

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Ingeniería mecánica automotriz

Selección y simulación de materiales de cambio de fase para automoción.

Mario Andrés Cabrera Villalba

Nota del autor

Mario Andrés Cabrera Villalba, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería,
Universidad Internacional SEK.

Director Ing. Javier Martínez, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

mcabrera.mec@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Mario Andrés Cabrera Villalba, con cédula de identidad 175033953-1, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y que 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.

MARIO ANDRES CABRERA VILLALBA
C.I.: 175033953-1

Índice de contenido

Declaración Juramentada	2
Índice de contenido	3
Índice de tablas	4
Índice de figuras	7
Resumen	9
Introducción.....	10
Planteamiento del problema	17
Problema.....	17
Objetivos.....	18
Análisis Multicriterio (MCDA).	19
Técnicas para el análisis multicriterio.....	21
Estado del arte.	25
Materiales de cambio de Fase (PCM)	25
Aplicaciones de PCM.....	29
Clasificación de PCM	30
Almacenamiento térmico	31
Aplicación de los materiales de cambio de fase.	33
Materiales aislantes.	34
Simulación térmica	36
Demostrativo de simulaciones térmicas con la presencia de PCMs.	38
Confluencia o convergencia de resultados	40
Método	40
Diagrama de procesos.	40
Selección de materiales.	52
Metodo de ponderacion o pesos.	55
Metodo AHP para pesos ponderados	55
Métodos multicriterio.....	59
Método Vikor.....	59
Método Topsis.	61
Metodo COPRAS.....	63

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Selección por índices de Ashby	65
Coefficiente de correlación de Spearman	69
Simulación.....	71
Condiciones de simulación.....	72
Proceso de la simulacion.....	72
Resultados	85
Resultados metodos de ponderacion	85
Resultados métodos multicriterio	89
Resultados del método VIKOR	89
Resultados del método Topsis.....	95
Resultados Método COPRAS.....	104
Resultados selección mediante aproximación de Ashby.....	113
Selección del material	115
Resultados correlación de Spearman.....	115
Resultados de la simulación.....	117
Discusión de resultados.....	123
Conclusiones.....	127
Recomendaciones	129
Bibliografía.....	130

Índice de tablas

Tabla 1:Formato de Matriz decisional. (Arancibia, 2016).....	23
Tabla 2:Propiedades (con definiciones) de materiales aislantes más usados. (Palomo, 2017)	35
Tabla 3:Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)	48
Tabla 4:Datos más importantes sobre las parafinas. (Mayayo, 2012).....	53
Tabla 5:Datos relevantes sobre las sales hidratadas. (Mayayo, 2012).....	53
Tabla 6:Criterios a tomar en cuenta para poder realizar la matriz del método AHP	55
Tabla 7: Escala numérica método AHP.....	56
Tabla 8:Valor de DQ.....	61

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 9: Selección de materiales beneficios y no beneficioso.	63
Tabla 10: Materiales a usar en la aproximación de Ashby	68
Tabla 11: Condiciones de frontera para la simulación.....	74
Tabla 12: Características del material de cambio de fase del plástico elastómero PPS Tecatron PVX black (Ensigner, 2019).....	74
Tabla 13:Características PCM seleccionado. (Rastogi, 2014)	75
Tabla 14: Matriz normalizada ponderación de pesos.	85
Tabla 15: Valores obtenidos para la matriz normalizada.....	86
Tabla 16:Pesos ponderados de cada criterio.....	86
Tabla 17:Resultante multiplicación de matrices.....	87
Tabla 18: Resultados del cálculo de consistencia.....	87
Tabla 19:Resultados del método AHP para el cálculo de pesos ponderados.....	87
Tabla 20: Valores S_o obtenidos de la matriz de decisión.	89
Tabla 21:Valor de DQ.....	93
Tabla 22: Valores máximos y mínimos de S_i y R_i	93
Tabla 23:Valores de S_i , R_i , Q_i y Rankin de mayor a menor de los valores finales de VIKOR.	93
Tabla 24:Ranking VIKOR.....	95
Tabla 25: Matriz normalizada para método TOPSIS.....	96
Continuación tabla 25: Matriz normalizada para método TOPSIS	97
Continuación tabla 25: Matriz normalizada para método TOPSIS	98
Tabla 26: Matriz ponderada.....	99
Continuación tabla 26: Matriz ponderada.	100
Continuación tabla 26: Matriz ponderada.	101
Tabla 27: Valores máximos y mínimos de cada criterio.....	102

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 28: Resultados y ranquin del método TOPSIS.	102
Tabla 29: 5 mejor materiales según TOPSIS.	104
Tabla 30: Matriz normalizada método COPRAS.	105
Continuación tabla 30: Matriz normalizada método COPRAS.	106
Continuación tabla 30: Matriz normalizada método COPRAS.	107
Tabla 31: Matriz ponderada del método COPRAS.	108
Continuación tabla 31: Matriz ponderada del método COPRAS.	109
Continuación tabla 31: Matriz ponderada del método COPRAS.	110
Tabla 32:Tabla de Valores para S + i, S - i y S-min/S-i respectivamente.....	111
<i>Tabla 33: Valor designado de S – min.....</i>	111
<i>Tabla 34: Valores finales del método COPRAS.</i>	112
Tabla 35:Materiales con mejor puntuación del método COPRAS.....	113
Tabla 36: Resultados MCDM.....	113
Tabla 37: Resultados aproximación de Ashby.	114
Tabla 38: Resultados correlación de Spearman.....	115
Tabla 39: Características material seleccionado por MCDM.....	116
Tabla 40:Características del material del tablero.....	118
Tabla 41:Características térmicas del material seleccionado para la simulación.	119
Tabla 42:Resultados tabulados de la simulación.	121
Tabla 43:Temperaturas resultantes de la simulación sin PCM.....	122
Tabla 44: Resultados tabulados de las simulaciones.	122

Índice de figuras

Figura 1: Estudios sobre PCM y otros materiales en almacenamiento termo-químico..	27
Figura 2: Clasificación de materiales de cambio de fase. (Sharma, 2007)	31
Figura 3: Simulación térmica realizada en inventor. (CAD, 2016).....	38
Figura 4: Ejemplo de modelización térmico-fluida que se realizó de la cámara de ultracongelada alimentaria	39
Figura 5: Método de obtención del material adecuado.....	41
Figura 6: Formas de almacenamiento térmico de energía. (Moscoso, 2016)	42
Figura 7: Comparación de la capacidad de almacenamiento de calor en diferentes materiales. (Moscoso, 2016).....	43
Figura 8: Grafico de selección de criterios.....	46
Figura 9: Panel frontal de un vehículo sin extras.	73
Figura 10: Medidas del modelo de tablero usado en la simulación.....	73
Figura 11: Panel frontal Aveo family (TecnoAutos, 2010)	75
Figura 12: Geometría del tablero con el material seleccionado	76
Figura 13: Material y color aplicados al tablero.....	76
Figura 14: Geometría del PCM	76
Figura 15: Generación de un nuevo material en inventor.	77
Figura 16: Aplicación del material generado a la geometría.....	77
Figura 17: Ensamble del contenedor de PCM y la estructura del tablero.....	78
Figura 18: Ensamble desde otra perspectiva.	78
Figura 19: Tablero de vehículo en el programa Autodesk Fusion 360 listo para la simulación.	79
Figura 20: Zona del tablero que se verá expuesto a la variación de la temperatura por radiación.	80

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Figura 21:Tablero con cargas de temperatura aplicada de 30°C.....	80
Figura 22: Mallado usado en la simulación térmica.....	81
Figura 23:Simulacion con contactos automáticos aplicados en la simulación.....	82
Figura 24:Simulación en proceso.	82
Figura 25: Actividad térmica durante la simulación sobre el tablero.....	83
Figura 26:Vista superior durante la simulación del tablero.....	83
Figura 27:Actividad térmica en el PCM	83
Figura 28: Tablero sin PCM.....	84
Figura 29:Grafico de los valores obtenidos en los métodos de ponderación	88
Figura 30: Simulación térmica vista angular.....	119
Figura 31: Simulación térmica vistas superior del tablero.....	119
Figura 32:Simulación térmica vista del PCM	120
Figura 33:Tablero sin PCM.....	121
Figura 34: Comparación visual de las simulaciones (con PCM vs sin PCM).....	122

Resumen

Dentro del habitáculo de un vehículo debido a las temperaturas que se pueden presentar en el ambiente se podría llegar a situaciones muy extremas dentro del vehículo, estas temperaturas pueden ir desde los 27 °C hasta los 40 °C, estas irán variando, debido a esto se han generado diversos estudios en los cuales como objetivo se tiene el encontrar al confort térmico, esto se consigue mediante el estudio y aplicación de diversas nuevas tecnologías con diversos materiales que tienen como objetivo controlar la temperatura que se da dentro del habitáculo del vehículo sin importar si las temperaturas externas sea extremadamente altas o bajas.

En este estudio se presenta la selección y simulación de materiales de cambio de fase que pueden ser aplicados en la automoción, la selección de estos materiales de cambio de fase se hará mediante métodos multicriterio con el objetivo de mejorar el confort térmico que se puede tener en un vehículo promedio, además de lograr minimizar el uso excesivo del aire acondicionado, todo esto sin importar si las condiciones climáticas del exterior del habitáculo sean extremadamente altas o bajas.

Estos estudios y aplicaciones de diferentes métodos se aplican con un único propósito el cual es tener el control de la temperatura interna del habitáculo.

El análisis multicriterio se encarga de ubicar al mejor material para la tarea tomando en cuenta a las características principales necesarias para cumplir el objetivo las cuales en este caso son calor latente, densidad, punto de fusión.

En la actualidad es muy importante la salud y el confort del usuario en su ambiente de trabajo ya sea en una oficina o en el caso de este archivo un vehículo, es por eso que se

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

basa en esto, tratando de encontrar las condiciones adecuadas para que el usuario se sienta en confort mientras realiza cualquier actividad dentro del habitáculo del vehículo.

Gracias al análisis multicriterio se logra localizar un material adecuado para cumplir la tarea de sistema de almacenamiento térmico, para posteriormente realizar simulaciones en el programa Fusion 360 con el mismo donde se lo coloca en la parte trasera del tablero frontal, donde se comprueba la funcionalidad del material “**savENRG PCM-HS24P**”. Este material logra almacenar el exceso de calor que se presenta en el tablero del vehículo de manera que se obtiene temperaturas más estables en el interior del habitáculo, siendo así este archivo un apoyo para el desarrollo del confort térmico en automóviles y a su vez en la reducción de contaminantes generados por los sistemas de calefacción y aire acondicionado del vehículo.

Introducción

Los materiales de cambio de fase (PCM) son usados en varias aplicaciones en diferentes campos tecnológicos, la aplicación de estos ha mejorado cada vez más con el pasar de los años, como consecuencia esto permite el desarrollo de diferentes PCM y nuevas aplicaciones de estos.

En la actualidad el desarrollo de diversas tecnologías y materiales en el área automotriz se centra en la conservación del ambiente, por ende, esto involucra a diversos aspectos que afectan al mismo. Para lograr alcanzar la reducción de contaminación en la parte automotriz es necesario reducir diversos aspectos tales como generar menos uso de recursos no renovables y renovables para la continua fabricación de partes en masa, la reutilización de materiales reciclables y el desarrollo de materiales que se consideren no dañinos para el medio ambiente (Leguisamo, 2017). Los PCM son un material que podría ayudar de gran manera a solventar problemas que afectan al medio ambiente generados por sistemas de climatización usados en el área automotriz. Los materiales de

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

cambio de fase son capaces de controlar distintas temperaturas generadas en diferentes componentes del vehículo sin tener que depender del uso de sistemas de enfriamiento como aire acondicionado. Debido a que este sistema de enfriamiento depende de la energía del motor, como consecuencia el consumo de combustible del vehículo se aumenta emitiendo mayor cantidad de gases contaminantes al entorno. (Lara, 2001)

Un control efectivo de la temperatura dentro del habitáculo del vehículo, sin la necesidad de usar algún control electrónico o energía que provenga de sistemas del motor del vehículo es una muy efectiva solución para el problema del exceso de emisiones que contaminen el medio ambiente y a su vez generen un uso excesivo del aire acondicionado (Washington, 2018).

Teniendo en cuenta esta aplicación es necesario realizar diversas investigaciones sobre los diferentes PCM y como estos puede ser usados como sistemas de almacenamiento térmico dentro del habitáculo del vehículo para conseguir un control efectivo de la temperatura del vehículo (Bielsa, 2011).

La hipótesis de esta investigación es generar un recubrimiento ya sea interno o externo de un material de cambio de fase para poder eliminar esa acumulación de calor generada en el habitáculo del vehículo generando un ambiente mucho más cómodo garantizando de esta manera confort y evitando daños a la salud del usuario.

Los materiales de cambio de fase tienen ese nombre ya que por el cambio de estado ya sea de líquido a sólido o viceversa este puede liberar una gran cantidad de energía térmica. Esto se debe a que estos materiales acumulan una gran cantidad de energía en forma de calor latente de fusión. Debido a esta propiedad se considera que son materiales adecuados para su uso en aplicaciones de calefacción o refrigeración. (David García Sanoguera, 2012)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Los materiales de cambio de fase son los responsables de brindar una gran cantidad de ahorro energético en diferentes sistemas que ayudan a controlar la climatización en un espacio determinado, esto se debe a que aportan inercia térmica al material que se encuentra en el caso de ser usado en el campo de la arquitectura recubriendo el edificio o en el caso de que sea usado de ser usados en diferentes elementos generados para el campo de la automoción el ya mencionado ahorro energético se genera debido a que mientras los PCM realizan cambio de fase van absorbiendo o liberando energía según sea necesario dependiendo de las condiciones térmicas ambientales, para que así la temperatura dentro del habitáculo del vehículo sea constante. (ARQUITECTOS., 2017)

Actualmente en el mercado existe una muy rápida comercialización de materiales de cambio de fase (PCM) los cuales se usan para aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Mediante el uso de estos materiales se buscó optimizar la fluctuación térmica ambiental, actualmente existe una amplia lista de materiales térmicos puestos para su uso en HVAC, es por eso que resulta crucial seleccionar el material preciso para la tarea. (Monisha Rastogi, 2014).

Los automóviles actuales usan más vidrio que nunca ya que esto ayuda a una mejor visibilidad y a su vez brinda una excelente estética, mientras esto brinda nuevos avances y diseños a la vez también significa un mayor acceso de energía solar en el vehículo provocando daños por exposición de luz ultravioleta tanto al vehículo como a los ocupantes del mismo. Mantener el habitáculo fresco se facilita mediante el escoger el vidrio adecuado y brindarle un recubrimiento que ayude a enviar el exceso de calor fuera del mismo. Dando una combinación de eficiencia y diseño excelente para el vehículo y sus ocupantes. (Gobain, 2013)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En Ecuador es muy necesario poder contar con estudios en los cuales se confirme el uso bien justificado de nuevos materiales y tecnologías que logren mejorar de gran manera a la industria automotriz, sin embargo, no existe el suficiente interés en el tema para poder ampliar esta mejora en esta industria tan usada en el país, estas investigaciones podrían ayudar a ampliar el conocimiento de nuevos compuestos que puedan ser capaces de ser usados en nuevas aplicaciones de la industria y mejorar usos ya establecidos con el único propósito de mejorar la industria automotriz generada en el Ecuador.

Específicamente en esta investigación se busca ampliar el conocimiento para poder desarrollar compuestos nuevos que sean generados a base de materiales de cambio de fase para poder mejorar las diferentes aplicaciones de almacenamiento térmico donde pueden ser usados estos materiales de cambio de fase.

Esta investigación se genera a base de la necesidad de poder obtener información importante de los materiales de cambio de fase usados en el almacenamiento térmico, la intención es que sea usado como una base para siguientes investigaciones donde se pueda ampliar al campo practico todo lo estudiado y simulado, además podría ser considerado como una base de datos que puede ser aplicado en diferentes avances en el uso de materiales de cambio de fase.

El aspecto principal de este estudio es encontrar el material que genere la posibilidad de controlar la temperatura de un componente externo, esta selección se dará por medio de métodos multicriterio de selección (MCDM), estos métodos permiten por medio de calificaciones y ponderación elegir un PCM ideal para esta aplicación entre una lista de materiales candidatos (Monisha Rastogi, 2014). Una vez el material ya haya sido seleccionado se realiza una simulación térmica del mismo acoplado al tablero del

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

vehículo, mediante el uso del software de AutoDesk Fusion 360, con el propósito de obtener resultados de su comportamiento.

Al momento de buscar un material entre un grupo de candidatos con grandes características para poder desempeñar una función en específico como en este caso es funcionar como un sistema de almacenamiento térmico es importante usar uno o más métodos de selección consistentes para mantener seguridad de que el material elegido sea el ideal. En el estudio “Selection and performance assessment of Phase Change Materials for heating, ventilation and air-conditioning applications” de (Rastogi, 2014) se selecciona un material de cambio de fase usando métodos de selección multicriterio (TOPSIS), método de la aproximación de Ashby y Pareto. Como resultado de esta investigación se manifiesta que la inclusión de métodos de selección multicriterio para elegir materiales de cambio de fase es una confiable, rápida y económica manera de elegir un PCM para una determinada aplicación.

En el estudio “Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment” de (Beltran, 2019) busca un material de cambio de fase ideal para construir tablero de pared basándose en los efectos del ambiente. Para la selección del PCM se usó métodos multicriterio tales como COPRAS, TOPSIS Y VIKOR tomando en cuenta diferentes criterios, donde los MCDM llegaron a tener ciertas discrepancias ya que algunos factores no fueron tomados en cuenta, sin embargo, se demostró la efectividad de los PCM en esta aplicación.

El investigador (M.E, 2012) en su documento “Selection and characterization of recycled materials for sensible thermal energy storage” selecciona entre materiales reciclados los que muestra mejores prestaciones para ser usados para el almacenamiento térmico, realizando la selección mediante la base de datos del software de Cambridge

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

education (CES), demostrando que estos materiales tienen un amplio potencial para poder ser usadas en aplicaciones de almacenamiento térmico.

En el estudio “Modeling of passive thermal management for electric vehicle battery packs with PCM between cells” de (Javani N, 2014) se selecciona un material de cambio de fase el cual genera un sistema de control térmico pasivo. El PCM se coloca entre dos láminas de espuma separando las celdas de litio. Mediante la simulación de baterías separadas por láminas de espuma con cera n-octadecano entre ellas generando aislamiento térmico. De esta manera se demuestra que la capacidad térmica de los PCM específicamente la cera n-octadecano es ideal para su uso en sistemas de manejo térmico.

Existen diferentes métodos para la selección de materiales de cambio de fase. (Khare.S, 2013) en su investigación “Selection of materials for high temperature sensible energy storage” selecciona un material para altas temperaturas mediante el software CES edupack demostrando la eficiencia del uso de software de selección para materiales al momento de buscar un material para ser expuesto a muy altas temperaturas.

Al momento de seleccionar un material para almacenamiento térmico es importante tomar en cuenta si este material será usado a largo o corto plazo. (A.I, 2010) en su investigación “Selection of materials with potential insensible thermal energy storage” habla sobre la selección de materiales potencialmente aplicables en el almacenamiento térmico. Aquí se toma en cuenta el hecho de que miles de materiales han sido descubiertos en el pasar del tiempo, para seleccionar los materiales más óptimos el autor usó el método de Ashby para dar una mejor idea del uso de materiales para el almacenamiento térmico. El autor determinó que la aplicación del método Ashby para la selección permite aplicar diferentes tipos de objetivos y restricciones del uso para poder

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

evaluar los materiales más usados en el campo de la ingeniería para el campo de almacenamiento térmico.

La necesidad de encontrar el mejor material para cada aplicación genera una investigación para cada una de ellas, sin embargo, la meta es encontrar materiales que resulten eficientes y cómodos para el consumidor. (Maldonado, 2018) en su investigación “Phase Change Material Selection for Thermal Energy Storage at High Temperature Range between 210 °C and 270 °C” realiza la selección de un PCM que trabaje entre los 210 °C - 270 °C, aquí el busca la solución más económica y practica para la aplicación deseada. El autor manifiesta que para poder encontrar un material efectivo para la aplicación deseada es importante realizar una investigación a fondo donde los criterios principales sobresalgan de los demás brindando los resultados deseados de la investigación.

Para realizar una selección de material de manera adecuada los criterios a tomar en cuenta son importantes ya que de ellos depende si la función para la cual se necesita el material se ejecute o no adecuadamente. (Ashby, 2011) en su libro “Materials selection in mechanical design” manifiesta en el capítulo 5 que la selección de un material para el diseño mecánico debe evaluar sus diferentes atributos para definir si cumple con las características necesarias para la función que va a desempeñar.

La selección de materiales de cambio de fase debe tomar en cuenta una amplia variedad de métodos de selección multicriterio. (Mendez, 2016) en su investigación “Almacenamiento térmico PCM para su uso en un sistema de aislamiento térmico automotriz.” Usa 5 métodos de selección multicriterio los cuales son Pugh, VIKOR, TOPSIS, DOMINIC y PROMOTHEE 2. Al usar una amplia variedad de MCDM el material seleccionado tendrá mejor sustento de selección ya que tendrá el apoyo de una

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

selección más amplia de criterios. Donde como resultado de la selección el PCM orgánico, la parafina fue el material que cumplió con las características que (Mendez, 2016) necesita las cuales se corroboraron con una simulación térmica exitosa.

Planteamiento del problema

Problema

En el Ecuador el uso de materiales de cambio de fase como aislamiento térmico es muy escaso, normalmente solo se usa en el área de la construcción, ya que es aquí donde los materiales de cambio de fase pueden cumplir con su función de aislantes térmicos de manera excepcional, además de otros usos extras tales como el aislamiento acústico, pero, existen muchas más aplicaciones que se pueden brindar a los materiales de cambio de fase, en esta ocasión la aplicación que se estudiara será en el campo automotriz, en este campo su necesidad se basa en que es necesario brindarle un control sobre la temperatura del habitáculo al usuario sin que este deba depender necesariamente del aire acondicionado y calefacción.

Estas son las razones por las cuales se cree que es necesario ampliar las investigaciones en el Ecuador sobre este tema ya que sería de gran ayuda contar con ellas para poder brindar cada vez investigaciones más a fondo del tema mejorando sustancialmente el tipo de aislamiento térmico y la vez de manera adicional el acústico en el campo de la automoción que pueden ser generados gracias a una apropiada aplicación de materiales de cambio de fase de cualquier tipo sean estos orgánicos o inorgánicos, los cuales deben ser seleccionados de la mejor manera logrando así conseguir el material más adecuado para una determinada aplicación.

