle.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

CAPITULO I

1. Introducción

La industria pretende desarrollar una producción ecológica teniendo como base materiales renovables, tecnologías sostenibles siendo el principal objetivo utilizar procesos óptimos con un impacto ambiental lo más reducido posible, pero conseguir todos estos requerimientos es un desafío considerable que se espera lograr (Pozo, Guemes, & López, 2019).

El presente estudio nace con el objetivo de promover el uso de autopartes sostenibles y bioclimáticas, así como el campo de la aislación térmica, con dichas condiciones se intenta combinar estas dos ideas, de tal manera se dé la posibilidad de la fabricación de aislantes térmicos a base de fibras naturales (Sesmero, 2019).

El mundo automotriz junto con la industria de la construcción debe enfocarse en las tecnologías sostenibles, enfrentando varios retos como es en el caso de los vehículos que se necesita reducir su consumo energético en todas sus fases de vida, desde la construcción a la demolición, es por eso que en los últimos años se han realizado investigaciones que incentivan al uso de materiales más sostenibles. Los materiales de construcción sostenibles son aquellos que se pueden reutilizar, reciclar o recuperar, además sus propiedades permiten que sean de larga duración sin tener que darles mantenimientos continuos (Yan, Kasal, & Huang, 2016).

En la construcción automotriz se desea tener alrededor de 15 kg de fibra natural en cada vehículo. Si se desarrolla nuevos material a base de materiales ecológicos, el mercado de las fibras naturales crecerá de manera considerable, ayudando al reciclaje

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

de los materiales y permitir utilizar recursos renovables (Pozo, Guemes, & López, 2019).

Las nuevas tecnologías se han enfocado en el uso de materiales ecológicos como son la fibra de madera y cáñamo. En este trabajo se analizan las posibilidades de utilizar como aislamiento térmico materiales fabricados a base de fibras naturales, como el lino, caña de azúcar, entre otras (Sesmero, 2019).

Los materiales que tienen una alta resistencia conducción del calor se denominan aislantes térmicos, impidiendo o minimizando la transferencia del calor de un lado de su cara al otro lado, por consiguiente, puede decirse que salvaguardan del frío y del calor. Gracias a estos aislantes térmicos se puede aumentar la eficiencia energética de los sistemas térmicos reduciendo el consumo de energía sin reducir e incluso aumentando el confort (Palomo, 2017).

Un material puede ser aislante térmico de naturaleza y a otros se los aplica capas de aislantes en su superficie con el objetivo de proporcionarle estas características aislantes generando resistencia al flujo y transferencia de calor. Con este estudio se pretende reducir e incluso eliminar las pérdidas de energía que se produce a causa de la transferencia de calor, buscando el beneficio de la sociedad, equipos y el medio ambiente (Monge, 2016).

En la industria Automotriz es muy importante elegir un materiales que permita mejorar la eficiencia y desempeño de los automotores, tomando en cuenta la conservación del medio ambiente al reducir las emisiones contaminantes, menor uso de los recursos no renovables en el diseño de sus partes, reciclaje de materiales y desarrollo de materiales con mejores propiedades sin poner en riesgo el ecosistema (Nicolalde, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

En la actualidad en todo el mundo las fibras de procedencia natural se encuentran en el mercado como materiales sostenibles que protegen el medio ambiente y eso es lo que busca la nueva industrialización reducir el daño hacia nuestro planeta adaptando nuevas tecnologías de cultivo, preparación y comercialización de fibras naturales para diferentes campos como la industria automotriz (Sesmero, 2019).

El aporte tecnológico que se pretende dar en este trabajo de investigación será dar un enfoque hacia la selección de fibras naturales a fin de elegir la mejor opción como aislante térmico en la cajuela de vehículos, el empleo de los métodos Multicriterio permitirá tener una selección rápida y eficiente, teniendo como base las propiedades e índices de optimización de los criterios.

Una vez determinado el material con mejores características para esta aplicación, se valida mediante una simulación térmica computacional, utilizando un software de simulación adecuado para este fin.

1.1. Antecedentes

Changduk Kong, Haseung Leea y Hyunbum Parkb (2016) menciona en su artículo titulado “Diseño y fabricación de un capó de automóvil utilizando un compuesto de estructura natural”, que se diseñó la estructura del capó compuesto de lino/éster de vinilo para posteriormente compararlo con los resultados de la estructura del capó metálico determinando que el diseño del capó del automóvil con materiales compuestos naturales es razonable para la seguridad estructural, la estabilidad y el peso (Kong, Lee, & Park, 2016).

C. Alves, P.M.C. Ferrao, A.J. Silva, et al. (2019) menciona en su artículo titulado “Eco diseño de componentes de automoción utilizando compuestos de fibra de yute natural” que el análisis de ACV del cambio de fibras de vidrio por fibras de yute como

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

refuerzo de materiales compuestos para producir componentes estructurales de automóviles. En lo que respecta a los materiales compuestos, el estudio de caso del buggy demostró que el compuesto de fibra de yute es el mejor material para mejorar y tener una estructura del buggy más eficiente y amigable con el medioambiente.

O. Peña, R. Román, (2018) menciona en su artículo titulado “Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa”, que se realizó una encuesta a 240 familias de dicha comunidad para determinar las acciones que se llevan a cabo frente a las bajas temperaturas y que efectos producen estos fenómenos, por lo cual se diseñó un aislante de fibras. Para el desarrollo del aislante se utilizó fibras, pegamento sintético, aserrín y geo mallas, ya con el diseño (0.6 m x 0.5m x 0.04 m) se validó al colocar en la habitación de una casa de la comunidad obteniendo un costo de \$ 1,59 y logrando reducir el flujo de calor en dicha zona de la vivienda en 26%.

1.2. Problemática

Debido a la gran radiación del sol que existe en el Ecuador por encontrarse en la parte media del planeta, se genera un calor excesivo en el interior de los vehículos y en un punto específico como la cajuela de estos, dificultando el transporte elementos que se ven afectados debido al calor, existen materiales que sirven como aislantes térmicos como lana mineral, fibra cerámica, fibra de vidrio y espuma de termoplástico elastomérico (TPE), pero debido a su composición no son biodegradables siendo una amenaza para el medio ambiente, además en el Ecuador la industria automotriz usa muy poco estos materiales como aislantes térmicos es por eso que se genera la necesidad de incentivar la utilización de materiales a base de fibras naturales debido a la gran diversidad de flora y fauna existente en nuestro país no sería difícil conseguirlas y

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

utilizarlas en la industria manufacturera automotriz utilizando nuevas técnicas de producción que permitan mejorar la calidad de los elementos fabricados en Ecuador tomando en cuenta el cuidado y restauración de nuestro planeta (Amigó, Salvador, & Sahuquillo, 2010).

Cada vez son más rigurosas las regulaciones medioambientales, creciendo la necesidad de buscar recursos no basados en derivados del petróleo, las fibras naturales son un recurso muy factible debido a su beneficio con el medioambiente, para ser el remplazo de fibras sintéticas como la fibra de vidrio, en diversas aplicaciones térmicas. Sin embargo, se debe utilizar normas o ensayos para tener una selección rigurosa debido a la variación de valores y amplio rango de las propiedades mecánicas y térmicas de las fibras naturales, encontradas en la literatura (Por & De, 2007).

El excesivo y descontrolado uso de los recursos que proporciona el ecosistema y el crecimiento de las industrias a generado un gran impacto en el medio ambiente, nuestro planeta está sufriendo consecuencias medio ambientales muy graves que claramente se pueden notar y cada día va empeorando. Los seres humanos estamos consciente de este problema y se tiene la necesidad de proponer soluciones lo más rápido posible, es por eso que la propuesta y puesta en marcha de procesos sostenibles y amigables con el medio ambiente en todos los sectores permiten empezar con la solución (Navacerrada, Pedrero, Díaz, & Barbero, 2019).

El aislamiento de los vehículos generalmente se realiza utilizando el material obtenido de petroquímicos (principalmente poliestireno) o fuentes naturales tratadas con alto consumo de energía (vidrio y lana de piedra). Estos materiales conducen a efectos significativamente dañinos para el medio ambiente, principalmente debido a la fase de producción, es decir, el uso de productos no renovables, materiales y consumo de energía fósil hasta su etapa de eliminación teniendo problemas para reutilizarlo o

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

reciclar los productos al final de sus vidas (Asdrubali, D`Alessandro, & Schiavoni, 2015).

Además, para la producción de varios de estos materiales de construcción se utiliza amianto y espuma ureaformaldehído, sustancias que son muy perjudiciales para la salud, e incluso teniendo un gran riesgo de incendio. Por último, el costo de producción de estos materiales convencionales es muy elevado siendo de poco alcance para personas con recursos limitados (Mercier, y otros, 2011).

La existencia de investigaciones realizadas referente a fibras vegetales en el Ecuador, es escasa. Por tal motivo recomienda organizar seminarios o congresos que ayuden a fortalecer la información sobre dicho tema. Investigaciones sobre fibras de origen natural en nuestro país son limitadas, la gran diversidad de flora y fauna ecuatoriana guarda valiosa información que podría ser utilizada en la industria de la construcción amigable. Se recomienda a las instituciones educativas, investigadores y empresas fomentar y financiar proyectos relacionados a fibras vegetales (Cerón, 2003).

La información detallada en las escasas investigaciones existentes en la actualidad, es la que nuestras etnias conocen y han venido utilizando por cientos de años, sin embargo, para su utilización técnica y llevar a grandes industrias se debe estudiarlas más a fondo desde su producción en la naturaleza, propiedades, mercadeo, hasta su reutilización (Cerón, 2003).

La aplicación de fibras naturales en el campo automotriz en el territorio ecuatoriano es escasa, debido a la inexistencia de un plan de estudio de fibras naturales que permitan diseñar partes automotrices. A nivel nacional existe una gran variedad de fibras siendo una alternativa para la industria, el inconveniente que se tiene es que muchas de ellas no son estudiadas (Chiguano, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Por otro lado, se puede destacar las artesanías y multicultural que tienen viva nuestras raíces ancestrales, pero que con el paso del tiempo las nuevas generaciones han ido dejando un lado, por lo que ha ido perdiendo gran parte de la identidad cultural. Gran cantidad de empresas de diseño y construcción tienen como base materia prima procedente del petróleo (Chiguano, 2016).

1.3. Justificación

Los materiales aislantes tienen la capacidad de evitar la transferencia de calor impidiendo el paso del mismo de un lado a otro del material protegiendo a la zona aislada tanto de altas como de bajas temperaturas. Este aislamiento térmico permite mejorar la eficiencia energética, reduciendo en gran cantidad el consumo energético pero manteniendo e incluso mejorando el confort de la zona aislada (Palomo, 2017).

Debido a la gran radiación del sol que existe en nuestro país por encontramos en la línea ecuatorial, el aislamiento térmico en los vehículos ayuda a minimizar e incluso evitar la conducción del calor desde el ambiente exterior hacia la parte interna de la cajuela del vehículo. Teniendo un ambiente más fresco en el interior y reduciendo el uso del aire acondicionado (Bozano & Vera, 2014).

En la actualidad predominan los polímeros sintéticos o a base del petróleo entre los cuales están los termoplásticos “vírgenes” o reciclados como el polietileno, el polipropileno, el poliestireno, el policloruro de vinilo. En esta categoría también se encuentran las resinas termoestables como las de poliéster insaturado, las de fenol formaldehído, los isocianatos y los epoxis. Actualmente existe un gran interés en el mercado por el desarrollo y mejora de estos productos, debido al agotamiento de las fuentes petroquímicas y en especial por una mejoría medioambiental y social (Carrillo, 2014).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Las fibras naturales tienen grandes ventajas, siendo de bajo costo, reduce el peso de las autopartes y al parecer es probable que la fibra natural sea ambientalmente superior a la fibra de vidrio por los siguientes motivos, para la producción de fibras naturales se tiene bajos impactos ambientales en comparación con la producción de fibra de vidrio, reduciendo la contaminación que producen los materiales con contenido de polímero (Carrillo, 2014).

Al ser ligeras las fibras naturales reducen el consumo de combustible y desgaste de neumáticos, se utiliza menos los sistemas de confort de los vehículos como la calefacción y el aire acondicionado, reduciendo las emisiones durante la utilización del componente y el final de la vida de incineración de las fibras de origen naturales permite recuperar energía y créditos de carbono (Peña, Roman, & Quispe, 2017).

Las fibras naturales presentan buenas propiedades siendo estas una excelente alternativa para la construcción. Sus características principales son:

- Tener un bajo impacto ambiental al ser un recurso renovable y biodegradable.
- En comparación con fibras como el Kevlar o vidrio el costo es considerablemente bajo.
- Reduce el peso de los componentes.
- Sus características y propiedades permiten utilizarlas en aplicaciones de aislamiento térmico y acústico.
- Buen material para la construcción estructural gracias a su alta resistencia a la tensión.

En Ecuador, el crecimiento del uso de fibras y materiales compuestos están recién abriéndose camino lo que es un indicativo de que el uso de estos materiales sostenibles aun sea limitado, pero esto se puede mejorar en debido a que en el Ecuador existe una

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

gran riqueza ecológica vinculada con el uso de fibras y elementos de carácter orgánico (Salazare, 2018).

Las familias de plantas de fibras que se presentan en mayor cantidad de especies en Ecuador son Poaceae (18) y Arecaceae (10), las dos siendo del grupo de las monocotiledóneas, después tenemos a Asteraceae (6), Fabaceae (5), Malvaceae (4) y Bignoniaceae (3), siendo estas dicotiledóneas, teniendo mayor cantidad que países como Perú y Bolivia (Macía, 2006).

Por tal motivo resulta fácil encontrar en el mercado ecuatoriano fibras como:

- Banano
- Cñamo
- Lino
- Madera
- Celulosa
- Coco
- Cabuya
- Caña de azcar

Se ha estado incentivando al cambio en matriz productiva, al utilizar productos de procedencia nacional en todos los ámbitos industriales y de comercio. Las industrias automotrices deberían enfocarse en el uso de fibras orgánicas debido a sus buenas prestaciones y características. Los materiales orgánicos y compuestos se usan para relleno, refuerzo mecánico o aislamiento térmico comúnmente en la edificación de casas y grandes edificios, sin embargo su uso se puede ampliar al mundo automotriz siendo una nueva tecnología aplicada al control de la temperatura interna dentro del habitáculo

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

del vehículo sin necesidad de los sistemas de aire calefacción y acondicionado

(Salazare, 2018).

Los cambios bruscos de clima y los bajos recursos de muchas personas a obligado a que buscan nuevas alternativas de construcción económicas y confortables tanto en viviendas como en el sector automotriz saliendo al mercado nuevos materiales.

Los materiales orgánicos presentan grandes ventajas como cuidar el medio ambiente, disminuir costos, en sus propiedades presentan una gran resistencia a esfuerzos, tienen alta resistividad eléctrica y térmica (Peña, Roman, & Quispe, 2017).

Por todas estas ventajas nombradas anteriormente surge la necesidad de buscar la fibra con mejores características para el aislamiento térmico de la cajuela del vehículo, ya que esta autoparte es un elemento directamente expuesto a la radiación del sol elevando la temperatura en su interior.

Las fibras naturales están ganando mercado al ser una alternativa económica y amigable con la naturaleza para sustituir el uso de fibra de vidrio, acero, polipropileno o nylon en la fabricación de autopartes. (Yan, Kasal, & Huang, 2016).

Utilizar materiales con un consumo energético bajo durante todo su ciclo vital, es un excelente indicador de sostenibilidad. En la industria de la construcción la innovación de materiales se apuesta por dos alternativas: el uso de productos naturales endémicos que generen un bajo impacto ambiental y de una economía circular con base en la reutilización de residuos para que sean nuevamente introducidos en la cadena productiva (Asdrubali f. , 2009)

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

1.4. Objetivo General

Seleccionar un material alternativo que sea aislante térmico de origen natural, mediante métodos multicriterio y simulación computacional para aislar térmicamente las cajuelas de los vehículos.

1.5. Objetivos Específicos.

- Elaborar una tabla de materiales candidatos mediante revisiones bibliográficas de estudios con enfoques similares para su aplicación como aislante térmico en la cajuela de vehículos.
- Establecer los pesos y ranking de los materiales de estudio mediante la metodología de selección multicriterio más adecuados para tener una selección óptima.
- Realizar la simulación de diferentes condiciones térmicas mediante un software utilizando el material seleccionado para la cajuela del vehículo, que garantice la aplicabilidad aislante del nuevo material.

1.6. Estado del Arte

El proyecto se justifica mediante el uso de un material sostenible, que tiene como base materia prima natural en sus componentes. Los efectos positivos con el medio ambiente, contribuyen a reducir el efecto de las emisiones de calor que destruyen a la naturaleza (Castro, 2019).

La aplicación del concepto de sostenibilidad en los aislamientos de construcciones comienza con la sustitución de los materiales comunes por otros más sostenibles y que desde su producción sean amigables con el medio ambiente. Algunos de estos materiales provienen de reciclar fibras utilizadas en textilería y de las fibras naturales como se muestra en la figura 1 (Navacerrada, Pedrero, Díaz, & Barbero, 2019).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 1.

Fibras Naturales



Fuente: (Pozo, Guemes, & López, 2019)

Pero así como tienen sus ventajas también existen desventajas en las fibras naturales, como por ejemplo son materiales menos densos y se necesita en mayor cantidad, teniendo que utilizar mayor transporte en comparación con las fibras convencionales, además, es necesario utilizar aditivos para mejorar las características ignífugas e insecticidas, por lo cual su eliminación se vuelve más trabajosa, ya que no se pueden quemar hasta quedar en cenizas (Mercier, y otros, 2011).

1.6.1. Materiales compuestos con Fibra natural en el Sector Automotriz

En los últimos años ha crecido el uso de materiales compuestos reforzados por fibras naturales, debido al gran interés de reemplazar las fibras sintéticas a base de petróleo como lo es la fibra de vidrio por fibras naturales, que a más de ser biodegradables tienen un costo relativamente bajo en su producción (Restrepo, Arroyave, & Vásquez, 2016).

Varias industrias han mostrado un mayor interés en utilizar materiales ecológicos y este es el caso del sector automotriz, debido a las exigencias con respecto a las normativas ambientales, ya que es preocupante la crisis energética. Siendo el objetivo del sector automotriz utilizar materiales alternativos que reduzcan el peso en los

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

automóviles y a la vez permitan mejorar el rendimiento energético y el consumo de combustible. (Mata, 2004).

Los materiales compuestos que están reforzados con fibras pueden tener aplicaciones en el campo automotriz en las siguientes zonas del automotor:

- Habitáculos (Paneles, mandos, tapizados)
- Componentes Mecánicos (Estructuras, partes del motor)
- Elementos de Carrocería (guardachoques, rejillas, faldones)

De manera análoga las ventajas que se tienen en el sector automotriz con la aplicación de materiales reforzados con fibras naturales es:

- Disminuir el peso del automotor
- Costos de fabricación accesibles
- Mayor resistencia a la abrasión y desgaste
- Soporte a cargas dinámicas
- Resistencia a la corrosión
- Facilidad de diseño por su buena conformación y moldeo
- Utilización como aislantes térmicos

Tomando en cuenta estos aspectos se indica en la figura 2 que las empresas de renombre como BMW, Ford, Mercedes Benz están utilizando fibras naturales en sus modelos, especialmente en los paneles internos de los habitáculos, cubre lodos y tableros (Nicolalde, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 2.

Elementos diseñados con fibras naturales en vehículos



Nota. Tomado de (Guerrero, y otros, 2013).

Otras empresas como Toyota tienen a la venta vehículos cuyos paneles de compuertas están conformados con materiales de matriz polimérica y con reforzados con Kenaf, en Alemania se producen materiales compuestos a base de matriz poliéster con refuerzo de fibra de lino para partes internas y externas de vehículos (Bravo & Giovanni, 2018).

1.6.2. Temperaturas que enfrentan los vehículos

Las condiciones climáticas pueden influir de gran manera en la temperatura interna del vehículo llegando a temperaturas de entre 25°C hasta los 40°C en ciertas circunstancias, por tal motivo se han realizado diversas investigaciones para desarrollar nuevas tecnologías de materiales que cumplan con las propiedades necesarias para el control del ambiente interior de un auto evitando en gran manera los efectos que se producen debido al clima y las condiciones ambientales (Méndez, 2019).

1.6.3. Aislamiento térmico en vehículos

Un vehículo con aislamiento térmico permite tener condiciones óptimas de temperatura para transportar productos alimentarios, farmacéuticos, médicos o químicos conservándolos en buen estado (Technology, 2017).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

De acuerdo a las necesidades de conservación del producto a transportar se tiene los siguientes tipos de vehículos:

- **Vehículo de tipo isoterma**

En este tipo de vehículo sus paredes interiores están reforzadas con aislantes de gran grosor. De esta manera, en el interior del vehículo la temperatura no varía y no se intercambia con el exterior (Stock, 2016).

- **Vehículo de tipo refrigerante**

Estos vehículos también son de tipo isoterma, además de mantener la temperatura cuentan con un dispositivo de generación de frío, que no sea un equipo mecánico o de absorción, para disminuir la temperatura según su capacidad de enfriamiento (Alquiber, 2020).

- **Vehículo de tipo frigorífico**

Es un vehículo de tipo isoterma y refrigerante, como ejemplo si la temperatura exterior es de 30°C, permiten mantener temperaturas en su interior de entre 12°C y -10°C según la capacidad para enfriar (Pantoja, 2019).

- **Vehículo de tipo calorífico**

Es un vehículo isoterma, pero a diferencia de los anteriores mantiene el calor gracias a un dispositivo que permite elevar y mantener una temperatura mínima de 12°C durante 12 horas.

Las paredes, el suelo, el techo, las puertas, la cajuela de estos vehículos contienen un material aislante que impide la transferencia de calor. Al colocar el aislante se crea un sistema hermético que mantiene la temperatura si es fría con un sistema

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

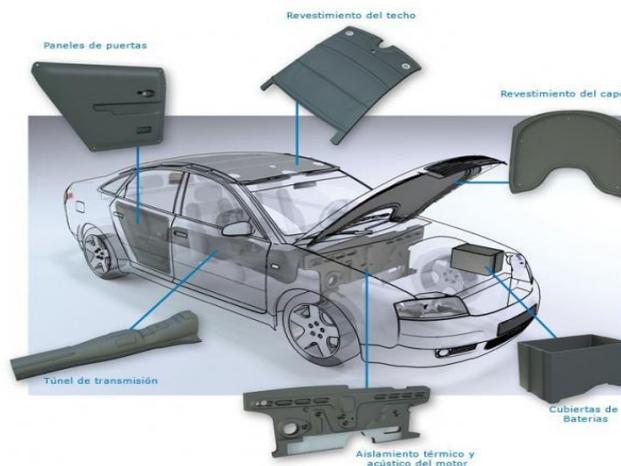
de refrigeración o si es caliente con un sistema de calefacción de acuerdo a las necesidades requeridas utilizando pocas veces estos sistemas (Toyota, 2021).

1.6.4. Materiales comúnmente usados como aislantes térmicos en vehículos

Hay una diversidad de materiales que se pueden aplicar como aislante termico. Los más utilizados son la manta asfáltica, el fieltro con adhesivo de aluminio, el aislamiento térmico de EVA o el etaflon aluminizado. Cubrir completamente el interior del vehículo con estos materiales permite tener una capa aislante que evita la transferencia de calor en la figura 3 se indica las zonas comunes en donde se aplica aislamiento (Gerfri, 2017).

Figura 3.

Zonas aisladas térmicamente en un vehículo



Nota. Zonas del vehículo en las que se utiliza aislantes térmicos.

Fuente (Blazquez, 2021)

1.6.5. Materiales Aislantes

Los aislantes térmicos son los materiales que se oponen al paso del calor por conducción, convección y radiación son evaluados de acuerdo a su capacidad aislante. A más de sus propiedades térmicas se podrían características como la resistencia al intemperie, resistencia mecánica, evitar el paso de vapor, fuego y ser auto extingüibles (Garza, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

1.6.6. Propiedades de los Aislantes

Ningún material aislante tiene las mismas propiedades que otro de su misma clase cada uno presenta diferente conductividad térmica dentro de límites máximos y mínimos de aislamiento térmico, algunas de las propiedades son:

- Densidad (ρ): Cantidad de masa que tiene el material por unidad de volumen.
- Conductividad térmica (λ): Se expresa ($W/m \cdot K$) y se define como el calor que circula por una sección transversal en determinado tiempo, bajo un gradiente de temperatura aplicado en la dirección del flujo de calor (Portillo, 2019).
- Temperatura máxima de servicio: Hace referencia a la temperatura continua máxima a la que un material puede ser usado sin que se pierda su característica como aislante térmico (ASTM, 2016).
- Capacidad calorífica (C_{ce}): describe la habilidad de un material para almacenar calor. Puede expresarse por unidad de masa ($J \text{ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$), (Portillo, 2019).