Esta investigación resulta innovadora en comparación a otras investigaciones sobre el tema ya que consta de una amplia selección de materiales de cambio de fase más usadas

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

en la actualidad entre los cuales se seleccionará al más adecuado para esta aplicación.

Esta selección se realizará por medio de métodos de selección multicriterio que posteriormente serán analizados por medio de métodos de selección basados en índices de funcionalidad (método Ashby), este análisis se considera de gran utilidad ya que brindaran datos más precisos de si el material que brinda seleccionado por métodos de selección multicriterio en verdad es el indicado para cumplir con este objetivo. La selección será corroborada por medio de una simulación térmica la cual reflejará si el material cumple con la función requerida. Este archivo se diferencia de investigaciones previas donde la comparación es mucho más simple entre una menor cantidad de materiales y sin comparaciones entre diferentes métodos.

Objetivos

Objetivo general:

Identificar un material de cambio de fase capaz de almacenar energía térmica en la parte trasera del tablero por medio de métodos de selección multicriterio, selección por índices y correlación de Spearman para así conocer si los materiales de cambio de fase ayudan a generar confort térmico en el interior del habitáculo de los automóviles.

Objetivos específicos:

- Buscar un material que resulte practico para una capa en la parte interna del tablero frontal del vehículo, mediante simulación térmica con el propósito de analizar si el material escogido es adecuado para ser usado en un sistema de control térmico con el fin de aportar en la investigación sobre el confort térmico ideal en habitáculos de automóviles.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Evaluar las características de los materiales mediante comparaciones usadas en los métodos multicriterio con el fin de seleccionar el materia adecuado para satisfacer el rendimiento térmico necesario para esta investigación.

La calidad del confort térmico es importante en cualquier tipo de actividad que se realice ya sea está en una edificación (oficinas o despachos) o en vehículos (taxi o camiones), ya que por la falta de calidad en el confort térmico que se generan problemas de salud y poca conformidad por parte de los trabajadores. Estos problemas de salud y de conformidad se generan debido a un ambiente térmico no óptimo y una ventilación ineficiente, además de que grandes condiciones en el habitáculo del vehículo ayuda a cuidar de la salud de los usuarios del automóvil.

Análisis Multicriterio (MCDA).

El análisis Multicriterio (MCDA) es una herramienta que resulta ser bastante útil al momento de la toma de decisiones, sobre todo en el momento de la planificación, ya que esto permite integrar diferentes criterios según el pensamiento de diferentes participantes en un mismo espacio de trabajo.

Los métodos de análisis multicriterio se forman en el campo de las ciencias económicas y de la ingeniería industrial. Estos métodos de análisis se desarrollaron en la década de los 60 y en la década de los 70, aquí fue donde se experimentó una muy importante mejora hasta considerarse una herramienta de uso científico. (EcuRed, s.f.)

El MCDA se usa en diferentes áreas, entre las cuales destaca la ingeniería particularmente ya que esto permite que se pueda usar criterios, identificados y

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

ponderados dependiendo de su relevancia de esta manera se puede mejorar la eficacia, eficiencia y seguridad en la toma de decisiones.

El objetivo principal de este tipo de análisis es generar una evaluación y comparación entre diferentes materiales (en el caso de este archivo) de una manera estandarizada, objetiva, sistemática y eficiente. Este método permite orientar tomando como base varios criterios de los diferentes participantes del proyecto buscando como resultado la resolución del problema mediante su simplificación. (Fuente, 2018)

Todos los seres vivos tienen cierta capacidad de decisión, esta capacidad es la que nos condiciona a la hora de encarar diferentes situaciones, sin embargo, lo que diferencia a los seres humanos es la capacidad con la que se cuenta para poder plantear y evaluar los problemas que se desea solucionar. Mientras que en el caso de los animales se realiza una selección intuitiva y simple los seres humanos tomamos en cuenta diversos factores que podrían afectar a la decisión tomada ya sea de manera positiva o negativa. Es importante tomar en cuenta que todas las decisiones tienen un grado de complejidad e importancia distinto ya que no es lo mismo seleccionar un par de zapatos que seleccionar el material que será usado para fabricarlos tomando en cuenta todo lo que podría pasar si esa decisión llegara a ser errónea. (Herce, 2017)

Tomando en cuenta el ámbito económico y empresarial las decisiones de igual manera cuentan con cierta importancia dependiendo de lo que conlleve la toma de esa decisión, las diversas instituciones tienen la obligación de tomar diversas decisiones para poder de esta manera mejorar de manera constante. Por la globalización durante las últimas décadas, las diferentes empresas y entidades optan por poseer un centro de decisiones que sea ágil y eficaz, ya que si este proceso no se realiza de manera correcta un error podría considerarse como el fracaso total de la empresa, pero si las decisiones tomadas

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

son eficaces, adecuadas, flexibles y adaptativas la empresa de esta manera garantiza su existencia, además de ahora contar con ventajas competitivas sobre todas las demás sin contar que estas ventajas serán difíciles de imitar para sus competidores.

Según (Herce, 2017) hace algunos años las empresas tenían la oportunidad de salir adelante con estrategias muy simples y que carecen de dinámica, como son los modelos de gestión basados en la continuidad además de tradicionales para la toma de decisiones, las ventajas que se tenía de un competidor a otro eran mínimas, la competencia no se consideraba agresiva, esto generaba una falta de competitividad ya que el cambio en las estrategias era casi nulo. En la actualidad el entorno económico se ha vuelto cada vez más competitivo, esto se debe a la necesidad de adaptarse y continuar, en un ambiente totalmente dinámico y competitivo, donde la mejora y el cambio constante es un factor esencial si se está buscando el éxito, de aquí parte la idea de tomas de decisiones por diferentes medios ya que la solución de problemas se da dependiendo de la complejidad del mismo.

Es por eso la necesidad del uso de métodos de selección confiables ya de ellos dependen las diferentes decisiones que se tomen para el constante desarrollo de la entidad, empresa o investigador que lo estén usando, es por esto que se considera que la principal importancia de los métodos de selección multicriterio en este archivo se basa en brindar una visión general y práctica de la efectividad al momento de usar métodos de análisis multicriterio en la selección del material para este proyecto de tesis.

Técnicas para el análisis multicriterio.

Todos los procesos que conllevan una decisión inician estableciendo cual es el problema y como este problema se puede solucionar de la mejor manera, con esto cada una de las soluciones usan criterios o un criterio referencial, con estos se desarrollan soluciones

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

matemáticas que ayudan a identificar soluciones para el problema, siempre basándose en un objetivo el cual se debe alcanzar mediante estos métodos.

La estructura para la decisión debe constar de sólidos desde un punto lógico, además de que es recomendable que se tome en cuenta varios criterios para poder tener una solución basada en varios puntos más sólidos lo que convierte a esta solución en una alternativa mucha más sólida en comparación a una que solo toma un punto para poder comparar.

Las técnicas de análisis multicriterio se generaron en el siglo XX, en ese tiempo se usaban métodos de análisis unicriterio, sin embargo cerca de los años 50 se empezó a optar por el uso de los modelos multicriterio tales como el método de Koopmans que se remonta al año 1951 en el cual para su desarrollo se opta por concepto de vectores eficiente, este método es considerado como la base de la nombrada “revolución multicriterio”. (Quintero, 2013)

Otros fundadores de los métodos multicriterio como Cooper y Ferguson en el año 1955 prefirieron optar por principios de la programación por metas.

El investigador Milton Friedman en 1962 en un texto que titula “Teoría de los precios” demuestra que existe diferentes tipos de problemas los cuales son los tecnológicos y económicos, normalmente en los tecnológicos existe solo un criterio a diferencia de los económicos que cuentan con múltiples criterios, pero existen ocasiones en las cuales en un análisis tecnológico existan varios criterios como es el caso de este archivo donde se busca un material óptimo para ser usado como almacenamiento térmico.

El señor Vitoriano en el año 2007 señala que los distintos métodos de análisis multicriterio se clasifican dependiendo del conjunto de alternativas o criterios que se vaya a considerar al momento de buscar una decisión óptima.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Si se considera una cantidad de alternativas de selección infinitas se considera que el método de selección tendrá un carácter continuo, pero, si el decisor cuenta con un conjunto de alternativas finito se considera que es de carácter discreto. En esta investigación se usará un numero de materiales candidatos fijos, por esto se usará métodos multicriterio discretos.

Técnicas multicriterio discretas

En los métodos multicriterio discretos se usa una serie de conceptos que ayudan a que se mejore su comprensión. Se debe destacar las diferentes alternativa que tendrá el decisor estas se representan mediante un conjunto de m puntos ($E_1, E_2, \dots E_m$). Los atributos o criterios que se deben tomar en cuenta se representan mediante una cantidad de n puntos ($A_1, A_2, \dots A_n$). El conjunto de alternativas o criterios deben encontrarse agrupados en una matriz de m x n ($R_{11}, \dots R_{mn}$), esta matriz representa los resultados que se han alcanzado por cada una de las alternativas con relación a cada uno de los criterios, a esta matriz se la conoce como “Matriz decisional” y es de donde todos los métodos de análisis multicriterio comienzan. (Arancibia, 2016)

Tabla 1:Formato de Matriz decisional. (Arancibia, 2016)

		Atributos			
		A1	A2	Aj	An
Candidatos	E1	R11	R12	R1j	R1n
	E2	R21	R22	R2j	R2n
	Ei	Ri1	Ri2	Rij	Rin
	Em	Rm1	Rm2	Rmj	Rmn

Existen métodos discretos que serán usados para poder seleccionar el material adecuada para ser usado en esta investigación para este propósito se usarán:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Método de ponderación lineal (obtención de pesos para los demás métodos)
- Método AHP (método de ponderación usada para la obtención de pesos)
- Método Vikor
- Método Topsis
- Método Copras

Método de ponderación lineal: El método de ponderación lineal permite a quien lo use abordar distintas situaciones de incertidumbre sin importar si se cuenta con un alto o bajo nivel de conocimiento del tema, para poder usar este método se considera importante brindar una función a cada característica, este valor debe ir del 1 al 5 según su importancia de manera ascendente y de igual manera calificar a cada uno de los materiales en el porcentaje de aportación que cuentan en dicha característica.

En este caso los métodos de ponderación serán usados para poder obtener los pesos de cada uno de los criterios a evaluar. (EcuRed, s.f.)

Método Vikor: Vikor es un método que se usa para la toma de decisiones multicriterio, este método fue desarrollado originalmente por Serafim Opricovic y fue usado para resolver problemas de decisión donde existan diferentes tipos de unidades que se encuentren en conflicto, este método busca una solución lo más cercana a la ideal, aquí se evalúan las diferentes alternativas que existen conforme a todos los criterios que esten establecidos. El nombre del método Vikor se generó en 1990 del serbio ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje, esto significa: optimizacion multicriterio y la solución de compromiso. (Qwe, 2015)

Método Topsis: El método Topsis es un método de selección multicriterio que fue desarrollado por Hwang y Yoon, cuyos avances fueron complementados por Zeleny, este método busca establecer un orden de todas las posibles alternativas usando la idea

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

de la distancia a la alternativa ideal y la alternativa anti ideal, mediante un índice de similitud o de proximidad relativa construida basada en la proximidad ideal positiva y la lejanía con respecto al ideal negativo. (Godoy, 2015)

Método COPRAS: El método copras asume dependencias directas y proporcionales dependiendo de la importancia y la utilidad de cada una de las opciones que estén disponibles dependiendo de los criterios que se esté tomando en cuenta, este método considera el rendimiento de cada opción con diferentes criterios que son evaluados al mismo tiempo, para esta consideración se basa en el peso que tiene cada uno de los criterios del análisis. Este método selecciona la opción más conveniente dependiendo de las soluciones ideales y las no ideales. En la actualidad este método se aplica con éxito en la resolución de varios problemas en el campo de la construcción y la administración de propiedades, campo de la medicina y de la ingeniería teniendo resultados alentadores y de alta precisión. (Roy, 2019)

Estado del arte.

Materiales de cambio de Fase (PCM)

Los materiales de cambio de fase o PCM (Phase Change Materials), son materiales capaces de absorber energía térmica llegando así a tener un cambio de fase ya sea este cambio de sólido a líquido a gaseoso o cualquier variante. Entre los diferentes cambios de fase el que más destaca es el cambio de sólido a líquido ya que este tipo de cambio es el más usada para tratar de buscar confort térmico en aplicaciones como en edificaciones como en vehículos. (Gonzales, 2017)

Los materiales de cambio de fase cuentan con una amplia variedad de usos en el cambio de la automoción, un ejemplo serio que cuando el vehículo se está conduciendo, los

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

PCM almacenan el frío proveniente del aire acondicionado. Durante momentos en los que el vehículo se encuentra inmóvil como en un semáforo por ejemplo este aire es liberada e impulsado por un ventilador con el único fin de que se mantenga el confort térmico dentro del vehículo a todo momento. Otra aplicación muy útil es la de almacenar el calor generado por el vehículo para poder mejorar el siguiente arranque en frío esto a largo plazo ayuda a aumentar la vida útil del motor ya que en los arranques en frío se generan menos daños además de que reduce el consumo de combustible.

(Moscoso, 2016)

Los materiales de cambio de fase son sustancias que necesitan una gran cantidad de energía para poder cambiar de fase (sólido – líquido o viceversa) el calor que se usa para este efecto es aprovechable al momento de devolverlo cuando se necesite. (Oliver A. , 2012)

Existen diferentes estudios publicados sobre el PCM y otros métodos de almacenamiento energético. En la siguiente imagen se muestra un cuadro del almacenamiento termoquímico (Thermochemical Storage).

La nomenclatura que se usa en la siguiente imagen es:

- PCM: Materiales de cambio de fase o en inglés Phase Change Materials
- CONC: Hormigón (Concrete)
- MS: Sales fundidas (Molten Salt)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

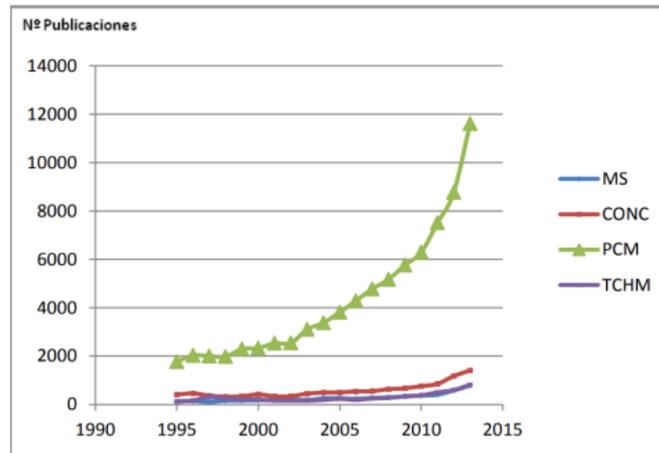


Figura 1: Estudios sobre PCM y otros materiales en almacenamiento termo-químico.

Fuente: (Oliver A. , 2012)l

Los materiales de cambio de fase almacenan calor con el objetivo de evitar pérdidas de por medio de su absorción o en el momento que este se desprende. Por esto los materiales son muy requeridos cuando se necesita almacenamiento de energía térmica. Poseen la capacidad de almacenar calor latente, además de que cuentan con un calor de fusión y temperatura de cambio de fase muy acorde a la necesidad que se presenta en esta investigación. (Varon, 2012)

Los PCM cuentan con la característica de que son capaces de almacenar energía por medio del cambio de fase, manteniendo la energía almacenada den forma de calor latente. Los materiales de cambio de fase poseen aplicaciones industriales, la más importante de ellas es su capacidad de poder aumentar su inercia en cualquier lugar donde se aplique el PCM ya sea en edificios, viviendas o vehículos. (activatie, 2016)

La inercia térmica tiene un propósito importante si se busca el confort térmico en el habitáculo de un automóvil. Si se tiene una inercia térmica lo bastante alta se consigue una temperatura interior más estable, esto se debe al intercambio de energía1

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

que se genera con el medio ambiente, esto dependerá de la conductividad térmica con la que cuenten los materiales, su calor específico y su masa. (activatie, 2016)

Propiedades y características.

Ya que se está buscando un almacenamiento energético que sea óptimo para esta aplicación es importante tomar en cuenta que los PCM deben contar con determinadas características dependiendo de la tarea que vayan a desempeñar, estas características deben ir acorde a los siguientes criterios: (Oliver A. , 2012)

Criterios Termodinámicos:

- El PCM deben contar con:
 - Una temperatura de cambio de fase que trabaje dentro del rango adecuado para la aplicación que se necesita.
- Alto calor latente por unidad de masa, esto ayudar a almacenar una mayor cantidad de energía por unidad de masa del material.
- Alta conductividad térmica.
- Fusión congruente para fundir el material de manera homogénea para que así las fases líquidas y sólidas cuenten con similar composición, ya que si esto no se da la densidad entre ambos estados será muy distinta lo que provocara segregación, como consecuencia se tendrá un cambio dentro de la composición química del material.
- Existencia casi nula de cambio de volumen mientras el material se encuentra en cambio de fase. (Oliver A. , 2012)

Criterio Cinéticos:

- Nula o casi nula existencia de subenfriamiento.
- Tasa de cristalización eficiente. (Bielsa, 2011)

Criterios Químicos:

- Inexistencia de descomposición química o degradado después de varios ciclos de fusión.
- No ser corrosivo para evitar afectar a materiales de encapsulamiento.
- Debe ser no toxico, inflamable ni explosivo.
- Estabilidad química a largo plazo. (Oliver A. , 2012)

Criterio económico:

- Disponibilidad a bajo costo y grandes cantidades.
- Tiempo de vida útil razonable de acuerdo a su valor.
- Reciclable (Bielsa, 2011)

Aplicaciones de PCM

Los materiales de cambio de fase tienen un uso bastante amplio en todas las industrias, sin embargo, en la que más se ha usado es en el campo de la ingeniería Civil y arquitectura donde se usa materiales de cambio de fase como aislantes térmicos, es decir estos materiales cumplen la función de no dejar que el exceso de temperatura ingrese dentro de una estructura o a su vez no salga de la misma.

Actualmente uno de los grandes problemas en una sociedad es la gestión energética y a su vez la contaminación, donde en las grandes ciudades la demanda energética generada por los modernos edificios se considera ya un tema alarmante.

Diversos centros de investigación se orientan en el desarrollo de diversos métodos de sostenibilidad, estos métodos tienen como objetivo reducir el uso de combustibles fósiles, optimizar el uso de la energía y desarrollar nuevas alternativas que sean beneficiosas en este aspecto del ahorro energético. Una de estas alternativas es la

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

climatización pasiva, la cual plantea que mediante el almacenamiento de energía térmica con materiales de cambio de fase se puede reducir el exceso de consumo eléctrico y de combustibles fósiles que generan tanto los calefactores como los sistemas de aire acondicionado (Moscoso, 2016)

La investigadora (Moscoso, 2016) en su investigación “APLICACIÓN DE LOS MATERIALES DE CAMBIO DE FASE EN EL MOBILIARIO INTERIOR COMO REGULADORES DE TEMPERATURA” Señala que en la actualidad se usa a los materiales de cambio de fase como reguladores de temperatura en el sector mobiliario, en lugar de la totalidad del edificio, ya que esto permite que se realicen regulaciones de confort térmico de manera mucho más puntual, ofreciendo así mejoras en el uso de la energía para climatización sin generar mayor consumo energético. Esta investigadora llevo a cabo experimentos sobre el comportamiento térmico en los cuales comparo el comportamiento de dos espacios interiores ubicados en Barcelona – España estos espacios se encontraban expuestos a las mismas condiciones térmicas con la diferencia de que uno se encontraba con una capa de PCM que actuaba como aislante térmico sobre el espacio, estos espacios se encontraban expuestos por 17 días en los cuales se demostró la eficiencia de los PCM y la ventaja que estos brindan al momento de buscar confort térmico sin el uso excesivo de energía eléctrica o de combustibles fósiles. (Moscoso, 2016)

Clasificación de PCM

Existe una gran cantidad de PCM, ya que poseen una temperatura y calor latente dentro del rango deseado, de todas maneras, sin tomar en cuenta esta característica las demás no satisfacen a este propósito. (Sharma, 2007)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la figura 2 se puede observar la clasificación de los materiales de cambio de fase (PCM) (Sharma, 2007)

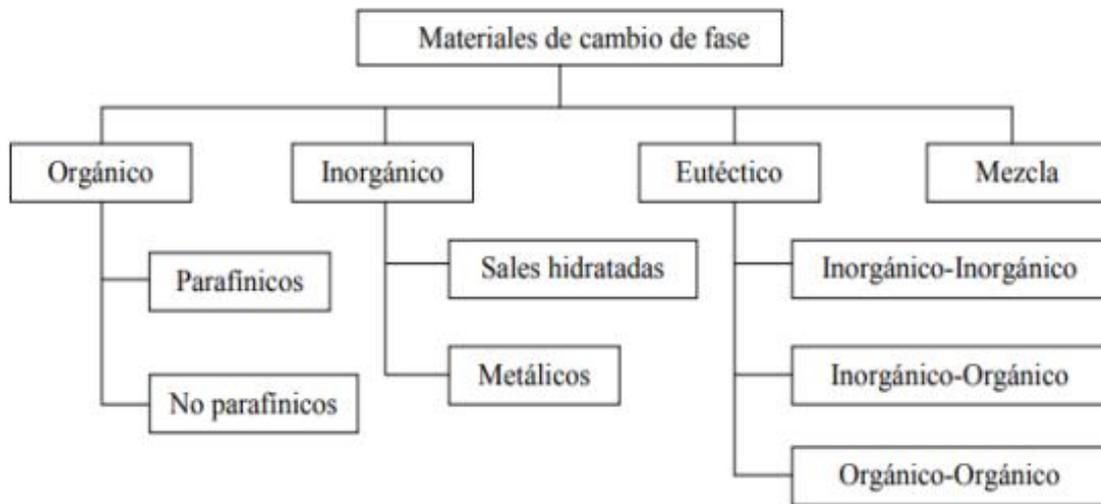


Figura 2: Clasificación de materiales de cambio de fase. (Sharma, 2007)

Almacenamiento térmico

El almacenamiento de energía térmica trata de un método en el cual se acumula energía que aprovecha el calor subiendo o bajando la temperatura de una sustancia o cambiando su fase según sea conveniente. Para alcanzar este método existen dos maneras que permiten la acumulación de energía:

- Calor latente: Representación de la energía necesaria para generar un cambio de fase de una sustancia.
- Calor Sensible: La energía que se necesita para poder producir el cambio de temperatura de una sustancia. (Powell, 2012)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Al usar calor latente se generan ventajas sobre el mecanismo de calor sensible ya que en un pequeño intervalo de temperatura se puede almacenar una mayor cantidad de energía lo que tiene como consecuencia una mayor densidad de la energía.

Cuando se genera un cambio de fase liquido – gaseoso se genera una presenta mayor densidad energética, pero como consecuencia se aumenta el volumen debido a esto resulta más conveniente el cambio solido – liquido. (Powell, 2012)

Este sistema de almacenamiento térmico es de una serie de tecnologías que acumulan energía térmica para luego usarla cuando sea necesario.

Estos sistemas están basados en la capacidad de algunos materiales para absorber el calor y mantenerlo durante un tiempo determinado.

Otro aspecto en el que está basado es su capacidad de revertir las reacciones termoquímicas de estos materiales para absorber o liberar calor según sea necesario.

Los PCM tienen una característica especial la cual es que a medida que el cambio de fase se va dando su temperatura y calor sensible no varían a medida que va absorbiendo. Como consecuencia se genera una mayor densidad energética, tomando en cuenta que los PCM pueden almacenar de 5 a 13 veces más calor por cada unidad de volumen comparados a diferentes materiales como el agua. (Sectoriales., 2012)

En estudios de los materiales de cambio de fase se a llegado a saber que se puede analizar la transferencia de calor durante la fusión, determinando de esta manera su propagación e inclinación de su interfase a lo largo del tiempo. Además, también se estudia su preparación, caracterización y propiedades térmicas que posee este material para el almacenamiento de energía térmica. (Pereza, 2001)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

El estudio de los PCM se centra en el desarrollo para aplicaciones en medias y bajas temperaturas ya que en este campo se busca desarrollar nuevos materiales y sistemas de almacenamiento. (Pereza, 2001).

Aplicación de los materiales de cambio de fase.

Los materiales de cambio de fase tienen un uso muy grande en diferentes industrias tales como la alimenticia, transporte, automotriz, medica, textil, etc. Esto se debe sus grandes propiedades de almacenamiento térmico que ayudan a mejorar diferentes productos de estas diferentes industrias. (Bielsa, 2011)

Específicamente en el sector de la automoción los PCM tienen una gran cantidad de aplicaciones. Un ejemplo es que mientras el vehículo está en movimiento el PCM almacena el frío del aire acondicionado y mientras el vehículo este en espera este aire frío sea impulsado dentro del habitáculo por un ventilador manteniendo así la temperatura del habitáculo a una temperatura justa para un buen confort térmico. (Bielsa, 2011)

Los PCM al realizar el paso de fase de sólido a líquido se consideran sistemas de almacenamiento por medio de calor latente, este es el tipo de almacenamiento térmico más usado en el área de la automoción por sus múltiples aplicaciones.

El aislamiento térmico es un método para mantener la temperatura estable dentro de un determinado lugar este consiste en recubrir una superficie con un material que se considerado aislante con la finalidad de generar una resistencia a diferentes flujos de calor o frío reduciendo lo máximo posible la transferencia de este.

Este proceso tiene como objetivo minimizar lo máximo posible las pérdidas energéticas que se generan debido a la transferencia de calor, además de proteger todo lo que se

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

encuentra en el interior de donde está ubicado el material aislante esto puede ser desde equipos hasta la salud de los usuarios. (Torres, 2012)

Existen diferentes funciones que cumple un sistema de aislamiento, las cuales son:

- Reducción del ruido y la vibración
- Protección anticongelante
- Protección contra incendios
- Disminuye las alteraciones del medio ambiente
- Eficiencia del sistema aumentada
- Protección de la estructura, equipos dentro de la estructura además de personas.
- Proporcionar temperatura estable y control de temperatura. (Torres, 2012)

Materiales aislantes.

Los materiales aislantes son materiales que cuentan con una alta resistencia al paso de calor, evitando que el calor pase al otro lado del material, es por eso que se consideran materiales protectores tanto del frio como del calor.

El aislamiento térmico contribuye a la eficiencia térmica lo que genera eficiencia energética, esto como consecuencia disminuye el consumo energético sin disminuir el confort. (Palomo, 2017)

Los materiales aislantes se clasifican en:

- Granulares: Esta construido por pequeños módulos los cuales tienen espacios vacíos lo que permite el paso de gas entre ellas.
- Celulares: Formado por pequeñas celdas individuales que están separadas unas de las otras.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Fibrosos: Están constituidos por fibras pequeñas, este tipo de material puede estar dispuesto ya sea de manera vertical como de manera horizontal, así como pueden estar o no unidas dependiendo principalmente de su formación. (Palomo, 2017)

Los materiales aislantes tienen un rango de trabajo entre los -73°C hasta los 815°C .

Si las temperaturas de trabajo se encontraran fuera de este rango se aplicará un diferente recubrimiento en las diferentes superficies expuestas, en el caso de temperaturas menores a los -73°C se aplican criogénicos y para los mayores de 815°C se usan materiales refractarios. (Palomo, 2017)

Según su rango de temperatura se clasifica en:

- Baja temperatura (-73°C a 16°C)
- Temperatura intermedia (16°C a 315°C)
- Alta temperatura (315°C a 815°C).

Las propiedades de los materiales aislantes más consumidos en el mercado en las diferentes industrias se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 2:Propiedades (con definiciones) de materiales aislantes más usados. (Palomo, 2017)

Propiedades	Definición
Conductividad térmica	Cantidad de calor que se transfiere a través del material

Continuación Tabla 2: Propiedades (con definiciones) de materiales aislantes más usados. (Palomo, 2017)

Propiedades	Definición
Temperatura limite	Rango de las temperaturas de trabajo del material.
Densidad	Afecta el desempeño térmico
Alcalinidad o acidez	El material no debe contribuir con la corrosión
Emisividad	Capacidad del material de transferir calor por un mecanismo de radiación.
Estabilidad dimensional	Mantiene sus propiedades a lo largo de amplias extensiones.
Impermeabilidad	No permite el paso de sustancias.

Simulación térmica

En la parte de la automoción siempre existe cambios de energía entre el interior y el exterior del vehículo, los responsables de este intercambio son los PCM que definen este comportamiento térmico.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Cuando la energía entra en una zona determinada se le nombra ganancia térmica y a la potencia que se debe aplicar a una zona para que se mantenga temperaturas determinadas para cumplir con una zona de confort se denomina carga térmica.

(Larsen, 2001)

Se usan métodos de simulación térmica para calcular la transferencia y almacenamiento térmico de materiales ya que si se trata de busca una respuesta mediante la practica resulta demasiado costoso y difícil de medir realmente lo que sucede.

Es recomendable independizar cada flujo de calor y buscar la manera de reducirlos, es por esto que se usa modelos de computadora para poder encontrar una demanda teórica de climatización para poder realizar comportamientos térmicos de materiales.

Los programas de simulación implementan métodos de balance ya que estos solucionan los problemas del modelo térmico.

Para poder realizar la estimación de la carga la hacen realizando balances térmicos de conducción, convección y radiación de las superficies de esta zona. (Ariño, 2013)

El estudio de una simulación térmica por medio de programas de simulación como el software NX de Siemens o Inventor de Auto Desk. Estos programas pueden simular comportamientos térmicos de cualquier material en cualquier geometría con el propósito de poder evaluar el comportamiento térmico del elemento en diferentes situaciones climáticas determinando así posibles problemas que, de confort, estos problemas podrían ser sobrecalentamiento o temperaturas demasiado bajas.

El realizar simulaciones de condiciones térmicas es una herramienta muy poderosa al momento de buscar alternativas para el diseño, ya sea en situaciones estructurales o automotrices.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

La parte térmica es un aspecto fundamental a tener en cuenta en diferentes productos en la parte electrónica como en la parte automovilística.

El propósito de una simulación térmica es que se pueda conseguir el objetivo de mantener al material dentro de un intervalo de temperatura en el cual el rendimiento de material en este caso un PCM no se vea afectado. Conseguir esto podría significar la extracción o adición de calor, ya sea que este se añada de manera pasiva o de manera activa. En la siguiente figura se puede apreciar una simulación térmica realizada en Inventor.

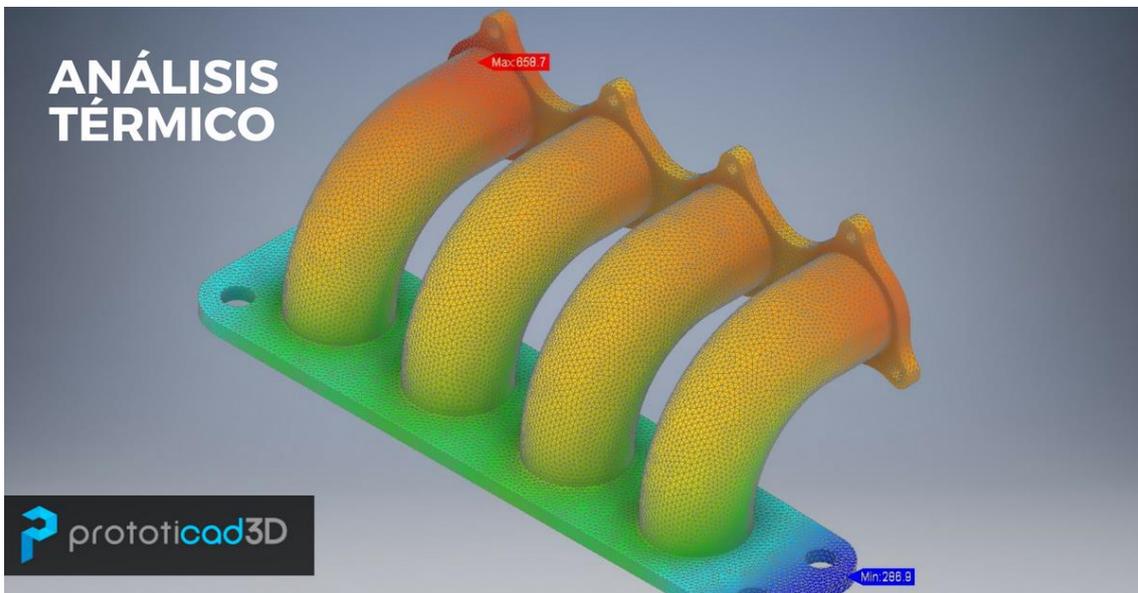


Figura 3: Simulación térmica realizada en inventor. (CAD, 2016)

Demostrativo de simulaciones térmicas con la presencia de PCMs.

Los materiales de cambio de fase tienen diversas aplicaciones ya sea en ambientes con temperaturas elevadas como en situaciones con temperaturas extremadamente bajas, estos materiales cuentan con un alto calor latente y su temperatura de cambio de fase es capaz de liberar o almacenar una gran cantidad de energía térmica.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la actualidad uno de los usos más amplios que se les ha a dado a los PCMs es en cámaras de congelado o ultra-congelado alimentarias, la integración de materiales de cambio de fase en estas cámaras tiene como objetivo preservar alimentos dentro de las mismas aplicando un sistema termorregulador pasivo que ayude a reducir las fluctuaciones térmicas que perjudiquen a los alimentos que estén dentro de la cámara además el material de cambio de fase ayudara a modificar los tiempos en los que el sistema de enfriamiento estará encendido ya que al contar con un material de cambio de fase como material aislante el uso del sistema de enfriamiento debe ser reducido esto traerá consigo consecuencias positivas tales como la reducción de los pagos de electricidad.

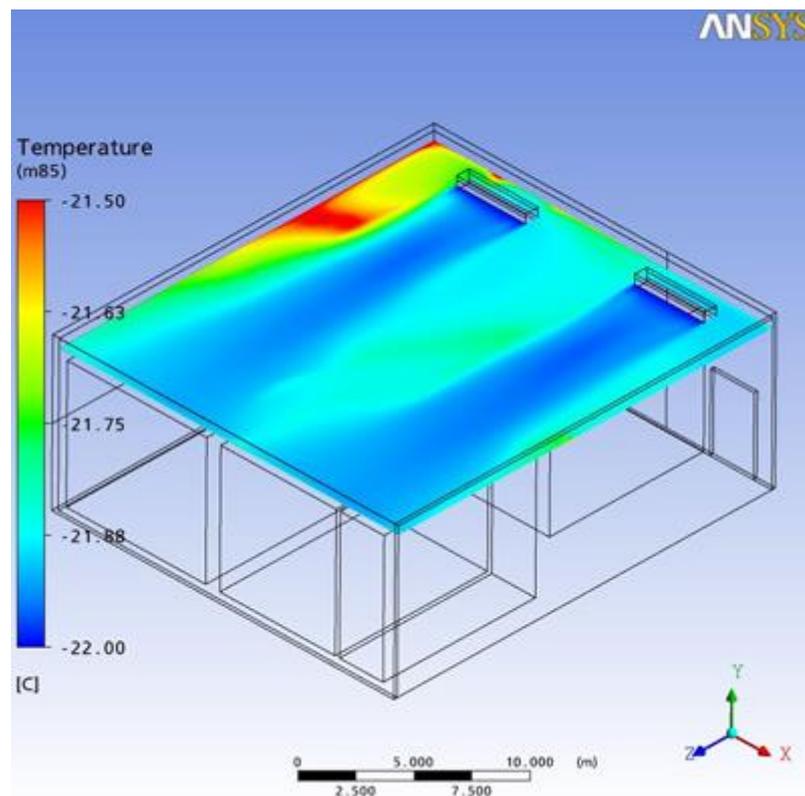


Figura 4: Ejemplo de modelización térmico-fluida que se realizó de la cámara de ultracongelada alimentaria

Confluencia o convergencia de resultados

Cuando se realizan simulaciones mediante programas de simulación, se usa métodos de elementos finitos, consiste en simular una malla sobre el cuerpo que se busca analizar, mediante cálculos matemáticos se busca llegar a encontrar la solución del problema

Este método consiste en realizar una matriz de operaciones que a medida que la respuesta se acerca a un valor común, se obtiene el resultado final, a esto se llama convergencia, detalladamente es la búsqueda de la respuesta final a la simulación con medida se va avanzando en la misma, este valor se aproxima más y más al resultado.

Obteniendo en cada una de las operaciones valores más acertados y similares.

Se considera convergencia a la propiedad de dos o más cosas que terminan en un mismo punto, matemáticamente es la propiedad de ciertas sucesiones.

La aparición de resultados o patrones en una variable aleatoria según la muestra vaya incrementándose se considera convergencia. (Cabezas, 2008)

Método

Diagrama de procesos.

En la figura 5 se puede apreciar el diagrama de procesos que se llevara a cabo para poder seleccionar un material adecuado para ser usado como sistema de almacenamiento térmico autosustentable dentro del panel frontal del habitáculo del vehículo. Se puede ver diferentes pasos generalizados que se siguieron para poder alcanzar la selección final del material en conjunto con la simulación donde se comprueba el funcionamiento del material de cambio de fase seleccionado de manera óptima dentro del sistema donde fue aplicado.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

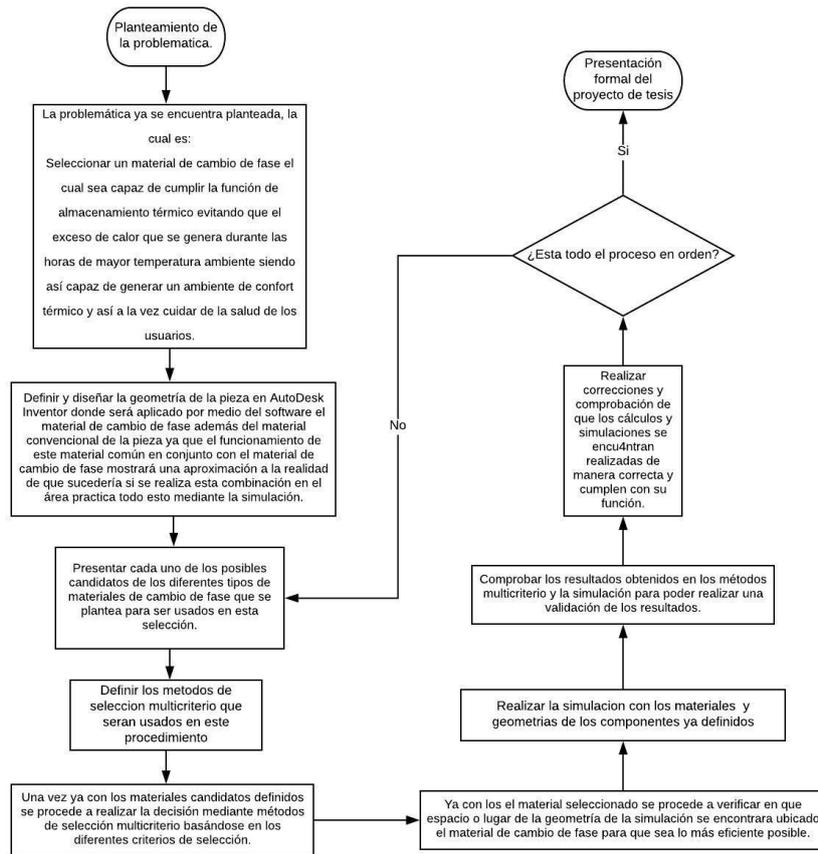


Figura 5:Método de obtención del material adecuado.

En esta investigación se usará métodos de análisis multicriterio para realizar un estudio acertado del tipo de material que se necesita aplicar para esta situación de almacenamiento de energía térmica ya que se necesita realizar una comparación técnica de los diferentes criterios que se están tomando en cuenta para esta selección de material. El principal objetivo que debe cumplir este material es un correcto almacenamiento térmico entre los parámetros de temperatura necesarios, además de no permitir el paso de exceso de temperatura hacia el interior del habitáculo ya que esto dañara el confort térmico del mismo.

Los materiales de cambio de fase son materiales capaces de almacenar energía térmica en su interior mientras se mantienen a una temperatura estable además que cuando es

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

necesario estos materiales pueden regresar este calor almacenado hacia el ambiente donde se encuentran instalados manteniendo así temperaturas estables durante las diferentes horas del día.

Entre los PCM más destacados se encuentran las parafinas y las sales hidratadas, estos dos materiales serán a los que se tenga mayor consideración al momento de selección el PCM más adecuado, esto se debe a que estos materiales son los que cuentan con las características necesarias para cumplir esta tarea.

Para esta selección del material de cambio de fase ideal es importante considerar que el almacenamiento de energía se puede llevar a cabo de diferentes formas, cada una con sus pros y contras que resultan más o menos benéficas en determinadas situaciones.

En la figura 6 se muestra un diagrama de formas de almacenamiento termico donde destacan las principales para este tipo de almacenamiento.

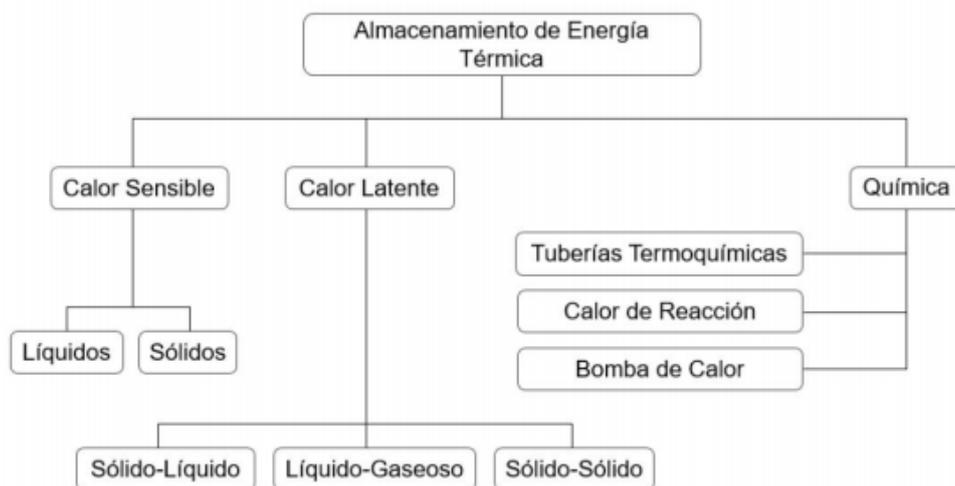


Figura 6: Formas de almacenamiento térmico de energía. (Moscoso, 2016)

En la figura 8 se muestra la diferencia entre la capacidad de almacenamiento termico que existe entre materiales que usan el almacenamiento termico por calor sensible y por PCM que usan almacenamiento termico por calor latente.

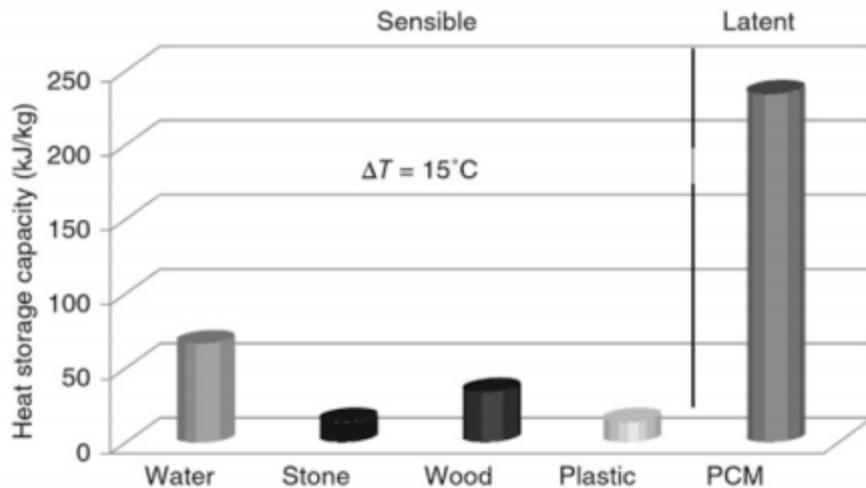


Figura 7: Comparación de la capacidad de almacenamiento de calor en diferentes materiales. (Moscoso, 2016)

1

Como se puede apreciar en la figura 8 los PCM son los materiales que más capacidad de almacenamiento de calor tienen, esta característica viene perfecta para la aplicación que se dará en esta ocasión ya que como se mencionó previamente es importante tomar en cuenta que se necesita un material con gran capacidad térmica.

Los materiales de cambio de fase tiene un alto calor latente, esto se debe a su cambio de estado ya que estos materiales absorben o ceden calor cada que alcanzan la temperatura de cambio de fase, es decir, cuando el material alcanza el cambio de fase de sólido a líquido o viceversa. Es importante tomar en cuenta que durante el cambio de fase la temperatura se mantiene constante, sin embargo el material sigue absorbiendo energía. (energeticos., 2016)

Los PCM almacena calor latente durante un corto intervalo de temperatura, sin embargo, este intervalo de temperatura y el calor que pueden llegar a almacenar es mucho superior al de un material que use calor sensible como medio de almacenamiento de calor. (energeticos., 2016)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

La inercia termica es la característica que permite que los PCM almacenen calor durante el día y lo liberen durante la noche donde mas se lo necesita.