1.6.7. Conductividad térmica de los aislantes

Según la definición de la norma DIN 4108 "Aislamiento térmico y ahorro de energía en los edificios", los materiales que presentan una conductividad térmica de $0,10 \frac{W}{mK}$ pueden clasificarse como materiales aislantes térmicos. La mayoría de los materiales aislantes tienen conductividades térmicas en el rango de $0,030$ a $0,050 \frac{W}{mK}$ y estos valores pueden considerarse buenos. Los materiales con conductividades térmicas $< 0,030 \frac{W}{mK}$ pueden considerarse muy buenos, mientras que los valores en torno a $0,060 \frac{W}{mK}$ son sólo moderados, y los valores $> 0,07 \frac{W}{mK}$ son relativamente altos (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2008).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Los aislantes térmicos tienen un intervalo de temperatura siendo -73°C el punto menor y 815°C el punto de mayor temperatura que soportan, si se sobrepasa este intervalo se clasifican en otro tipo de materiales, para temperaturas bajas se utilizan criogénicos y para las temperaturas elevadas se utilizan materiales refractarios (Méndez, 2019).

1.6.8. Fibra Natural como alternativa en la construcción

Las fibras naturales se encuentran en casi todo el mundo en plantaciones de manera natural, campos, ciénegas o plantaciones agrícolas que las producen con este objetivo. A mitad del siglo pasado las industrias utilizaban las fibras naturales en diversas aplicaciones, pero con la llegada de los polímeros sintéticos y su bajo costo de producción, dejaron a un lado a los productos de base natural. Pero las consecuencias ambientales cada vez son mayores que los mismos países que iniciaron la primera y segunda revolución industrial han tomado el mando para la eco-amigable tercera revolución industrial, en la que se busca desarrollar productos con un ciclo de vida verdaderamente amigable con el planeta, pero sin perder las exigencias tecnológicas que exige el tercer milenio (Tapia, Paredes, Simbaña, & Bermúdez, 2006).

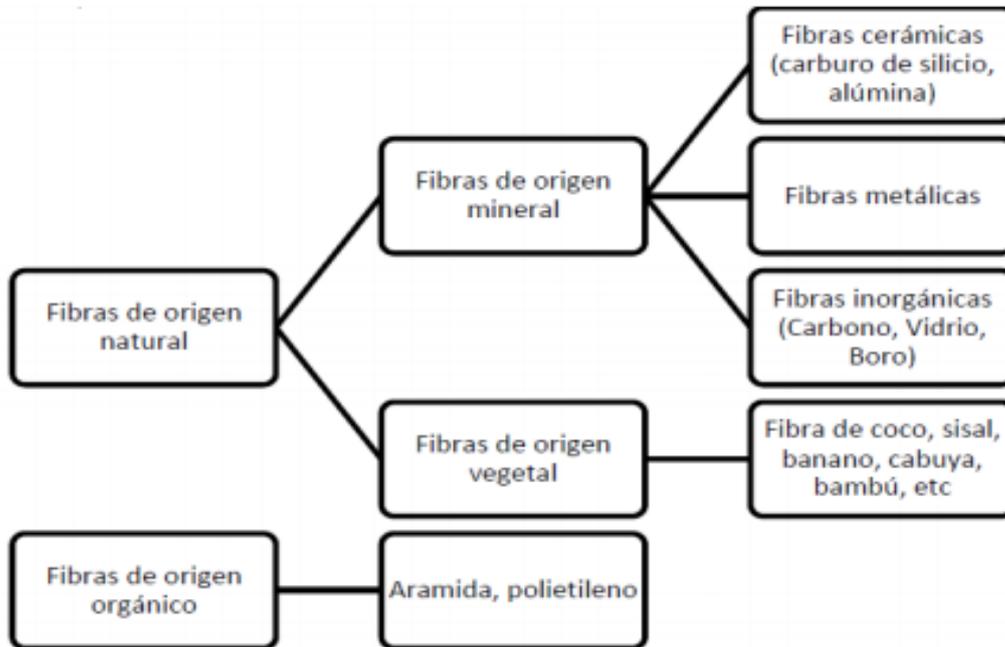
1.6.9. Clasificación de las fibras

Las fibras están clasificadas según su procedencia en: naturales y orgánicas lo cual se detalla en la siguiente figura 4.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 4.

Clasificación de las fibras.



Nota. Mapa conceptual de la clasificación de las fibras de origen natural y orgánico. Fuente (Imbaquingo, 2018).

1.6.10. Fibras Naturales

Las fibras de origen natural se encuentran en minerales, animales o vegetales distribuidos en la biósfera en forma de cultivos, árboles y plantas teniendo disponible una gran variedad y fácil de volver a cultivar con un corto tiempo de producción en la naturaleza. Son materiales lignocelulósicos, es decir, cuentan con una sustancia incrustante o cementante gracias a la pared celular que forman las células vegetales, dándole características de dureza y resistencia (Mendoza, Castro, & Mendoza, 2020).

1.6.11. Fibras de origen mineral

Se produce con la unión y fusión de diversos minerales, su uso principal es para la elaboración de aislantes térmicos y acústicos, la fibra de origen mineral más común es la fibra de vidrio utilizada en gran cantidad para tejidos corrientes (Reyes, 2008).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- **Fibras químicas artificiales**

Sus materia prima es extraída de la naturaleza, principalmente la celulosa, pero para tener un producto son procesadas por el hombre (Salas, 2009).

- **Fibras químicas sintéticas**

No se necesitan cosecharlas, su volumen y propiedades químicas puede ser modificado de acuerdo a su uso, por ejemplo su resistencia, el color, el brillo pueden cambiar, tienen una gran duración y resistencia a los agentes externos, pero una de sus principales desventajas es su abundante absorción de agua, a pesar de este inconveniente son muy utilizadas (Páez, 2007).

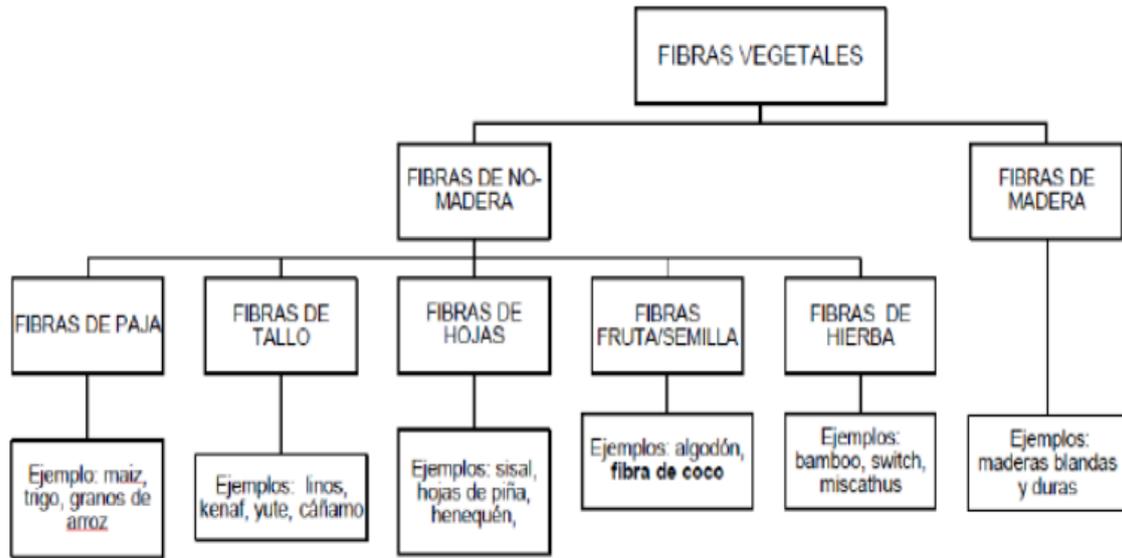
- **Fibras de origen natural**

La composición principal de las fibras vegetales son la celulosa, que se diferencia con las proteínas que contienen las fibras de origen animal, presenta resistencia a los álcalis y a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero los ácidos minerales fuertes las destruyen, en figura 5 se detalla la clasificación de este tipo de fibras (Pardo, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 5.

Clasificación de las fibras naturales



Nota. En el mapa conceptual se clasifica las fibras vegetales de las cuales algunas se utilizaron en este estudio. Fuente: (Mazón, 2015)

Ventajas que presentan las fibras naturales

La principal ventaja es la gran variedad disponibilidad en los países subdesarrollados, este tipo de fibras a comparación de las fibras artificiales presentan un bajo costo de producción, producción que se puede obtener usando la manufactura disponible en la localidad y si es necesario se puede utilizar químicos para mejorar sus propiedades mecánicas y térmicas, además, con menos energía se puede realizar su proceso de extracción (Pardo, 2018).

Origen de las fibras vegetales

Las fibras vegetales son extraídas principalmente del tallo y hojas de las plantas, también se puede extraer de la cáscara de algunas frutas, son básicamente celulosa, la cual es utilizada en la industria textil debido a su buena flexibilidad y absorción de la humedad, las fibras de hojas y cascaras de frutos generan una buena resistencia mecánica en tejidos (Pardo, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Aplicaciones de las fibras naturales

Los usos de la fibra natural son famosos y con mucha aplicabilidad dentro de la agricultura, fabricación de cabos, industria farmacéutica, aglomerados, construcción, productos artesanos, industria automovilística, combustibles, papelería y en especial para aislantes térmicos, y otras aplicaciones detalladas en la figura 6 (Salas, 2009).

Figura 6.

Aplicaciones de las fibras naturales



Nota. Fuente (Pardo, 2018).

1.6.12. Proceso de fabricación de aislantes de origen natural

El uso y fabricación de estos materiales se enfocan en el cuidado del medio ambiente, mediante el reciclaje como proceso para su edificación. Para aglutinar el material se deja secar y se aplica la misma resina del material, otro proceso es triturar el material reciclado luego se cocciona, se prensa hasta que quede bien compacto y de forma de plancha y rellenos, entre otras formas. Para su conservación y cuidado se debe

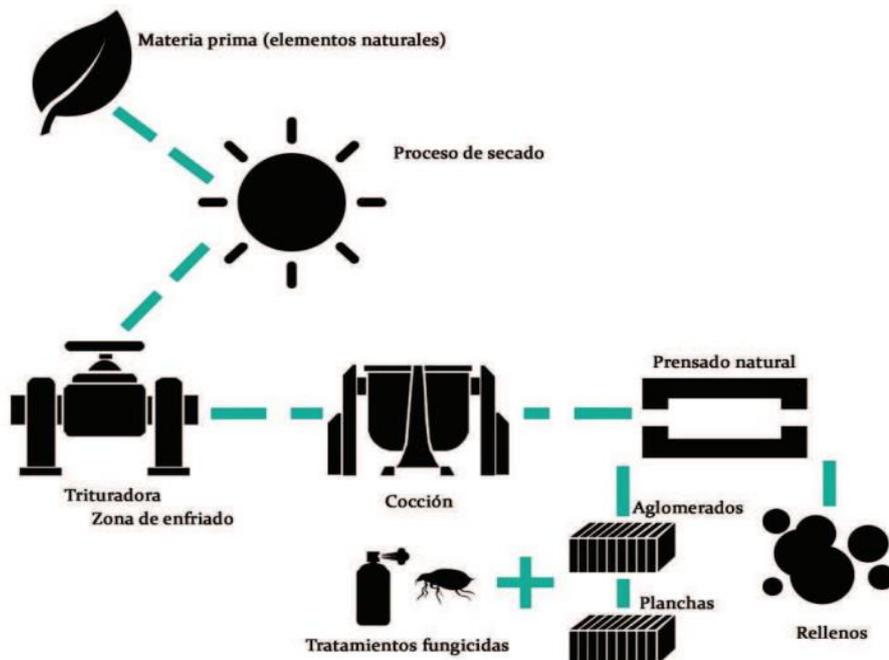
SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

someter a tratamientos fungicida evitando y eliminando los insectos o por mejorar sus condiciones ignifugas (Palomo, 2017).

Lo común en estos materiales al ser de origen natural, es estar libres de sustancias químicas aditivas, solo se utiliza para mejorar alguna propiedad del material, pero sin cambiar su composición, en la figura 7 se detalla el proceso para producir los aislantes naturales.

Figura 7.

Proceso de producción de aislantes de origen natural



Nota. Se detalla paso a paso desde la materia prima hasta el producto como aislante de origen natural orgánico. Fuente: (Kong, Lee, & Park, 2016)

1.6.13. Producción de Fibra en el Ecuador

En el Ecuador el estudio y uso de nuevos materiales esta en etapas iniciales, por tal motivo el desarrollo e implementación de fibras en materiales compuestos es muy limitada. La gran variedad de especies vasculares que existen en el país es un incentivo

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

para el desarrollo y estudio de dicha área generando un valor agregado a la construcción de todo tipo de elementos (Guerrero, y otros, 2013).

Se tiene un total de 67 especies en la región de los Andes Centrales dividiéndose en 24 familias de plantas vasculares y siendo Ecuador el país que con mayor número de especies teniendo en total 34 dentro de su territorio, la Tabla 1 compara a los países de esta zona que son Perú, Bolivia y Ecuador (Por & De, 2007).

Tabla 1.

Plantas vasculares en la zona de los Andes Centrales

Familia	Ecuador	Perú	Bolivia	Especies por familia
Agavaceae	2	1	2	2
Araceae	1			1
Arecaceae	7		5	10
Asteraceae	1	1	5	6
Bignoniaceae		1	2	3
Cecropiaceae	1			1
Columelliaceae		1		1
Cyperaceae	1	1	1	1
Euphorbiaceae		1		1
Fabaceae s.I.	2	2	1	5
Juncaceae	1			1
Malvaceae	4			4
Melastomataceae	1			1
Ponceae	8	9	5	18
Podocarpaceae	1			1
Polemoniaceae		1		1
Rosaceae		1	1	1
Salicaceae			2	2
Sapindaceae				1
Saxifragaceae		2		2
Solanaceae		1		1

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tiliaceae	1			1
Typhac	1			1
Ulmaceae	1			1
Especies por país	34	22	24	67

Fuente: (Por & De, 2007)

La producción de abacá en Ecuador es muy elevada siendo la segunda a nivel mundial después de Filipinas que tiene producciones anuales de 10000 toneladas, y en Ecuador se registra una producción de cabuya en el año 2008 alrededor de 5400 ton, generando aproximadamente 2,7 millones de dólares según el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca (MAGAP, 2019).

El MAGAP registra datos que en Ecuador existe una elevada producción de coco en provincias de la costa y oriente las cuales generan una producción al año de 51000 Toneladas, siendo Esmeraldas la provincia que más produce coco (MAGAP, 2019).

Ecuador es el país con mayor uso de fibras vegetales superando a Peru y Bolivia basándose en el registro de familias de plantas vasculares existentes en su territorio, donde se tiene aplicaciones en la producción de cestería y cordelería, dichos datos se detallan en la Tabla 2 (Por & De, 2007).

Tabla 2.

Distribución por categoría sobre el uso de plantas de fibra en Ecuador, Perú y Bolivia.

Categoría de Uso	Ecuador	Perú	Bolivia	Total de especies
Cestería	12	11	17	35
Cordelería	10	6	6	19
Techos	9	6	7	19
Fabricación de escobas	10	4	4	18

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Material para relleno	3	0	5	8
Textil	2	1	2	2
Construcción de embarcaciones	1	1	1	1
Comercio	11	1	4	13

Fuente: (Por & De, 2007)

Visualizándose que no se da el valor necesario a las fibras en la industrialización siendo utilizadas en productos de escaso valor, o incluso no se considera el uso de las fibras como el caso del coco que una vez utilizado como alimento es desechado desperdiciando gran cantidad de fibra natural (Tuárez, 2021). Los usos más comunes de estas fibras son en artesanías como lo demuestra la figura 8.

Figura 8.

Artesanías elaboradas con plantas de Fibras



Fuente: (Por & De, 2007)

1.6.14. Fibras Naturales para selección

- **Lana de oveja:**

La fibra de lana de oveja tiene conductividades térmicas bajas, la lana de oveja esta entre 0.035 a $0.005 \frac{W}{mK}$. Su elaboración empieza con desfibrar los textiles, luego se les quita su color y se aplica un tratamiento para evitar que los insectos y hongos la deterioren, y como último paso se produce mantos o placas (Peña, Roman, & Quispe, 2017).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- **El cáñamo:**

Esta fibra natural es fácil de cultivar debido a su rápido crecimiento, no tiene nutrientes en su tallo, por lo que no necesita de abonos químicos. Además, la absorción de dióxido de carbono durante su crecimiento le permiten tener características sostenibles. Sus propiedades permiten que sea un excelente aislante tanto acústico como térmico presentando una conductividad térmica de 0,041 W/m·K. Se encuentra en el mercado en forma de mantas (Fernández, 2018).

- **Lino**

Esta planta generalmente se la encuentra en países que tiene un clima templado o frío, presenta una conductividad térmica entre un intervalo aproximado de 0.037 y 0.047 $\frac{W}{mK}$. Los aislantes que tiene como base el lino puede encontrarse en forma de rollos, y placas. Estos aislantes se producen a base de reciclaje de textiles, los cuales se tritura y se mezclan con aditivos y conservantes (Peña & Roman, 2018).

- **Fibras de madera**

Estos aislantes son elaborados de los residuos de madera que se producen en los aserraderos, el proceso de producción empieza al triturar los trozos de madera, luego se realiza el desfibrado mezclando con agua, esta mezcla es calentada consiguiendo homogenizar el material, una ventaja de la madera es su contenido de lignina que permite la aglomeración sin necesita de aditivos adicionales, para finalizar se prensa, se seca y se puede cortar a las medidas que se deseen. Sus aplicaciones como aislantes están en fachadas, suelos y partes internas. Presenta una conductividad térmica aproximada de 0.037 y 0,106 $\frac{W}{mK}$ (Peña & Roman, 2018).

- **Celulosa (Fibras de celulosa)**

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Las fibras de celulosa se fabrica al triturar el papel reciclado a este desfibrado se le agrega sales bóricas, se procede a almacenarlos y empaquetadorlos para luego sacarlas al mercado, que se utilizan para rellenar paredes permitiendo aislar el calor. Como material aislante sus propiedades son una alta resistencia al fuego y a la descomposición. Su conductividad térmica están en un intervalo de 0.034 y $0,1 \frac{W}{mK}$ (Peña & Roman, 2018).

- **Fibras de coco**

Estas fibras a más de ser aislantes térmicos también son buenos aislantes acústicos, comúnmente se tiene en el mercado en forma de rollos para su fácil utilización. Tiene una conductividad térmica que está en un rango de 0.043 y $0.047 \frac{W}{mK}$. Para su producción se necesita maquinas cardadoras en donde se teje y se obtiene la fibra de coco en forma de manto tejido, el manto necesita ser prensado para adquirir rigidez en la fibra, y por último se corta en medidas de acuerdo a lo necesario o aplicación a utilizar como placas, rollos o tiras (Espinoza, 2015).

- **Fibra de cabuya**

La cabuya (figura 9) es una planta nativa del Ecuador su crecimiento es más común en la zona del callejón interandino generalmente sirven para delimitar terrenos. De la hoja de la cabuya (*Furcraea Andina*) se extrae la fibra. En muchos valles y laderas de los Andes se encuentra esta planta silvestre, aunque si se la puede cultivar. La conductividad térmica es de menos $0,050 \frac{W}{mK}$ (Pucha, 2018).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 9.

Fibra de cabuya



Nota. Fuente: (Pucha, 2018)

1.6.15. Método de ponderación o pesos

1.6.15.1. Desviación Estándar

Se basa en estadísticas, que permiten identificar variaciones en una gran cantidad de valores, comúnmente se evalúa una dispersión de datos teniendo como referencia un punto central o media para obtener el promedio de la dispersión, pero esta desviación nos indica el valor más próximo a la posición ideal de referencia, para utilizar los pesos y elegir ponderación de valores a evaluar en la matriz de decisión. (Salazare, 2018)

1.6.16. Método de selección multicriterio MCDM

El análisis multicriterio es un método que permite evaluar diferentes posibles soluciones para un mismo problema, se tiene en cuenta varias variable de criterios que faciliten la búsqueda y toma de la mejor decisión en la selección dando la solución más conveniente para el problema a resolver (Méndez, 2019).

El método multicriterio a más de permitir identificar los componentes el sistema, ayudan a encontrar los vínculos entre el peso o ponderación de cada parte del sistema, y proponer la mejor solución considerando cada una de las variables (Monge, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 10.

Modelo para la toma de decisiones



Nota: Se detalla la secuencia a seguir para tomar las decisiones

Fuente: (Monge, 2016)

Se tiene varias ventajas en este método pero la más sobresaliente es la gran cantidad de factores que se pueden tomar en cuenta en el proceso de evaluación, la forma de presentar los datos facilita la comparación de los elementos, y así establecer la prioridad de cada uno de ellos (Cherrez M. , 2018)

Entre los tipos de los métodos MCDM se tiene:

- TOPSIS (Técnica para el orden de preferencia por similitud a solución real)
- VIKOR (Optimización multidisciplinar y solución de compromiso)
- COPRAS (Evaluación compleja proporcional)
- ARAS (Evaluación de Relación de Aditivos)
- MOORA (Optimización Multiobjetivo en base al análisis de radios)

1.6.16.1. TOPSIS

Es un método de estrategia compensatoria, que permite la ordenación de un conjunto finito de alternativas de decisión. Yoon y Hwang (1995) desarrollaron el

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

método TOPSIS basándose en el concepto de que es deseable que una alternativa determinada se ubique a la distancia más corta con respecto a una solución ideal positiva (ideal) y a la mayor distancia con respecto a una solución ideal negativa (anti-ideal). (Peretto, Gonzalez, Frascaroli, & Luciano, 2021)

1.6.16.2. VIKOR

El método VIKOR es una herramienta MCDM eficaz, específicamente aplicable a aquellas situaciones en las que el gestor de la toma de decisiones tiene dificultades en definir criterios de evaluación, o presenta cierto nivel de incertidumbre en el análisis de criterios y su desempeño en el resultado final. El procedimiento computacional del método VIKOR es bastante simple y ofrece un enfoque sistemático y lógico para llegar a la mejor decisión (Chatterjee, Vijay, & Chakrabortya, 2009).

1.6.16.3. COPRAS

El método COPRAS-G es un método MCDM que aplica números grises para evaluar varias alternativas de una aplicación de ingeniería. Los números grises son una sección de la teoría gris para confrontar información insuficiente o incompleta. El nivel de incertidumbre se puede expresar mediante tres números: blanco, gris y negro. La mejor alternativa se asigna de acuerdo con el valor máximo del 100%. (Beltrán & Martinez, 2019)

1.6.16.4. ARAS

El método ARAS determina la eficiencia relativa compleja de una alternativa factible es directamente proporcional al efecto relativo de los valores y ponderaciones de los principales criterios considerados. Basándose en la teoría de la utilidad y en el método cuantitativo. Las calificaciones de preferencia de los criterios en este método reflejan las preferencias del decisor (Zavadskas & Turskis, 2010).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

1.6.16.5. MOORA

El método MOORA parte de puntos de referencia. Estas referencias serán la mayor evaluación del vector de radios de alternativas respecto de cada criterio ya sea máximo o mínimo (Pérez, Macías, Sánchez, & Luviano, 2017).

1.6.17. Simulación Térmica

La física, los automotores y cada uno de sus componentes tiene una complejidad. La parte externa del vehículo intercambia flujos energéticos con los elementos que generan el comportamiento térmico. Cuando la energía ingresa a cierta zona tenemos una ganancia térmica, y caso contrario cuando a la potencia que se introduce o se extraer de una zona con el objetivo de mantener ciertas condiciones de confort de temperatura y humedad se le conoce como carga térmica (Mendoza, Castro, & Mendoza, 2020).

La suma de las diferentes cargas térmicas durante un gran periodo de tiempo se transforma en la demanda térmica que implica en todo el automóvil. En el caso de las ganancias térmicas estas no se convierten de forma instantánea en cargas térmicas ya que se tiene como consideración la cantidad de calor que mantiene durante cierto tiempo cada material (Acosta & Tello, 2016).

Existe una razón muy importante para utilizar métodos de simulación mediante elementos finitos para el cálculo de la transferencia de calor de los materiales aislantes y es el costo elevado y la dificultad al obtener la demanda real de climatización en un material, pues se debe separar y analizar individualmente cada flujo de calor y como poder disminuirlo, utilizando modelos computacionales que simulan el comportamiento térmico del materiales (Mendoza, Castro, & Mendoza, 2020).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Particularmente, muchos softwares de simulación, utilizan métodos de balance debido a su eficiencia en la solución de problemas en el modelado térmico. Se realizan balances térmicos estimados de convección, conducción y radiación a las zonas que se desea analizar (Salazare, 2018).