Un beneficio de los PCM es que cuando el material se encuentra en su estado mas puro es la temperatura constante la que permite que se genere el procesos de cambio de fase, gracias a la energia usada para poder generar este cambioo la cual es denominada calor latente. (Moscoso, 2016)

El calor especifico (C_p) de un material es la cantidad de calor que se necesita aplicar a un kilogramo de este material para subir su temperatura a un punto determinado. Esto se define como calor sensible y se termina en las unidades de J/KgK .

El calor latente en los PCM se define como la energia que esta recibiendo el material, este tipo de energia es la que se encarga de realizar el cambio de fase con la caracterstica de que no afecta a la temperatura, esto quiere decir que mientras se esta dando el cambio de fase en el material su temperatura permanece intacta, es por eso que estos materiales se usan para aislamiento termico.

La densidad del material se determina en las unidades de n (Kg/m^3), esta es la magnitud escalar a la cantidad de masa en un volumen determinado de una sustancia o material.

Se considera densidad a la relación que existe entre la masa del cuerpo y el volumen que está usando este espacio.

Los materiales de cambio de fase cuentan con la característica de poder almacenar energía en forma de calor latente en un corto rango de temperatura.

Esta propiedad especifica con la que cuentan los PCM permite generar diversas aplicaciones tales como refrigeracion, optimizacion de temperatura en espacios reducidos y aplicacion de confort termico. (energeticos., 2016)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

La aplicación de los PCM se basa en usarlos como termoreguladores reduciendo así variaciones térmicas en su ambiente de forma discreta, esto se debe a que son capaces de responder a variaciones termodinámicas del entorno.

Ya sabiendo que los PCM trabajan en un rango de trabajo determinado es importante que el material seleccionado tenga un rango de trabajo entre los 20°C y los 30°C.

Ya que con este rango de trabajo se podría evitar que la temperatura salga del rango de confort en este caso dentro del habitáculo del vehículo.

Existen PCM orgánicos e inorgánicos tal y como se explicó previamente. Los PCM orgánicos son mucho más estables, además de ser menos corrosivos, con las desventajas de que podrían ser considerados combustibles y su precio es mayor.

A diferencia de los inorgánicos que cuentan con un calor latente mayor además de una densidad superior, son nada inflamables y mucho más económicos.

Los PCM más comunes tanto orgánicos como inorgánicos son los siguientes.

- PCM orgánicos: ceras de parafina, ácidos grasos derivados de productos animales y vegetales y las mezclas orgánicas. (Son reciclables)
- PCM inorgánicos: Sales hidratadas. (Son reciclables)

La selección de los PCM siempre dependerá de la aplicación que se busca que tenga, además de sus propiedades, es por eso que para la selección del mismo se ha usado los métodos multicriterio para dicha selección ya que con ellos se puede lograr una selección precisa para poder encontrar el material adecuado para la tarea.

Ya conocidos los diferentes materiales de cambio de fase se debe conocer los diferentes criterios a considerar para seleccionar un material de cambio de fase que sea ideal, para

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

esto basándose en (Ashby, 2011) se usa un cuadro del método de selección por índices para encontrar los criterios esenciales para esta selección, para esta selección se plantea la función y objetivos principales para que de esta manera se encuentre las características necesarias para cumplir esta función hallando cada uno de los propósitos que serán usados.

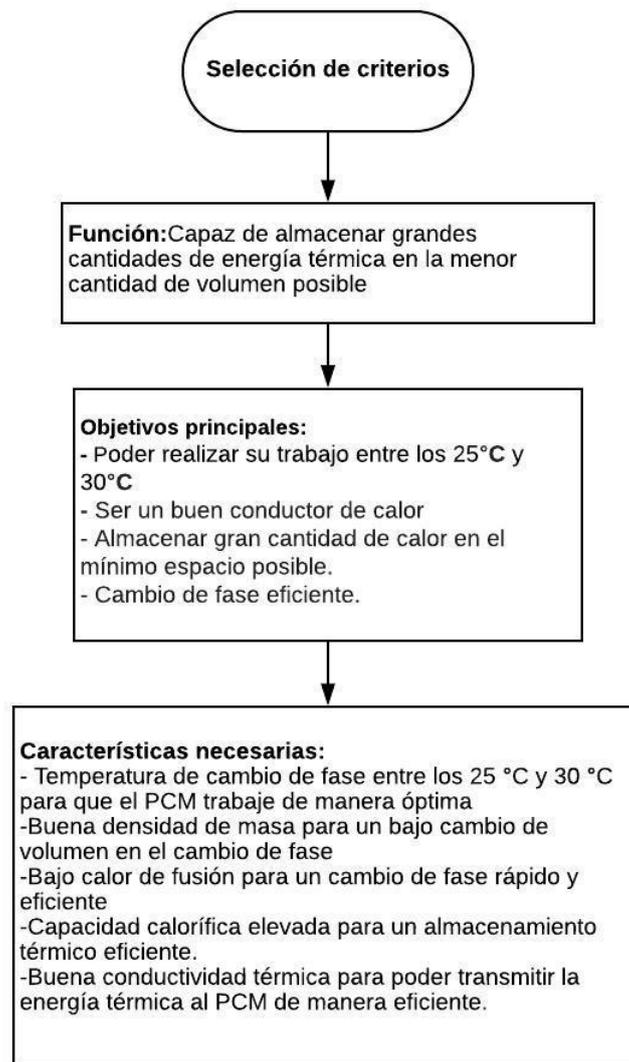


Figura 8: Grafico de selección de criterios.

En la figura 8 se puede apreciar la selección de los diferentes criterios por medio de este método, ya planteados los criterios a tomar en cuenta para la investigación de materiales

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

de cambio de fase que ayudaran a encontrar un confort térmico dentro del habitáculo del vehículo son los siguientes:

- Temperatura de cambio de fase entre los 25 °C y 30 °C para que el PCM trabaje de manera óptima
- Buena densidad de masa para un bajo cambio de volumen en el cambio de fase
- Bajo calor de fusión para un cambio de fase rápido y eficiente
- Capacidad calorífica elevada para un almacenamiento térmico eficiente.
- Buena conductividad térmica para poder transmitir la energía térmica al PCM de manera eficiente.

Los materiales de cambio de fase usan su calor latente para poder absorber el calor que se produce por un elemento externo, pero una vez que traspasa su punto de fusión su capacidad se reduce bastante y es capaz de actuar como un material aislante.

Es por eso que para un correcto funcionamiento del PCM es necesario combinarlo con un sistema de enfriamiento en conjunto de un PCM para de esta manera asegurar el correcto funcionamiento del PCM. (Palomo, 2017)

Para la selección de los diferentes materiales de cambio de fase se basara en un investigación previa realiza por (Rastogi, 2014) en su artículo “Selection and performance assessment of Phase Change Materials for heating, ventilation and air-conditioning applications” donde publica una tabla muy extensa de diferentes materiales de cambio de fase con sus características individuales, todas esas características serán tomadas en cuenta como criterios para poder obtener un material de cambio de fase seleccionado para este objetivo. Rastogi en su artículo presenta un gran número de materiales de cambio de fase que han sido elegidos por sus características para ser

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

usados como sistemas de almacenamiento térmico, entre los materiales que se encuentran en esta lista de PCM existen compuestos puros y comercializados, en la actualidad existen más de mil, pero para este estudio del que trata la investigación se a colocado en lista a materiales con importancia tecnológicas, el listado se encuentra en la tabla 11, aquí se dispone de materiales de cambio de fase que pueden ser usados para la regulación de temperatura para el confort térmico. Para este estudio se consideraron las siguientes propiedades termo físicas:

- Temperatura de cambio de fase (°C)
- Densidad de masa (kg/m³)
- Calor de fusión (Kj/kg)
- Capacidad calorifica especifica (Kj/Kg-K)
- Conductividad termica (W/m-K)
- Selección por índices

Estos criterios fueron los seleccionados para esta ionvestigacion ya que al tratarse de la selección de un material de cambio de fase, estas características son las mas necesarias para que cumpla con su proposito como PCM de manera adecuada, ya aclarado el porque fueron seleccionados estos criterios la tabla de componentes es la siguiente:

Tabla 3:Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica especifica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
KF * 4H₂O	18,5	1455	246	1,62	0,5
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	29,5	1500	190	2	0,6
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	26	1500	190	2	0,6

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 3: Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	25	1500	180	2	0,6
Micronal PCM 26 Gibsbauplatte, BASF	26	770	385	1,6	0,2
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	22	1500	160	2	0,6
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	25	1530	180	2,2	0,54
LebastLehmplatte PCM 23(genérico), LehmOrange	22,5	1300	170	1,6	0,45
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	23	1530	175	2,2	0,54
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	0,795
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	21	1530	170	2,2	0,54
PUR-PCM-Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	23	970	365	2	0,19
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	23	770	343	1,8	0,2

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 3: Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	17	1525	160	1,9	0,43
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	19	1520	160	1,9	0,43
CoolZONE23, Armstrong	21,5	770	342	2	0,2
savENRG PCM-HS22P	23	1540	185	3,05	0,795
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	23	770	342	2,2	0,2
Weber.murclima 23, St. Gobain-weber	23	950	170	2,32	0,38
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	24	880	230	2	0,2
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	26,5	650	102	1,6	0,2
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25H	25	810	226	2,15	0,18
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	21,5	760	200	2	0,2

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 3: Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	21,5	880	190	2	0,2
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	26,5	880	179	2	0,2
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	22	820	216	2,85	0,18
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	20,5	880	150	2	0,2
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	23	880	150	2	0,2
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	24	880	148	2	0,2
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	25	785	150	2,26	0,18
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	22	785	145	2,22	0,18
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	23	785	145	2,22	0,18

Continuación tabla 3: Diferentes PCM con sus características para su selección. (Rastogi, 2014)

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A24	24	790	145	2,22	0,18
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbh& Co. KG	21,5	400	196	1,7	0,08
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	23,5	650	96	1,6	0,1

Los PCM adecuados para esta tarea son los inorgánicos y orgánicos ya que estos PCM son capaces de mantener el ambiente a una temperatura de confort, esto quiere decir que mantiene entre los 21°C y los 26°C, mediante su cambio de fase, por parte de los PCM de cambio de fase inorgánicos el material que cumple de mejor manera el propósito son las sales hidratadas.

Selección de materiales.

En esta ocasión, los materiales entre los cuales se realizará la selección son PCM orgánicos e inorgánicos con sus características previamente analizadas por (Rastogi, 2014), esta investigadora realizó un profundo análisis donde destacan 35 materiales de cambio de fase orgánicos e inorgánicos seleccionados en este archivo como candidatos de PCM para poder desempeñar la tarea de sistema de almacenamiento térmico en busca del confort térmico dentro del habitáculo del vehículo que es lo que se busca alcanzar con esta investigación.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Los materiales orgánicos se conforman por varios subgrupos entre los cuales destacan las parafinas ya que son estos materiales los cuales cumplen con las características para poder realizar su papel como PCM de manera óptima, y por parte de los PCM inorgánicos se encuentran las sales hidratadas

Tabla 4:Datos más importantes sobre las parafinas. (Mayayo, 2012)

Propiedades de las parafinas	
Calor específico	2.1 kJ/kg*K
Temperatura de fusión	entre 20°C y 80°C
Viscosidad	Baja en fase líquida
Calor de fusión	entre 70 y 250 kJ/kg
Punto de ignición	Sobre los 250°C
Densidad de energía acumulada	entre 54 y 71 kW*h/m ³

Las parafinas son capaces de almacenar energía hasta 5 veces más que el agua además de que su volumen no se expande más del 10% durante el cambio de fase, esta característica es por su densidad la cual en estado líquido es de 750 a 850 kg/m³ y de 800 a 900 kg/m³ en estado sólido. (Mayayo, 2012)

Tabla 5:Datos relevantes sobre las sales hidratadas. (Mayayo, 2012)

Propiedades Sales hidratadas	
Conductividad térmica	0.5 W/m°C
Punto de fusión	32.4°C
Calor latente	254 kJ/kg

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En este estudio se busca características específicas en cada uno de los materiales para que de esta manera puedan ser usados adecuadamente como PCM, una de las características es que su punto de fusión debe encontrarse entre los 25°C y 30°C.

Todos los PCM cuentan con diferentes cualidades, dependiendo de esto se los compara y se elige el mejor dependiendo de la situación en la cual se lo necesite, entre estas características se encuentran las térmicas, físicas, químicas, cinéticas y económicas.

La propiedad más importante es que debe tener una temperatura de cambio de fase estable, así como también una alta entalpia y una alta conductividad térmica y entalpia durante el cambio de fase y durante se encuentre en cada fase.

Una alta densidad en los materiales además de fusión congruente del material unida con estabilidad química de todo el sistema (que el material no se degrade con el tiempo y no produzca reacciones químicas en el contenedor).

Entre las propiedades cinéticas es importante que el material cuente con un subenfriamiento bajo en su fusión, para que así el material no tenga la necesidad de una fuente de frío extra para iniciar el proceso de fusión

En los métodos de selección multicriterio uno de los puntos más importantes es el factor económico ya que el material debe contar con un valor accesible además de tener gran disponibilidad en el mercado.

Todos los factores y características son evaluados por medio de los métodos multicriterio de selección, de lo que se encargan estos métodos es de comparar las propiedades discretas de cada material que se escogió para la aplicación, con lo que se procede a elegir al PCM adecuado para esta aplicación. 1

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Metodo de ponderacion o pesos.

Existen diversos metodos de ponderacion los cuales suelen ser subjetivos si la decision es basada por una unica persona que decide, pero pueden volverse subjetivos si existen modelos matematicos que respalde esa decision tomada, es por eso que esta ocasion para poder calcular los peso a usar ne los diferentes metodos multicriterio se uso el metodo AHP ya que este metodo se basa en el criterio del autor y se corrobora su coherencia en lso resultados mediante formulas matematicas que comprueban su veracidad.

Metodo AHP para pesos ponderados

El método AHP es un método de selección que ayuda a generar valores ponderados de cada uno de los criterios a usarse en posteriores métodos de selección. Este método ayuda a jerarquizar diferentes criterios o alternativas que se encuentren en conflicto entre sí para facilitar la toma de decisiones generando el peso de cada uno de los criterios mediante formulación matemática dependiendo de la importancia que se le dará a cada uno de los criterios a usar. (Gomez, 2008)

Para poder realizar un metodo de ponderacion es necesario tener datos previos de todos los materiales que son posibles candidatos para ser usados en una sola matriz, estos datos se obtiene de la tabla 11 donde podemos ver los 5 criterios que seran usados, a cada uno de los criterios se les a dado un codigo (T), de igual manera a los materiales (M), esto facilitara su escritura y la manera de como se expresa sus resultados.

Tabla 6: Criterios a tomar en cuenta para poder realizar la matriz del método AHP

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m³) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
--------------------------------	--	---	-------------------------------------	---	---

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Para poder realizar este metodo de optencion de pesos se compara cada uno de los criterios entre ellos aplicando asi compraciones donde el autor señala que criterio se considera mas o menos importantes en una escala del 1 al 9 donde los valores que se asignen tratan de decir lo siguiente:

Tabla 7: Escala numérica método AHP.

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Igualmente Importante.	Dos elemetos contribuyen en igual medida al objetivo
3	Moderadamente Importante.	Preferencia leve de un elemento sobre el otro.
5	Fuertemente Importante.	Preferencia Fuerte de un elemento sobre el otro.
7	Importancia muy fuerte o Demostrada.	Mucho más preferencia de un elemento sobre otro. Predominancia demostrada.
9	Importancia extremadamente Fuerte.	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro.
2,4,6,8		Intermedio de los valores anteriores.

Siguiendo los significados de cada valor que brinda la tabla 8, se procede a realizar la matriz de comparación donde se reflejara la importancia de cada uno de los criterios, para con estos valores de importancia que se da a cada criterio procede a la obtención de los pesos de cada criterio que serán usados en los métodos MCDM. esta selección se generó comparando los criterios ubicados verticalmente en la tabla con los que se encuentran horizontales mostrando si estos se consideran de igual importancia o superior. Una vez ya indicado que criterios se consideran más importante al comprarlos con otros. Se debe colocar en la tabla la comparación contraria su valor inverso, de esta manera la tabla se llenará correctamente. Finalmente se realiza la sumatoria de cada columna, estos valores son necesarios en posteriores cálculos.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que se cuente con la matriz de selección se procede a calcular la matriz normalizada para la obtención de pesos ponderados.

La fórmula para realizar la matriz normalizada es la siguiente:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum \text{Valores de cada columna.}} \quad (1)$$

Donde:

P_{ij} : Valores para la matriz normalizada.

X_{ij} : Valores de la matriz de decisión

El uso de esta fórmula sobre cada uno de los valores de la tabla brindará la matriz normalizada como resultado.

Para poder obtener la ponderación de cada uno de los valores se debe obtener el promedio de cada una de las filas de la matriz, de esta manera se obtendrá el peso de cada uno de los criterios.

Para poder corroborar estos resultados se aplica el método de relación de consistencia donde se comprobará que está bien realizada la ponderación para la obtención de los pesos basados en el criterio del autor y la investigación de (Rastogi, 2014).

Para esto es necesario realizar una ecuación de matrices donde se junta la matriz normalizada y los pesos obtenidos, esta operación se realizó en Excel usando la herramienta "MMULT" para poder multiplicar estos valores y realizar una sumatoria de los resultados obtenidos.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ahora se procede a calcular el índice de consistencia, el índice de consistencia aleatoria y la relación de la consistencia para poder obtener un resultado de si la ponderación fue realizada correctamente donde esta hipótesis se corrobora, si el valor obtenido en la relación de consistencias es menor a 0.1 y mayor a 0, caso contrario la ponderación no fue realizada correctamente. En este proceso se usa una serie de fórmulas matemáticas para encontrar diferentes valores los cuales se detallan a continuación.

Formula índice de consistencia:

$$: CI = \frac{n_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Formula consistencia aleatoria:

$$RI = 1,98 * \frac{n - 2}{n} \quad (3)$$

Formula relación de consistencia:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Donde:

- CI: Índice de consistencia
- RI: Consistencias aleatoria

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- CR: Relación de consistencia
- Nmax: Sumatoria de la multiplicación de matrices.
- N: número de criterios comparados.

Aplicando estas fórmulas se obtiene los resultados para poder comprobar si los pesos ponderados obtenidos por medio de este método son funcionales para ser aplicados en los MCDM.

Los pesos obtenidos por medio del método AHP serán los pesos que se usarán en los diferentes métodos de selección multicriterio para poder selección un material de cambio de fase de la manera más adecuada.

Métodos multicriterio.

Método VIKOR

Para poder desarrollar este método antes que nada es importante empezar con la construcción de la matriz, esta matriz debe tener los materiales a usar y sus criterios a analizar.

Ya que se cuenta con todos los datos de los distintos materiales y los diferentes criterios se debe señalar si es más conveniente que un valor sea mayor o menor de cada uno de los criterios. (Rastogi, 2014) señala que siempre es importante mantener valores más elevados de todos los criterios a excepción del T3 (Calor de fusión) este debe ser bajo para funcionar mejor, esto se debe a que si se necesita que el PCM cumpla con la función de sistema de almacenamiento térmico es necesario que se necesite aplicarle la menor cantidad de energía para que comience con el proceso de almacenamiento térmico, en otras palabras, mientras mayor sea el valor de calor latente más complicado será que el PCM cambie de fase, por lo tanto mientras el valor sea inferior será más fácil

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

que el material cambie de fase y acumule mayor cantidad de energía térmica. (Rastogi, 2014).

Para el método VIKOR se considera que:

- T1 mayor = mejor
- T2 mayor = mejor
- T3 menor = mejor
- T4 mayor = mejor
- T5 mayor = mejor

Se realiza el cálculo de soluciones óptimas. Esta ecuación se basa en la obtención de las diferentes soluciones dependiendo de los diferentes pesos de los criterios

Las soluciones óptimas para poder calcular estos valores se aplica la siguiente ecuación:

$$S_o = W_j \frac{X_i^+ - X_{ij}}{X_i^+ - X_i^-} \quad (5)$$

Donde:

- S_o = Soluioones optimas de matriz
- W_j : Pesos ponderados de cada criterio
- X_i^+ = Valor Mayor o menor de cada criterio según sea conveniente
- X_i^- = Valor contrario de X_i^+ es decir si X_i^+ es mayor X_i^- sería el valor menor del criterio.
- X_{ij} = Valor del material establecido en la matriz.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que los valores de las soluciones optimas se han calculado se procede a calcular los valores de S_i (Matriz resultante de la sumatoria) y R_i (Matriz valores de rango) para finalmente calcular los valores de Q_i (Valores finales del método VIKOR).

- S_i = Sumatoria de todos los valores de los diferentes criterios de un material
- R_i = El valor mayor de cualquiera de los 5 criterios del mismo material.
- $Q_i = DQ * \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - DQ) * \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}$ (6)
- $DQ = \frac{1}{j-1}$ *j número de criterios.* (7)

Principalmente se requiere el valor de DQ este valor es una variable que depende del número de criterios. En este caso DQ tiene el valor de:

Tabla 8: Valor de DQ

DQ	0,02941176
----	------------

Con estos valores mediante la aplicación de las fórmulas expuestas en este método se obtiene los valores finales de Q_i con los cuales se genera el Ranking VIKOR donde el valor más cercano a 0 es la opción que este método considera ideal. En este caso el que cuente con el ranking mayor (35) será el valor seleccionado.

Método TOPSIS.

El método de selección TOPSIS, es uno de los métodos multicriterio más utilizados, para poder usarlo de manera adecuada es recomendable seguir los siguientes pasos:

1. Diseñar una matriz de decisión
2. Realizar la normalización de la matriz mediante la siguiente ecuación:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

$$\overline{X_{ij}} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}^2}} \quad (8)$$

Donde:

- $\overline{X_{ij}}$ = Valor para la matriz normalizada
- X_{ij} = Valor de cada celda de la matriz
- $\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}^2}$ = Sumatoria de cada valor de la columna de ese criterio al cuadrado.

3. Establecer la matriz de pesos con el uso de la siguiente ecuación:

$$V_{ij} = \overline{X_{ij}} * W_j \quad (9)$$

Donde:

- V_{ij} = Valor de la matriz de pesos
- W_j = Peso de cada criterio.

4. Determinar las soluciones ideales positivas y negativas (V+ y V-) de cada uno de los criterios

5. Se realiza el cálculo de diferencias S_{i+} y S_{i-} entre las mediciones con la siguientes formulas:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

$$S_{i+} = (\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_+)^2)^{0.5} \quad (10)$$

$$S_{i-} = (\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_-)^2)^{0.5} \quad (11)$$

6. Se realiza el cálculo de la proximidad a la solución ideal (P_i) con la siguiente ecuación:

$$P_i = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}} \quad (12)$$

Obtenidos ya los resultados de P_i se obtiene el ranking de TOPSIS donde el mayor valor es el material que el método genera como seleccionado.

Metodo COPRAS.

Para aplicar el método COPRAS de manera correcta previamente se debe reconocer cuál de los criterios se consideran beneficios y cuales no beneficiosos.

En la tabla 9 se puede observar la clasificación de los criterios, el criterio T3 es el único que se considera no beneficioso esto se debe a que mientras más alto sea el valor de este criterio resulta perjudicial para el correcto funcionamiento del PCM es por eso que al ser un criterio que funciona mejor al tener un valor pequeño se lo ha considerado como no beneficioso.

Tabla 9: Selección de materiales beneficios y no beneficioso.

Beneficioso	Beneficioso	No beneficioso	Beneficioso	Beneficioso
Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Para dar comienzo al uso del método es necesario realizar la normalización de la matriz, en la cual se divide el valor de la casilla por la sumatoria de los diferentes valores del criterio.

Para la normalización de la matriz en este método se usa la siguiente ecuación:

$$\text{Valor matriz normalizada} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (13)$$

Donde:

- X_{ij} = Es el valor de la celda de la matriz de decisión.
- $\sum_{i=1}^m X_{ij}$ = Sumatoria de los valores de ese criterio.

Ahora ya con la matriz normalizada se realiza la matriz ponderada, esto quiere decir que se suma el valor de cada criterio a la ecuación. Estos valores se obtienen con la siguiente formula:

$$D = (Y_{ij})_{m \times m} = r_{ij} * W_j \quad (14)$$

Donde se multiplica el peso de cada criterio (W_j) por el valor de la celda (r_{ij})

Ya con la matriz ponderada se procede a obtener los valores de $S + i$ y de $S - i$, estos valores son la sumatoria de los valores que se consideren beneficiosos en el caso de $S + i$ y la suma de los no beneficioso en el caso de $S - i$ de cada uno de los materiales candidatos, una vez se cuente con estos valores se debe encontrar el valor de S -min, este valor es el valor mínimo entre todos los valores de $S - i$.

Ahora que ya se tiene estos valores es posible calcular S -min/ S -i este valor se encuentra mediante la división de valor único de S -min por $S - i$.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que se cuentan con los valores necesarios se procede a calcular Q_i mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \sum_{i=1}^m (S_{-min}/S_{-i})} \quad (15)$$

Q_i se considera el valor no porcentual del método COPRAS, para volverlo un valor más preciso se debe aplicar la siguiente formula donde se encuentra el valor de U_i :

$$U_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}} \right) * 100\% \quad (16)$$

Donde:

- Q_{max} = es el valor máximo de todos los valores de Q_i de los materiales candidatos.

Una vez ya se cuente con los valores de U_i se procede a realizar el ranking de COPRAS donde el valor que más cerca se encuentre al 100% se considera como el material ideal para desempeñar su labor como material aislante térmico.

Selección por índices de Ashby

El objetivo planteado genera un límite en las propiedades con las que el material seleccionado contara, el objetivo de la investigación y las propiedades del material seleccionado deben funcionar en total sincronía para que todo tenga éxito, para realizar esta comprobación se usa el método del aproximamiento de Ashby. (Ashby, 2011)

Este aproximamiento es muy popular en el uso de la comunidad científica en varios problemas de selección. Esta técnica fue propuesta por (Ashby, 2011), esta plantea que la actuación (p) de un sistema o un problema puede ser determinado como una función (f)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

de sus parámetros de funcionalidad (F), geometría (G) y materiales (M), esto es representado matemáticamente como:

$$P = f(F, G, M) \quad (17)$$

Donde f significa “la función de”, sin embargo, cada uno de los integrantes de la operación funcionan individualmente del resto, por eso la ecuación se rescribe como:

$$P = f(F) * f(G) * f(M) \quad (18)$$

Como el objetivo de esta investigación es generar una comparación entre los diferentes materiales seleccionados por los MCDM, este método se enfocará específicamente en los parámetros del material.

Para poder lograr la aplicación de este método será necesaria la aplicación de FOM adecuados tomando en cuenta que el objetivo del PCM seleccionado será el almacenamiento de la mayor cantidad de energía térmica en el menor espacio posible:

El primer FOM definido por (Rastogi, 2014) para este propósito es el siguiente:

$$Q = m * L = \rho * v * L \quad (19)$$

Donde:

- Q = Cantidad de calor extraído durante el cambio de fase.
- m, ρ , v, L = masa, densidad, volumen y calor latente.

La ecuación puede ser modificada para encontrar el primer FOM moviendo los parámetros de cada material al lado derecho de la ecuación. La ecuación quedaría de la siguiente forma:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

$$FOM_1 = \frac{Q}{v} = \rho * L \quad (20)$$

Donde:

- FOM_1 = Cantidad de calor extraído por unidad de volumen.

Esta ecuación brinda una medida directa de la cantidad de almacenamiento térmico que brinda la densidad de cada PCM por unidad de volumen.

Otro parámetro importante que ayudara a determinar la eficiencia de cada PCM con respecto a su aplicación es su inercia térmica. Una baja inercia térmica conlleva a un mejor tiempo de respuesta en menores fluctuaciones de temperatura para la aplicación requerida. La difusividad térmica de cada material generalmente es directamente proporcional a su inercia térmica, esto quiere decir que la difusividad térmica representa la habilidad de un material para conducir calor con respecto a su habilidad para poder almacenarla, matemáticamente esto se podría representar de la siguiente manera:

$$FOM_2 = \alpha = \frac{k}{(\rho * C_p)} \quad (21)$$

Donde:

- $FOM_2 = \alpha$ = Difusividad térmica
- K = Conductividad térmica
- C_p = Capacidad de calor específico.

Los materiales principales seleccionados por los métodos VIKOR, TOPSIS y COPRAS que se usaran para aplicar el aproximamiento de Ashby son:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 10: Materiales a usar en la aproximación de Ashby

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
Método VIKOR					
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	29,5	1500	190	2	0,6
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	26	1500	190	2	0,6
savENRG PCM-HS22P	23	1540	185	3,05	0,795
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	0,795
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	25	1500	180	2	0,6
Método TOPSIS					
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	0,795
savENRG PCM-HS22P	23	1540	185	3,05	0,795
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	22	1500	160	2	0,6
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	29,5	1500	190	2	0,6

Continuación tabla 10: Materiales a usar en la aproximación de Ashby

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	25	1500	180	2	0,6
Método COPRAS					
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	0,795
savENRG PCM-HS22P	23	1540	185	3,05	0,795
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	29,5	1500	190	2	0,6
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	25	1500	180	2	0,6
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	22	1500	160	2	0,6

Aplicando el procedimiento de la aproximación de Ashby se obtiene los resultados donde se refleja matemáticamente la cantidad de calor extraído por unidad de volumen y el tiempo de respuesta con el que cuenta el material.

Coefficiente de correlación de Spearman

Después de tener los resultados de los respectivos métodos multicriterio MCDM, es imprescindible mediar un parentesco o correlación entre los MCDM que se aplicaron, es para esto que se usa la correlación de Spearman.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En los resultados del coeficiente se pueden obtener desde el -1 hasta el 1, pasando también por el 0 absoluto. Los valores se deben interpretar de la siguiente forma:

- Al acercarse al 1 su correlación es positiva
- Al acercarse al -0.1 su correlación es negativa
- Al acercarse al 0 no existe una correlación.

En la situación que se presente una correlación positiva existe una combinación en la cual el valor incrementa positivamente aumentando así su relación, de igual manera si es de manera contraria si su correlación es negativa e inexistente si el valor es 0.

(Barrera, 2014)

En el caso que exista una especie de correlación positiva, tiene como existencia un incremento del valor entonces también aumenta el relacionado, y de forma contraria cuando la correlación es negativa y obviamente ausente al ser 0.

Para poder lograr esto es recomendable analizar los MCDM en parejas, aplicando diferentes tipos de combinaciones hasta que todos lleguen a combinarse. (Barrera, 2014)

La correlación de Spearman se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$R_s = 1 - \frac{6\sum_y^x d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (22)$$

Donde:

- R_s = Coeficiente de Correlación de Spearman
- $\sum_y^x d^2$ = La sumatoria de los factores X y Y elevadas al cuadrado.
- n = La cantidad de variables.

A los resultados obtenidos se los analiza de la siguiente manera:

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Valores de -1 = Correlación negativa perfecta

Valores -0.5 = Correlación negativa fuerte

Valores de 0 = Ninguna correlación

Valores +0.5 = Correlación positiva

Valores +1 = Correlación positiva perfecta. (Ortega, 2009)

Tomando en cuenta el significado de los resultados matemáticos que se obtendrán como resultado se determinara si los diferentes métodos de selección multicriterio tienen la validez para poder usar la selección obtenida en la simulación.

Simulación

Para poder realizar una simulación ideal es esencial poder contar con un material para desempeñarse como sistema de almacenamiento térmico, este material fue seleccionado por medio de métodos de selección multicriterio. El modelo de simulación se realizará en el programa AutoDesk Inventor para posteriormente realizar la simulación térmica en Autodesk Fusion 360 donde se determinará el comportamiento del material seleccionado en las condiciones de temperatura establecidas. En cualquier ambiente cerrado en este caso el habitáculo del vehículo se debe mantener un ambiente controlado brindando condiciones ideales para el confort del usuario, el rango ideal de estas temperaturas debería ir entre los 20°C a 26 °C. (Gaudy., 2014).

Para la simulación se necesita un diseño de la geometría donde la simulación será realizada donde posteriormente se aplica el material seleccionado por medio de los MCDM para la simulación térmica respectiva. Una vez ya se cuenta con el modelo y el material seleccionado se define las condiciones de frontera a las que será expuesto el material en la simulación térmica.

Condiciones de simulación.

Para poder realizar la simulacion es importante poder establecer unas adecuadas condiciones de frontera donde este estara expuesto, para establecer estas condcciones se a tomado en cuenta el clima de Quito – Ecuador donde una temperatura promedio en horario del medio dia podria ir desde los 20°C hasta una elevada temperatura de 30°C (Spark, 2020), además de que este lugar cuenta con un clima muy característico y variado lo que ayuda a que se pueda trabajar con un rango de temperaturas más amplio para poder contar con una simulación más exacta y útil para futuras pruebas que amplíen el tema, debido a estos puntos señalados la temperatura promedio que se han escogido para poder realizar las simulaciones con el material de cambio de fase, en este caso el material de cambio de fase savENRG PCM-HS24P es de 30°C, además se aplica radiación a la simulación con un valor de 50°C .

Proceso de la simulacion.

Al momento de realizar la simulación se verifica que se cuente con el modelado adecuado del vehículo, en este caso un modelo de un tablero frontal promedio de un automóvil el cual se basa en un Aveo del año 2011.

El motivo por el cual se seleccionó la superficie del tablero para la simulación se debe a que esta superficie es la que se encuentra más expuesta a los cambios de temperatura que pueden afectar al confort térmico del habitáculo, es por eso por lo que el autor considera que si se logra solucionar el problema de un almacenamiento térmico ineficiente en el tablero se podría generar un ambiente de confort mucho mejor en el habitáculo.

En la figura 8 se puede apreciar la geometria de un tablero de automovil promedio, este tablero comunmente esta fabricado de plastico elastómero. Este plastico se caracteriza

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

por brindar un amplia flexibilidad y estasticidad, esto le birnda a la pieza amplia resistencia a deformaciones y altas temperaturas. (motor.es, 2018).

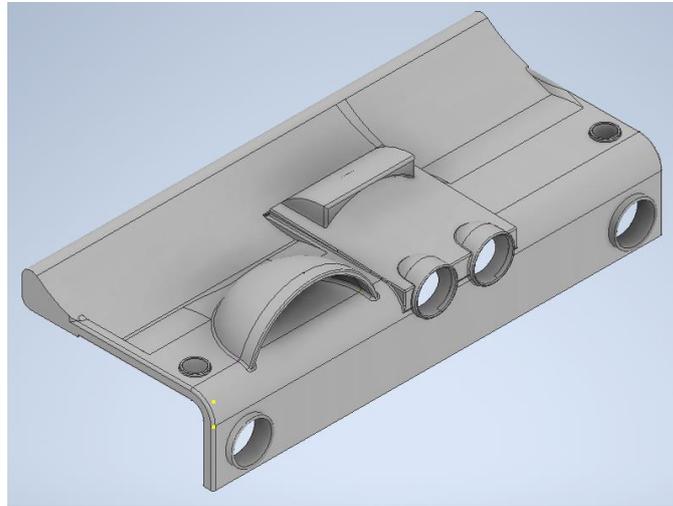


Figura 9:Panel frontal de un vehículo sin extras.

En la figura 9 se puede apreciar las medidas del modelo de tablero que sera usado en la simulacion estas medidas son las mas significatibas a tomar en cuenta dentro de la simulacion.

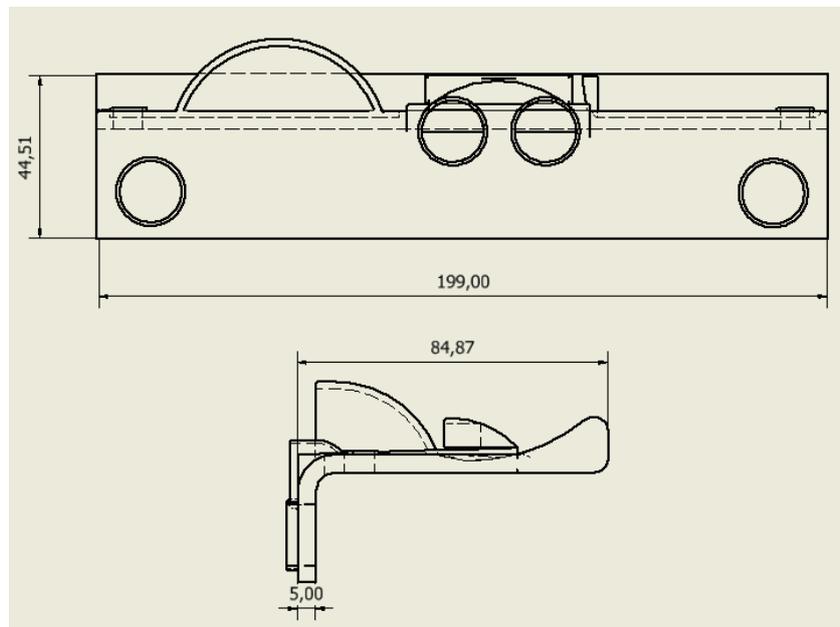


Figura 10: Medidas del modelo de tablero usado en la simulación.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ahora que se tiene realizado el modelo se procede a seleccionar las condiciones de frontera de la simulacion y las características del material de cambio de fase a simular.

En la figura 12 se muestra las condiciones de frontera a las que se encontrara expuesto el material, es decir las condciones termicas ambientales para la simulacion.

Tabla 11: Condiciones de frontera para la simulación.

Condiciones de frontera	
Radiación	Temperatura ambiente
50°C	30°C

El material del que esta compuesto el tablero es plastico elastómero termo estable de color oscuro, exactamnte el plastico PPS Tecatron PVX black. Este tipo de plastico se encuentra en la biblioteca de AutoDesk, es un material compuesto contiene graafito y fibra de carbono en baja proporcion. Sus características son:

Tabla 12: Características del material de cambio de fase del plástico elastómero PPS Tecatron PVX black (Ensigner, 2019)

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m³) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
Plástico PPS Tecatron PVX black	94	1500	260	0,9	0,58

Ya que se cuenta con los valores del material base del tablero, se procede a plantear los valores necesarios del PCM seleccionado el cual es savENRG PCM-HS24P, las características del PCM seleccionado se ubican en la tabla 13, estas características son usadas en la simulación térmica para poder agregar al material al software de simulación usado para esta investigación.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 13:Características PCM seleccionado. (Rastogi, 2014)

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m ³) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	1,2

Ya obtenida el modelo se realiza una comparación simple con el modelo real del que se está basando el diseño para la simulación.



Figura 11:Panel frontal Aveo family (TecnoAutos, 2010)

En la figura 13 se muestra el panel frontal de una aveo family. La manera en la que se esta trabajando para la simulacion corresponde al panel sin ningun extra, es decir sin el volante, tablero de control, botones, radio, gabetas, accesos de aire y rejillas.

Ya que la geometira del tablero esta definida y el material lo esta de igual manera se procede a aplicar el material dentro del software, este material si se encuentra en la biblioteca de Inventor.

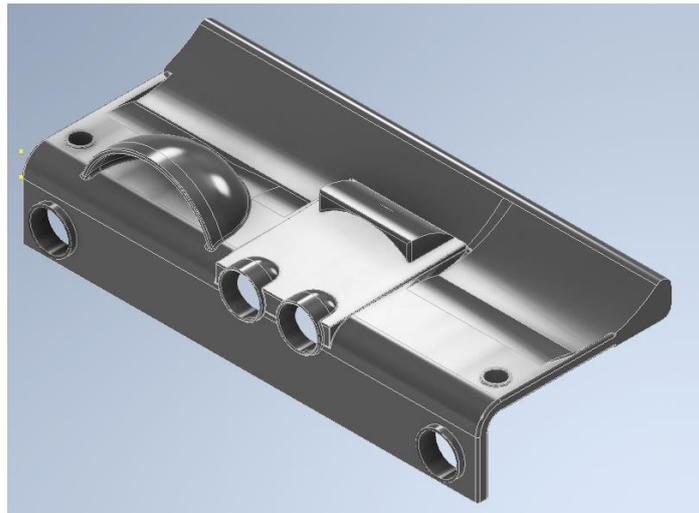


Figura 12: Geometría del tablero con el material seleccionado



Figura 13:Material y color aplicados al tablero.

Ya que se tiene diseñado la parte del tablero se procede a diseñar el material de cambio de fase que ira colocado por la parte interior del mismo, esta geometria es donde se creara el almacenamiento termico evitando que este se expanda por el habitaculo.

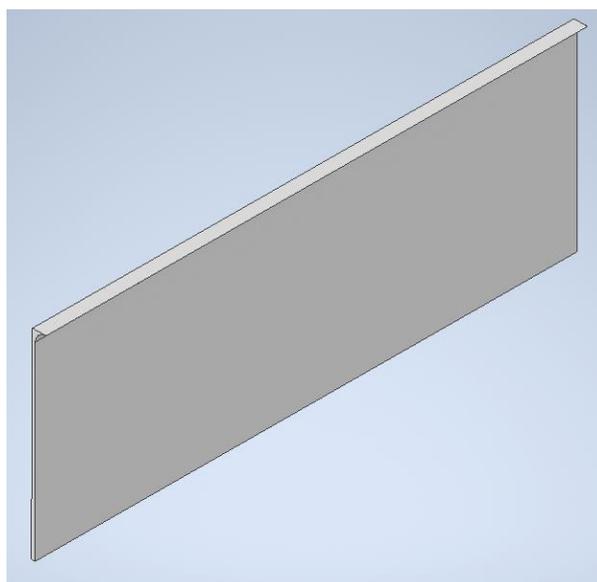


Figura 14:Geometría del PCM

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que la geometría del recipiente del PCM esta simulada se procede a aplicar al material, el material savENRG PCM-HS24P no se encuentra en la librería de inventor por lo que se procede a ingresarlo manualmente.

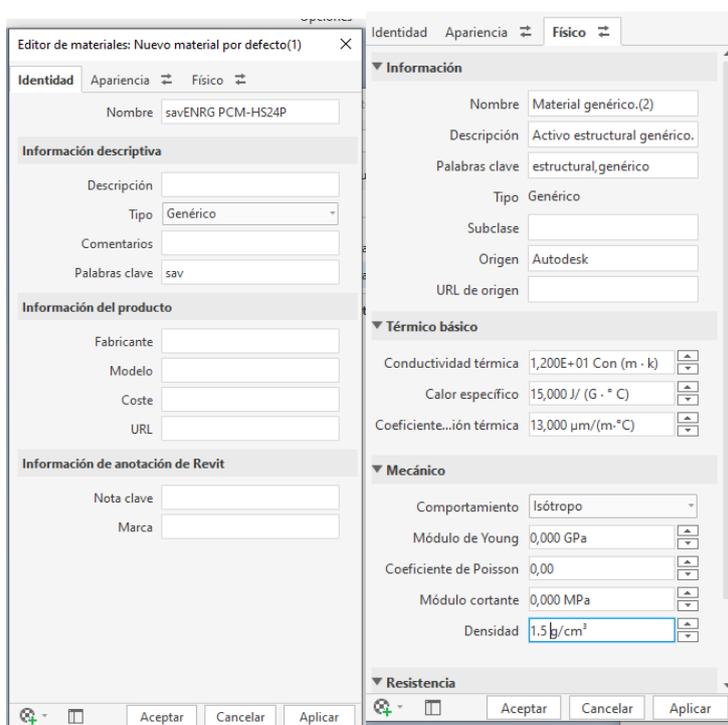


Figura 15: Generación de un nuevo material en inventor.

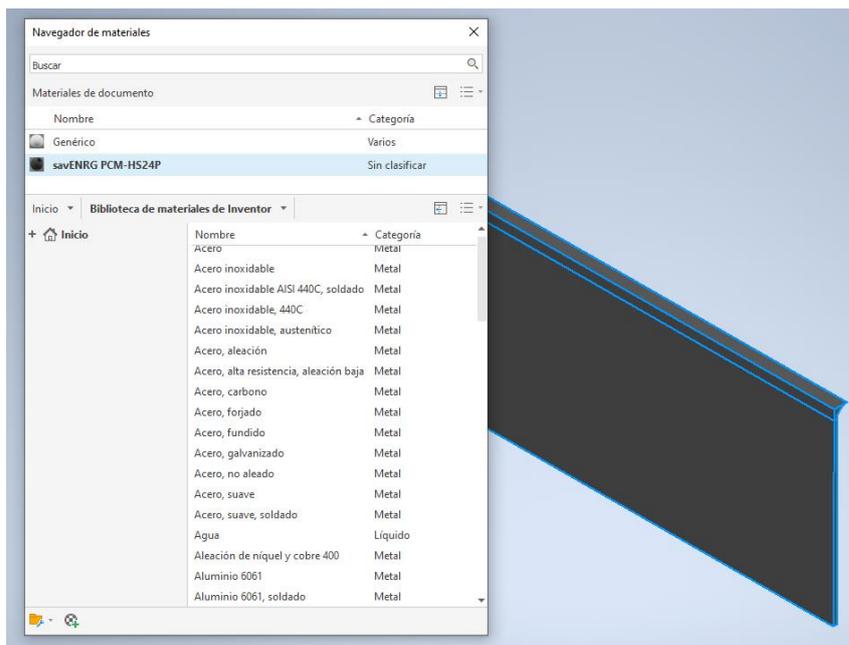


Figura 16: Aplicación del material generado a la geometría.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la figura 15 y 16 se puede apreciar cómo se coloca el nuevo material en la geometría este material se le aplico las características térmicas del material savENRG PCM-HS24P para poder obtener una simulación térmica óptima.