El análisis de la performance térmica mediante sistemas computacionales de simulación, en la actualidad es una herramienta importante que permite solucionar inconvenientes al diseño y modelar componentes de vehículos que sean eficientes y cumplan con las normas energéticas. Los sistemas computacionales puede simular el comportamiento térmico de cualquier componente cambiando su material, permitiendo evaluar su comportamiento en diferentes variaciones climáticas e identificar los problemas de confort como las extremas condiciones climáticas (Méndez, 2019).

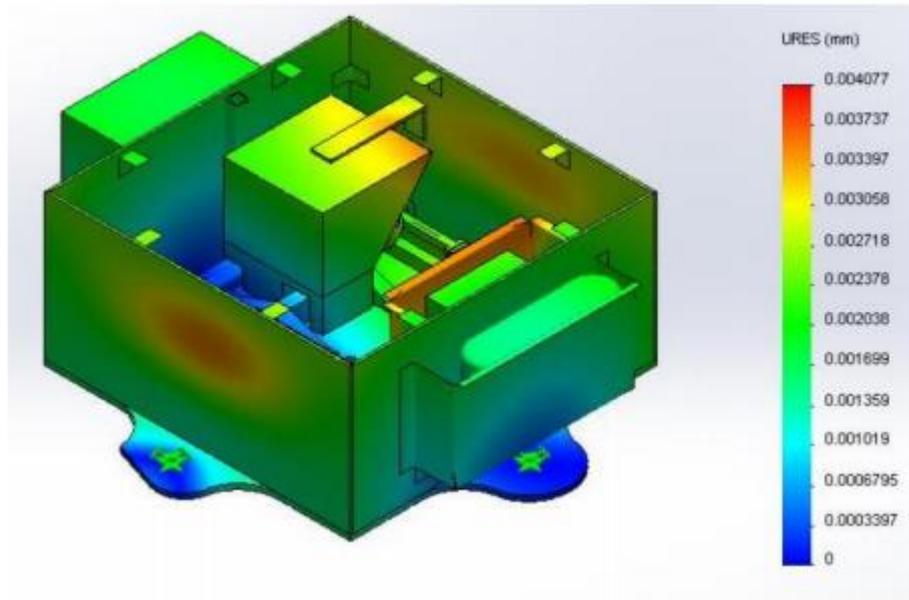
Al simular condiciones térmicas se puede para analizar y evaluar los diseños propuestos en un proyecto y las propiedades ya sean mecánicas o térmicas de cualquier material utilizado en construcción. Es muy importante tener presente la gestión térmica en los elementos, como los vehículos y la electrónica. Una simulación térmica, permite variar condiciones hasta encontrar la temperatura optima del producto para su correcto rendimiento. Se puede aumentar o extraer calor, ya sea de forma activa o pasiva, mediante un software de simulación térmica (Imbaquingo, 2018).

En la figura 11 se observa una simulación térmica, en un sistema de control de calefacción de automotor.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 11.

Simulación térmica



Fuente: (Méndez, 2019)

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

CAPITULO II

2. Método

2.1. Tipo de Estudio

La presente investigación es de tipo documental, se buscó información valiosa en investigaciones previas con relación a los materiales alternativos en el caso específico de fibra naturales y su aislamiento térmico para utilizarlo en el campo de autopartes automotrices, utilizando una investigación explicativa mediante la aplicación de métodos multicriterio en la selección del mejor material tomando en cuenta su comportamiento térmico y otras variables verificando la selección mediante simulación y validación en software computacional.

2.2. Metodología

La presente investigación tiene como objetivo seleccionar un material de origen natural, en este caso una fibra para una aplicación térmica en la cajuela de un vehículo y comprobar el material mediante una simulación en software pc.

Para esta investigación se empieza con una revisión en bibliográficas de estudios con enfoques similares, de tal manera obtener información relevante como datos y características de los diez materiales candidatos a selección que sea de gran ayuda para el análisis de la investigación, una vez obtenido todos los datos e información necesaria se aplica la metodología multicriterio MCDM, existen una gran variedad de estos métodos pero los que se utilizan para esta investigación son: TOPSI, VIKOR, COPRAS, ARAS Y MORA, las investigaciones bibliográficas permitirán desarrollar estos métodos para encontrar el mejor material y posteriormente realizar una simulación computacional mediante el software Solid Works utilizando condiciones reales de

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

operación determinando la aplicabilidad correcta de dicho material seleccionado en la cajuela del vehículo.

2.3. Propiedades de los Materiales Candidatos

En la selección de materiales se especifican las propiedades como densidad, conductividad térmica, precio, temperatura máxima de servicio y capacidad calorífica, datos tomados del software CES EduPack con los cuales se elaborará la matriz de selección multicriterio MCDM para la selección del mejor aislante térmico.

Tabla 3.

Criterios de Selección de los Materiales Candidatos

Fibra Material	Densidad relativa kg/m³	Conductivida d térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura máxima de servicio °C	Capacidad calorífica específica J/kg K
Lana de Oveja	80	0,04	4	115	1500
Banano	1350	0,07	1,5	135	1400
Cáñamo	1480	0,039	1,5	120	1220
Lino	1500	0,039	2	120	1220
Madera	800	0,036	1,2	130	1280
Celulosa	1350	0,03	16	87	1390
Seda	1320	0,03	3,5	140	1800
Coco	1020	0,041	0,4	135	1280
Cabuya	1030	0,037	0,3	420	1220
Caña de azúcar	410	0,051	1,5	140	1220

Una vez establecidos los criterios de selección para cada candidato se realiza una ponderación de criterios de pesos para posteriormente utilizar los métodos multicriterio establecidos en este trabajo investigativo.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

2.4. Ponderación de criterios de selección

En el cálculo de pesos para la selección de los materiales candidatos se tiene diferentes métodos de pesos como son el método AHP, Desviación Estándar, Entropía, Critic, de los cuales se seleccionó el método de Entropía debido a que se tiene parámetros de selección cuantitativos y se necesita tener mayor objetividad.

2.5. Método Entropía

Este método evalúa la incertidumbre de la información seleccionada mediante probabilidades. Menciona que una distribución amplia representa más incertidumbre que la de una distribución con picos pronunciados (Cherrez M. , 2018).

Este método se realiza de la siguiente manera:

- Paso 1: Se construye la matriz decisión

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

La matriz se encuentra detallada en la tabla 1, especificando los materiales y características de cada uno de ellos siendo estos los criterios de selección.

- Paso 2: Cálculo de la matriz decisión normalizada P_{ij} , de tal manera se obtiene valores de los diferentes criterios que permiten compararlos, mediante la ecuación (1):

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (1)$$

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mn} \end{bmatrix}$$

- Paso 3: Se realiza el cálculo de la entropía E_j con la siguiente ecuación.

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) \quad (2)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

En donde:

$k = \frac{1}{\ln m}$ que asegura $0 < E_{ij} < 1$ y m representa la cantidad de alternativas

m = Numero de alternativas de la matriz normalizada.

- Paso 4: Cuarto el cálculo de la diversidad de criterio D_j se calcula con la siguiente ecuación

$$D_j = 1 - E_i \quad (3)$$

- Paso 5: Calcular el peso de los criterios normalizados W_j , mediante la ecuación

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m (D_j)} \quad (4)$$

Con el cálculo de los pesos se puede realizar la selección de métodos multicriterio propuestos en dicha investigación.

2.6. Métodos de selección Multicriterio (MCDM)

Los métodos multicriterio reducen la complejidad de un problema haciéndolo más simple, permitiendo que el decisor pueda organizar varios criterios en problemas de forma visual, luego del desarrollo de los cálculos matemáticos de cada MCDM (Villarruel, Rocha, Llanes, & Martínez, 2021).

Para poder desarrollar la metodología de decisión MCDM que se utilizara en esta investigación, es fundamental estudiar y determinar las partes que componen un problema de decisión.

1. Se identifica cada una de las partes del sistema.
2. Calcular los pesos de los elementos del sistema.
3. Identificar como se vinculan cada una de las partes.
4. Seleccionar una solución mediante sentido común para una matriz de decisión.

Para facilitar la identificación de cada uno de los materiales se coloca una nomenclatura de letra a cada uno desde la A hasta la J.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 4.

Materiales candidatos

Material	Código
Lana de Oveja	A
Banano	B
Cáñamo	C
Lino	D
Madera	E
Celulosa	F
Seda	G
Coco	H
Cabuya	I
Caña de azúcar	J

Con los criterios seleccionados mediante la experiencia del investigador o mediante la investigación bibliográfica se identifica a los criterios como positivos aquellos que se necesita que su valor sea lo más alto posible y de carácter negativo aquella propiedad o criterio que se necesita que disminuya su valor, se determina en la siguiente tabla 5.

Tabla 5.

Definición de criterios positivos y negativos

Densidad relativa	Conductividad térmica	Precio estimado	Temperatura Máxima de servicio	Capacidad Calorífica específica
-	-	-	+	+

2.7. Método VIKOR

Se puede aplicar este método tanto para criterios cuantitativos como cualitativos y es muy útil cuando se tiene una gran cantidad de criterios y decisiones reduciendo la complejidad al momento de seleccionar los mejores materiales, la secuencia para el cálculo del método VIKOR es la siguiente (Muñoz & Romana, 2016).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Paso 1: Definición de la matriz de decisión inicial X_{ij}

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

- Paso 2: Cálculo de la matriz normalizada (f_{ij}) con la siguiente ecuación

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

- Paso 3: Identificar el peor f_i^- y mejor f_i^* valor de los criterios de cada alternativa.

Se clasifican en peor y mejor de acuerdo a si es beneficioso o no beneficioso con la especificación de la tabla 5, aplicando las siguientes ecuaciones

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$f_i^- = \min_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

- Paso 4: Cálculo de la distancia de cada valor de la solución positiva S_i y de la misma manera con la distancia negativa R_i mediante las siguientes ecuaciones

$$S_i = \sum_j^n W_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (8)$$

$$R_i = \text{Max}_j [W_j (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)] \quad (9)$$

- Paso 5: Calculo de los valores (I_1), para $i=1$, para las distancias ideales positivas y las mejores soluciones negativas, se define por la ecuación:

$$I_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (10)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Donde:

S^* = Mínimo S_i ,

S^- = Máximo S_i ,

R^* = Mínimo R_i ,

R^- = Máximo R_i ,

Siendo v una referencia de ponderación ($v \geq 0.5$) $\frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}$ representa la distancia de la mejor solución negativa de los valores i th.

- Paso 6: Identificar el ranking siendo el valor más alto la mejor alternativa.
- Paso 7: Se determina la ventaja y estabilidad aceptable.

2.8. Método TOPSIS

La solución que da este método se determina con una distancia corta a la mejor solución o solución positiva ideal y al contrario teniendo una distancia extensa a la solución negativa ideal, pero sin tener en consideración la importancia que implica estas distancias (Pérez, Macías, Sánchez, & Luviano, 2017).

- Paso 1: Definir la matriz de decisión inicial X_{ij}

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

- Paso 2: Se calcula la matriz de decisión normalizada que se determina con los valores determinados en la de matriz de decisión. Este valor de normalizado R_{ij} se encuentra con la siguiente ecuación.

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}, \quad (11)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

X_{ij} = representa los valores que se encuentran en la matriz de decisión

r_{ij} = representa los valores determinados en la matriz normalizada

- Paso 3: Construir la matriz estandarizada de pesos obteniendo la matriz normalizada ponderada, este valor se calcula al multiplicar los pesos por los valores normalizados

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde:

w_n = El peso de los criterios, para cada uno

V_{ij} = Matriz estandarizada de pesos

- Paso 4: Determinar los mejores valores positivos y negativos

Se determina los datos ideales positivos y negativos de acuerdo a la tabla 5.

$$A^* = \{\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J')\} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (13)$$

$$A^- = \{\max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij} | j \in J')\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (14)$$

A^* = Valores que identifican los positivos ideales

A^- = Valores que identifican los negativos ideales

- Paso 5: Calcular las diferencias entre mediciones

La diferencia de estas soluciones ideales se calcula con la ecuación:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (15)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (16)$$

Donde:

S_i^* = Separaciones positivas

S_i^- = Separaciones negativas

- Paso 6: Calcular la proximidad a la solución ideal

Se calcula con la ecuación:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (17)$$

En donde:

C_i^* = coeficiente de proximidad relativa

La opción de más alto C_i^* se elige como la numero uno

2.9. Método COPRAS

Este método para seleccionar las mejores alternativas considera las soluciones idea positivas y negativas ideales, clasificando y evaluando paso a paso las alternativas de acuerdo a su importancia y nivel de utilidad (Kong, Lee, & Park, 2016).

- Paso 1: Cálculo de la matriz de decisión normalizada x_{ij}^* , mediante la ecuación.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (i = 1,2,3 \dots, m; j = 1,2,3 \dots, n) \quad (18)$$

- Paso 2: Determinar la matriz de decisión normalizada ponderada D_{ij} , según la ecuación.

$$D_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (19)$$

Donde:

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

x_{ij}^* es el valor del rendimiento normalizado de i th alternativas en j th criterios

W_j es el peso asociado a los criterios j th.

- Paso 3: Las sumas S_i positivas y S_i negativas de los valores normalizados ponderados, son calculadas para los criterios beneficiosos y para los no beneficiosos respectivamente. Estas sumas S_i positivas y S_i negativas son calculados mediante las ecuaciones:

$$S_{i+} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (20)$$

$$S_{i-} = \sum_{k=1}^k D_{ij} \quad (21)$$

- Paso 4: Calculo de la importancia relativa de las alternativas Q_i mediante la ecuación:

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (22)$$

La importancia relativa Q_i de una alternativa muestra el grado de satisfacción alcanzada por esta opción.

- Paso 5: Cálculo del índice de rendimiento P_i para cada alternativa, usando la ecuación:

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (23)$$

Donde:

Q_{max} hace referencia al valor máximo de importancia relativa. El valor del índice de rendimiento P_i ayuda a tener una clasificación completa de los candidatos.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

2.10. Método ARAS

Dicho método determina la eficiencia relativa compleja de una alternativa factible si esta aumenta el efecto relativo de los valores aumenta al igual que las ponderaciones de los criterios utilizados. Se basa en la teoría de la utilidad y en el método de cantidades numéricas (Chérrez, Martínez, Peralta, & Llanes, 2018).

- Paso 1: Conformación de la matriz de decisión X_{ij} ,

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

- Paso 2: Cálculo de la matriz de decisión normalizada \bar{X}_{ij} , tomando en cuenta los valores positivos se calcula de la siguiente manera.

$$\bar{X}_{ij} = \begin{bmatrix} \bar{X}_{11} & \bar{X}_{12} & \dots & \bar{X}_{1n} \\ \bar{X}_{21} & \bar{X}_{22} & \dots & \bar{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \bar{X}_i & \bar{X}_{m2} & \dots & \bar{X}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (24)$$

En el caso de los criterios negativos se calcula mediante la ecuación:

$$X_{ij} = \frac{1}{X_{ij}^*}; \bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (25)$$

- Paso 3: Cálculo de la matriz de decisión normalizada ponderada se calcula con la ecuación (26).

$$\bar{X}_{ij} = \bar{X}_{ij} * W_j \quad (26)$$

$$\hat{X}_{ij} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{11} & \hat{X}_{12} & \dots & \hat{X}_{1n} \\ \hat{X}_{21} & \hat{X}_{22} & \dots & \hat{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hat{X}_i & \hat{X}_{m2} & \dots & \hat{X}_{mn} \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

El cálculo de peso W_j se determina con el método Entropía.

En donde:

W_j : hace referencia al peso del criterio j .

\bar{X}_{ij} : Clasificación normalizada de cada propiedad.

- Paso 4: Cálculo de la función de optimización, S_i con la ecuación (27).

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{X}_{ij} \quad (27)$$

En donde:

S_i la función de optimización de alternativa de la i .

- Paso 5: Cálculo del nivel de utilidad. Este cálculo se lo hace comparando la variante con la mejor S_o , con la ecuación (28).

$$K_i = \frac{S_i}{S_o} \quad (28)$$

En donde:

S_i y S_o son los valores de la función de optimización. Estos valores empiezan en 0% y llegan hasta 100%, siendo la alternativa con el K_i más alto la mejor alternativa a seleccionar.

2.11. Método MOORA

El Moora tiene puntos de referencia como inicio. Dichas referencias son la más alta evaluación del vector de radios de las alternativas con respecto a los criterios que pueden ser máximo o mínimo (Pérez, Macías, Sánchez, & Luviano, 2017).

- Paso 1: Determinación de la matriz inicial de decisión X_{ij}

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Paso 2: Cálculo de la matriz de radios de la forma $\overline{X}_{ij} = [\overline{X}_{ij}]$ para normalizar la matriz de decisión inicial, se usa la ecuación (29).

$$\overline{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} ; 1 = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m \quad (29)$$

- Paso 3: Se define el vector de pesos de los criterios

$$W = |W_1 \ W_2 \ W_3 \ \dots \ W_n \ |$$

- Paso 4: Cálculo de la matriz normalizada por pesos. Se calcula al multiplicar la matriz de decisión por los pesos de cada criterio.
- Paso 5: Calcular la función de agregación para evaluar las alternativas $S(X_i)$, con la ecuación (30).

$$S_{(X_i)} = \sum_{i=1}^h \overline{X}_{ij} - \sum_{i=h+1}^n \overline{X}_{ij} \quad (30)$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, 4 \dots, \dots, h$ son los criterios determinados como máximos

$i = h + 1, h + 2, h + 3 \dots, \dots, n$ son los criterios determinados como mínimo

- Paso 6: Se detalla el ranking de preferencias. Se toma en cuenta el valor $S_{(X_i)}$ más alto como la mejor alternativa.

2.12. Simulación térmica

2.12.1. Selección del Material

Para la selección del material a utilizar en la simulación, se debe elegir del ganador en los métodos multicriterio utilizados en esta investigación, los cuales son TOPSIS, ARAS, VIKOR, MORA Y COPRAS.

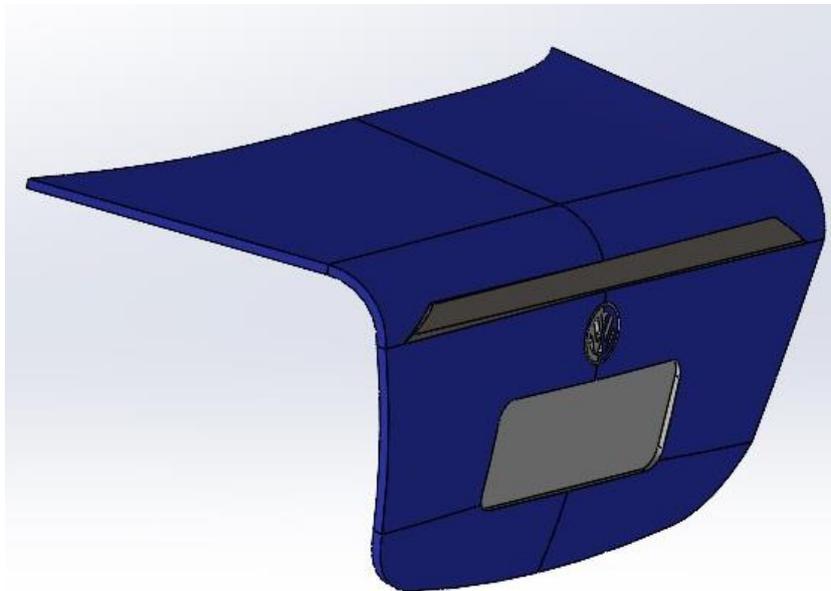
SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

2.12.2. Diseño del modelo CAD

Para el diseño del modelo CAD representado en la figura 12, se utiliza un software de computación muy conocido como es Solid Works versión 2021 con licencia para estudiantes, se toma como diseño la cajuela de un vehículo Volkswagen, aunque podría ser de cualquier vehículo que se necesite aislar esta zona, se considera las temperaturas comúnmente a las que se encuentra expuesta la cajuela durante días soleados siendo esta aproximadamente mayor a los 40 grados centígrados, toda la zona completa es afectada con estas altas temperaturas.

Figura 12.

Modelo CAD de la cajuela de un vehículo.



2.12.3. Condiciones de contorno

Ya con el diseño de la cajuela se considera las temperaturas a las que está expuesto externamente y qué condiciones se desea tener en su interior, la fibra de cabuya permitirá mantener la temperatura deseada en el interior de la cajuela a pesar de las condiciones externas que deba soportar el vehículo, es por eso necesario disponer de un

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

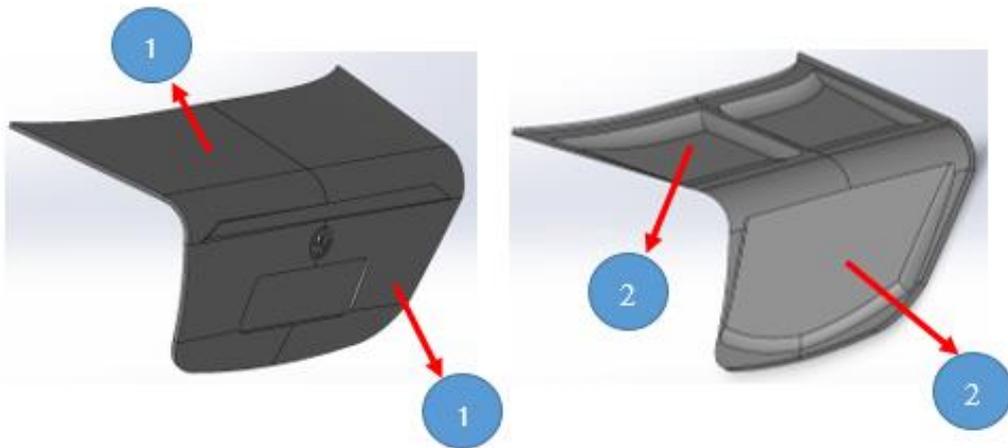
dispositivo que genere calor o frio en la parte interna o solo se podría mantener a temperatura ambiente de acuerdo a las necesidades.

Para motivos de simulación se aplican diferentes temperaturas en el exterior de la cajuela, pero con el objetivo de siempre mantener una temperatura interna de 20°C las zonas en donde se aplican las temperaturas se detalla en la figura 13.

- Panel externo (1)
- Panel interno (2)

Figura 13.

Zona de aplicación de temperaturas



Las temperaturas aplicadas se detallan a continuación

Tabla 6.

Parámetros a utilizar en la simulación

Zona de temperaturas	Temperatura 1	Temperatura 2	Temperatura 3
Panel externo	5°C	30°C	50°C
Panel interno	20°C	20°C	20°C

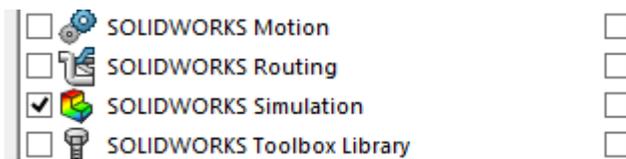
SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

2.12.4. Análisis térmico en Solid Works

Para la simulación y análisis térmico se activa el complemento de software denominado Solid Works Simulation y seleccionar análisis térmico dentro del panel de simulación (figura 14).

Figura 14.

Complemento SolidWorks

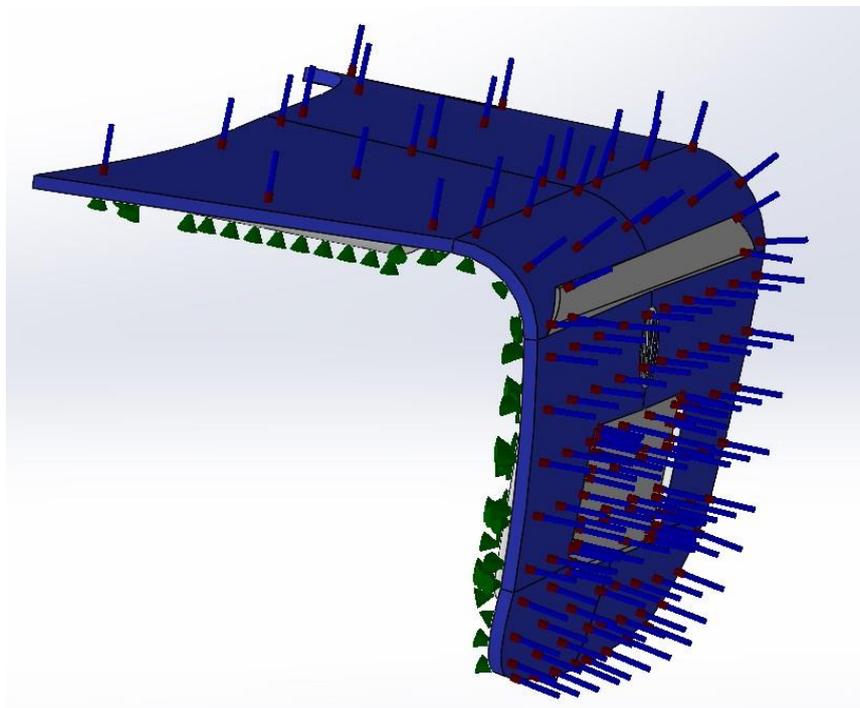


Se debe importar el diseño CAD para aplicar las cargas térmicas y restricciones las cuales están colocadas en toda la parte externa de la cajuela y en la parte interna se coloca la temperatura a la que se desea mantener

- Primera condición de simulación térmica en la cajuela

Figura 15.

Temperatura externa de 5°C

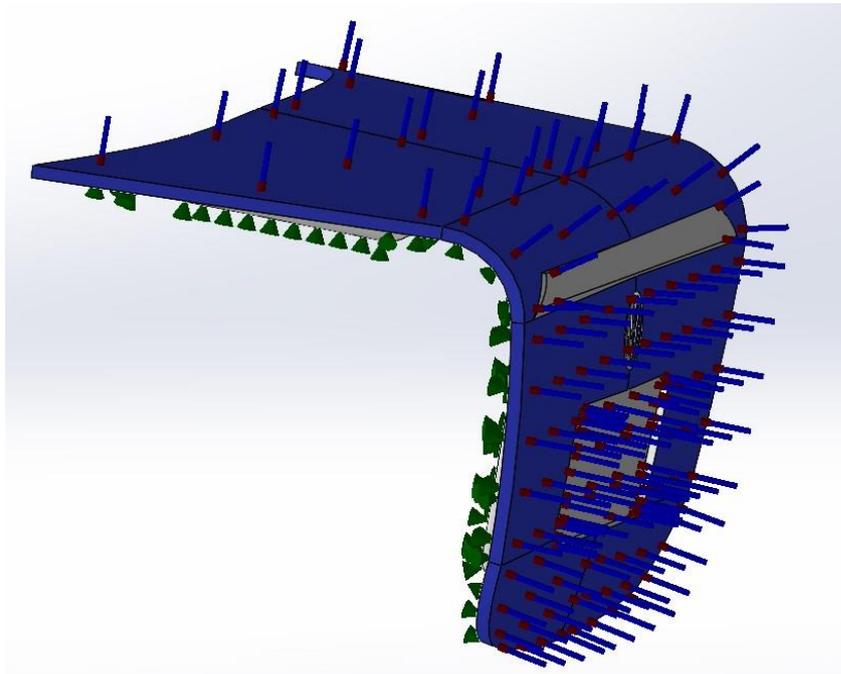


SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Segunda condición de simulación térmica en la cajuela

Figura 16.

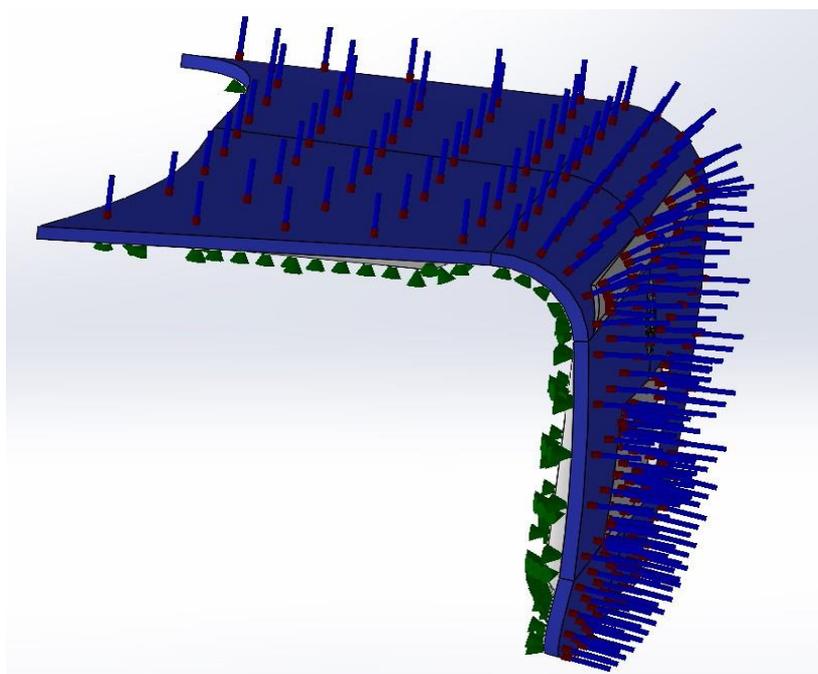
Temperatura externa de 30°C



- Tercera condición de simulación térmica en la cajuela

Figura 17.

Temperatura externa de 50°C

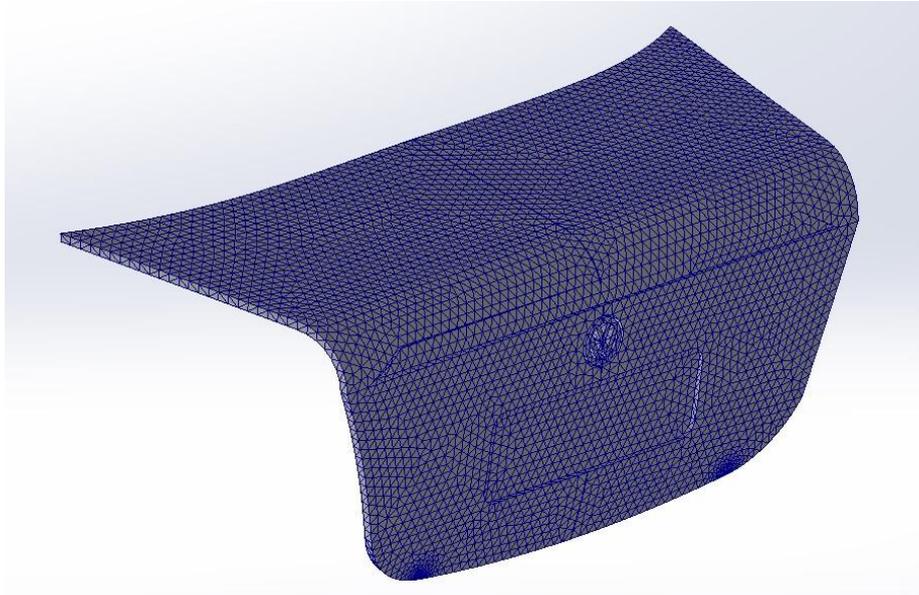


SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Después de establecer las condiciones para cada caso de estudio se crea el mallado tetraédrico del CAD, al realizar la malla se toma en cuenta la existencia de irregularidades y partes complejas como curvas en la geometría por lo cual se utiliza un tipo de malla basada en curvaturas de combinado que se indica en la figura 18, colocándole un tamaño de 20mm verificando que el mallado sea simétrico y no ocasiona conflictos con el software al necesitar gran cantidad de memoria computacional.

Figura 18.

Malla de la cajuela con el mallado basado en curvatura de combinación



Se desea de tener un mallado de calidad y la página de SolidWorks recomienda utilizar un mallado basado en curvaturas, para esto se utiliza un tamaño de 20mm y para lo mínimo de 1 mm, tardando un momento en generarse la malla debido a los requerimientos computacionales que se utilizan, pero generando satisfactoriamente el proceso, se construye la malla con los mismos parámetros para el sólido debido a que todas las zonas son afectadas por las mismas condiciones de acuerdo a cada caso de estudio en la simulación (SolidWorks.Corps., 2019).

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

CAPITULO III

3. Resultados

3.1. Calculo de selección de Materiales Candidatos

Al momento de la selección de los materiales candidatos primero de debe establecer los requerimientos preliminares y los objetivos principales como el aislamiento térmico, evitando altos costos, es por eso que se toma en cuenta parámetros térmicos como son:

- Densidad
- Conductividad térmica
- Precio estimado
- Temperatura máxima de servicio
- Capacidad calorífica específica

Se realiza una tabla con los valores de las propiedades térmicas de los materiales candidatos esto permite elaborar la matriz de decisión estándar utilizada en los cálculos para los métodos multicriterio. Para facilitar la identificación de cada uno de los materiales se coloca una letra a cada uno desde la A hasta la J.

Tabla 7.
Materiales candidatos

Material	Código
Lana de Oveja	A
Banano	B
Cáñamo	C
Lino	D
Madera	E
Celulosa	F
Seda	G
Coco	H
Cabuya	I
Caña de azúcar	J

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 8.

Matriz de decisión estándar

Material	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
A	80	0,04	4	115	1500
B	1350	0,07	1,5	135	1400
C	1480	0,039	1,5	120	1220
D	1500	0,039	2	120	1220
E	800	0,036	1,2	130	1280
F	1350	0,03	16	87	1390
G	240	0,045	6	140	1800
H	1020	0,041	0,4	135	1280
I	1030	0,037	0,3	420	1220
J	410	0,051	1,5	140	1220

$$M = \begin{bmatrix} 80 & 0,04 & 4 & 115 & 1500 \\ 1350 & 0,07 & 1,5 & 135 & 1400 \\ 1480 & 0,039 & 1,5 & 120 & 1220 \\ 1500 & 0,039 & 2 & 120 & 1220 \\ 800 & 0,036 & 1,2 & 130 & 1280 \\ 1350 & 0,03 & 16 & 87 & 1390 \\ 240 & 0,045 & 6 & 140 & 1800 \\ 1020 & 0,041 & 0,4 & 135 & 1280 \\ 1030 & 0,037 & 0,3 & 420 & 1220 \\ 410 & 0,051 & 1,5 & 140 & 1220 \end{bmatrix}$$

3.2. Método de Entropía para la ponderación o pesos

Para iniciar con el desarrollo de la selección de pesos o prioridad de un criterio existen varios métodos de ponderación, el decisor puede basarse en su experiencia para utilizarlos, o también pueden ser objetivos al utilizar ecuaciones matemáticas que justifiquen la decisión. Para el presente estudio se utilizará el método de entropía el cual

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

se determina mediante operaciones matemáticas, una vez determinado los resultados de este método se puede desarrollar los métodos multicriterio.

Se debe tener una matriz con los datos de las propiedades de los materiales candidatos a selección, una vez con este requerimiento se procede a desarrollar el método de ponderación. La matriz que contiene los materiales y criterios respectivos se detalla en la tabla número 3.

Para el cálculo de la matriz de decisión se necesita la ecuación número (1).

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (1)$$

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0086 & 0,0935 & 0,1163 & 0,0746 & 0,1109 \\ 0,1458 & 0,1636 & 0,0436 & 0,0875 & 0,1035 \\ 0,1598 & 0,0911 & 0,0436 & 0,0778 & 0,0902 \\ 0,1620 & 0,0911 & 0,0581 & 0,0778 & 0,0902 \\ 0,0864 & 0,0841 & 0,0349 & 0,0843 & 0,0946 \\ 0,1458 & 0,0701 & 0,4651 & 0,0564 & 0,1027 \\ 0,0259 & 0,1051 & 0,1744 & 0,0908 & 0,1330 \\ 0,1102 & 0,0958 & 0,0116 & 0,0875 & 0,0946 \\ 0,1112 & 0,0864 & 0,0087 & 0,2724 & 0,0902 \\ 0,0443 & 0,1192 & 0,0436 & 0,0908 & 0,0902 \end{bmatrix}$$

Tabla 9.

Matriz de decisión normalizada

Material	Densidad relativa kg/cm3	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
A	0,0086	0,0935	0,1163	0,0746	0,1109
B	0,1458	0,1636	0,0436	0,0875	0,1035
C	0,1598	0,0911	0,0436	0,0778	0,0902
D	0,1620	0,0911	0,0581	0,0778	0,0902
E	0,0864	0,0841	0,0349	0,0843	0,0946
F	0,1458	0,0701	0,4651	0,0564	0,1027
G	0,0259	0,1051	0,1744	0,0908	0,1330

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

H	0,1102	0,0958	0,0116	0,0875	0,0946
I	0,1112	0,0864	0,0087	0,2724	0,0902
J	0,0443	0,1192	0,0436	0,0908	0,0902

Paso 3: Se calcula la entropía (E_j), utilizando la ecuación (2) y se los datos se indican en la tabla 4.

$$E_j = -k \left(\sum_{i=1}^m p_{ij} \ln(p_{ij}) \right) \quad (2)$$

Donde:

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad m = \text{cantidad de materiales en la matriz de evaluación normalizada}$$

$$m = 10$$

p_{ij} = Los criterios normalizados

$$E_i = |E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_4 \ E_5|$$

$$E_i = |0,6089 \ 0,5858 \ 0,5046 \ 0,5103 \ 0,5947|$$

Tabla 10.

Entropía E_i

	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
E_i	0,6089	0,5858	0,5046	0,5103	0,5947

Paso 4: Se realiza el cálculo de la diversidad del criterio (D_j), utilizando la ecuación (3) y se indica los datos obtenidos en la tabla 5.

$$D_j = 1 - E_i \quad (3)$$

$$D_1 = 1 - E_1$$

$$D_1 = 1 - 0,6089 = 0,3911$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$D_2 = 1 - E_2$$

$$D_2 = 1 - 0,5858 = 0,4142$$

$$D_3 = 1 - E_3$$

$$D_3 = 1 - 0,5046 = 0,4954$$

$$D_4 = 1 - E_4$$

$$D_4 = 1 - 0,5103 = 0,4897$$

$$D_5 = 1 - E_5$$

$$D_5 = 1 - 0,5947 = 0,4053$$

$$D_j = |D_1 D_2 D_3 D_4 D_5|$$

$$D_j = |0,3911 \ 0,4142 \ 0,4954 \ 0,4897 \ 0,4053|$$

Tabla 11.

Diversidad D_j

	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
D_j	0,3911	0,4142	0,4954	0,4897	0,4053

Paso5: Se calcula el peso normalizado utilizando cada uno de los criterios W_j , utilizando

la ecuación (4):

$$W_j = \frac{D_j}{\sum_{i=1}^m (D_j)} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{10} (D_j) = (0,3911) + (0,4142) + (0,4954) + (0,4897) + (0,4053) = 2,1958$$

$$W_1 = \frac{D_{j1}}{2,1958} = \frac{0,3911}{2,1958} = 0,1781$$

$$W_2 = \frac{D_{j2}}{2,1958} = \frac{0,4142}{2,1958} = 0,1887$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$W_3 = \frac{D_{j3}}{2,1958} = \frac{0,4954}{2,1958} = 0,2256$$

$$W_4 = \frac{D_{j4}}{2,1958} = \frac{0,4897}{2,1958} = 0,2230$$

$$W_5 = \frac{D_{j5}}{2,1958} = \frac{0,4053}{2,1958} = 0,1846$$

$$W_j = |W_1 W_2 W_3 W_4 W_5|$$

$$W_j = |0,1781 0,1887 0,2256 0,2230 0,1846|$$

Tabla 12.

Peso de los criterios W_j

	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
W_j	0,1781	0,1887	0,2256	0,2230	0,1846

Todos los criterios de los materiales con sus pesos calculado, serán de utilidad para los cálculos de los métodos multicriterio seleccionados.

3.3. Métodos Multicriterio MCDM

3.3.1. Método VIKOR

- Definir la matriz de decisión inicial, la cual se realiza con los parámetros iniciales de los métodos multicriterio esto se encuentra en la Tabla 3.
- Obtener de la matriz de decisión inicial normalizada (f_{ij}), mediante la ecuación (5).

$$f_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (5)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{80}{3325,48} & 1 - \frac{0,04}{0,14} & 1 - \frac{4}{17,90} & \frac{115}{564,4} & \frac{1500}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,07}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{135}{564,4} & \frac{1400}{4314,22} \\ 1 - \frac{1480}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{1500}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{2}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{800}{3325,48} & 1 - \frac{0,036}{0,14} & 1 - \frac{1,2}{17,90} & \frac{130}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,03}{0,14} & 1 - \frac{16}{17,90} & \frac{87}{564,4} & \frac{1390}{4314,22} \\ 1 - \frac{240}{3325,48} & 1 - \frac{0,045}{0,14} & 1 - \frac{6}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1800}{4314,22} \\ 1 - \frac{1020}{3325,48} & 1 - \frac{0,041}{0,14} & 1 - \frac{0,4}{17,11} & \frac{135}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1030}{3325,48} & 1 - \frac{0,037}{0,14} & 1 - \frac{0,3}{17,90} & \frac{420}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{410}{3325,48} & 1 - \frac{0,051}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0,9759 & 0,7129 & 0,7765 & 0,2038 & 0,3477 \\ 0,5940 & 0,4976 & 0,9162 & 0,2392 & 0,3245 \\ 0,5550 & 0,7201 & 0,9162 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,5489 & 0,7201 & 0,8883 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,7594 & 0,7416 & 0,9330 & 0,2303 & 0,2947 \\ 0,5940 & 0,7847 & 0,1062 & 0,1541 & 0,3222 \\ 0,9278 & 0,6770 & 0,6648 & 0,2481 & 0,4172 \\ 0,6933 & 0,7057 & 0,9777 & 0,2392 & 0,2967 \\ 0,6903 & 0,7345 & 0,9832 & 0,7442 & 0,2828 \\ 0,8767 & 0,6340 & 0,9162 & 0,2481 & 0,2828 \end{bmatrix}$$

Tabla 13.

Matriz de decisión normalizada

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,9759	0,7129	0,7765	0,2038	0,3477
0,5940	0,4976	0,9162	0,2392	0,3245
0,5550	0,7201	0,9162	0,2126	0,2828
0,5489	0,7201	0,8883	0,2126	0,2828
0,7594	0,7416	0,9330	0,2303	0,2967
0,5940	0,7847	0,1062	0,1541	0,3222
0,9278	0,6770	0,6648	0,2481	0,4172
0,6933	0,7057	0,9777	0,2392	0,2967

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

0,6903	0,7345	0,9832	0,7442	0,2828
0,8767	0,6340	0,9162	0,2481	0,2828

- Determinar (f_i^*) el mejor y (f_i^-) el peor dato de cada una de las funciones de criterio de todas las alternativas, utilizando las ecuaciones (6) y (7) respectivamente.

Si la función i th representa un beneficio, entonces $f_i^* = \max_j f_{ij}$ y $f_i^- = \min_j f_{ij}$ mientras que la función i th representa un costo, $f_i^* = \min_j f_{ij}$ y $f_i^- = \max_j f_{ij}$.

Estos valores se especifican en la tabla 13 y 14 respectivamente

$$f_i^* = \max_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Tabla 14.

Mejor valor f_i^*

	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
f_i^*	0,9759	0,7847	0,9832	0,7442	0,4172

$$f_i^- = \min_j f_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (7)$$

Tabla 15.

Peor valor f_i^-

	Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
f_i^-	0,5489	0,4976	0,1062	0,1541	0,2828

- Calcular la distancia de cada uno de los valores respecto a la solución ideal positiva (Si), estos valores se detallan en las tablas 15, mientras que la distancia

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

de cada valor a la solución máxima y mínima ideal negativa (Ri), se muestra en las tablas 17 y 18. Estos parámetros se calculan mediante la ecuación (8) y (9) respectivamente.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \frac{W_f(f_j^{max} - f_{ij})}{(f_j^{max} - f_j^{min})} \quad (8)$$

Donde:

S_i = Resultado final de la sumatoria

W_f = Representa los pesos

R_j = Valores de la matriz estandarizada de pesos

Ri = Matriz de los valores de rango

V_i = Valores finales de cada criterio

α = Constante de valor 0,5

$$S_i = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,0472 & 0,1724 & 0,2043 & 0,0955 \\ 0,1593 & 0,1887 & 0,2084 & 0,1909 & 0,1273 \\ 0,1756 & 0,0424 & 0,2084 & 0,2009 & 0,1846 \\ 0,1781 & 0,0424 & 0,2012 & 0,2009 & 0,1846 \\ 0,0903 & 0,0283 & 0,2127 & 0,1942 & 0,1655 \\ 0,1593 & 0,0000 & 0,0000 & 0,2230 & 0,1305 \\ 0,0201 & 0,0707 & 0,1437 & 0,1875 & 0,0000 \\ 0,1179 & 0,0519 & 0,2242 & 0,1909 & 0,1655 \\ 0,1192 & 0,0330 & 0,2256 & 0,0000 & 0,1846 \\ 0,0414 & 0,0990 & 0,2084 & 0,1875 & 0,1846 \end{bmatrix}$$

Tabla 16.

Solución Ideal positiva (Si)

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
S _i	0,5194	0,8745	0,8119	0,8073	0,6910	0,5128	0,4220	0,7503	0,5624	0,7209

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 17.

Máximo y Mínimo S_i

	$S_{i \max}$	$S_{i \min}$
S_i	0,8745	0,4220

$$R_i = \max_j \left[\frac{W_f (f_j^{\max} - f_{ij})}{(f_j^{\max} - f_j^{\min})} \right] \quad (9)$$

Tabla 18.

Máximo (R_i)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
R_i	0,2043	0,2084	0,2084	0,2012	0,2127	0,2230	0,1875	0,2242	0,2256	0,2084

Tabla 19.

Mínimo (R_i)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
R_i	0,0000	0,1273	0,0424	0,0424	0,0283	0,0000	0,0000	0,0519	0,0000	0,0414

- Cálculo de los valores (V_i), se utiliza la ecuación (10) cuyos datos se tabulan en la tabla 19. El valor más alto de (V_i) determina la mejor alternativa.

$$V_i = \frac{\alpha(S_i - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} + \frac{(1 - \alpha)(R_i - R_{\min})}{(R_{\max} - R_{\min})} \quad (10)$$

Tabla 20.

Ranking VIKOR

Soluciones R_i	Valor	Ranking
R1	0,5602	9
R2	0,9618	1
R3	0,8926	2
R4	0,8715	3
R5	0,7686	6

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

R6	0,5946	8
R7	0,4156	10
R8	0,8596	4
R9	0,6551	7
R10	0,7921	5

3.3.2. Método TOPSIS

- Construcción de la matriz de decisión normalizada, mediante la ecuación (11), tomando en cuenta que los mejores criterios negativos se le resta a 1

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a^2_{ij}}} \quad (11)$$

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{80}{3325,48} & 1 - \frac{0,04}{0,14} & 1 - \frac{4}{17,90} & \frac{115}{564,4} & \frac{1500}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,07}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{135}{564,4} & \frac{1400}{4314,22} \\ 1 - \frac{1480}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{1500}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{2}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{800}{3325,48} & 1 - \frac{0,036}{0,14} & 1 - \frac{1,2}{17,90} & \frac{130}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,03}{0,14} & 1 - \frac{16}{17,90} & \frac{87}{564,4} & \frac{1390}{4314,22} \\ 1 - \frac{240}{3325,48} & 1 - \frac{0,045}{0,14} & 1 - \frac{6}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1800}{4314,22} \\ 1 - \frac{1020}{3325,48} & 1 - \frac{0,041}{0,14} & 1 - \frac{0,4}{17,11} & \frac{135}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1030}{3325,48} & 1 - \frac{0,037}{0,14} & 1 - \frac{0,3}{17,90} & \frac{420}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{410}{3325,48} & 1 - \frac{0,051}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0,9759 & 0,7129 & 0,7765 & 0,2038 & 0,3477 \\ 0,5940 & 0,4976 & 0,9162 & 0,2392 & 0,3245 \\ 0,5550 & 0,7201 & 0,9162 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,5489 & 0,7201 & 0,8883 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,7594 & 0,7416 & 0,9330 & 0,2303 & 0,2967 \\ 0,5940 & 0,7847 & 0,1062 & 0,1541 & 0,3222 \\ 0,9278 & 0,6770 & 0,6648 & 0,2481 & 0,4172 \\ 0,6933 & 0,7057 & 0,9777 & 0,2392 & 0,2967 \\ 0,6903 & 0,7345 & 0,9832 & 0,7442 & 0,2828 \\ 0,8767 & 0,6340 & 0,9162 & 0,2481 & 0,2828 \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 21.