Ya que se tiene cada una de las piezas con su respectivo material se procede a ensamblarlas.

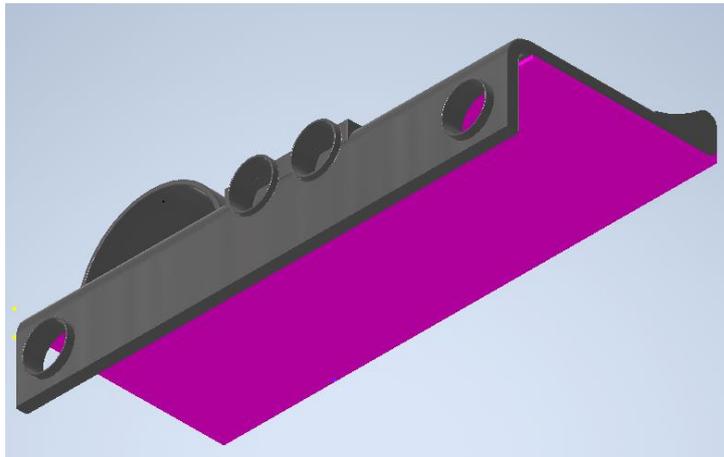


Figura 17: Ensamble del contenedor de PCM y la estructura del tablero.

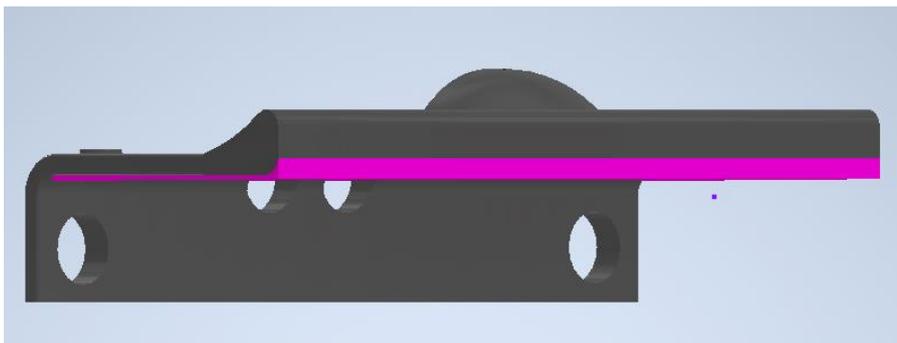


Figura 18: Ensamble desde otra perspectiva.

En la figura 17 y 18 se puede ver de mejor manera como se realizó el ensamble y el PCM coincide perfectamente con la estructura del tablero para una buena transferencia térmica, se colocó al PCM de color rosa para que se pueda apreciar de mejor manera el ensamble.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Una vez el prototipo del diseño se haya realizado, se procede a pasar el diseño desde inventor hacia el programa Autodesk Fusion 360 que es donde la simulacion tendra lugar, estos dos programas trabajan en conjunto al formar parte de la rama de programas autodesk.

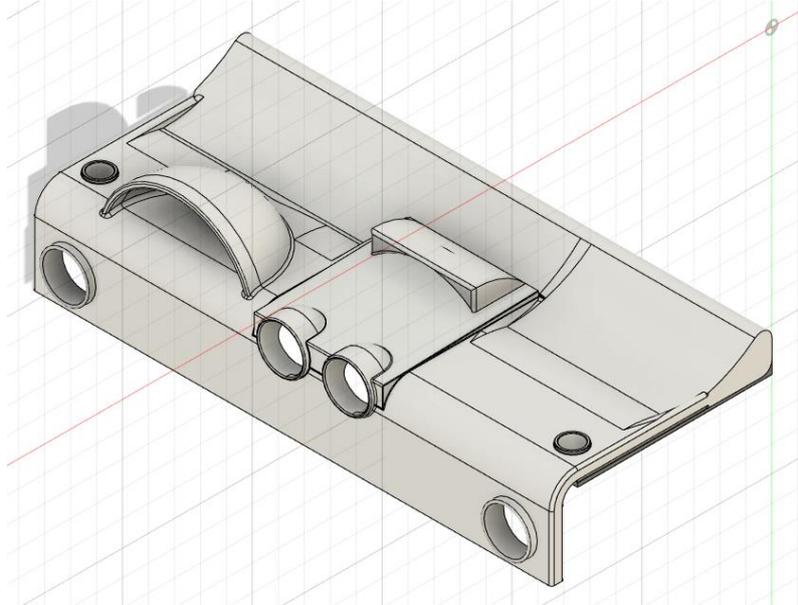


Figura 19: Tablero de vehículo en el programa Autodesk Fusion 360 listo para la simulación.

Ya que el modelo se encuentra en el software de Autodesk Fusion 360 se procede a colocar las condiciones de la simulacion ya que el material fue aplicado previamnte en el programa de inventor.

Primero se procede a seleccionar las zonas que tendan carga termica en el diseño de la simulacion, es esencial recordar que existiran diferentes superficies con diferentes tipos de calor aplicados.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

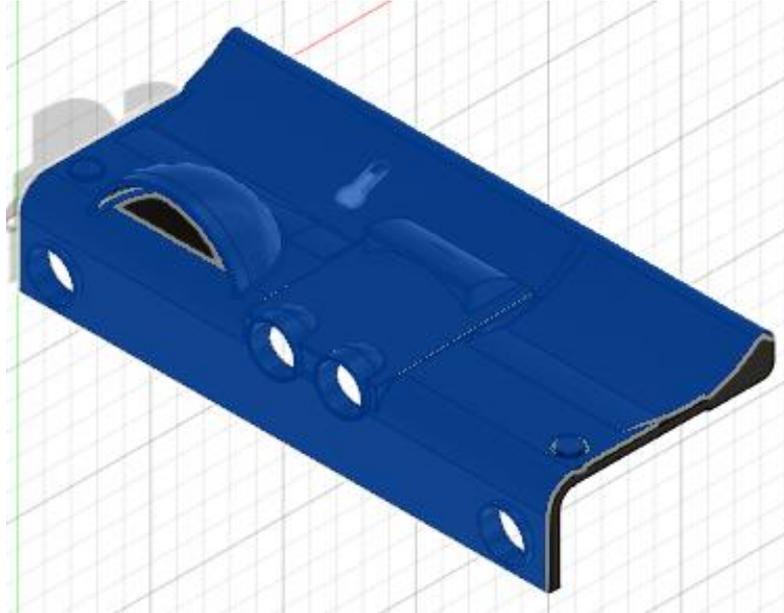


Figura 20:Zona del tablero que se verá expuesto a la variación de la temperatura por radiación.

Una vez definida ya la zona donde se vera mas expuesto la pieza al calor generado por radiacion se procede a definir los parametros de este calor generado donde la temperatura generada por la radiacion sera de 50°C y su emisividad será de 0.53, esta información está basada en datos de la ciudad de Quito. (Salamander, 2019)

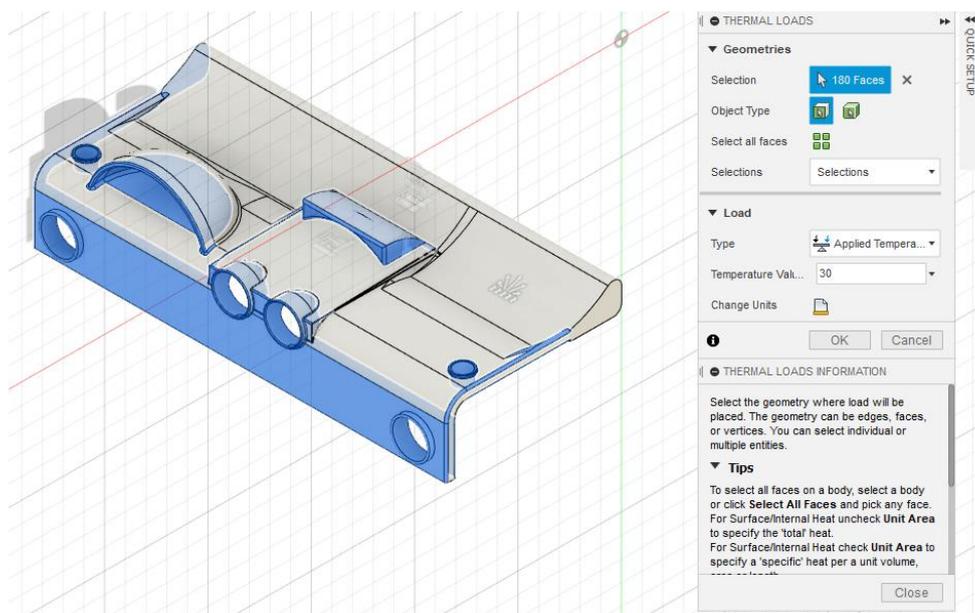


Figura 21:Tablero con cargas de temperatura aplicada de 30°C.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la figura 21 se puede apreciar que en toda la pieza se aplica una condición térmica de temperatura aplicada sobre la totalidad de la pieza esta temperatura aplicada es de 30°C ya que según (Spark, 2020) en Quito la temperatura elevada en Quito en un día promedio llega a los 30°C, es por esto que para tratar de simular con las condiciones más reales posibles se aplicó esta temperatura sobre toda la pieza.

Ahora que las cargas térmicas están definidas se selecciona el tipo de mallado para la simulación, el cual será un mallado basado en el tamaño real de la geometría de la pieza.

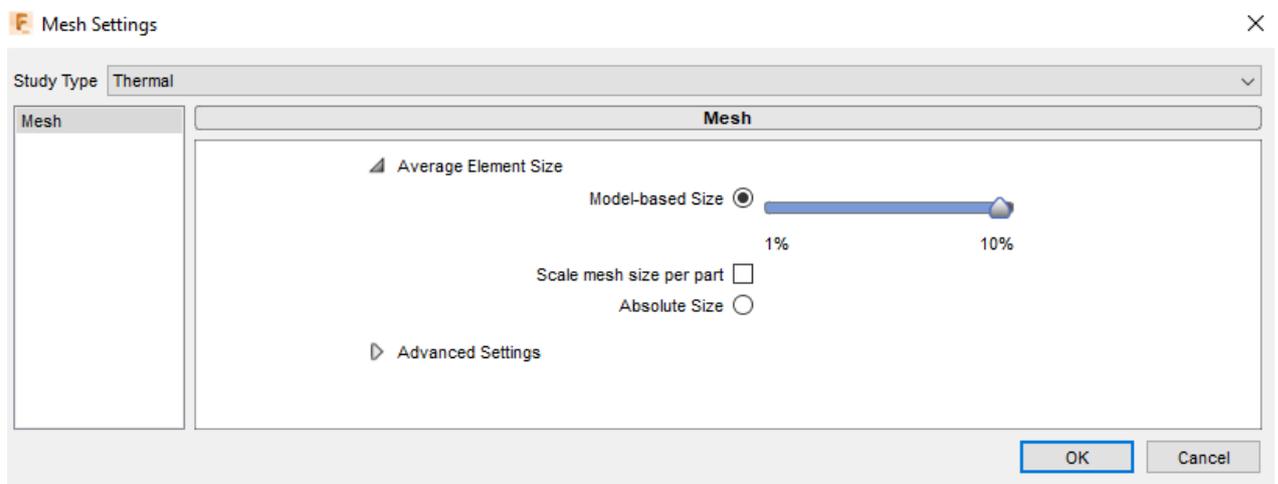


Figura 22: Mallado usado en la simulación térmica.

Una vez definidas las cargas térmicas y el mallado es necesario proceder a definir los contactos para la simulación, ya que la superficie de simulación se divide en dos partes, el PCM y el tablero, el programa identifica automáticamente las zonas de contacto donde existirá transferencia de calor.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

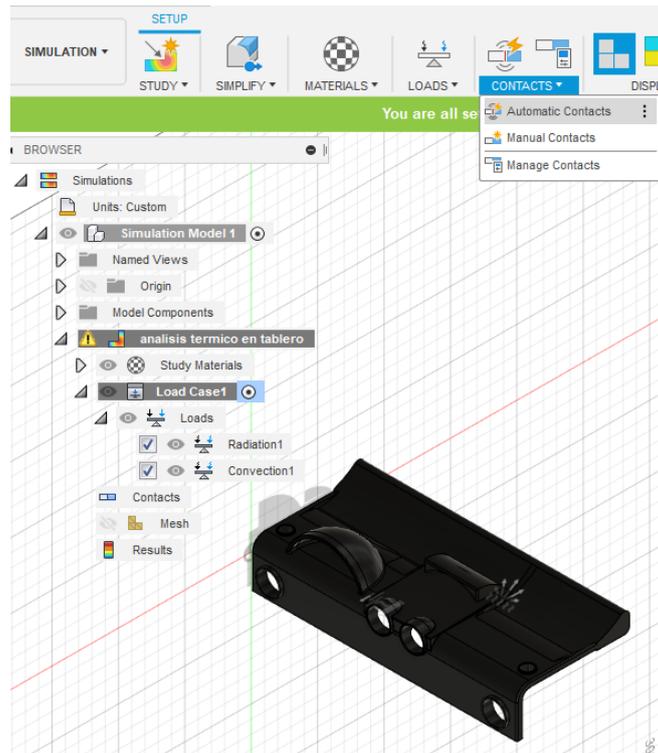


Figura 23: Simulación con contactos automáticos aplicados en la simulación.

Una vez ya aplicado los contactos se procede a obtener los resultados realizando la simulación en la nube de Autodesk, es importante recordar que la temperatura a usar será de 30 °C y 50°C de radiación ya que esta es la temperatura promedio donde los PCM empiezan a funcionar de manera correcta desempeñando su trabajo de manera eficaz.

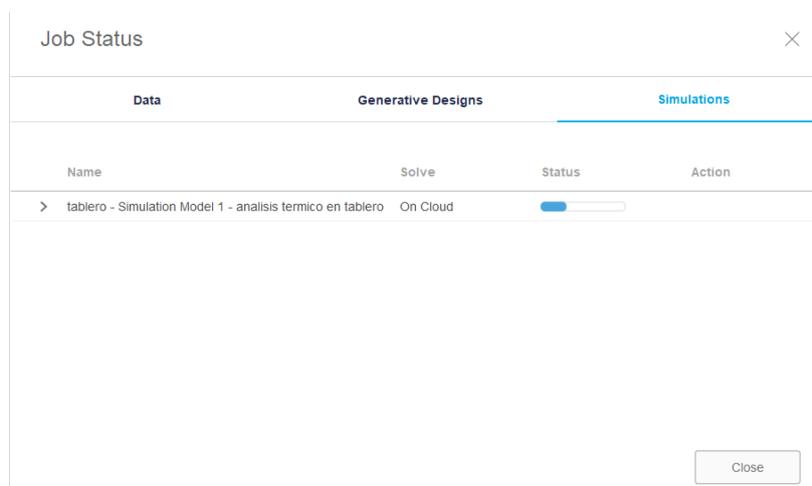


Figura 24: Simulación en proceso.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya generada la simulacion el programa nos refleja la actividad termica que se dio sobre la figura.

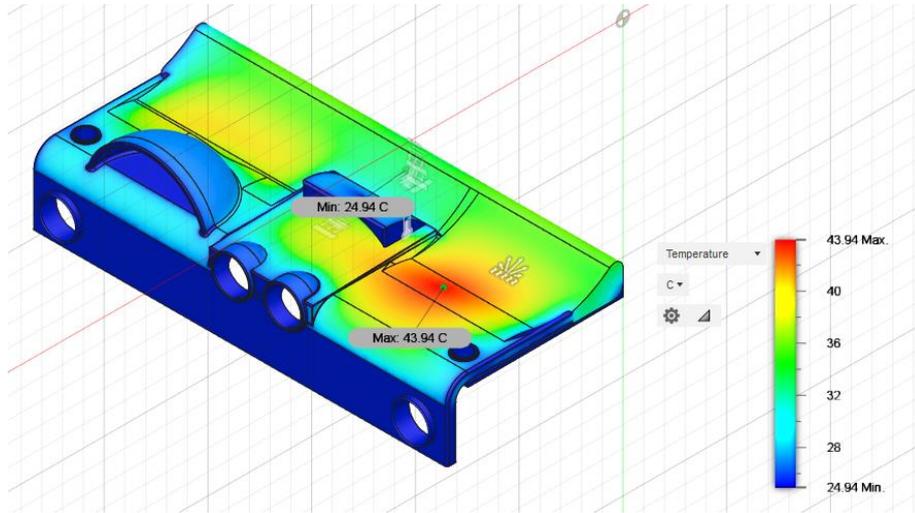


Figura 25: Actividad térmica durante la simulación sobre el tablero.



Figura 26: Vista superior durante la simulación del tablero.

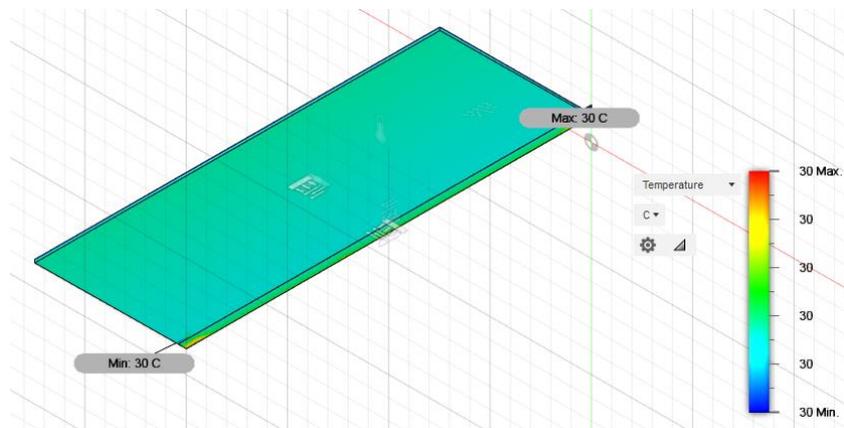


Figura 27: Actividad térmica en el PCM

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En las figuras 25,26 y 27 se puede apreciar cómo se distribuye la temperatura sobre el tablero y sobre el PCM. En la figura 26 y 27 se puede apreciar como el calor no llega a temperaturas exageradas en el tablero, sino que se mantiene en un rango promedio sin llegar a la temperatura de radiación a la que estaba expuesta constantemente que es de 50°C y 30°C de temperatura ambiente existe un pequeño punto donde la temperatura llega a su punto más elevado de 43,94°C siendo este casi mínimo en comparación al resto del tablero donde la temperatura esta entre un promedio de 24,98 °C a 28 °C, estas temperaturas son muy buenas tomando en cuenta que a la temperatura a la que se encuentra expuesto es de 50°C de radiación y 30°C de temperatura ambiente.

En la figura 27 se observa que el PCM se mantiene a temperatura constante de 30°C este comportamiento demuestra que el PCM absorbe el exceso de calor que se encuentra en el tablero cumpliendo su propósito para el cual está colocado en la parte trasera del tablero.

Ya que la simulación con el PCM se ha realizado, se procede a realizar una simulación bajo las mismas condiciones térmicas, pero sin el PCM para de esta manera poder comprobar el funcionamiento adecuado del PCM.

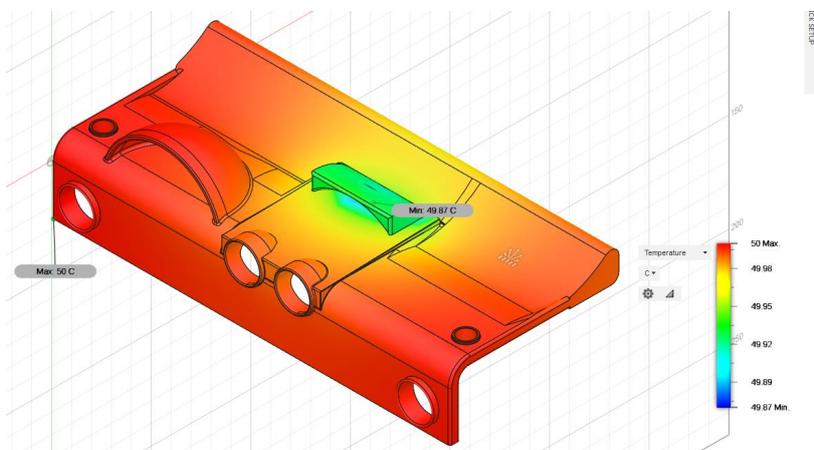


Figura 28: Tablero sin PCM

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la figura 28 se puede apreciar al tablero sin la existencia de PCM en su parte trasera, como se puede apreciar el tablero absorbe la totalidad de la temperatura expulsándolo hacia el habitáculo causando un desconfort térmico en el mismo debido a que no existe un control de temperatura específicamente en el tablero.

Resultados

Los resultados obtenidos en este archivo se presentan a continuación, estos se encuentran expuestos de la siguiente manera, primero los resultados de los métodos de ponderación, seguidos por los resultados de los métodos multicriterio y finalmente los resultados de la simulación generada en el programa AutoDesk Fusion 360.

Resultados métodos de ponderación

En la tabla 14 se puede apreciar la formación de la matriz de selección, esta matriz de selección señala la importancia de cada uno de los criterios sobre otros comparando el criterio de la parte vertical de la tabla con la parte horizontal de la tabla.

Tabla 14: Matriz normalizada ponderación de pesos.

Matriz comparación para pesos de los criterios.					
Criterios	Temperatura de cambio de fase (°C)	Calor de fusión (Kj/kg)	Conductividad térmica (W/m-K)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Densidad de masa (kg/m3)
Temperatura de cambio de fase (°C)	1	1	1	3	3
Densidad de masa (kg/m3)	1	1	1	3	3
Calor de fusión (Kj/kg)	1	1	1	3	3
Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	0,3333333	0,3333333	0,3333333	1	1
Conductividad térmica (W/m-K)	0,3333333	0,3333333	0,3333333	1	1
SUMA	3,66666667	3,66666667	3,66666667	11	11

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la tabla 15 se refleja los resultados de la matriz normalizada despues de haber seguido con los pasos señalados en el metodo para llegar a esta matriz.

Tabla 15: Valores obtenidos para la matriz normalizada.