Matriz normalizada de decisión

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,9759	0,7129	0,7765	0,2038	0,3477
0,5940	0,4976	0,9162	0,2392	0,3245
0,5550	0,7201	0,9162	0,2126	0,2828
0,5489	0,7201	0,8883	0,2126	0,2828
0,7594	0,7416	0,9330	0,2303	0,2967
0,5940	0,7847	0,1062	0,1541	0,3222
0,9278	0,6770	0,6648	0,2481	0,4172
0,6933	0,7057	0,9777	0,2392	0,2967
0,6903	0,7345	0,9832	0,7442	0,2828
0,8767	0,6340	0,9162	0,2481	0,2828

- Construir la matriz de decisión normalizada ponderada, multiplicando los pesos de criterio por cada elemento de la matriz de decisión normalizada teniendo lo siguiente:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$r_{ij} =$$

0,1781 * 0,9759	0,1887 * 0,7129	0,2256 * 0,7765	0,2230 * 0,2038	0,1846 * 0,3477
0,1781 * 0,5940	0,1887 * 0,4976	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2392	0,1846 * 0,3245
0,1781 * 0,5550	0,1887 * 0,7201	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2126	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,5489	0,1887 * 0,7201	0,2256 * 0,8883	0,2230 * 0,2126	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,7594	0,1887 * 0,7416	0,2256 * 0,9330	0,2230 * 0,2303	0,1846 * 0,2967
0,1781 * 0,5940	0,1887 * 0,7847	0,2256 * 0,1062	0,2230 * 0,1541	0,1846 * 0,3222
0,1781 * 0,9278	0,1887 * 0,6770	0,2256 * 0,6648	0,2230 * 0,2481	0,1846 * 0,4172
0,1781 * 0,6933	0,1887 * 0,7057	0,2256 * 0,9777	0,2230 * 0,2392	0,1846 * 0,2967
0,1781 * 0,6903	0,1887 * 0,7345	0,2256 * 0,9832	0,2230 * 0,7442	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,8767	0,1887 * 0,6340	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2481	0,1846 * 0,2828

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0,1738 & 0,1345 & 0,1752 & 0,0454 & 0,0642 \\ 0,1058 & 0,0939 & 0,2067 & 0,0533 & 0,0599 \\ 0,0988 & 0,1358 & 0,2067 & 0,0474 & 0,0522 \\ 0,0978 & 0,1358 & 0,2004 & 0,0474 & 0,0522 \\ 0,1353 & 0,1399 & 0,2105 & 0,0514 & 0,0548 \\ 0,1058 & 0,1480 & 0,0240 & 0,0344 & 0,0595 \\ 0,1653 & 0,1277 & 0,1500 & 0,0553 & 0,0770 \\ 0,1235 & 0,1331 & 0,2206 & 0,0533 & 0,0548 \\ 0,1230 & 0,1386 & 0,2218 & 0,1660 & 0,0522 \\ 0,1562 & 0,1196 & 0,2067 & 0,0553 & 0,0522 \end{bmatrix}$$

Tabla 22.

Matriz estandarizada de pesos obtenidos

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,1738	0,1345	0,1752	0,0454	0,0642
0,1058	0,0939	0,2067	0,0533	0,0599
0,0988	0,1358	0,2067	0,0474	0,0522
0,0978	0,1358	0,2004	0,0474	0,0522
0,1353	0,1399	0,2105	0,0514	0,0548
0,1058	0,1480	0,0240	0,0344	0,0595
0,1653	0,1277	0,1500	0,0553	0,0770
0,1235	0,1331	0,2206	0,0533	0,0548
0,1230	0,1386	0,2218	0,1660	0,0522
0,1562	0,1196	0,2067	0,0553	0,0522

Paso 3. Determinar las soluciones ideales positiva e ideales negativas por medio de las ecuaciones (13) y (14) respectivamente

$$A^* = \{ \max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij}) | j \in J' \} = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (13)$$

$$A^* = \{0,0978; 0,0939; 0,0240; 0,1660; 0,0770\}$$

$$A^- = \{ \max V_{ij} | j \in J), (\min V_{ij}) | j \in J' \} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (14)$$

$$A^- = \{0,1653; 0,1480; 0,2218; 0,0344; 0,0522\}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 23.

Solución de ideas positivas y negativas

Solución ideal positiva	0,0978	0,0939	0,0240	0,1660	0,0770
Solución ideal negativa	0,1653	0,1480	0,2218	0,0344	0,0522

- Calcular la diferencia de las mediciones promedio de las alternativas mediante las ecuaciones (15) y (16)

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (15)$$

$$S_i^* = \begin{array}{|l} 0,2121 \\ 0,2155 \\ 0,2231 \\ 0,2181 \\ 0,2279 \\ 0,1436 \\ 0,1839 \\ 0,2325 \\ 0,2059 \\ 0,2243 \end{array}$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \begin{array}{|l} 0,0519 \\ 0,0844 \\ 0,0704 \\ 0,0730 \\ 0,0373 \\ 0,2067 \\ 0,0814 \\ 0,0483 \\ 0,1385 \\ 0,0395 \end{array}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 24.

Distancia entre soluciones positivas y negativas ideales

Material	Distancia hasta solución positiva ideal	Distancia hasta solución negativa ideal
A	0,2121	0,0519
B	0,2155	0,0844
C	0,2232	0,0704
D	0,2181	0,0730
E	0,2279	0,0373
F	0,1436	0,2067
G	0,1839	0,0814
H	0,2325	0,0483
I	0,2059	0,1385
J	0,2243	0,0395

- Calculo proximidad a la solución ideal por medio de la ecuación (17)

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (17)$$

$$C_i^* = \begin{pmatrix} 0,1967 \\ 0,2813 \\ 0,2398 \\ 0,2508 \\ 0,1406 \\ 0,5901 \\ 0,3068 \\ 0,1721 \\ 0,4022 \\ 0,1497 \end{pmatrix}$$

Tabla 25.

Proximidad relativa a solución ideal y ranking

Material	Distancia hasta solución positiva ideal	Distancia hasta solución negativa ideal
A	0,1967	7
B	0,2813	4

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

C	0,2398	6
D	0,2508	5
E	0,1406	10
F	0,5901	1
G	0,3068	3
H	0,1721	8
I	0,4022	2
J	0,1497	9

3.3.3. Método COPRAS

Para el desarrollo del método COPRAS se debe crear la matriz de decisión normalizada con la siguiente ecuación

$$X_{ij}^* = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (18)$$

$$X_{ij}^* = \begin{bmatrix} 80 & 0,04 & 4 & 115 & 1500 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1350 & 0,07 & 1,5 & 135 & 1400 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1480 & 0,039 & 1,5 & 120 & 1220 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1500 & 0,039 & 2 & 120 & 1220 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 800 & 0,036 & 1,2 & 130 & 1280 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1350 & 0,03 & 16 & 87 & 1390 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 240 & 0,045 & 6 & 140 & 1800 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1020 & 0,041 & 0,4 & 135 & 1280 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 1030 & 0,037 & 0,3 & 420 & 1220 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \\ 410 & 0,051 & 1,5 & 140 & 1220 \\ 9260 & 0,428 & 34,40 & 1542 & 13530 \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$X_{ij}^* = \begin{bmatrix} 0,0086 & 0,0935 & 0,1163 & 0,0746 & 0,1109 \\ 0,1458 & 0,1636 & 0,0436 & 0,0875 & 0,1035 \\ 0,1598 & 0,0911 & 0,0436 & 0,0778 & 0,0902 \\ 0,1620 & 0,0911 & 0,0581 & 0,0778 & 0,0902 \\ 0,0864 & 0,0841 & 0,0349 & 0,0843 & 0,0946 \\ 0,1458 & 0,0701 & 0,4651 & 0,0564 & 0,1027 \\ 0,0259 & 0,1051 & 0,1744 & 0,0908 & 0,1330 \\ 0,1102 & 0,0958 & 0,0116 & 0,0875 & 0,0946 \\ 0,1112 & 0,0864 & 0,0087 & 0,2724 & 0,0902 \\ 0,0443 & 0,1192 & 0,0436 & 0,0908 & 0,0902 \end{bmatrix}$$

Tabla 26.

Matriz de decisión normalizada X_{ij}^*

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,0086	0,0935	0,1163	0,0746	0,1109
0,1458	0,1636	0,0436	0,0875	0,1035
0,1598	0,0911	0,0436	0,0778	0,0902
0,1620	0,0911	0,0581	0,0778	0,0902
0,0864	0,0841	0,0349	0,0843	0,0946
0,1458	0,0701	0,4651	0,0564	0,1027
0,0259	0,1051	0,1744	0,0908	0,1330
0,1102	0,0958	0,0116	0,0875	0,0946
0,1112	0,0864	0,0087	0,2724	0,0902
0,0443	0,1192	0,0436	0,0908	0,0902

Paso 2. Obtener la matriz de decisión normalizada ponderada (D_{ij}), multiplicando el peso de los criterios que se utilizó en el método de entropía con la siguiente ecuación

$$D_{ij} = X_{ij}^* * W_j \quad (19)$$

$$D_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$D_{ij} =$$

0,2156 * 0,0086	0,1800 * 0,0935	0,2123 * 0,1163	0,1739 * 0,0746	0,2182 * 0,1109
0,2156 * 0,1458	0,1800 * 0,1636	0,2123 * 0,0436	0,1739 * 0,0875	0,2182 * 0,1035
0,2156 * 0,1598	0,1800 * 0,0911	0,2123 * 0,0436	0,1739 * 0,0778	0,2182 * 0,0902
0,2156 * 0,1620	0,1800 * 0,0911	0,2123 * 0,0581	0,1739 * 0,0778	0,2182 * 0,0902
0,2156 * 0,0864	0,1800 * 0,0841	0,2123 * 0,0349	0,1739 * 0,0843	0,2182 * 0,0946
0,2156 * 0,1458	0,1800 * 0,0701	0,2123 * 0,4651	0,1739 * 0,0564	0,2182 * 0,1027
0,2156 * 0,0259	0,1800 * 0,1051	0,2123 * 0,1744	0,1739 * 0,0908	0,2182 * 0,1330
0,2156 * 0,1102	0,1800 * 0,0958	0,2123 * 0,0116	0,1739 * 0,0875	0,2182 * 0,0946
0,2156 * 0,1112	0,1800 * 0,0864	0,2123 * 0,0087	0,1739 * 0,2724	0,2182 * 0,0902
0,2156 * 0,0443	0,1800 * 0,1192	0,2123 * 0,0436	0,1739 * 0,0908	0,2182 * 0,0902

$$D_{ij} =$$

0,0015	0,0176	0,0262	0,0166	0,0205
0,0260	0,0309	0,0098	0,0195	0,0191
0,0285	0,0172	0,0098	0,0174	0,0166
0,0289	0,0172	0,0131	0,0174	0,0166
0,0154	0,0159	0,0079	0,0188	0,0175
0,0260	0,0132	0,1049	0,0126	0,0190
0,0046	0,0198	0,0394	0,0202	0,0246
0,0196	0,0181	0,0026	0,0195	0,0175
0,0198	0,0163	0,0020	0,0607	0,0166
0,0079	0,0225	0,0098	0,0202	0,0166

Tabla 27.

Matriz de decisión normalizada de pesos D_{ij}

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,0015	0,0176	0,0262	0,0166	0,0205
0,0260	0,0309	0,0098	0,0195	0,0191
0,0285	0,0172	0,0098	0,0174	0,0166
0,0289	0,0172	0,0131	0,0174	0,0166
0,0154	0,0159	0,0079	0,0188	0,0175
0,0260	0,0132	0,1049	0,0126	0,0190
0,0046	0,0198	0,0394	0,0202	0,0246
0,0196	0,0181	0,0026	0,0195	0,0175
0,0198	0,0163	0,0020	0,0607	0,0166
0,0079	0,0225	0,0098	0,0202	0,0166

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Calculo de los valores de pesos, para los criterios beneficiosos (S_{+i}) y no beneficiosos (S_{-i}) utilizando las siguientes ecuaciones

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^m D_{+ij} \quad (20)$$

Tabla 28.

Valores beneficiosos (S_{i+})

S_{+1}	S_{+2}	S_{+3}	S_{+4}	S_{+5}	S_{+6}	S_{+7}	S_{+8}	S_{+9}	S_{+10}
0,0371	0,0386	0,0340	0,0340	0,0363	0,0315	0,0448	0,0370	0,0774	0,0369

$$S_{-i} = \sum_{j=1}^m Y_{-ij} \quad (21)$$

Tabla 29.

Valores No beneficiosos (S_{i+})

S_{-1}	S_{-2}	S_{-3}	S_{-4}	S_{-5}	S_{-6}	S_{-7}	S_{-8}	S_{-9}	S_{-10}
0,0454	0,0667	0,0555	0,0592	0,0391	0,1441	0,0638	0,0403	0,0381	0,0402

- Se realiza la prioridad relativa de las alternativas (Q_i) mediante la ecuación

$$Q_i = S_{+1} + \frac{\sum_{j=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-i}}} \quad (22)$$

$$\sum_{j=1}^m S_{-i} = 0,454 + 0,0667 + 0,0555 + 0,0592 + 0,0391 + 0,1441 + 0,0638$$

$$+ 0,0403 + 0,0381 + 0,0402 = 0,5924$$

$$\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{-j}} = \left(\frac{1}{0,0454} + \frac{1}{0,0667} + \frac{1}{0,0555} + \frac{1}{0,0592} + \frac{1}{0,0391} + \frac{1}{0,1441} + \frac{1}{0,0638} \right. \\ \left. + \frac{1}{0,0403} + \frac{1}{0,0381} + \frac{1}{0,0402} \right) = 196,0487$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$Q_i = S_{+1} + \frac{0,5924}{S_{-i}(196,0487)}$$

$$Q_1 = 0,0371 + \frac{0,5924}{0,0454 * (196,0487)} = 0,1036$$

$$Q_2 = 0,0386 + \frac{0,5924}{0,0667 * (196,0487)} = 0,0840$$

$$Q_3 = 0,0340 + \frac{0,5924}{0,0555 * (196,0487)} = 0,0884$$

$$Q_4 = 0,0340 + \frac{0,5924}{0,0592 * (196,0487)} = 0,0852$$

$$Q_5 = 0,0363 + \frac{0,5924}{0,0391 * (196,0487)} = 0,1135$$

$$Q_6 = 0,0315 + \frac{0,5924}{0,1441 * (196,0487)} = 0,0525$$

$$Q_7 = 0,0448 + \frac{0,5924}{0,0638 * (196,0487)} = 0,0922$$

$$Q_8 = 0,0370 + \frac{0,5924}{0,0403 * (196,0487)} = 0,1119$$

$$Q_9 = 0,0774 + \frac{0,5924}{0,0381 * (196,0487)} = 0,1567$$

$$Q_{10} = 0,0369 + \frac{0,5924}{0,0402 * (196,0487)} = 0,1121$$

Tabla 30.

Prioridades relativas de cada alternativa

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}
0,1036	0,0840	0,0884	0,0851	0,1135	0,0525	0,0922	0,1119	0,1567	0,1121

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Determinar el nivel de rendimiento de cada alternativa usando la ecuación y de aquí se encontrará el ranking de los materiales

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} * 100 \quad (23)$$

$$P_i = \frac{Q_i}{0,1567} * 100$$

$$P_1 = \frac{0,1036}{0,1567} * 100 = 66,13$$

$$P_2 = \frac{0,0840}{0,1567} * 100 = 53,57$$

$$P_3 = \frac{0,0884}{0,1567} * 100 = 56,44$$

$$P_4 = \frac{0,0851}{0,1567} * 100 = 54,28$$

$$P_5 = \frac{0,1135}{0,1567} * 100 = 72,42$$

$$P_6 = \frac{0,0525}{0,1567} * 100 = 33,51$$

$$P_7 = \frac{0,0922}{0,1567} * 100 = 58,81$$

$$P_8 = \frac{0,1119}{0,1567} * 100 = 71,42$$

$$P_9 = \frac{0,1567}{0,1567} * 100 = 100,00$$

$$P_{10} = \frac{0,1121}{0,1567} * 100 = 71,50$$

Tabla 31.

Proximidad relativa a la ideal (P_i) y ranking

Material	Nivel de Rendimiento	Ranking
A	66,13	5
B	53,57	9

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

C	56,44	7
D	54,28	8
E	72,42	2
F	33,51	10
G	58,81	6
H	71,42	4
I	100,00	1
J	71,50	3

3.3.4. Metodo ARAS

- Conformación de la matriz de decisión X_{ij} . Esta matriz está definida en la tabla número 3.
- Cálculo de la matriz de decisión normalizada \overline{X}_{ij} , teniendo en cuenta los valores positivos se calcula con la ecuación.

$$X_{ij} = \frac{1}{X_{ij}^*} \quad (24)$$

$$\overline{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=0}^m X_{ij}} \quad (25)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$\overline{X}_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0125 & 25,0000 & 0,2500 & 115 & 1500 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0007 & 14,2857 & 0,6667 & 135 & 1400 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0007 & 25,6410 & 0,6667 & 120 & 1220 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0007 & 25,6410 & 0,500 & 120 & 1220 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0013 & 27,7778 & 0,8333 & 130 & 1280 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0007 & 33,3333 & 0,0625 & 87 & 1390 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0042 & 22,2222 & 0,1667 & 140 & 1800 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0010 & 24,3902 & 2,5 & 135 & 1280 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0010 & 27,0270 & 3,3333 & 420 & 1220 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \\ 0,0024 & 119,6078 & 0,6667 & 140 & 1220 \\ 0,0251 & 244,9262 & 9,6458 & 1542 & 13530 \end{bmatrix}$$

$$\overline{X}_{ij} = \begin{bmatrix} 0,1835 & 0,1125 & 0,0390 & 0,1129 & 0,0333 \\ 0,1009 & 0,1222 & 0,0917 & 0,1223 & 0,0667 \\ 0,1615 & 0,1069 & 0,1560 & 0,1069 & 0,0667 \\ 0,1345 & 0,0910 & 0,1248 & 0,0907 & 0,0667 \\ 0,0577 & 0,0713 & 0,1418 & 0,0710 & 0,2000 \\ 0,0673 & 0,1096 & 0,1356 & 0,1095 & 0,0667 \\ 0,0621 & 0,0855 & 0,0390 & 0,0855 & 0,3333 \\ 0,0577 & 0,0950 & 0,1248 & 0,0950 & 0,0667 \\ 0,0404 & 0,1188 & 0,0643 & 0,1189 & 0,0667 \\ 0,1345 & 0,0873 & 0,0780 & 0,0873 & 0,0667 \end{bmatrix}$$

Tabla 32.

Matriz de decisión normalizada \overline{X}_{ij}

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,4974	0,1021	0,0259	0,0746	0,1109
0,0295	0,0583	0,0691	0,0875	0,1035
0,0269	0,1047	0,0691	0,0778	0,0902
0,0265	0,1047	0,0518	0,0778	0,0902
0,0497	0,1134	0,0864	0,0843	0,0946

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

0,0295	0,1361	0,0065	0,0564	0,1027
0,1658	0,0907	0,0173	0,0908	0,1330
0,0390	0,0996	0,2592	0,0875	0,0946
0,0386	0,1103	0,3456	0,2724	0,0902
0,0971	0,0801	0,0691	0,0908	0,0902

- La matriz normalizada ponderada se utiliza los pesos calculados por los datos de la matriz normalizada mediante la siguiente ecuación.

$$\widehat{X}_{ij} = \overline{X}_{ij} * W_j \quad (26)$$

$$\widehat{X}_{ij} = \begin{bmatrix} \widehat{X}_{11} & \widehat{X}_{12} & \dots & \widehat{X}_{1n} \\ \widehat{X}_{21} & \widehat{X}_{22} & \dots & \widehat{X}_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \widehat{X}_l & \widehat{X}_{m2} & \dots & \widehat{X}_{mn} \end{bmatrix}$$

Donde:

W_j = peso del criterio

\overline{X}_{ij} = clasificación normalizada de cada criterio

$$\widehat{X}_{ij} = \begin{bmatrix} 0,2156 * 0,0455 & 0,1800 * 26,3158 & 0,2123 * 0,2500 & 0,1739 * 1,32 & 0,2182 * 1 \\ 0,2156 * 0,0250 & 0,1800 * 28,5714 & 0,2123 * 0,5882 & 0,1739 * 1,43 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0400 & 0,1800 * 25,0000 & 0,2123 * 1,0000 & 0,1739 * 1,25 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0333 & 0,1800 * 21,2766 & 0,2123 * 0,8000 & 0,1739 * 1,06 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0143 & 0,1800 * 16,6667 & 0,2123 * 0,9091 & 0,1739 * 0,83 & 0,2182 * 6 \\ 0,2156 * 0,0167 & 0,1800 * 25,6410 & 0,2123 * 0,8696 & 0,1739 * 1,28 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0154 & 0,1800 * 20,0000 & 0,2123 * 0,2500 & 0,1739 * 1,00 & 0,2182 * 10 \\ 0,2156 * 0,0143 & 0,1800 * 22,2222 & 0,2123 * 0,8000 & 0,1739 * 1,11 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0100 & 0,1800 * 27,7778 & 0,2123 * 0,4444 & 0,1739 * 1,39 & 0,2182 * 2 \\ 0,2156 * 0,0333 & 0,1800 * 20,4082 & 0,2123 * 0,5000 & 0,1739 * 1,02 & 0,2182 * 2 \end{bmatrix}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$\widehat{X}_{ij} = \begin{bmatrix} 0,0395 & 0,0203 & 0,0083 & 0,0196 & 0,0073 \\ 0,0218 & 0,0220 & 0,0195 & 0,0213 & 0,0145 \\ 0,0348 & 0,0192 & 0,0331 & 0,0186 & 0,0145 \\ 0,0290 & 0,0164 & 0,0265 & 0,0158 & 0,0145 \\ 0,0124 & 0,0128 & 0,0301 & 0,0123 & 0,0436 \\ 0,0145 & 0,0197 & 0,0288 & 0,0190 & 0,0145 \\ 0,0134 & 0,0154 & 0,0083 & 0,0149 & 0,0727 \\ 0,0124 & 0,0171 & 0,0265 & 0,0165 & 0,0145 \\ 0,0087 & 0,0214 & 0,0147 & 0,0207 & 0,0145 \\ 0,0290 & 0,0157 & 0,0166 & 0,0152 & 0,0145 \end{bmatrix}$$

Tabla 33.

Matriz de decisión normalizada de pesos

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,0886	0,0193	0,0058	0,0166	0,0205
0,0053	0,0110	0,0156	0,0195	0,0191
0,0048	0,0197	0,0156	0,0174	0,0166
0,0047	0,0197	0,0117	0,0174	0,0166
0,0089	0,0214	0,0195	0,0188	0,0175
0,0053	0,0257	0,0015	0,0126	0,0190
0,0295	0,0171	0,0039	0,0202	0,0246
0,0069	0,0188	0,0585	0,0195	0,0175
0,0069	0,0208	0,0780	0,0607	0,0166
0,0173	0,0151	0,0156	0,0202	0,0166

- Calculo de la función de optimización S_i con la siguiente ecuación

$$S_i = \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (27)$$

$$S_1 = \sum_{j=1}^n X_{1j} = 0,0395 + 0,0203 + 0,0083 + 0,0196 + 0,0073 = 0,0950$$

$$S_2 = \sum_{j=1}^n X_{2j} = 0,0218 + 0,0220 + 0,0195 + 0,0213 + 0,0145 = 0,0990$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$S_3 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0348 + 0,0192 + 0,0331 + 0,0186 + 0,0145 = 0,1203$$

$$S_4 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0290 + 0,0164 + 0,0265 + 0,0158 + 0,0145 = 0,1022$$

$$S_5 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0124 + 0,0128 + 0,0301 + 0,0123 + 0,0436 = 0,1114$$

$$S_6 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0145 + 0,0197 + 0,0288 + 0,0190 + 0,0145 = 0,0966$$

$$S_7 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0134 + 0,0154 + 0,0083 + 0,0149 + 0,0727 = 0,1247$$

$$S_8 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0124 + 0,0171 + 0,0265 + 0,0165 + 0,0145 = 0,0871$$

$$S_9 = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0087 + 0,0214 + 0,0147 + 0,0207 + 0,0145 = 0,0800$$

$$S_{10} = \sum_{j=1}^n X_{ij} = 0,0290 + 0,0157 + 0,0166 + 0,0152 + 0,0145 = 0,0910$$

Tabla 34.

Función de optimización S_i

Material	S_i
A	0,1508
B	0,0705
C	0,0741
D	0,0702
E	0,0860
F	0,0639
G	0,0954
H	0,1212
I	0,1831
J	0,0849

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Determinar el grado de utilizad comparando la variante con la mejor S_o según la siguiente ecuación

$$K_i = \frac{S_i}{S_o} \quad (28)$$

En donde:

S_i y S_o son los valores de la función de optimización. Estos valores empiezan en 0% y llegan hasta 100%, siendo la alternativa con el K_i mayor la mejor alternativa a seleccionar.

$$K_1 = \frac{S_1}{S_o} = \frac{0,1508}{0,1831} = 0,08238$$

$$K_2 = \frac{S_2}{S_o} = \frac{0,0705}{0,1831} = 0,3850$$

$$K_3 = \frac{S_3}{S_o} = \frac{0,0741}{0,1831} = 0,4050$$

$$K_4 = \frac{S_4}{S_o} = \frac{0,0702}{0,1831} = 0,3833$$

$$K_5 = \frac{S_5}{S_o} = \frac{0,0860}{0,1831} = 0,4699$$

$$K_6 = \frac{S_6}{S_o} = \frac{0,0639}{0,1831} = 0,3493$$

$$K_7 = \frac{S_7}{S_o} = \frac{0,0954}{0,1831} = 0,5209$$

$$K_8 = \frac{S_8}{S_o} = \frac{0,1212}{0,1831} = 0,6621$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$K_9 = \frac{S_9}{S_o} = \frac{0,1831}{0,1831} = 1,000$$

$$K_{10} = \frac{S_{10}}{S_o} = \frac{0,0849}{0,1831} = 0,4637$$

Tabla 35.