Matriz normalizada				
0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727
0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727
0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727	0,27272727
0,09090909	0,09090909	0,09090909	0,09090909	0,09090909
0,09090909	0,09090909	0,09090909	0,09090909	0,09090909

En la tabla 16 se puede comprobar lo mencionado por (Rastogi, 2014) en su investigacion donde manifestaba que el criterio T1 (Temperatura de cambio de fase), T3 (Calor de fusion) y T5 (Conductividad termica) tien una importancia mas significativa que los demas criterios. Los pesos de cada uno de los criterios obtenidos son los siguientes:

Tabla 16: Pesos ponderados de cada criterio.

	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica especifica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
Componente	T1	T2	T3	T4	T5
Pesos criterios	0,272	0,09	0,272	0,09	0,272

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la tabla 17 se puede apreciar los resultados obtenidos de cada criterio por medio de la multiplicación de la matriz normalizada con los valores de los pesos en orden desde T1 a T5 de arriba hacia abajo, el resultado marcado en verde es la sumatoria de los mismos. La tabla resultante fue la siguiente:

Tabla 17: Resultante multiplicación de matrices.

A x P
1,363636364
1,363636364
1,363636364
0,454545455
0,454545455
5

En la tabla 18 se puede apreciar que el resultado obtenido para la relación de consistencias es menor a 0.1 y mayor o igual a 0, esto quiere decir que el método AHP se realizó de manera correcta corroborando así el criterio del autor basado en la investigación de (Rastogi, 2014). Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 18: Resultados del cálculo de consistencia.

$CI=(n_{max}-n)/(n-1)$	0
$RI=1,98*(n-2)/n$	1,188
$CR=CI/RI$	0

En la tabla 19 se encuentran los valores obtenidos de los pesos ponderados por medio del método AHP, estos pesos serán usados en los distintos MCDM.

Tabla 19: Resultados del método AHP para el cálculo de pesos ponderados.

	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
Componente	T1	T2	T3	T4	T5
Pesos criterios	0,272	0,09	0,272	0,09	0,272

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la figura 29 se puede apreciar los diferentes criterios y los valores que se obtuvieron en el método AHP siendo comparados gráficamente entre sí.

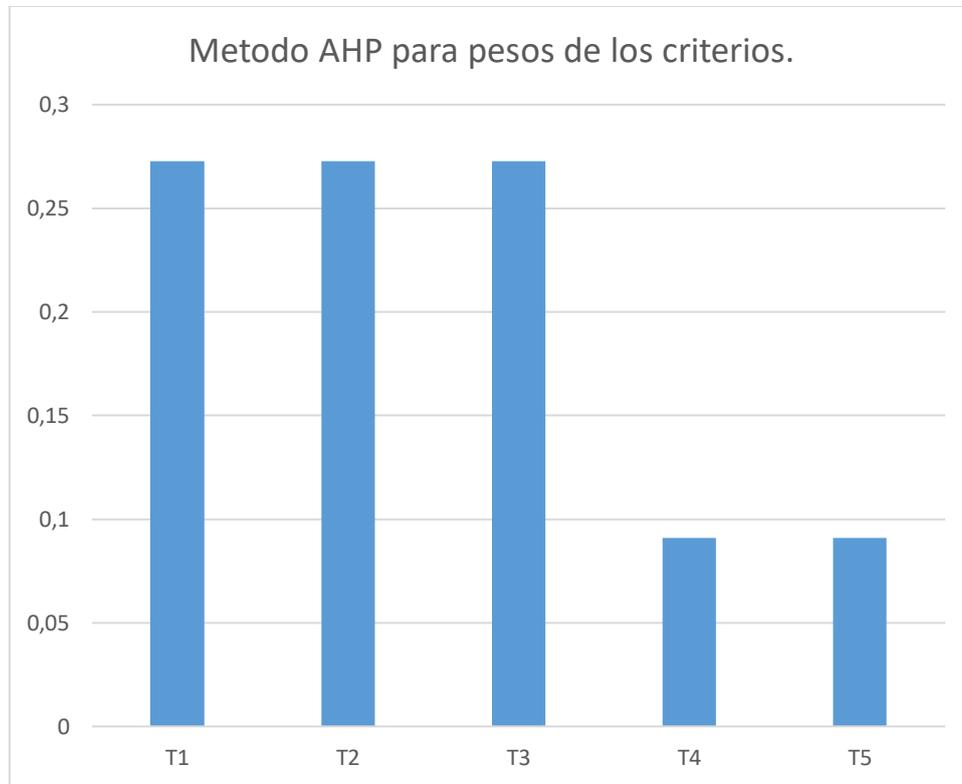


Figura 29: Grafico de los valores obtenidos en los métodos de ponderación

Los criterios según el código que los representa son los siguientes:

- T1 = Temperatura de cambio de fase ($^{\circ}\text{C}$)
- T2 = Densidad de masa (kg/m^3)
- T3 = Calor de fusión (Kj/kg)
- T4 = Capacidad calorífica específica ($\text{Kj}/\text{Kg}\cdot\text{K}$)
- T5 = Conductividad térmica ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)

En la figura 29 se aprecia el grafico de barras que expresa la importancia de cada uno de los criterios, el criterio T1 se considera el más importante de todos, esto se debe a que la temperatura de cambio de fase es el factor más crucial en este análisis, ya que esta

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

temperatura de cambio de fase debe encontrarse entre los 25°C a 30°C para que el PCM cumpla con su objetivo sin problema alguno, si este número fuera muy bajo o muy alto generaría una falla en el funcionamiento del mismo generando que el PCM de la parte del tablero no aporte al confort térmico que se busca en el habitáculo.

Resultados métodos multicriterio

En esta sección de resultados se muestran los diferentes resultados obtenidos en los métodos de selección multicriterio.

Resultados del método VIKOR

En la tabla 20 se puede apreciar los valores obtenidos de So estos valores son necesarios para poder conseguir una matriz que posteriormente brinda ayuda a los cálculos finales del método VIKOR. Los valores obtenidos son:

Tabla 20: Valores So obtenidos de la matriz de decisión.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
KF * 4H₂O	0,23936	0,0231338	0,130823529	0,088758621	0,1122238
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0	0,02028169	0,183529412	0,065172414	0,0741818
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,07616	0,02028169	0,183529412	0,065172414	0,0741818
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,09792	0,02028169	0,192941176	0,065172414	0,0741818

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 20: Valores So obtenidos de la matriz de decisión.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
Micronal PCM 26 Gibsbauplatte, BASF	0,07616	0,0665493	0	0,09	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	0,1632	0,02028169	0,21176471	0,06517241	0,07418182
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	0,09792	0,01838028	0,19294118	0,05275862	0,09700699
LebastLehmplatte PCM 23(genérico), LehmOrange	0,15232	0,03295775	0,20235294	0,09	0,13124476
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	0,14144	0,01838028	0,19764706	0,05275862	0,09700699
savENRG PCM- HS24P	0,11968	0	0,18823529	0,04903448	0
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	0,18496	0,01838028	0,20235294	0,05275862	0,09700699
PUR-PCM- Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	0,14144	0,05387324	0,01882353	0,06517241	0,23015385
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	0,14144	0,0665493	0,03952941	0,07758621	0,22634965

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 20: Valores So obtenidos de la matriz de decisión.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	0,272	0,01869718	0,21176471	0,07137931	0,13885315
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	0,22848	0,01901408	0,21176471	0,07137931	0,13885315
CoolZONE23, Armstrong	0,17408	0,0665493	0,04047059	0,06517241	0,22634965
savENRG PCM-HS22P	0,14144	0,01774648	0,18823529	0	0
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	0,14144	0,0665493	0,04047059	0,05275862	0,22634965
Weber.murclima 23, St. Gobain-weber	0,14144	0,05514085	0,20235294	0,04531034	0,15787413
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	0,11968	0,05957746	0,14588235	0,06517241	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	0,06528	0,07415493	0,26635294	0,09	0,22634965
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25H	0,09792	0,06401408	0,14964706	0,05586207	0,23395804
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	0,17408	0,0671831	0,17411765	0,06517241	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	0,17408	0,05957746	0,18352941	0,06517241	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	0,06528	0,05957746	0,19388235	0,06517241	0,22634965
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	0,1632	0,06338028	0,15905882	0,01241379	0,23395804

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 20: Valores So obtenidos de la matriz de decisión.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	0,19584	0,05957746	0,22117647	0,06517241	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	0,14144	0,05957746	0,22117647	0,06517241	0,22634965
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	0,11968	0,05957746	0,22305882	0,06517241	0,22634965
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	0,09792	0,06559859	0,22117647	0,04903448	0,23395804
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	0,1632	0,06559859	0,22588235	0,05151724	0,23395804
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	0,14144	0,06559859	0,22588235	0,05151724	0,23395804
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A24	0,11968	0,06528169	0,22588235	0,05151724	0,23395804
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH& Co. KG	0,17408	0,09	0,17788235	0,0837931	0,272
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	0,13056	0,07415493	0,272	0,09	0,26439161

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Dependiendo de la cantidad de criterios que se toma en cuenta para los cálculos del método VIKOR se obtiene el valor de DQ este valor determina los valores de Si y Ri que definen los valores finales para la obtención del Ranking VIKOR.

Tabla 21: Valor de DQ

DQ	0,02941176
----	------------

Con los valores de DQ se calcula los valores de Si y Ri de los diferentes materiales obteniendo los valores de S*, R*, S- y R-

Tabla 22: Valores máximos y mínimos de Si y Ri

S*, R*	0,34316533	0,18352941
S-, R-	0,83110654	0,272

Ya con todos los valores se genera el cálculo final para la obtención de los valores de Qi y el Ranking VIKOR, estos valores se reflejan en la tabla 23 donde el ranking mayor es el material que este método selecciona para la tarea.

Tabla 23: Valores de Si, Ri, Qi y Rankin de mayor a menor de los valores finales de VIKOR.

Si	Ri	Qi	Rango de mayor a menor
0,59429973	0,23936	0,62764083	5
0,34316533	0,18352941	0	35
0,41932533	0,18352941	0,00459072	34
0,4504971	0,19294118	0,10972373	31
0,45905895	0,22634965	0,47675566	24
0,53460063	0,21176471	0,3213014	25
0,45900707	0,19294118	0,11023669	30
0,60887544	0,20235294	0,22252442	26
0,50723295	0,19764706	0,16477065	29
0,35694978	0,18823529	0,05245792	32

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación Tabla 23: Valores de Si, Ri, Qi y Rankin de mayor a menor de los valores finales de VIKOR.

Si	Ri	Qi	Rango de mayor a menor
0,55545884	0,20235294	0,21930461	28
0,50946303	0,23015385	0,52152874	12
0,55145456	0,22634965	0,48232501	22
0,71269435	0,272	0,99286244	3
0,66949125	0,22848	0,51281146	13
0,57262195	0,22634965	0,48360092	21
0,34742177	0,18823529	0,0518836	33
0,52756816	0,22634965	0,4808852	23
0,60211826	0,20235294	0,22211711	27
0,61666188	0,22634965	0,48625553	19
0,72213752	0,26635294	0,9314792	4
0,60140125	0,23395804	0,56880538	11
0,70690281	0,22634965	0,49169501	17
0,70870894	0,22634965	0,49180388	16
0,61026188	0,22634965	0,48586976	20
0,63201094	0,23395804	0,57065045	10
0,768116	0,22634965	0,49538477	14
0,713716	0,22634965	0,49210569	15
0,69383835	0,22634965	0,49090752	18
0,66768759	0,23395804	0,57280094	9
0,74015623	0,23395804	0,57716915	6
0,71839623	0,23395804	0,57585752	7
0,69631933	0,23395804	0,57452679	8
0,79775546	0,272	0,99798969	2
0,83110654	0,272	1	1

En la tabla 23 se puede apreciar los resultados obtenidos por el método VIKOR, en este método el material seleccionado fue el “RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E”, para corroborar este resultado se repetirá la selección multicriterio con dos métodos más, los cuales aplicaran diferentes modelos matemáticos para poder selección un material de la manera más precisa posible.

La tabla 23 brinda la información del ranking del método VIKOR, este ranking se cuenta de manera descendente, es decir en este caso el ranquin 35 sería el primero el 34

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

el segundo y así sucesivamente, es decir los 5 materiales mejor puntuados en este método son:

Tabla 24:Ranking VIKOR.

Componente	Qi	Rango de mayor a menor
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,10972373	1
savENRG PCM-HS24P	0,05245792	2
savENRG PCM-HS22P	0,0518836	3
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,00459072	4
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0	5

En la tabla 24 se aprecia a los 5 materiales más opciones para esta investigación según el método VIKOR. Entre los cuales destaco el material RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2, este material es un PCM orgánico su uso principal es el almacenamiento de grandes cantidades de calor, es un material de cambio de fase muy solicitado debido a su bajo costo, gran pureza y composición específica.

Este material además se considera como un gran candidato por ser químicamente inerte y tener un gran tiempo de vida útil lo que lo vuelve un gran candidato para este propósito puesto que este PCM podría aplicarse una sola vez, con la garantía de que sus características físicas serán útiles por un largo tiempo. (RUBITHERM, 2018)

Resultados del método Topsis.

Para obtener los resultados del método TOPSIS se genera la normalización de la matriz.

En la tabla 25 se puede apreciar la matriz normalizada para este método.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 25: Matriz normalizada para método TOPSIS

Normalización de la matriz					
Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
KF * 4H₂O	0,134654112	0,2183714	0,1968059	0,1322704	0,2177528
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0,214718719	0,2251252	0,1520046	0,1632968	0,2613034
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,189243617	0,2251252	0,1520046	0,1632968	0,2613034
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,181965016	0,2251252	0,1440043	0,1632968	0,2613034
Micronal PCM 26 Gibsbauplatte, BASF	0,189243617	0,1155643	0,3080093	0,1306374	0,0871011
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	0,160129214	0,2251252	0,1280039	0,1632968	0,2613034
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	0,181965016	0,2296277	0,1440043	0,1796264	0,235173
LebastLehmplatte PCM 23(generico), LehmOrange	0,163768515	0,1951085	0,1360041	0,1306374	0,1959775
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	0,167407815	0,2296277	0,1400042	0,1796264	0,235173
savENRG PCM-HS24P	0,174686416	0,2731519	0,1480045	0,1845253	0,346227
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	0,152850614	0,2296277	0,1360041	0,1796264	0,235173

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 26: Matriz normalizada para método TOPSIS

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PUR-PCM- Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	0,167407815	0,14558096	0,29200878	0,16329676	0,08274607
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	0,167407815	0,11556427	0,27440825	0,14696708	0,08710112
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	0,123736211	0,22887728	0,12800385	0,15513192	0,18726742
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	0,138293412	0,22812687	0,12800385	0,15513192	0,18726742
CoolZONE23, Armstrong	0,156489914	0,11556427	0,27360823	0,16329676	0,08710112
savENRG PCM- HS22P	0,167407815	0,23112854	0,14800445	0,24902756	0,34622697
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	0,167407815	0,11556427	0,27360823	0,17962643	0,08710112
Weber.murclima 23, St. Gobain- weber	0,167407815	0,14257929	0,13600409	0,18942424	0,16549214
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	0,174686416	0,13207345	0,18400553	0,16329676	0,08710112
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	0,192882917	0,09755425	0,08160245	0,13063741	0,08710112
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25H	0,181965016	0,12156761	0,18080544	0,17554401	0,07839101
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	0,156489914	0,11406343	0,16000481	0,16329676	0,08710112

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 27: Matriz normalizada para método TOPSIS

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	0,156489914	0,13207345	0,15200457	0,16329676	0,08710112
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	0,192882917	0,13207345	0,14320431	0,16329676	0,08710112
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	0,160129214	0,12306844	0,1728052	0,23269788	0,07839101
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	0,149211313	0,13207345	0,12000361	0,16329676	0,08710112
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	0,167407815	0,13207345	0,12000361	0,16329676	0,08710112
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	0,174686416	0,13207345	0,11840356	0,16329676	0,08710112
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	0,181965016	0,11781552	0,12000361	0,18452534	0,07839101
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	0,160129214	0,11781552	0,11600349	0,1812594	0,07839101
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	0,167407815	0,11781552	0,11600349	0,1812594	0,07839101
PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A24	0,174686416	0,11856594	0,11600349	0,1812594	0,07839101
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH& Co. KG	0,156489914	0,06003339	0,15680472	0,13880224	0,03484045
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	0,171047115	0,09755425	0,07680231	0,13063741	0,04355056

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que se tenga la matriz normalizada usando los pesos de cada criterio se obtuvo la matriz de pesos ponderados, estos resultados se ven en la tabla 26.

Tabla 28: Matriz ponderada.

Normalización de la matriz (Ponderada)					
Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
KF * 4H₂O	0,03662592	0,01965343	0,05353121	0,01190433	0,05922876
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0,05840349	0,02026127	0,04134524	0,01469671	0,07107452
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,05147426	0,02026127	0,04134524	0,01469671	0,07107452
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,04949448	0,02026127	0,03916918	0,01469671	0,07107452
Micronal PCM 26 Gibbsbauplatte, BASF	0,05147426	0,01040078	0,08377852	0,01175737	0,02369151
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	0,04355515	0,02026127	0,03481705	0,01469671	0,07107452
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	0,04949448	0,02066649	0,03916918	0,01616638	0,06396707
LebastLehmplatte PCM 23(genérico), LehmOrange	0,04454504	0,01755977	0,03699311	0,01175737	0,05330589
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	0,04553493	0,02066649	0,03808115	0,01616638	0,06396707
savENRG PCM-HS24P	0,04751471	0,02458367	0,04025721	0,01660728	0,09417374
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	0,04157537	0,02066649	0,03699311	0,01616638	0,06396707

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 29: Matriz ponderada.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PUR-PCM- Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	0,045534926	0,01310229	0,07942639	0,01469671	0,02250693
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	0,045534926	0,01040078	0,07463905	0,01322704	0,02369151
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	0,033656249	0,02059896	0,03481705	0,01396187	0,05093674
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	0,037615808	0,02053142	0,03481705	0,01396187	0,05093674
CoolZONE23, Armstrong	0,042565257	0,01040078	0,07442144	0,01469671	0,02369151
savENRG PCM- HS22P	0,045534926	0,02080157	0,04025721	0,02241248	0,09417374
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	0,045534926	0,01040078	0,07442144	0,01616638	0,02369151
Weber.murclima 23, St. Gobain- weber	0,045534926	0,01283214	0,03699311	0,01704818	0,04501386
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	0,047514705	0,01188661	0,05004951	0,01469671	0,02369151
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	0,052464153	0,00877988	0,02219587	0,01175737	0,02369151
PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A25H	0,049494484	0,01094108	0,04917908	0,01579896	0,02132236
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	0,042565257	0,01026571	0,04352131	0,01469671	0,02369151

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 30: Matriz ponderada.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	0,042565257	0,01188661	0,04134524	0,01469671	0,02369151
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	0,052464153	0,01188661	0,03895157	0,01469671	0,02369151
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	0,043555146	0,01107616	0,04700301	0,02094281	0,02132236
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	0,040585477	0,01188661	0,03264098	0,01469671	0,02369151
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	0,045534926	0,01188661	0,03264098	0,01469671	0,02369151
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	0,047514705	0,01188661	0,03220577	0,01469671	0,02369151
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	0,049494484	0,0106034	0,03264098	0,01660728	0,02132236
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	0,043555146	0,0106034	0,03155295	0,01631335	0,02132236
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	0,045534926	0,0106034	0,03155295	0,01631335	0,02132236
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A24	0,047514705	0,01067093	0,03155295	0,01631335	0,02132236
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH & Co. KG	0,042565257	0,005403	0,04265088	0,0124922	0,0094766
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	0,046524815	0,00877988	0,02089023	0,01175737	0,01184575

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ahora que la matriz con la que se trabajara ya se encuentra definida se procede a definir sus valores máximos y mínimos según se haya definido si es más relevante que el valor sea mayor o menor, es por eso que en el criterio T3 se usó el valor mínimo como máximo y viceversa.

Tabla 31: Valores máximos y mínimos de cada criterio.

V+	0,0584035	0,0245837	0,02089023	0,0224125	0,0941737
V-	0,0336562	0,005403	0,08377852	0,0117574	0,0094766

Se procede a calcular los valores de Si+ y Si- para poder encontrar los valores finales del método TOPSIS (Pi), ya con estos valores finales se podrá encontrar el ranking de este método, en este Rankin el material seleccionado será el que de valor Pi tenga el valor mayor.

Los valores y Rankin obtenido por medio de estas ecuaciones son los siguientes:

Tabla 32: Resultados y ranquin del método TOPSIS.

Si+	Si-	Pi	Rank
5,3810555E-02	6,0017435E-02	5,2726430E-01	13
3,2096695E-02	8,0229170E-02	7,1425375E-01	4
3,2836139E-02	7,8369480E-02	7,0472590E-01	6
3,2020003E-02	7,9148935E-02	7,1196987E-01	5
9,6360686E-02	2,3335015E-02	1,9495282E-01	31
3,2034666E-02	8,0739859E-02	7,1594058E-01	3
3,7152273E-02	7,3908505E-02	6,6547801E-01	7
4,7795474E-02	6,6153104E-02	5,8055225E-01	10
3,7787942E-02	7,3830732E-02	6,6145502E-01	8
2,2964016E-02	9,8240446E-02	8,1053490E-01	1
3,8849577E-02	7,3981152E-02	6,5568265E-01	9
9,4443467E-02	1,9943724E-02	1,7435277E-01	35
9,1147170E-02	2,1303384E-02	1,8944668E-01	33
5,2565302E-02	6,5969276E-02	5,5654035E-01	12
5,0826721E-02	6,6072502E-02	5,6520907E-01	11
9,1350273E-02	2,0065054E-02	1,8009240E-01	34
2,3558105E-02	9,7772485E-02	8,0583540E-01	2
9,0769506E-02	2,1797674E-02	1,9364147E-01	32
5,4849525E-02	6,0630510E-02	5,2503024E-01	14
7,8468607E-02	3,9779939E-02	3,3640954E-01	28

Continuación tabla 28: Resultados y ranquin del método TOPSIS.

Si+	SI-	Pi	Rank
7,3266748E-02	6,6027472E-02	4,7401444E-01	15
8,0105006E-02	4,0438814E-02	3,3546982E-01	29
7,7429306E-02	4,3981389E-02	3,6225300E-01	26
7,6535943E-02	4,6181097E-02	3,7632180E-01	25
7,4498195E-02	5,1146192E-02	4,0707104E-01	24
7,9964288E-02	4,1319546E-02	3,4068470E-01	27
7,5126926E-02	5,3998170E-02	4,1818494E-01	22
7,4109199E-02	5,4853360E-02	4,2534330E-01	18
7,3723133E-02	5,5718451E-02	4,3045248E-01	16
7,5854615E-02	5,5288200E-02	4,2158772E-01	20
7,6642926E-02	5,4896460E-02	4,1733858E-01	23
7,6284105E-02	5,5287757E-02	4,2020958E-01	21
7,5962797E-02	5,5752999E-02	4,2328256E-01	19
9,1456493E-02	4,2087919E-02	3,1516047E-01	30
8,5336340E-02	6,4323817E-02	4,2979921E-01	17

En la tabla 28 se puede apreciar los resultados del metodo TOPSIS donde en primer lugar como el material mas conveniente según el metodo TOPSIS se encuentra el material M10 es decir el material “savENRG PCM-HS24P”, ahora con los resultados obtenidos en este metodo se tiene dos materiales opcionados, para poder tener una vision mas clara de la situacion es importante poder aplicar un tercer MCDM con el cual se podra decidir de mejor manera cual sera el material que enverdad destaque entre los dos seleccionados en los metodo VIKOR y TOPSIS.