Ranking método ARAS

Material	K _i	Ranking
A	0,8238	2
B	0,3850	8
C	0,4050	7
D	0,3833	9
E	0,4699	5
F	0,3493	10
G	0,5209	4
H	0,6621	3
I	1,0000	1
J	0,4637	6

3.3.5. Método MOORA

- Determinación de la matriz inicial de decisión X_{ij}, la matriz está determinada en la tabla inicial 3.
- Cálculo de la matriz de radios de la forma \overline{X}_{ij} para normalizar la matriz de decisión inicial, usando la ecuación (29).

$$\overline{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (29)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{80}{3325,48} & 1 - \frac{0,04}{0,14} & 1 - \frac{4}{17,90} & \frac{115}{564,4} & \frac{1500}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,07}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{135}{564,4} & \frac{1400}{4314,22} \\ 1 - \frac{1480}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{1500}{3325,48} & 1 - \frac{0,039}{0,14} & 1 - \frac{2}{17,90} & \frac{120}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{800}{3325,48} & 1 - \frac{0,036}{0,14} & 1 - \frac{1,2}{17,90} & \frac{130}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1350}{3325,48} & 1 - \frac{0,03}{0,14} & 1 - \frac{16}{17,90} & \frac{87}{564,4} & \frac{1390}{4314,22} \\ 1 - \frac{240}{3325,48} & 1 - \frac{0,045}{0,14} & 1 - \frac{6}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1800}{4314,22} \\ 1 - \frac{1020}{3325,48} & 1 - \frac{0,041}{0,14} & 1 - \frac{0,4}{17,11} & \frac{135}{564,4} & \frac{1280}{4314,22} \\ 1 - \frac{1030}{3325,48} & 1 - \frac{0,037}{0,14} & 1 - \frac{0,3}{17,90} & \frac{420}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \\ 1 - \frac{410}{3325,48} & 1 - \frac{0,051}{0,14} & 1 - \frac{1,5}{17,90} & \frac{140}{564,4} & \frac{1220}{4314,22} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0,9759 & 0,7129 & 0,7765 & 0,2038 & 0,3477 \\ 0,5940 & 0,4976 & 0,9162 & 0,2392 & 0,3245 \\ 0,5550 & 0,7201 & 0,9162 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,5489 & 0,7201 & 0,8883 & 0,2126 & 0,2828 \\ 0,7594 & 0,7416 & 0,9330 & 0,2303 & 0,2967 \\ 0,5940 & 0,7847 & 0,1062 & 0,1541 & 0,3222 \\ 0,9278 & 0,6770 & 0,6648 & 0,2481 & 0,4172 \\ 0,6933 & 0,7057 & 0,9777 & 0,2392 & 0,2967 \\ 0,6903 & 0,7345 & 0,9832 & 0,7442 & 0,2828 \\ 0,8767 & 0,6340 & 0,9162 & 0,2481 & 0,2828 \end{bmatrix}$$

Tabla 36.

Matriz normalizada de decisión

Densidad relativa kg/cm ³	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,9759	0,7129	0,7765	0,2038	0,3477
0,5940	0,4976	0,9162	0,2392	0,3245
0,5550	0,7201	0,9162	0,2126	0,2828
0,5489	0,7201	0,8883	0,2126	0,2828
0,7594	0,7416	0,9330	0,2303	0,2967
0,5940	0,7847	0,1062	0,1541	0,3222
0,9278	0,6770	0,6648	0,2481	0,4172
0,6933	0,7057	0,9777	0,2392	0,2967

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

0,6903	0,7345	0,9832	0,7442	0,2828
0,8767	0,6340	0,9162	0,2481	0,2828

- Construir la matriz de decisión normalizada ponderada, multiplicando los pesos de criterio por todos los elementos de la matriz de decisión normalizada teniendo lo siguiente:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$r_{ij} =$$

0,1781 * 0,9759	0,1887 * 0,7129	0,2256 * 0,7765	0,2230 * 0,2038	0,1846 * 0,3477
0,1781 * 0,5940	0,1887 * 0,4976	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2392	0,1846 * 0,3245
0,1781 * 0,5550	0,1887 * 0,7201	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2126	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,5489	0,1887 * 0,7201	0,2256 * 0,8883	0,2230 * 0,2126	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,7594	0,1887 * 0,7416	0,2256 * 0,9330	0,2230 * 0,2303	0,1846 * 0,2967
0,1781 * 0,5940	0,1887 * 0,7847	0,2256 * 0,1062	0,2230 * 0,1541	0,1846 * 0,3222
0,1781 * 0,9278	0,1887 * 0,6770	0,2256 * 0,6648	0,2230 * 0,2481	0,1846 * 0,4172
0,1781 * 0,6933	0,1887 * 0,7057	0,2256 * 0,9777	0,2230 * 0,2392	0,1846 * 0,2967
0,1781 * 0,6903	0,1887 * 0,7345	0,2256 * 0,9832	0,2230 * 0,7442	0,1846 * 0,2828
0,1781 * 0,8767	0,1887 * 0,6340	0,2256 * 0,9162	0,2230 * 0,2481	0,1846 * 0,2828

$$r_{ij} = \begin{bmatrix} 0,1738 & 0,1345 & 0,1752 & 0,0454 & 0,0642 \\ 0,1058 & 0,0939 & 0,2067 & 0,0533 & 0,0599 \\ 0,0988 & 0,1358 & 0,2067 & 0,0474 & 0,0522 \\ 0,0978 & 0,1358 & 0,2004 & 0,0474 & 0,0522 \\ 0,1353 & 0,1399 & 0,2105 & 0,0514 & 0,0548 \\ 0,1058 & 0,1480 & 0,0240 & 0,0344 & 0,0595 \\ 0,1653 & 0,1277 & 0,1500 & 0,0553 & 0,0770 \\ 0,1235 & 0,1331 & 0,2206 & 0,0533 & 0,0548 \\ 0,1230 & 0,1386 & 0,2218 & 0,1660 & 0,0522 \\ 0,1562 & 0,1196 & 0,2067 & 0,0553 & 0,0522 \end{bmatrix}$$

Tabla 37.

Matriz de decisión normalizada

Densidad relativa kg/cm3	Conductividad térmica (W/mk)	Precio estimado \$/kg	Temperatura Máxima de Servicio °C	Capacidad Calorífica Específica J/kg K
0,1738	0,1345	0,1752	0,0454	0,0642

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

0,1058	0,0939	0,2067	0,0533	0,0599
0,0988	0,1358	0,2067	0,0474	0,0522
0,0978	0,1358	0,2004	0,0474	0,0522
0,1353	0,1399	0,2105	0,0514	0,0548
0,1058	0,1480	0,0240	0,0344	0,0595
0,1653	0,1277	0,1500	0,0553	0,0770
0,1235	0,1331	0,2206	0,0533	0,0548
0,1230	0,1386	0,2218	0,1660	0,0522
0,1562	0,1196	0,2067	0,0553	0,0522

- Construir la matriz estandarizada de pesos multiplicando la matriz de decisión normalizada por los pesos de cada criterio.
- Determinar la función de agregación para evaluar cada alternativa $S_{(X_i)}$ mediante la siguiente ecuación

$$S_{(X_i)} = \sum_{i=1}^h X_{ij} - \sum_{i=h+1}^n X_{ij} \quad (30)$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, \dots, h$ son los criterios máximos

$i = h + 1, h + 2, \dots, n$ son los criterios mínimos

$$\sum_{i=1}^h X_1 = 0,0454 + 0,0642 = 0,1096$$

$$\sum_{i=1}^h X_2 = 0,0533 + 0,0599 = 0,1132$$

$$\sum_{i=1}^h X_3 = 0,0474 + 0,0522 = 0,0996$$

$$\sum_{i=1}^h X_4 = 0,0474 + 0,0522 = 0,0996$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$\sum_{i=1}^h X_5 = 0,0514 + 0,0548 = 0,1061$$

$$\sum_{i=1}^h X_6 = 0,0344 + 0,0595 = 0,0938$$

$$\sum_{i=1}^h X_7 = 0,0553 + 0,0770 = 0,1323$$

$$\sum_{i=1}^h X_8 = 0,0533 + 0,0548 = 0,1081$$

$$\sum_{i=1}^h X_9 = 0,1660 + 0,0522 = 0,2182$$

$$\sum_{i=1}^h X_{10} = 0,0553 + 0,0522 = 0,1075$$

Para los valores catalogados negativos.

$$\sum_{i=h+1}^h X_1 = 0,1738 + 0,1345 + 0,1752 = 0,4835$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_2 = 0,1058 + 0,0939 + 0,2067 = 0,4064$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_3 = 0,0988 + 0,1358 + 0,2067 = 0,4414$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_4 = 0,0978 + 0,1358 + 0,2004 = 0,4340$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$\sum_{i=h+1}^h X_5 = 0,1353 + 0,1399 + 0,2105 = 0,4857$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_6 = 0,1058 + 0,1480 + 0,0240 = 0,2778$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_7 = 0,1653 + 0,1277 + 0,1500 = 0,4430$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_8 = 0,1235 + 0,1331 + 0,2206 = 0,4772$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_9 = 0,1230 + 0,1386 + 0,2218 = 0,4833$$

$$\sum_{i=h+1}^h X_{10} = 0,1562 + 0,1196 + 0,2067 = 0,4825$$

Cálculo de la función de agregación.

$$S_{(X_1)} = \sum_{i=1}^h X_{ij} - \sum_{i=h+1}^n X_{ij} \quad (31)$$

$$S_{(X_1)} = 0,1096 - 0,4835 = -0,3739$$

$$S_{(X_2)} = 0,1132 - 0,4064 = -0,2932$$

$$S_{(X_3)} = 0,0996 - 0,4414 = -0,3418$$

$$S_{(X_4)} = 0,0996 - 0,4340 = -0,3344$$

$$S_{(X_5)} = 0,1061 - 0,4857 = -0,3795$$

$$S_{(X_6)} = 0,0938 - 0,3778 = -0,2840$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$S_{(x_7)} = 0,1323 - 0,4430 = -0,3106$$

$$S_{(x_8)} = 0,1081 - 0,4772 = -0,3691$$

$$S_{(x_9)} = 0,2182 - 0,4833 = -0,2652$$

$$S_{(x_{10})} = 0,1075 - 0,4825 = -0,3750$$

Tabla 38.

Ranking método MORA

Material	$S_{(x_i)}$	Ranking
A	-0,3739	8
B	-0,2932	3
C	-0,3418	6
D	-0,3344	5
E	-0,3795	10
F	-0,2840	2
G	-0,3106	4
H	-0,3691	7
I	-0,2652	1
J	-0,3750	9

3.4. Resultados del Método Multicriterio

Se diseñó la tabla 39 en la cual se detalla el resumen de los métodos multicriterio y el mejor material en cada uno de ellos como son el COPRAS, TOPSI, VIKOR, MORA, ARAS, en donde se encontró el ranking de ponderación y los índices de selección de cada método multicriterio siendo la Fibra de Cabuya el material ganador en los métodos COPRAS, MORA, ARAS y en el TOPSI quedando en segundo lugar por lo cual se elige a este material como el ganador para la aplicación como aislante térmico en la cajuela de vehículos.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 39

Resultados de los métodos multicriterio

MATERIAL	TOPSI		VIKOR		COPRAS		MORA		ARAS	
	Proximidad relativa	Ranking	Valor I	Ranking	Índice de rendimiento	Ranking	Ranking	Ranking	Ranking	
Lana de Oveja	0,1967	7	0,5602	9	66,1344	5	-0,3739	8	0,8238	2
Banano	0,2813	4	0,9618	1	53,5689	9	-0,2932	3	0,3850	8
Cáñamo	0,2398	6	0,8926	2	56,4358	7	-0,3418	6	0,4050	7
Lino	0,2508	5	0,8715	3	54,2842	8	-0,3344	5	0,3833	9
Madera	0,1406	10	0,7686	6	72,4162	2	-0,3795	10	0,4699	5
Seda	0,5901	1	0,5946	8	33,5061	10	-0,2840	2	0,3493	10
Celulosa	0,3068	3	0,4156	10	58,8079	6	-0,3106	4	0,5209	4
Coco	0,1721	8	0,8596	4	71,4244	4	-0,3691	7	0,6621	3
Cabuya	0,4022	2	0,6551	7	100,0000	1	-0,2652	1	1,0000	1
Caña de azúcar	0,1497	9	0,7921	5	71,4964	3	-0,3750	9	0,4637	6

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

3.5. Simulación Térmica

Ya determinado el material ganador de los métodos multicriterio, para este estudio fue la fibra de Cabuya se procede al diseño de la cajuela del vehículo en CAD utilizando el software Solid Works, empezamos configurando los parámetros iniciales para la simulación térmica los cuales ya fueron descritos en los literales 2.7 bajo el subtema simulación térmica, detallando los criterios para la elaboración del mallado y las temperaturas que se aplican a la cajuela con el objetivo de obtener y analizar puntos como la transferencia de calor con el nuevo material seleccionado.

3.6. Análisis térmico

Con el tipo de mallado seleccionado en la figura 11 y la aplicación de temperaturas se puede analizar la transferencia de calor desde el exterior de la cajuela hacia el interior de la misma y viceversa utilizando como material aislante la fibra de cabuya.

Primero se especifica los parámetros y propiedades necesarias del material en la librería de Solid, si no se encuentra se procede a crear el material basándonos en la investigación bibliográfica realizada para los métodos multicriterio en este trabajo.

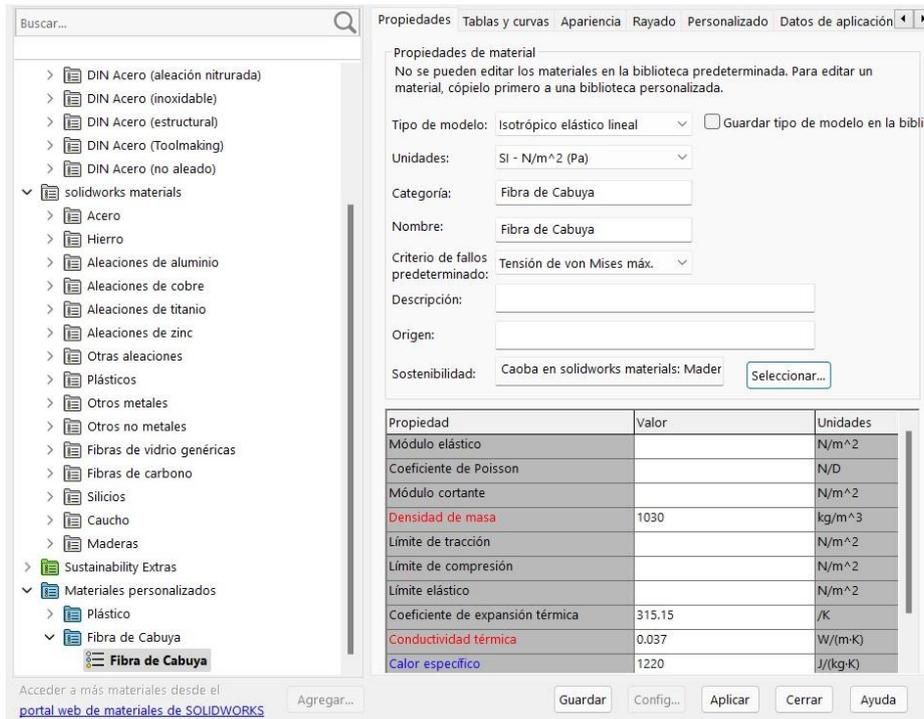
3.6.1. Análisis térmico Fibra de Cabuya

Para iniciar se busca el material en la librería de SolidWorks en caso de que no exista se procede a crear el material colocando las propiedades y parámetros encontrados con los métodos multicriterio.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 19.

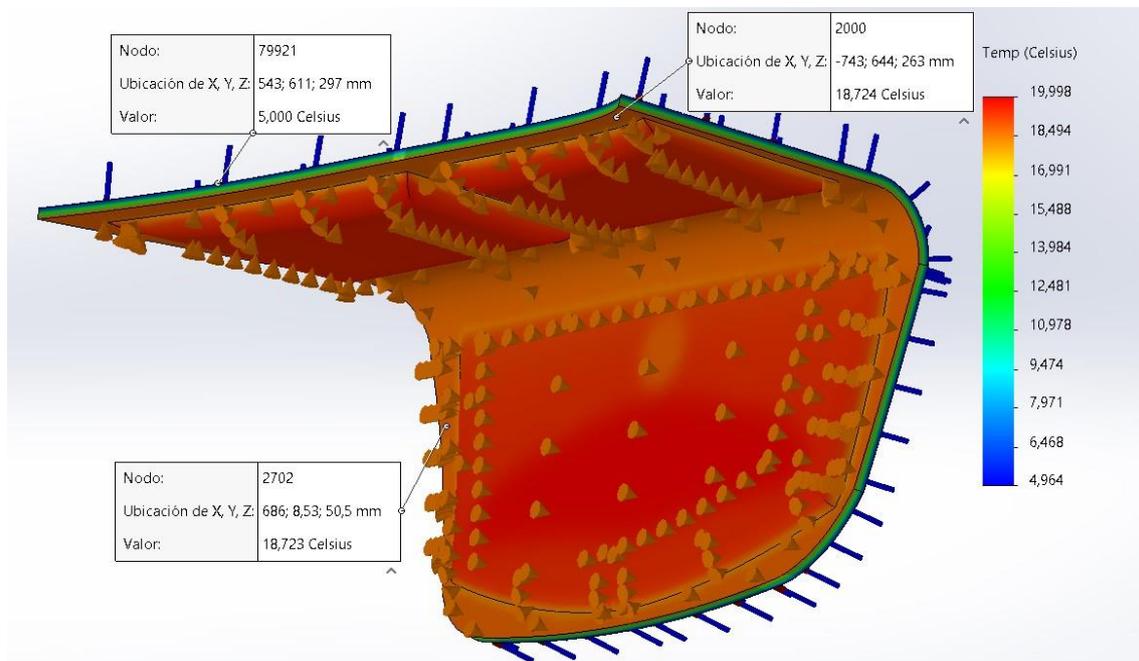
Propiedades térmicas de la fibra de cabuya en la librería de Solid Works



- Primera condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 20.

Simulación térmica con temperatura externa de 5°C

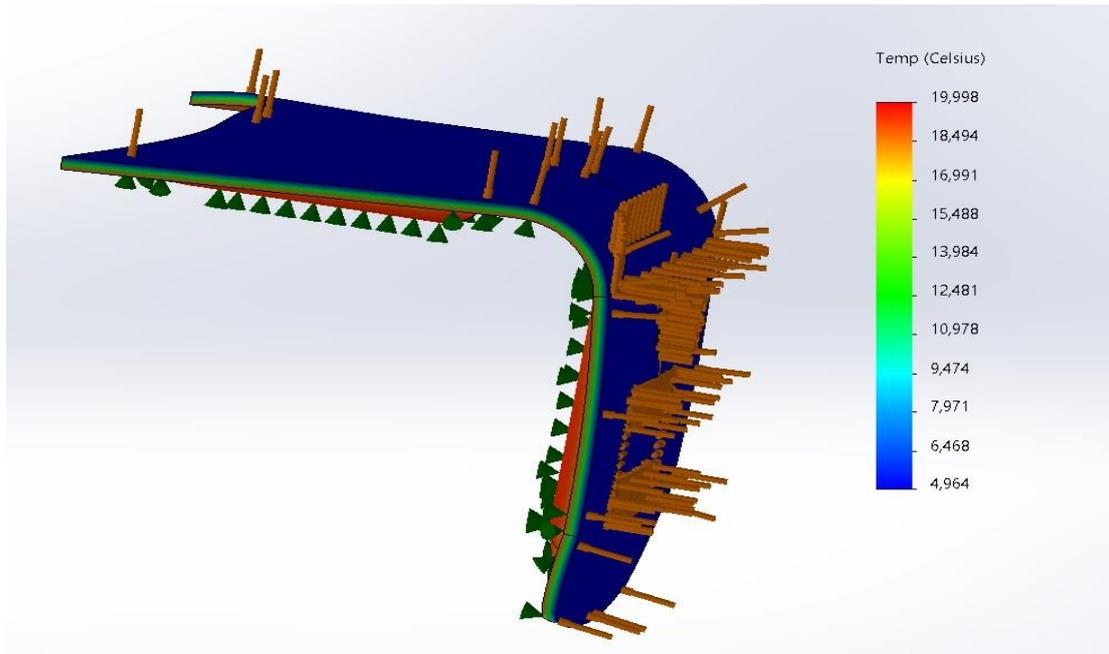


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 5 grados centígrados y una temperatura interior de 18,72 grados centígrados.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 21.

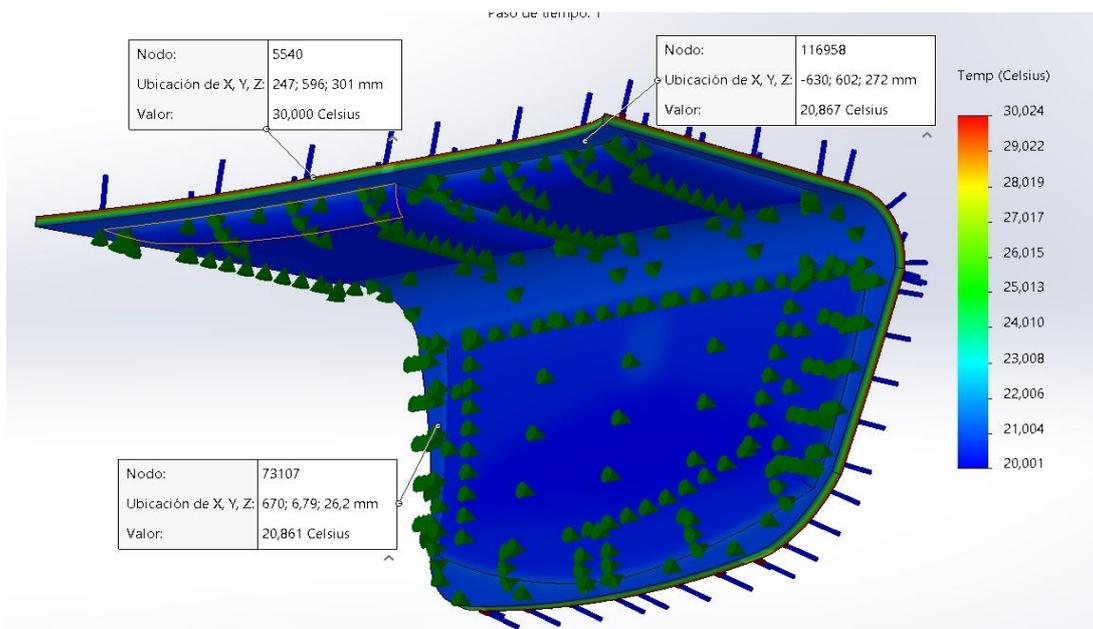
Parte exterior a 5°C



- Segunda condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 22.

Simulación térmica con temperatura de 30°C

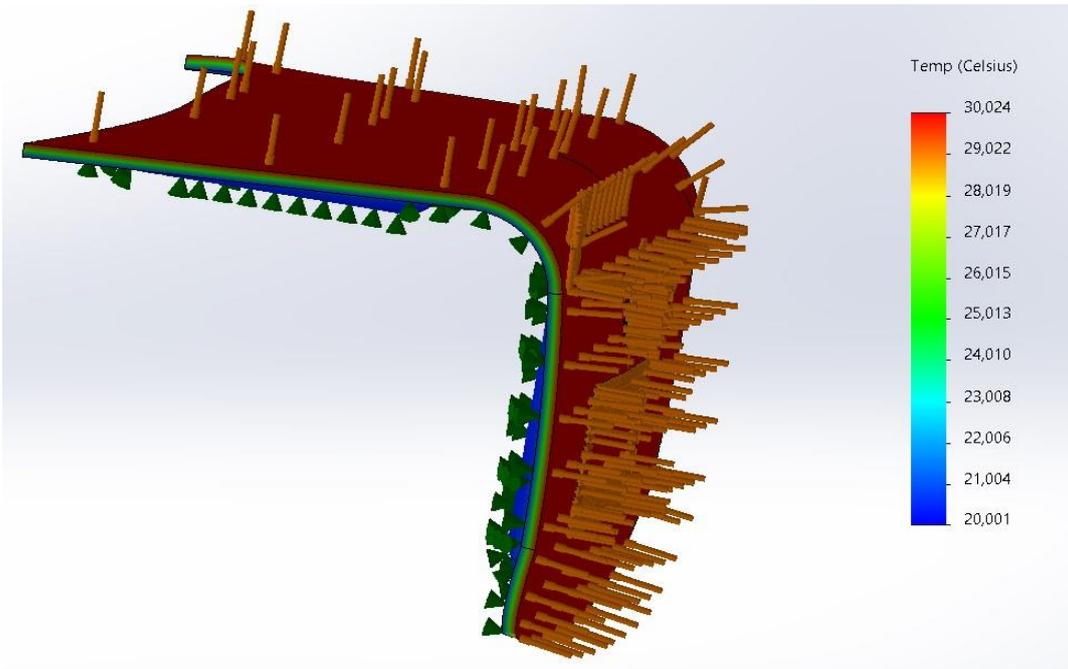


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 30 grados centígrados y una temperatura interior de 20,86 grados centígrados.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 23.

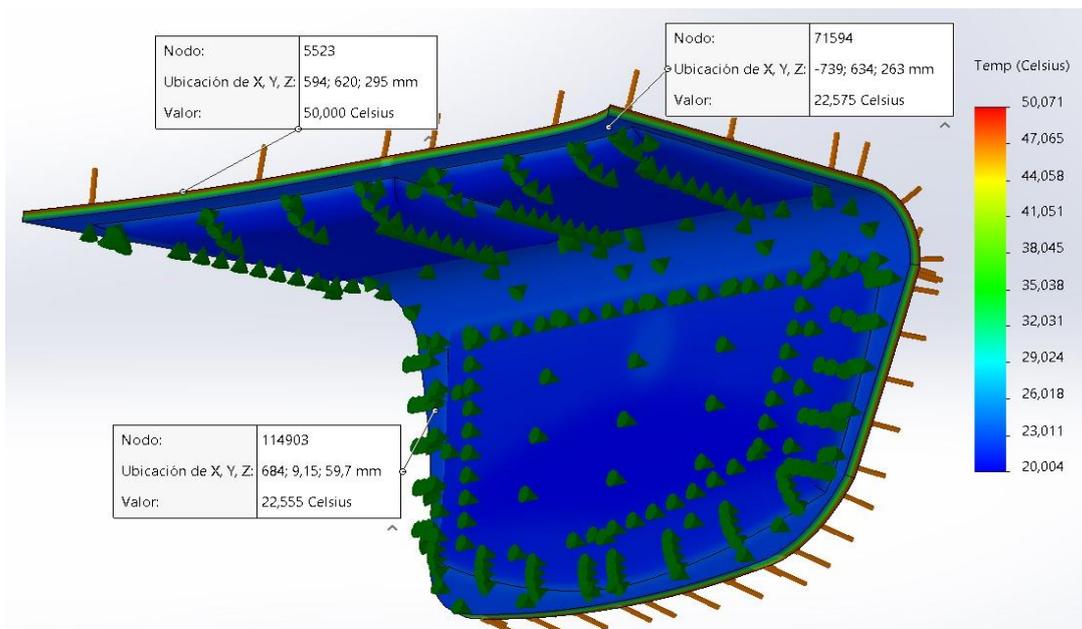
Parte exterior a 30°C



- Tercera condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 24.

Simulación térmica con temperatura de 50°C

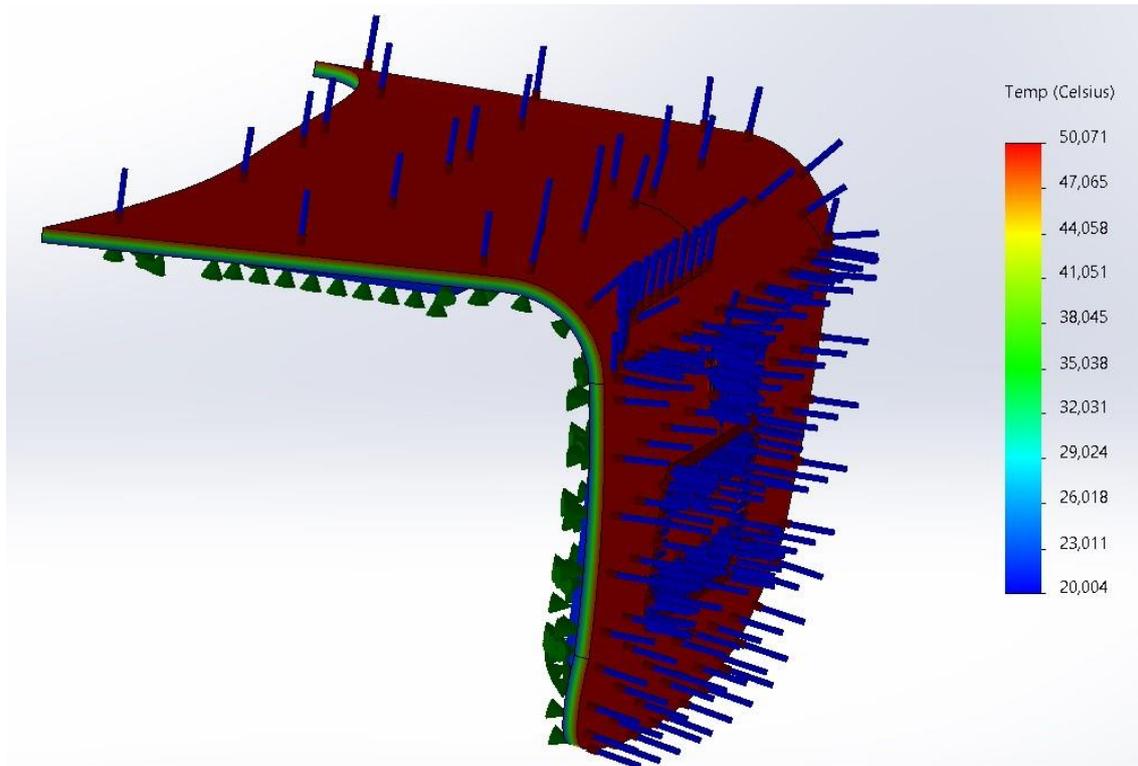


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 50 grados centígrados y una temperatura interior de 22,56 grados centígrados.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 25.

Parte exterior a 50°C



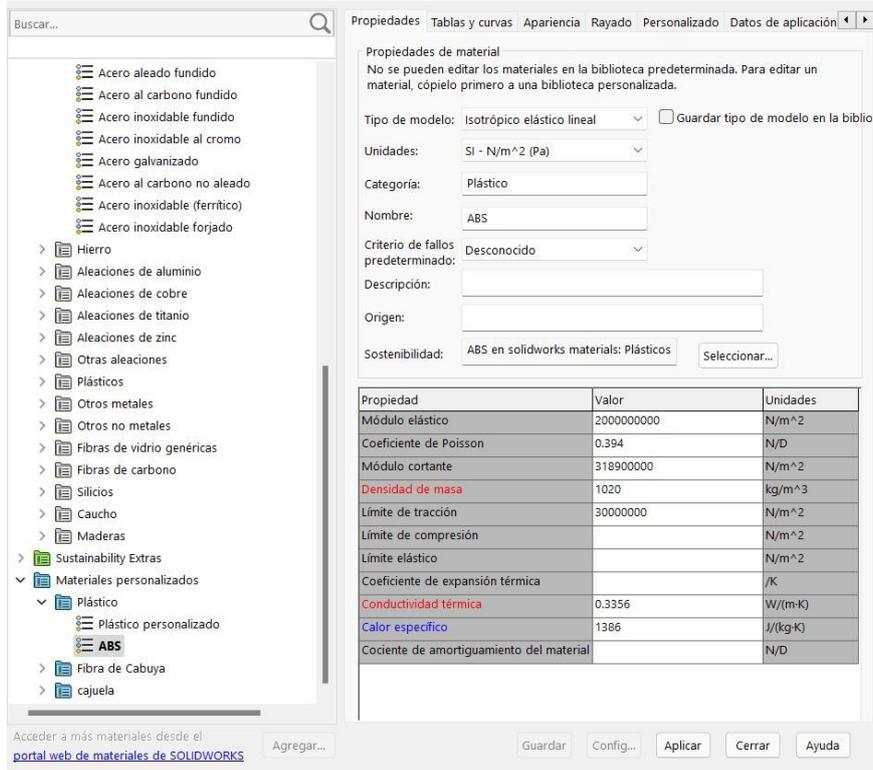
3.6.2. Análisis térmico material ABS

El ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un material muy utilizado para la construcción de partes internas de los automotores (Obis, 2013) gracias a sus buenas propiedades mecánicas que le permiten ser aplicado en tableros, asientos, protectores, rejillas, entre muchas partes más, pero con una conductividad térmica alta permitiendo el flujo de calor con facilidad y exponiendo al interior del vehículo a grandes temperaturas por eso se realiza una comparación entre dicho material y el seleccionado por los MCDM.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 26.

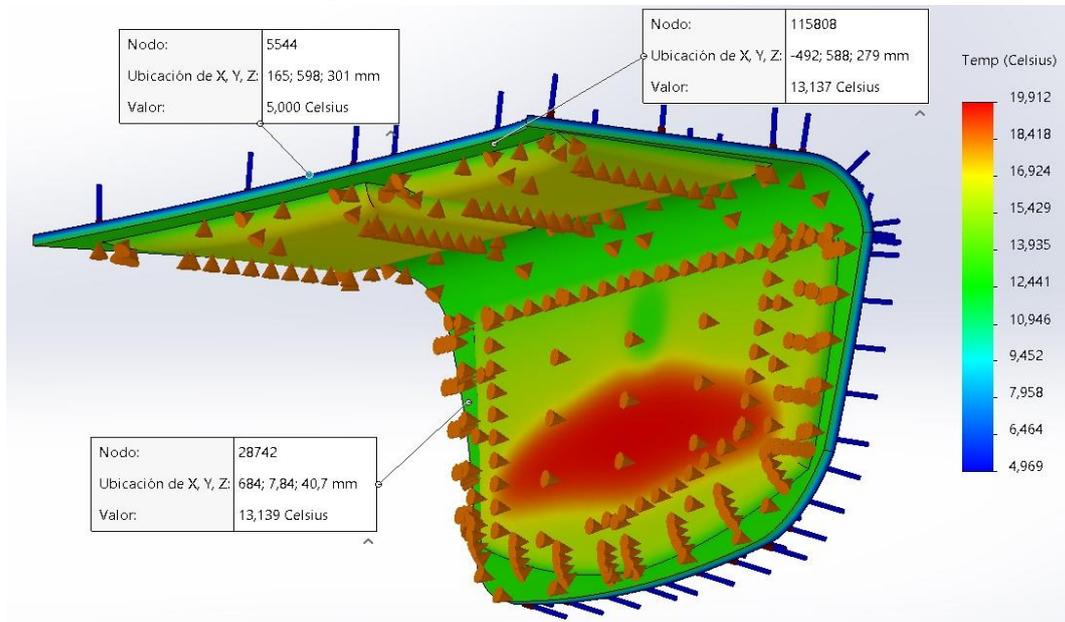
Propiedades del ABS en la librería de SolidWorks



- Primera condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 27.

Simulación térmica con temperatura de 5°C

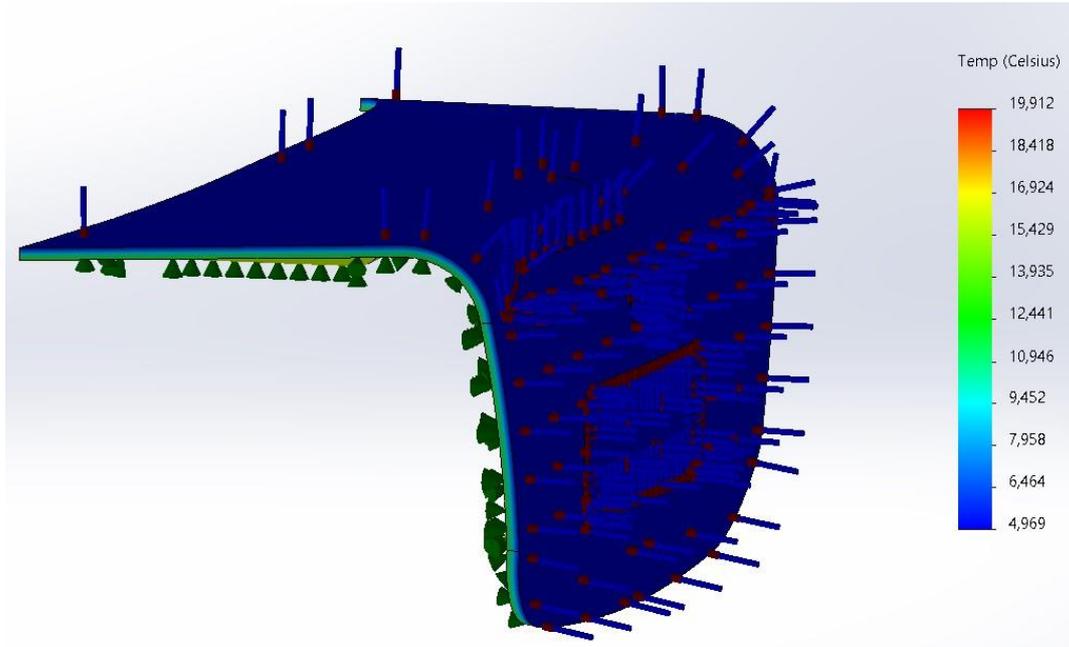


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 5 grados centígrados y una temperatura interior de 13,14 grados centígrados y no de 20 como se deseaba.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 28.

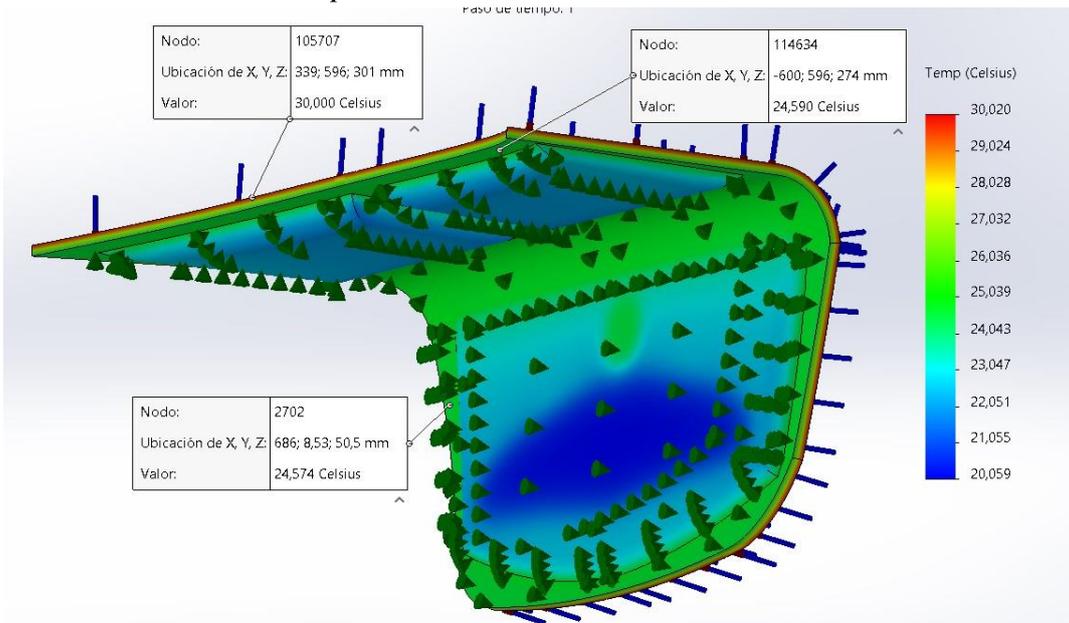
Parte exterior a 5°C



- Segunda condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 29.

Simulación térmica con temperatura de 30°C

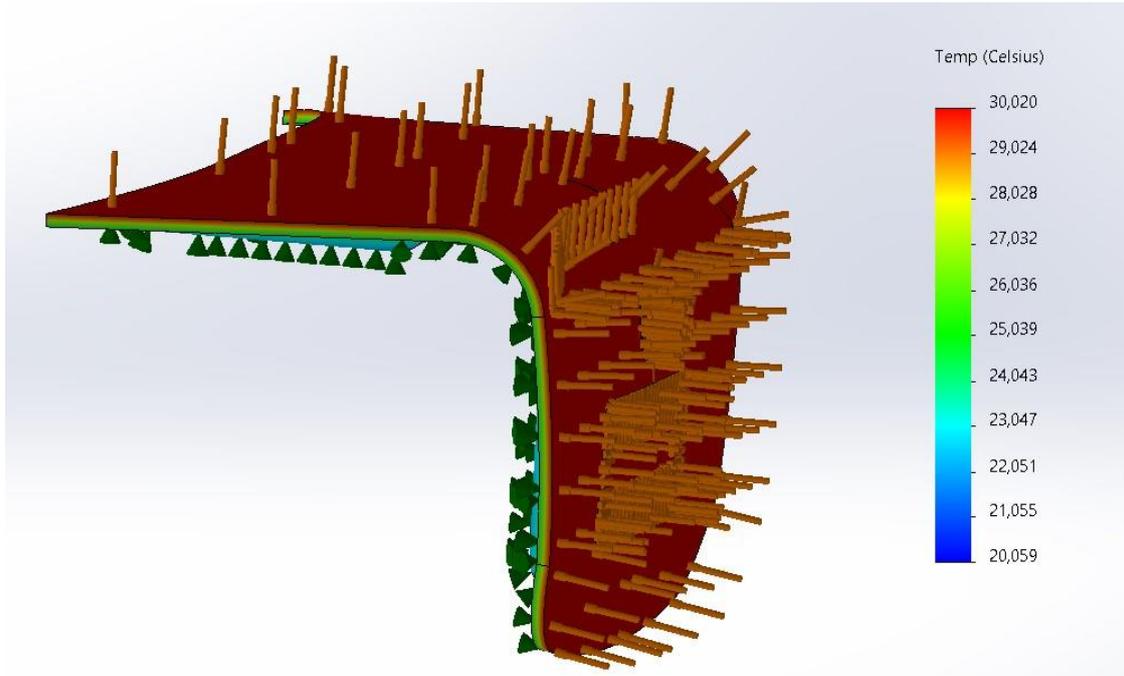


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 30 grados centígrados y una temperatura interior de 24,58 grados centígrados y no de 20 como se deseaba.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 30.

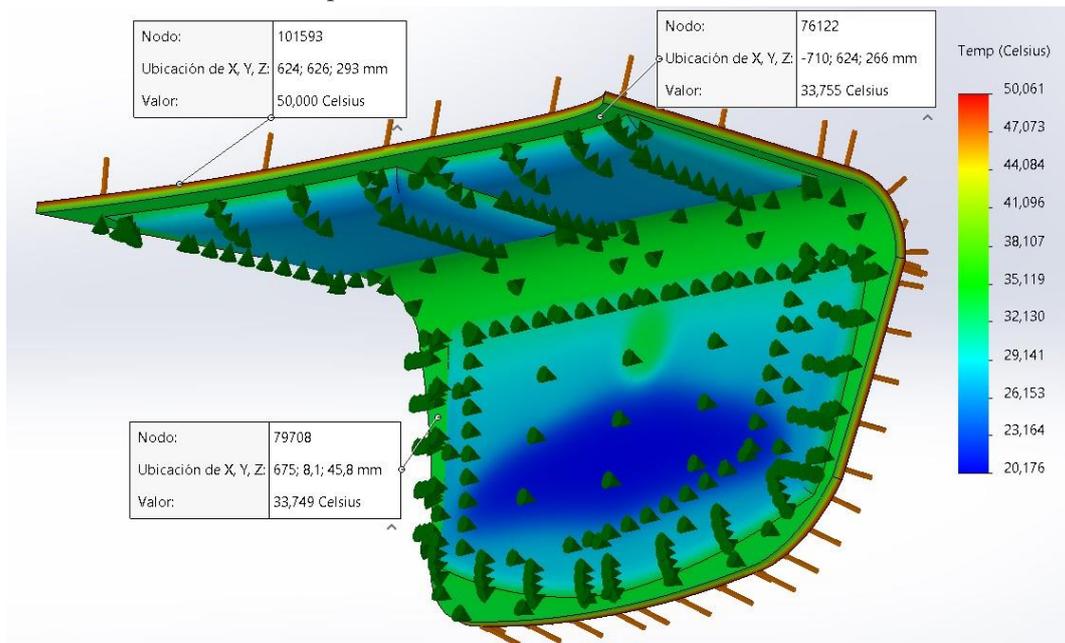
Parte exterior 30°C



- Tercera condición de simulación térmica de la cajuela

Figura 31.

Simulación térmica con temperatura de 50°C

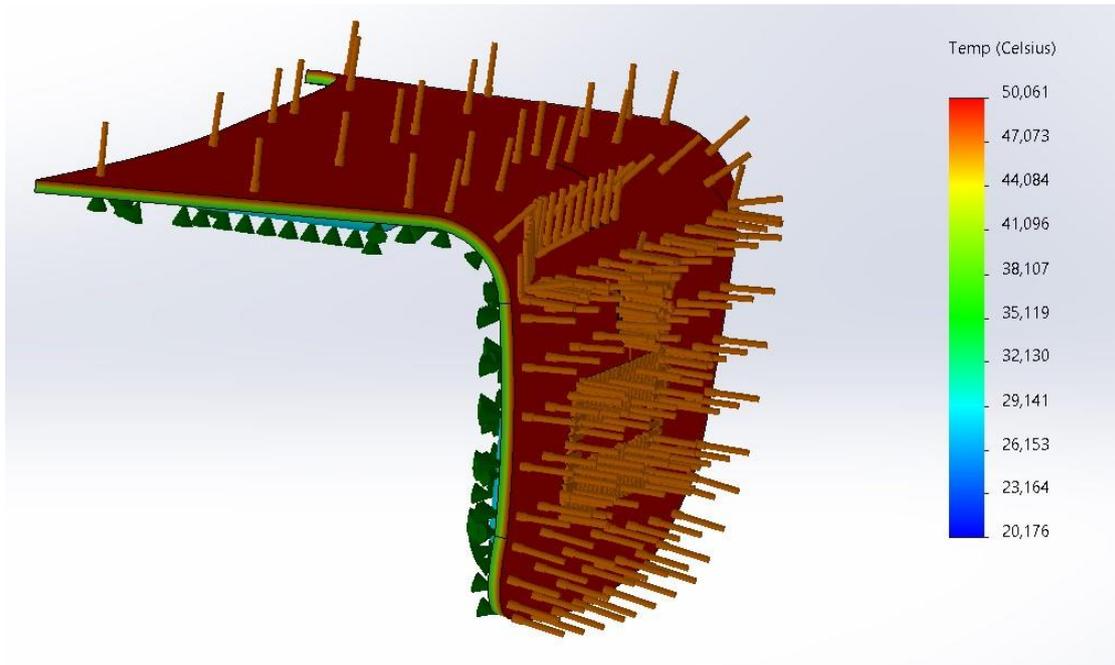


Nota. Se tiene una temperatura exterior de 50 grados centígrados y una temperatura interior de 33,75 grados centígrados y no de 20 como se deseaba.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Figura 32.

Parte exterior a 50°C



3.7. Modelos matemáticos de transferencia de calor

Para el cálculo de las temperaturas internas y externas de la cajuela del vehículo se toma del libro de Cengel las ecuaciones para la resolución de problemas de conducción de calor, para esto se obtiene la ecuación diferencial y condiciones de frontera, se resuelve de forma general la ecuación diferencial, se aplica las condiciones de frontera y se resuelve el problema, para este caso se supone que la conducción de calor es en estado estable y unidimensional, además de ser constante la conductividad térmica y no existe generación de calor (Cengel, 2007).

A continuación, se detalla paso a paso las ecuaciones mencionadas en (Cengel, 2007).

Tomando la dirección x como la perpendicular a la superficie de la pared, se tiene la ecuación diferencial para este problema como

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (32)$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$-k \frac{dT(L)}{dx} = h[T(L) - T_{\infty}] \quad (33)$$

Con las condiciones de frontera

$$T(0) = T_1 = 5^{\circ}C$$

$$T(L) = T_2 = 20^{\circ}C$$

Integrando la ecuación diferencial una vez con respecto a x, se obtiene

$$\frac{dT}{dx} = C_1 \quad (34)$$

Integrando una vez más se obtiene

$$T(x) = C_1x + C_2 \quad (35)$$

La primera condición de frontera se puede interpretar como en la solución general, reemplácese todas las x por cero y T(x) por T₁ ; es decir:

$$T(1) = C_1x \ 0 + C_2$$

$$T_1 = C_2 \quad (36)$$

La segunda condición de frontera se puede interpretar como en la solución general, reemplácese todas las x por L y T(x) por T₂; es decir

$$-k \frac{dT(L)}{dx} = h[T(L) - T_{\infty}] \quad (37)$$

$$-kC_1 = h[T(L) - T_{\infty}]$$

$$T(L) = C_1L + C_2$$

$$-kC_1 = h[C_1L + C_2 - T_{\infty}] \quad (38)$$

$$C_1 = -\frac{h[C_2 - T_{\infty}]}{k + hL}$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1 \quad (39)$$

3.7.1. Modelo matemático para fibra de cabuya

- Calculo para temperaturas externas de 5°C e interna de 20°C

$$T(x) = -\frac{20[5 - 20]}{0.037 + (20)(0.02)}x + 5$$

$$T(x) = -\frac{-300}{0.437}x + 5$$

- Parte externa de la cajuela

$$T(0) = -\frac{-300}{0.437}(0) + 5$$

$$T(0) = 5$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{-300}{0.437}(0,02) + 5$$

$$T(0,02) = -\frac{-6000}{437} + 5$$

$$T(0,02) = 13,73 + 5$$

$$T(0,02) = 18,73$$

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1$$

- Calculo para temperaturas externas de 30°C e interna de 20°C

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$T(x) = -\frac{20[30 - 20]}{0.037 + (20)(0.02)}x + 30$$

$$T(x) = -\frac{200}{0.437}x + 30$$

- Parte externa de la cajuela

$$T(0) = -\frac{200}{0.437}(0) + 30$$

$$T(0) = 30$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{200}{0.437}(0,02) + 30$$

$$T(0,02) = -\frac{4000}{437} + 30$$

$$T(0,02) = -9,15 + 30$$

$$T(0,02) = 20,85$$

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1$$

- Calculo para temperaturas externas de 50°C e interna de 20°C

$$T(x) = -\frac{20[50 - 20]}{0.037 + (20)(0.02)}x + 50$$

$$T(x) = -\frac{600}{0.437}x + 50$$

- Parte externa de la cajuela

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$T(0) = -\frac{600}{0.437}(0) + 50$$

$$T(0) = 50$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{600}{0.437}(0,02) + 50$$

$$T(0,02) = -\frac{120000}{437} + 50$$

$$T(0,02) = -27,46 + 50$$

$$T(0,02) = 22,54$$

3.7.2. Modelo matemático material ABS

La segunda condición de frontera se puede interpretar como en la solución general, reemplácese todas las x por L y $T(x)$ por T_2 ; es decir

$$-k \frac{dT(L)}{dx} = h[T(L) - T_\infty]$$

$$-kC_1 = h[T(L) - T_\infty]$$

$$T(L) = C_1L + C_2$$

$$-kC_1 = h[C_1L + C_2 - T_\infty]$$

$$C_1 = -\frac{h[C_2 - T_\infty]}{k + hL}$$

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$T(x) = -\frac{20[5 - 20]}{0.335 + (20)(0.02)}x + 5$$

$$T(x) = -\frac{-300}{0.735}x + 5$$

- Parte externa de la cajuela

$$T(0) = -\frac{-300}{0.735}(0) + 5$$

$$T(0) = 5$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{-300}{0.735}(0,02) + 5$$

$$T(0,02) = -\frac{-400}{49} + 5$$

$$T(0,02) = 8,16 + 5$$

$$T(0,02) = 13,16$$

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1$$

$$T(x) = -\frac{20[30 - 20]}{0.335 + (20)(0.02)}x + 30$$

$$T(x) = -\frac{200}{0.735}x + 30$$

- Parte externa de la cajuela

$$T(0) = -\frac{200}{0.735}(0) + 30$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$T(0) = 30$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{200}{0.735}(0,02) + 30$$

$$T(0,02) = -\frac{800}{147} + 30$$

$$T(0,02) = -5,44 + 30$$

$$T(0,02) = 24,56$$

Si se sustituyen las expresiones para C_1 y C_2 en la solución general, se obtiene

$$T(x) = -\frac{h[T_1 - T_\infty]}{k + hL}x + T_1$$

$$T(x) = -\frac{20[50 - 20]}{0.335 + (20)(0.02)}x + 50$$

$$T(x) = -\frac{600}{0.735}x + 30$$

- Parte externa de la cajuela

$$T(0) = -\frac{600}{0.735}(0) + 50$$

$$T(0) = 50$$

- Parte interna de la cajuela

$$T(0,02) = -\frac{600}{0.735}(0,02) + 50$$

$$T(0,02) = -\frac{800}{49} + 50$$

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

$$T(0,02) = -16,33 + 50$$

$$T(0,02) = 33,67$$

3.9. Validación de Resultados

Para la validación de resultados se desea obtener un porcentaje de error menor al 15%, al comparar los resultados que se obtengan de la simulación térmica en SolidWorks y los modelos matemáticos ejecutados, tanto para la simulación como para los modelos matemáticos se utiliza tres condiciones de temperaturas a 5°C, 30°C, 50°C y se realiza el cálculo del porcentaje de error de forma similar a al estudio realizado por (Velilla, Mendoza, & Gonzalo, 2012) en el cual el porcentaje de error obtenido entre los resultados de la simulación y el modelo matemático para el esfuerzo está en el orden de 0.28% a 8.19% (valor de % máx. 12% de acuerdo con la escala del software) y para el factor de seguridad está en el orden de 0.07% a 11.5% (valor de % máx. 20% de acuerdo con la escala del software), el cual es un error muy aceptable. Otro estudio que buscó errores porcentuales por debajo del 15% fue realizado por (Alean, Chejne, & Bastidas, 2009) que se basó en simulaciones térmicas para una torre de enfriamiento comparando con resultados experimentales teniendo valores favorables en el software utilizado.

CAPITULO IV

4. Análisis y discusión de resultados

Los resultados obtenidos de este estudio se presentan a continuación divididos en dos partes, la primera corresponde a los resultados encontrados después de aplicar los métodos de ponderación de pesos y los métodos multicriterio para la selección del mejor material, y la segunda parte hace referencia a los resultados obtenidos de la simulación térmica sobre el comportamiento del material ganador, en Solid Works.

Para la selección del aislante térmico se debe tener claro los criterios con qué criterios se va a evaluar a los candidatos para este estudio se utilizó criterios como densidad, precio, conductividad térmica, calor específico, temperatura máxima de servicio. Para estas propiedades es necesario tener una ponderación que permita identificar al criterio más importante. En la investigación realizada por (Martinez, 2015) el factor de ponderación determina la importancia de cada uno de los criterios, existen diversos métodos de ponderación entre ellos el de entropía y desviación estándar que ayudan a calcular los pesos, de los cuales en el método de entropía se obtuvo los valores más altos para las propiedades térmicas seleccionadas.

Los métodos MCDM que se emplearon en esta investigación fueron cinco de los cuales tres determinaron que la fibra de Cabuya era la mejor siendo los métodos COPRAS, MORAS, ARAS los que seleccionaron este material, corroborando al igual que otras investigaciones como (Méndez, 2019) en donde se aplican los métodos MCDM para la selección de materiales con cambio de fase para utilizarlo como aislante térmico.

El Ecuador es el segundo país a nivel mundial en exportar la fibra de cabuya por lo cual es fácil encontrarla en el mercado, además su baja densidad lo que reduce el peso

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

del vehículo, el precio es accesible a las personas de la zona y en especial su conductividad térmica es muy baja, su temperatura máxima de servicio al ser de 400 grados centígrados lo hace un material difícil de deteriorarse o perder sus propiedades, todos estas características junto con los métodos multicriterio han permitido seleccionarle como el mejor aislante térmico de entre diez candidatos.

Según (Landeta, 2014) es muy necesario validar un resultado para lo cual una simulación térmica es la mejor forma de hacerlo, para dichas simulaciones se debe contar con un software especializado y dedicado a este tipo de condiciones, Por tal motivo para este estudio se utilizó el software Solid Works por su rápido y completo estudio de simulación que permite utilizar cualquier tipo de material con diferentes parámetros de simulación en este caso se utilizó la fibra de cabuya creando este material en el software, tomando como base los estudios bibliográficos para la recopilación de sus propiedades, pudiendo observar que satisface los requerimientos como aislante térmico en la cajuela del vehículo, ya que externamente el material está sometido a una temperatura de 50°C, obteniendo que su temperatura interna se mantenga a una temperatura cercana a 20°C, estos resultados permiten determinar que la fibra de cabuya al ser usada con aislante térmico tiene gran efectividad como aislante.

En las tablas 41 y 42 se puede identificar que el coeficiente de variación es mucho menor al 15% e incluso no sobrepasa ni el 1% determinando que tanto para la simulación como para los métodos matemáticos la fibra de cabuya presenta excelentes resultados como aislante térmico encontrando se variaciones de temperatura con respecto a 20°C de más menos 2,5°C.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Tabla 40.

Resultados simulación y método numérico

Casos de estudio	Temperatura externa °C		Temperatura interna °C			
	Cabuya y ABS		Fibra de cabuya		Material común ABS	
	SolidWorks	Método numérico	SolidWorks	Método numérico	SolidWorks	Método numérico
Caso 1	5	5	18,72	18,73	13,16	13,13
Caso 2	30	30	20,87	20,85	24,57	24,56
Caso 3	50	50	22,58	22,54	33,75	33,67

Nota. Detalle de los resultados obtenidos en las simulaciones a diferentes condiciones y con los dos materiales

Tabla 41.

Coefficiente de variación fibra de cabuya

Fibra de Cabuya	
Casos de estudio	CV (%)
Caso 5°C	0,05
Caso 30°C	0,09
Caso 50°C	0,18

Nota. Comparación de los resultados obtenidos indicando el coeficiente de variación (CV) entre la simulación y el modelo matemático.

Tabla 42.

Coefficiente de variación ABS

ABS	
Casos de estudio	CV (%)
Caso 5°C	0,23
Caso 30°C	0,04
Caso 50°C	0,24

Nota. Comparación de los resultados obtenidos indicando el coeficiente de variación (CV) entre la simulación y el modelo matemático.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

CAPITULO V

5.1. Conclusiones

- El estudio bibliográfico de literatura empleada permitió recopilar una gran cantidad de artículos científicos sobre las propiedades térmicas de fibras naturales existentes en el Ecuador, aprovechando la ventaja de las condiciones climáticas que permiten la producción de gran cantidad de especies Vasculares endémicas de la región, resaltando el poco valor agregado que se otorga a las fibras al ser consideradas desperdicios y generando una aplicabilidad del material en la industria automotriz como es el aislamiento térmico de la cajuela.
- Los métodos multicriterio MCDM aplicados en esta investigación facilitaron la selección de un material ideal para el aislamiento térmico de la cajuela de vehículos, esto se llevó a cabo con una ponderación objetiva y de tipo cuantitativa para seleccionar de pesos mediante el método de entropía, posteriormente se aplican los métodos Topsis, Vikor, Copras, Aras y Mora siendo el mejor material aislante en los métodos Copras, Aras y Mora la fibra de cabuya, debido a su baja densidad, costo accesible, y buenas propiedades térmicas, criterios complejos de evaluar por la el alto número de candidatos pero que se adaptan de manera sencilla a los métodos multicriterio.
- La aplicabilidad del material alternativo, la fibra de cabuya se valida mediante simulación térmica en Solid Works y métodos matemáticos en las diferentes condiciones aplicadas en el exterior del vehículo, teniendo una temperatura muy cercana a la deseada de 20 °C en el interior que comparando con el material original el ABS la transferencia de calor es mayor teniendo temperaturas diferentes a las deseada en las tres condiciones evaluadas y con un coeficiente de variación de 1% que está muy por debajo del máximo que es 15%, teniendo

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

resultados viables y acertados del comportamiento del material en condiciones reales como aislante térmico para la cajuela del vehículo.

5.2. Recomendaciones

- Dentro de la investigación de proyectos, es posible tomar esta investigación como base para realizar un estudio de factibilidad o pre factibilidad sobre la implementación del aislante térmico de fibra natural en la industria de autopartes.
- En el área de investigación de partes automotrices y eficiencia energética, debido al limitado número de estudios queda seguir investigando las propiedades y características de la gran diversidad de materiales alternativos existentes en el Ecuador y su aplicabilidad en la industria.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M., & Tello, W. (2016). *Estudio del aire acondicionado en el consumo de combustible, potencia del motor y confort termico en la cabina de un vehiculo liviano*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Alean, J., Chejne, F., & Bastidas, M. (2009). Simulación de una Torre de Enfriamiento Mecánica Comparada con Curvas Experimentales. *Información Tecnológica*, vol 20, 13-18.
- Alquiber. (16 de Enero de 2020). *Diferencias entre un vehículo isoterma, refrigerado y frigorífico*. Obtenido de <https://www.alquiber.es/blog/diferencias-entre-un-vehiculo-isoterma-refrigerado-y-frigorifico/>
- Amigó, V., Salvador, D., & Sahuquillo, O. (2010). Aprovechamiento de residuos de fibras naturales como elementos de refuerzo de materiales poliméricos. *Ciencia y Tecnología para el desarrollo*, 8-16.
- Asdrubali, f. (2009). The role of Life Cycle Assessment (LCA) in the design of sustainable buildings: thermal and sound insulating materials. *EURONISE*, 37-47.
- Asdrubali, F., D`Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-17.
- Ashby, M. (2009). CesEdupack, 2019. *Granta Design Limited*. Cambridge.
- ASTM, C.-1. (2016). Standard Practice for Estimating the Maximum Use Temperature of Thermal Insulations.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Beltrán, D., & Martínez, J. (2019). Análisis de los materiales de cambio de fase (PCM) para los paneles de pared de los edificios en función del efecto del entorno.

Journal of Building Engineering, 24, 100726.

Blazquez, G. (15 de Febrero de 2021). *Diferencias entre vehículos isoterms, refrigerados y frigoríficos*. Obtenido de Isoterms-Carrocieras-Aislamientos :

<https://isotermsavila.es/blog/diferencia-vehiculos-isoterms-refrigerados-frigorificos#.YZRxwrqZLIU>

Bozano, A., & Vera, J. (2014). *Análisis y Método Constructivo del Panel Metálico Mixto con Aislamiento Termo-acústico en Cubiertas. Caso Práctico: Galpón de la compañía Kitton S.A.* Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Bravo, B., & Giovanni, C. (2018). *INVESTIGACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRA NATURAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO DE COMPETICIÓN FÓRMULA STUDENT*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Carrillo, D. (2014). *Estudio del comportamiento a fatiga mecánica por Flexión de materiales compuestos con fibra de cabuya (30%) y matriz poliéster (70%) para determinar el diagrama S-n*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Castro, P. (2019). *Estudio técnico económico para la elaboración de aislante térmico para baterías de autos (Chevrolet) en Guayaquil*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill Interamericana.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Cerón, C. (2003). Etnobotánica de las fibras naturales del Ecuador. *Cinchonia, Vol 4*, 21-34.
- Chatterjee, P., Vijay, A., & Chakrabortya, S. (2009). Selection of materials using compromise ranking and outranking methods. *Materials & Design*, 4043.4053.
- Cherrez, M. (2018). *Selección de un material para la fabricación de un disco de freno en un vehículo liviano por medio de las técnicas multicriterio. Verificación de resultado mediante simulación en estado transitorio y estructural; Caso de estudio Suzuki Grand Vitara SZ 2.0*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- Cherrez, M., Martínez, J., Nicolalde, J., & Riofrio, A. (2021). Material Selection Based on Multicriteria Decision Methods for Brake Disc Manufacture. *Springer Nature Switzerland*, pp. 428-439.
- Chérrez, M., Martínez, J., Peralta, D., & Llanes, E. (2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *INGENIUS*, vol 20, 83-95.
- Chiguano, V. (2016). *Diseño y elaboración de prendas de vestir mediante el uso de fibras alternativas como elemento de innovación en la empresa Indutex*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Datta.pe. (2019). *Utilizan lana de oveja como aislante térmico en hogares*. Obtenido de Construcción y Vivienda:
<https://www.construccionyvivienda.com/2019/05/15/utilizan-lana-de-oveja-como-aislante-termico-en-hogares/>

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Edo, J. (2018). *Aislamiento algodón reciclado*. Obtenido de SOCYR:

[https://www.socyr.com/aislamientos-ecologicos/aislamiento-termico-acustico-
algodon-reciclado/](https://www.socyr.com/aislamientos-ecologicos/aislamiento-termico-acustico-algodon-reciclado/)

Espinoza, M. (2015). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Fernández, I. (2018). *Aislantes térmicos ecológicos y sostenibles*. Obtenido de

Arquitectura sostenible: [https://arquitectura-sostenible.es/aislantes-termicos-
ecologicos-y-sostenibles/](https://arquitectura-sostenible.es/aislantes-termicos-ecologicos-y-sostenibles/)

Garza, V. (2016). *Análisis del ciclo de vida de aislantes térmicos para la aplicación en edificaciones*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.

Gerfri. (2017). *Aislamiento Térmico Automotriz: Cómo hacerlo*. Obtenido de Aire

Acondicionado: [https://tuaireacondicionado.net/aislamiento-termico-automotriz-
como-hacerlo/](https://tuaireacondicionado.net/aislamiento-termico-automotriz-como-hacerlo/)

Guerrero, V., Pontón, P., Tamayo, A., Villacís, H., Delgado, F., & Galeas, S. (2013).

Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Imbaquingo, R. (2018). *Caracterización, Diseño y Simulación de un Guardafango del Vehículo Chevrolet Aveo Constituido con Material Compuesto a base de Resina Epoxi y Refuerzo de Fibras Orgánicas*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Javaloye, M. (2019). *La lana de oveja como aislamiento en construcción*. Obtenido de

Oficina rural de arquitectura y construcción : [http://eco-miga.es/materiales/la-
lana-de-oveja-como-aislamiento-en-construccion/](http://eco-miga.es/materiales/la-lana-de-oveja-como-aislamiento-en-construccion/)

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Kong, C., Lee, H., & Park, H. (2016). Design and Manufacturing of Automobile Hood

Using Natural Composite Structure. *Composites Part B*, Vol. 91, pp. 18-26.

Landeta, P. (2014). *Análisis y simulación del comportamiento térmico del sistema*

integrado, estructura y componentes electrónicos. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Macía, M. (2006). Las plantas de fibra . *Botánica Económica de los Andes Centrales*,

370-384.

MAGAP. (2019). MAG incentiva producción de coco – Ministerio de Agricultura y

Ganadería. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/mag-incentiva-produccion-de-coco/>

Martinez, J. (2015). Aplicación de métodos multicriterio para la selección de materiales

para menaje de cocinas de inducción. *Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables*.

Mata, F. (2004). Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de

automóviles. *Técnica Industrial*, 43-47.

Méndez, A. (2019). *Almacenamiento térmico con materiales de cambio de fase para su*

uso en un sistema de aislamiento térmico automotriz. Quito: Universidad Internacional SEK.

Mendoza, V. D., Castro, M. C., & Mendoza, V. P. (2020). Simulación y análisis del

comportamiento térmico de una sala informática en una zona cálido-húmeda.

TECNIA, 30(1), 12-21. doi:<https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.857>

Mercier, D., Dutil, Y., Rousse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., &

Castonguay, M. (2011). Los aislamientos térmicos naturales: construcción

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

ecológica y eficiencia energética. *Conferencia Internacional de Energía Renovable*, 1-9.

Monge, A. (2016). *Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Muñoz, B., & Romana, M. (2016). Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. *Pensamiento Matemático*, VI, Numero 2, 27-45.

Navacerrada, M., Pedrero, A., Díaz, C., & Barbero, M. (2019). Recycling and natural fibers: an option for the development of sustainable materials. *INCE Conference Proceedings*, 2862-2871.

Navacerrada, M., Pedrero, A., Isaza, M., & Fernandez, P. (2016). Caracterización acústica y térmica de no tejidos basados en fibras naturales. *EuroRegio2016*, 13-15.

Nicolalde, J. (2018). *Caracterización de la fibra natural de mocora para refuerzo de un material compuesto de resina poliéster insaturado para aplicaciones automotrices y aeroespaciales*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Obis, R. (2013). *Soluciones técnicas en la construcción de revestimientos internos de puerta de un automóvil*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Palomo, M. (2017). *Aislantes térmicos. Criterios de selección por requisitos energéticos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Pantoja, G. L. (9 de Enero de 2019). *Diferencia entre vehículo isoterma, refrigerado y frigorífico*. Obtenido de <https://grupopantoja.com/vehiculo-isotermorefrigerado-y-frigorifico/>
- Pardo, J. (2018). *Aplicación de un aislante térmico compuesto de fibras de abacá a un horno calentado por GLP de la empresa NEGGINCO en la ciudad de La Concordia-Ecuador*. Quito: Universidad Interacional SEK.
- Peña, O. R., Roman, R. E., & Quispe, G. W. (2017). Desarrollo de un aislante térmico en base a fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en las viviendas de la sierra sur del Perú. *Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática*, Décima Sexta, 83-89.
- Peña, O., & Roman, R. (2018). *Diseño de un aislante térmico a base de fibras naturales para mitigar el impacto de las heladas en la comunidad de Cupisa*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Peretto, C., Gonzalez, A., Frascaroli, M., & Luciano, T. (2021). El método Topsis integrado a un desarrollo BACK-END para la selección de un dispositivo Móvil. *Investigación Operativa*, 50, 17-31.
- Pérez, L., Macías, J., Sánchez, K., & Luviano, D. (2017). Comparación Método multicriterio TOPSIS y MOORA para la optimización de un proceso de inyección de plástico. *Mundo Fesc*, 98-105, Numero 14.
- Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M., & Rudolphi, A. (2008). *Insulating Materials: Principles, Materials, Applications*. Munich: Edition Detail.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Por, D., & De, A. (2007). Botánica Económica de los Andes Centrales. *Ecología en Bolivia*, 77-78.

Portillo, D. (2019). *Determinación experimental de las propiedades térmicas del suelo del ex Lago de Texcoco*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Pozo, A., Guemes, A., & López, A. (2019). *Materiales Compuestos de Fibras Naturales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Pucha, V. (2018). *Caracterización de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D*. Quito: Universidad Internacional SEK.

Restrepo, S., Arroyave, G., & Vásquez, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Use of vegetable fibers in polymer matrix composites*, 77-86.

Reyes, U. (2008). *Concreto Reforzado con Fibra de Bagazo de Caña*. Xalapa: Universidad Veracruzana .

RMT, R. d. (2017). *Aislamiento térmico de lana y algodón*. Obtenido de Tectónica: <https://tectonica.archi/materials/aislamiento-termico-de-lana-y-algodon/>

Salas, A. (2009). *Obtención de compuestos de polietileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Salazar, R., Martínez, J., Rocha, J., & Llanes, E. (2019). Métodos Multicriterio aplicados a la parte lateral de una estructura autoportante para vehículos livianos. *CienciAmérica*, Vol 8., 59-83.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

Salazare, R. (2018). *Selección de materiales mediante métodos multicriterio (MCDM)*

aplicado a la parte lateral de una estructura autoportante para vehículos

livianos, verificación mediante simulación FEM. Quito: Universidad

Internacional SEK.

Sanabre, B. (2014). *Estudio de la viabilidad de nuevos materiales acústicos a partir de*

plantas. València: Universidad Politécnica de València.

Sánchez, J. (2018). *Los aislantes térmicos ecológicos de origen vegetal.* Obtenido de

MADRIDADQUITECTURA: <https://madridarquitectura.com/38-los-aislantes-ecologicos-ii-de-origen-vegetal/#>

Sendra, A. (2020). *Estudio Comparativo de Fibras Naturales para Reforzar Hormigón.*

València: Universidad Politécnica de València.

Sesmero, A. (2019). *Las fibras naturales: una opción sostenible para la construcción.*

Madrid: Universida Politécnica de Madrid.

SolidWorks.Corps. (2019). *Soporte y Ayuda de SOLIDWORKS.* Obtenido de Dassault

Systemes:

https://help.solidworks.com/2018/spanish/SolidWorks/cworks/c_Mesh_Control_Parameters.htm

Stock, L. (26 de Enero de 2016). *El transporte de mercancías perecederas. Un vehículo*

para cada producto. Obtenido de <https://www.stocklogistic.com/el-transporte-de-mercancias-perecederas-un-vehiculo-para-cada-producto-2/>

Tapia, C., Paredes, C., Simbaña, A., & Bermúdez, J. (2006). Aplicación de las Fibras

Naturales en el Desarrollo de Materiales Compuestos y como Biomasa. *Revista*

Tecnológica ESPOL, Vol. 19, 113-120.

SELECCIÓN DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL AISLAMIENTO DE CAJUELA DE VEHÍCULOS MEDIANTE MCDM Y SIMULACIÓN.

- Technology, S. (2017). *Aislamiento con poliuretano para vehículos de temperatura controlada*. Obtenido de <https://blog.synthesia.com/es/aislamiento-con-poliuretano-para-vehiculos-de-temperatura-controlada>
- Toyota. (2021). *Como convertir tu furgoneta en vehículo Isotermo* . Obtenido de Cetificación ATP: <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/convertir-furgoneta-vehiculo-isotermo-toyota>
- Tuárez, D. (2021). *Selección de Materiales Compuestos de Fibra Natural y Matriz Poliéster, para los paneles internos de la compuerta delantera de un vehículo*. Quito: Uiversidad Internacional SEK.
- Velilla, W., Mendoza, R., & Gonzalo, T. (2012). Análisis estructural mediante simulación IAO en una estructura de carga y su validación. *INGE CUC, vol 8*, 231-240.
- Villarruel, A., Rocha, J., Llanes, E., & Martínez, J. (2021). Multi-criteria decision making for lower bumper stiffener material change in a sports utility vehicle with CAE simulation. *Int. J. Mathematics in Operational Research*, Vol. 18, pp. 187-209.
- Yan, L., Kasal, B., & Huang, L. (2016). A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. *Composites Part B* 92, 94-132.
- Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2010). A new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making. *Technological and Economic Development of Economy*, 16(2), 159-172.