En la 28 se puede observar los valores obtenidos con el Rankin del método TOPSIS en este método a diferencia del método VIKOR el Rankin es de menor a mayor, esta ocasión el material seleccionado por este método multicriterio fue “savENRG PCM-HS24P”, este es un material de cambio de fase inorgánico, es una mezcla de sales hidratadas de alta capacidad de almacenamiento térmico en forma de calor latente. Este PCM absorbe la energía y lo suelta a una temperatura específica, la ventaja de este material es que es capaz de realizar el ciclo de almacenamiento térmico miles de veces

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

sin perder nada de sus propiedades, sobre todo su principal característica es que funciona de maravilla entre el rango de temperatura deseado ya que se derrite desde los 24°C a 29°C que para cumplir la función de material de almacenamiento térmico es más que ideal. (savENRG, 2013)

Los 5 materiales con mejor puntaje para cumplir el objetivo basándose en el método TOPSIS son los siguientes:

Tabla 33: 5 mejor materiales según TOPSIS.

Componente	Pi	Rank
savENRG PCM-HS24P	8,1053490E-01	1
savENRG PCM-HS22P	8,0583540E-01	2
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	7,1594058E-01	3
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	7,1425375E-01	4
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	7,1196987E-01	5

En la tabla 29 se puede ver a los 5 materiales con mejores puntajes para cumplir este objetivo, para realizar este análisis TOPSIS tomo en cuenta la importancia de cada uno de los criterios además de si este es más o menos al ser mayor o mejor ayudando a tener una solución más acertada en la búsqueda del material ideal para la tarea.

Resultados Método COPRAS.

El método COPRAS es el método de selección multicriterio más usado en el campo de la ingeniería ya que al tomar en cuenta los criterios beneficiosos y no beneficiosos, facilita que la decisión se centre en los criterios de mayor interés llevando a una solución rápida y preciosa. En este caso no fue la excepción y COPRAS fue el método que ayude a tomar una decisión final.

Para dar comienzo a los cálculos de COPRAS se necesita realizar una normalización de la matriz. En la tabla 30 se refleja los resultados de la normalización de la matriz.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 34: Matriz normalizada método COPRAS.

Normalización de la matriz					
Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m3)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
KF * 4H₂O	0,02288188	0,03904468	0,035314 4	0,022603 6	0,0429185
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0,03648732 2	0,04025224 7	0,027275 3	0,027905 7	0,0515021
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,03215831 8	0,04025224 7	0,027275 3	0,027905 7	0,0515021
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,03092145 9	0,04025224 7	0,025839 8	0,027905 7	0,0515021
Micronal PCM 26 Gibsbauplatte, BASF	0,03215831 8	0,02066282	0,055268 4	0,022324 5	0,0171674
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	0,02721088 4	0,04025224 7	0,022968 7	0,027905 7	0,0515021
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	0,03092145 9	0,04105729 2	0,025839 8	0,030696 2	0,0463519
LebastLehmplatte e PCM 23(genérico), LehmOrange	0,02782931 4	0,03488528 1	0,024404 2	0,022324 5	0,0386266
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	0,02844774 3	0,04105729 2	0,025122	0,030696 2	0,0463519
savENRG PCM- HS24P	0,02968460 1	0,04883939 4	0,026557 6	0,031533 4	0,0682403
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	0,02597402 6	0,04105729 2	0,024404 2	0,030696 2	0,0463519

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 35: Matriz normalizada método COPRAS.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PUR-PCM- Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	0,02844774	0,02602979	0,05239736	0,02790568	0,01630901
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	0,02844774	0,02066282	0,04923916	0,02511511	0,01716738
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	0,02102659	0,04092312	0,02296871	0,02651039	0,03690987
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	0,02350031	0,04078894	0,02296871	0,02651039	0,03690987
CoolZONE23, Armstrong	0,02659246	0,02066282	0,04909561	0,02790568	0,01716738
savENRG PCM- HS22P	0,02844774	0,04132564	0,02655757	0,04255616	0,06824034
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	0,02844774	0,02066282	0,04909561	0,03069625	0,01716738
Weber.murclima 23, St. Gobain- weber	0,02844774	0,02549309	0,02440425	0,03237059	0,03261803
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	0,0296846	0,02361465	0,03301751	0,02790568	0,01716738
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	0,03277675	0,01744264	0,01464255	0,02232454	0,01716738
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25H	0,03092146	0,02173621	0,0324433	0,0299986	0,01545064
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	0,02659246	0,02039447	0,02871088	0,02790568	0,01716738

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 36: Matriz normalizada método COPRAS.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	0,02659246	0,02361465	0,02727534	0,02790568	0,01716738
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	0,03277675	0,02361465	0,02569624	0,02790568	0,01716738
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	0,02721088	0,02200456	0,03100775	0,03976559	0,01545064
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	0,0253556	0,02361465	0,02153316	0,02790568	0,01716738
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	0,02844774	0,02361465	0,02153316	0,02790568	0,01716738
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	0,0296846	0,02361465	0,02124605	0,02790568	0,01716738
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	0,03092146	0,02106534	0,02153316	0,03153342	0,01545064
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	0,02721088	0,02106534	0,02081539	0,0309753	0,01545064
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	0,02844774	0,02106534	0,02081539	0,0309753	0,01545064
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A24	0,0296846	0,02119952	0,02081539	0,0309753	0,01545064
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH& Co. KG	0,02659246	0,01073393	0,02813666	0,02371983	0,00686695
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	0,02906617	0,01744264	0,01378122	0,02232454	0,00858369

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Una vez ya se cuente con la matriz normalizada se procede a ponderar la misma, esto quiere decir que los valores asignados de pesos de cada criterio se incorporan. En la tabla 31 se puede ver el resultado obtenido en la ponderación de la matriz del método COPRAS.

Tabla 37: Matriz ponderada del método COPRAS.

Normalización de la matriz (Ponderada)					
Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
	0,0062239	0,003514	0,0096055	0,0020343	0,0116738
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	0,0099246	0,0036227	0,0074189	0,0025115	0,0140086
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	0,0087471	0,0036227	0,0074189	0,0025115	0,0140086
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	0,0084106	0,0036227	0,0070284	0,0025115	0,0140086
Micronal PCM 26 Gibbsbauplatte, BASF	0,0087471	0,0018597	0,015033	0,0020092	0,0046695
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	0,0074014	0,0036227	0,0062475	0,0025115	0,0140086
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	0,0084106	0,0036952	0,0070284	0,0027627	0,0126077
LebastLehmplatte PCM 23(generico), LehmOrange	0,0075696	0,0031397	0,006638	0,0020092	0,0105064
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	0,0077378	0,0036952	0,0068332	0,0027627	0,0126077
savENRG PCM-HS24P	0,0080742	0,0043955	0,0072237	0,002838	0,0185614
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	0,0070649	0,0036952	0,006638	0,0027627	0,0126077

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Continuación tabla 38: Matriz ponderada del método COPRAS.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
PUR-PCM- Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	0,00773779	0,00234268	0,01425208	0,00251151	0,00443605
Micronal PCM 23 Gibsbauplatte, BASF	0,00773779	0,00185965	0,01339305	0,00226036	0,00466953
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	0,00571923	0,00368308	0,00624749	0,00238594	0,01003948
PlusICE PCM, (Sales Hidratadas) PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	0,00639208	0,003671	0,00624749	0,00238594	0,01003948
CoolZONE23, Armstrong	0,00723315	0,00185965	0,01335401	0,00251151	0,00466953
savENRG PCM- HS22P	0,00773779	0,00371931	0,00722366	0,00383005	0,01856137
ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	0,00773779	0,00185965	0,01335401	0,00276266	0,00466953
Weber.murclima 23, St. Gobain- weber	0,00773779	0,00229438	0,00663796	0,00291335	0,0088721
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	0,00807421	0,00212532	0,00898076	0,00251151	0,00466953
RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	0,00891528	0,00156984	0,00398277	0,00200921	0,00466953
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25H	0,00841064	0,00195626	0,00882458	0,00269987	0,00420258
RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	0,00723315	0,0018355	0,00780936	0,00251151	0,00466953

Continuación tabla 39: Matriz ponderada del método COPRAS.

Componente	Temperatura de cambio de fase (°C)	Densidad de masa (kg/m ³)	Calor de fusión (Kj/kg)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K)	Conductividad térmica (W/m-K)
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	0,00723315	0,00212532	0,00741889	0,00251151	0,00466953
RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	0,00891528	0,00212532	0,00698938	0,00251151	0,00466953
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22H	0,00740136	0,00198041	0,00843411	0,0035789	0,00420258
RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	0,00689672	0,00212532	0,00585702	0,00251151	0,00466953
RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	0,00773779	0,00212532	0,00585702	0,00251151	0,00466953
RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	0,00807421	0,00212532	0,00577893	0,00251151	0,00466953
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A25	0,00841064	0,00189588	0,00585702	0,00283801	0,00420258
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A22	0,00740136	0,00189588	0,00566179	0,00278778	0,00420258
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A23	0,00773779	0,00189588	0,00566179	0,00278778	0,00420258
PlusICE PCM, (orgánico) PCM de solución de rango, A24	0,00807421	0,00190796	0,00566179	0,00278778	0,00420258
PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH & Co. KG	0,00723315	0,00096605	0,00765317	0,00213478	0,00186781
RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	0,007906	0,00156984	0,00374849	0,00200921	0,00233476

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Una vez ya obtenidos los valores ponderados se calcula los valores de S+i, S-i y S-min.

En la tabla 32 se reflejan los resultados obtenidos.

Tabla 40:Tabla de Valores para S + i, S - i y S-min/S-i respectivamente.

S +i	S -i	S -min/S -i
0,023446	0,0096055	0,3902439
0,0300673	0,0074189	0,5052632
0,0288899	0,0074189	0,5052632
0,0285534	0,0070284	0,5333333
0,0172855	0,015033	0,2493506
0,0275442	0,0062475	0,6
0,0274762	0,0070284	0,5333333
0,0232249	0,006638	0,5647059
0,0268033	0,0068332	0,5485714
0,0338691	0,0072237	0,5189189
0,0261305	0,006638	0,5647059
0,017028	0,0142521	0,2630137
0,0165273	0,0133931	0,2798834
0,0218277	0,0062475	0,6
0,0224885	0,0062475	0,6
0,0162738	0,013354	0,2807018
0,0338485	0,0072237	0,5189189
0,0170296	0,013354	0,2807018
0,0218176	0,006638	0,5647059
0,0173806	0,0089808	0,4173913
0,0171638	0,0039828	0,9411765
0,0172693	0,0088246	0,4247788
0,0162497	0,0078094	0,48
0,0165395	0,0074189	0,5052632
0,0182216	0,0069894	0,5363128
0,0171632	0,0084341	0,4444444
0,0162031	0,005857	0,64
0,0170441	0,005857	0,64
0,0173806	0,0057789	0,6486486
0,0173471	0,005857	0,64
0,0162876	0,0056618	0,662069
0,016624	0,0056618	0,662069
0,0169725	0,0056618	0,662069
0,0122018	0,0076532	0,4897959
0,0138198	0,0037485	1

Tabla 41: Valor designado de S – min

S- min	0,00374849
--------	------------

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Ya que se cuenta con los valores de S + i, S - i y S-min/S-i respectivamente. Se procede a calcular los valores de Qi y Ui, estos valores se ven reflejados en la tabla 34 donde a su vez también se verifica el ranking del método Copras.

Tabla 42: Valores finales del método COPRAS.

Qi	Componente	Ui	RANK
0,0291236	KF * 4H₂O	70,314998	15
0,0374183	RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	90,34143	3
0,0362409	RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	87,498545	6
0,0363128	RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	87,672291	4
0,0209132	Micronal PCM 26 Gibbsbauplatte, BASF	50,492077	31
0,0362735	RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	87,577279	5
0,0352356	PlusICE PCM, PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S25	85,071412	7
0,0314407	LebastLehmplatte PCM23(generico),LehmOrange	75,909268	10
0,0347844	PlusICE PCM, PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S23	83,982163	8
0,0414188	savENRG PCM-HS24P	100	1
0,0343463	PlusICE PCM, PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S21	82,924399	9
0,0208546	PUR-PCM-Revestimiento 40%, BASF Poliuretanos GmbH	50,350494	32
0,0205993	Micronal PCM 23 Gibbsbauplatte, BASF	49,734187	33
0,030557	PlusICE PCM, PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S17	73,775764	13
0,0312178	PlusICE PCM, PCM DE SOLUCIONES SALINAS, S19	75,371115	11
0,0203577	CoolZONE23, Armstrong	49,150924	34
0,0413982	savENRG PCM-HS22P	99,950225	2
0,0211135	ThermalCORE 23 C/ 73 F, Yeso Nacional, USA	50,975673	30
0,0300334	Weber.murclima 23, St. Gobain-weber	72,511597	14
0,0234531	RUBITHERM GmbH, PCM RT 25 HC	56,62435	27
0,0308569	RUBITHERM GmbH, PCM PX 27	74,49969	12
0,0234494	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A25H	56,61531	28
0,0232331	RUBITHERM GmbH, PCM RT 22 HC	56,093202	29
0,0238905	RUBITHERM GmbH, PCM RT 21 HC	57,680322	25
0,0260244	RUBITHERM GmbH, PCM RT 27	62,832244	22
0,0236294	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A22H	57,049936	26
0,0255143	RUBITHERM GmbH, PCM RT 21	61,600861	24
0,0263554	RUBITHERM GmbH, PCM RT 24	63,631493	20
0,0268177	RUBITHERM GmbH, PCM RT 25	64,74754	17
0,0266584	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A25	64,362941	18
0,0259199	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A22	62,580107	23
0,0262564	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A23	63,39236	21
0,0266049	PlusICE PCM, (organico) PCM de solucion de rango, A24	64,233768	19
0,0193278	PCM-Akustikputz 23(RAL-Werte), SchreffGmbH& Co. KG	46,66422	35
0,0283687	RUBITHERM GmbH, PCM PX 25	68,492213	16

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la tabla 34 se puede analizar los resultados obtenidos en el método de COPRAS estos resultados son muy similares a los obtenidos en el método anterior ya que nuevamente el material seleccionado es el savENRG PCM-HS24P, por medio de este método se corrobora los resultados obtenidos en el método anterior, en este método los 5 materiales más relevantes son:

Tabla 43: Materiales con mejor puntuación del método COPRAS.

Componente	Ui	RANK
savENRG PCM-HS24P	100	1
savENRG PCM-HS22P	99,9502247	2
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	90,3414304	3
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	87,672291	4
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	87,5772787	5

Los materiales seleccionados por medio de este método se consideran más confiables ya que el método COPRAS es el más usado en el ámbito de la ingeniería debido a que toma en cuenta la importancia y relevancia de cada uno de los criterios que se analizan, dando más relevancia a los criterios que más está interesada la persona que está aplicando el método.

Resultados selección mediante aproximación de Ashby.

La tabla 36 da los resultados de los diferentes materiales que fueron seleccionados mediante los métodos multicriterio seleccionados, estos materiales se redujeron a 6 que se mantuvieron en las primeras posiciones durante los 3 métodos diferentes

Tabla 44: Resultados MCDM.

Método	VIKOR	TOPSIS	COPRAS
Material	RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	savENRG PCM-HS24P	savENRG PCM-HS24P

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la tabla 37 a los materiales con mejores puntuaciones en los diferentes MCDM se les aplico las fórmulas FOM para encontrar su calor extraído por unidad de volumen y su tiempo de respuesta.

Tabla 45: Resultados aproximación de Ashby.

Componente	FOM1 (Calor extraído por unidad de volumen) $\times 10^6$	FOM2 (Difusividad térmica) $\times 10^{-6}$	Rank FOM1	Rank FOM2
RUBITHERM GmbH, PCM SP 21 E	240	0,2	6	1
RUBITHERM GmbH, PCM SP 24 E	285	0,2	2	1
RUBITHERM GmbH, PCM SP 26 E	285	0,2	2	1
RUBITHERM GmbH, PCM SP 25 E2	270	0,2	5	1
savENRG PCM-HS22P	284,9	0,169256973	4	6
savENRG PCM-HS24P	336,7	0,193280171	1	5

En la tabla 37 se puede apreciar los resultados de la aproximación de Ashby, aquí el material seleccionado fue “savENRG PCM-HS24P” esto se debe a que el material cuenta con características de densidad, calor de fusión, transferencia de calor y conductividad térmica muy buenos por los cuales sus resultado de calor extraído por unidad de volumen (FOM1) y difusividad térmica (FOM2) resultan ser favorables brindando valores apoyando la idea de que este material gracias a sus características es capaz de difundir el calor a lo largo de su extensión sin problema almacenando gran cantidad de calor en su interior sin problema. Ya que se cuento con el material seleccionado se realizó la simulación sin problema ya que el material a su vez se

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

encuentra dentro de los parámetros de la temperatura de cambio de fase necesaria para poder cumplir con este objetivo.

Selección del material

Resultados correlación de Spearman.

En la tabla 38 se puede apreciar los resultados obtenidos por la correlación de Spearman, aquí la mayoría de criterios superan el valor de 0.57 tomando en cuenta que al superar el valor de 0.50 en esta correlación se considera como “correlación positiva” (Ortega, 2009) esto quiere decir que existe una correlación positiva entre los resultados obtenidos en los métodos, como consecuencia el material que obtiene el primer lugar es “savENRG PCM-HS24P”.

Tabla 46: Resultados correlación de Spearman.

CORRELACION 35 MATERIALES	FOM1 (Calor extraído por unidad de volumen) x10 ⁶	FOM2 (Difusividad térmica) x10 ⁻⁶	COPRAS	TOPSIS	VIKOR
FOM1 (Calor extraído por unidad de volumen) x10 ⁶	-	0,5957983	0,2841737	0,2627451	0,7491597
FOM2 (Tiempo de respuesta) x10 ⁻⁶	-	-	0,6406162	0,6672269	0,772409
COPRAS	-	-	-	0,9876751	0,5904762
TOPSIS	-	-	-	-	0,5843137
VIKOR	-	-	-	-	-

Con la correlación de Spearman se puede observar la cantidad porcentual de relación que existe entre un criterio y otro. Existe una amplia relación entre los criterios COPRAS y TOPSIS, en ambos criterios el material seleccionado fue el “savENRG PCM-HS24P” es por esto por lo que cuentan con tan alta relación respaldando sus resultados uno con el otro. Existe una alta compatibilidad entre los valores de FOM 1 y FOM 2 con los valores

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

del método VIKOR, sin embargo, los criterios COPRAS y TOPSIS muestran afinidad aceptable con los demás métodos, esto quiere decir que por mayoría numérica la relación que existe por parte de estos dos métodos con respecto a los demás, los valores que se generen por tu parte se consideran como la mejor selección para esta investigación.

En este caso existen dos correlaciones negativas, pero, existen 8 correlación positivas que brindan el apoyo necesario al material seleccionado, si la cantidad de correlaciones negativas fuera mayor a 4 en este caso el material seleccionado no se consideraría el ideal ya que no existe el apoyo necesario por parte de los criterios, pero en este caso el apoyo si es el ideal, por lo tanto, el material seleccionado se mantiene.

Lo que indica esta correlación entre los diferentes métodos es que los resultados de los MCDM son consistentes en el material ideal para esta tarea.

Tabla 47: Características material seleccionado por MCDM.

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m³) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	0,5 - 1,09

El material de la tabla 39 fue el seleccionado por medio de MCDM, analizando al material se puede observar que cumple con la temperatura de cambio de fase requerida además que tiene un valor aceptable de calor de fusión, esto quiere decir que el cambiar de fase para este material no sería muy complicado y finalmente su conductividad térmica está en un rango muy bueno como para poder almacenar el exceso de calor de manera eficiente, además gracias al método matemático correlación de Spearman se puede garantizar un buen desempeño del material en la extracción de calor y tiempo de

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

respuesta, este método fue de gran ayuda para corroborar la decisión tomada en los métodos de selección multicriterio.

Resultados de la simulación.

En esta sección se muestran resultados que se obtuvieron con la simulación térmica realizada en el software AutoDesk Fusion 360, una vez ya se realizó la selección del material para realizar este estudio mediante métodos multicriterio, analizando a profundidad sus pros y sus contras para poder realizar su propósito de una manera adecuada, el material ganador fue un PCM inorgánico “savENRG PCM-HS24P”.

El material seleccionado para esta simulación es un PCM inorgánico, una sal hidratada este material ha tenido limitadas aplicaciones en el campo automotriz, como por ejemplo (Velez, 2015) en su investigación “Desarrollo de electrodos y electrolitos para baterías sólidas de ión litio en lámina delgada obtenidos por sol-gel” habla de cómo los PCM cuentan con limitadas aplicaciones en el campo automotriz debido a temas de costo y pobre investigación e interés en el tema. Las investigaciones de este tipo tratan de demostrar la importancia de los PCM, este archivo expone el amplio uso en distintas aplicaciones térmicas en el área automotriz que tienen los materiales de cambio de fase.

En la parte automotriz existe varias aplicaciones para los materiales de cambio de fase, esto se debe a que su función principal se basa en almacenar energía térmica, de todas formas, la parafina puede ser aplicada en diferentes lugares en el interior del habitáculo del vehículo tales como la tapicería, tableros, techo e interiores de las puertas.

(Mendez, 2016) plantea en su investigación “ALMACENAMIENTO TÉRMICO CON MATERIALES DE CAMBIO DE FASE” el uso de PCM como materiales de almacenamiento térmico usados en el techo y puertas del vehículo, esta investigación se diferencia ya que toma en cuenta una de las áreas donde mayor cantidad de energía

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

térmica se acumula dentro del habitáculo del vehículo el cual es el tablero frontal, esta zona está expuesta la mayor parte del tiempo a los cambios bruscos de temperatura, además que por el material que está conformado este pierde sus características térmicas muy rápidamente con el pasar del tiempo. La aplicación de un PCM en esta zona se podría considerar como un aporte importante en la búsqueda del confort térmico que todas estas investigaciones están buscando.

Gracias al software de simulación AutoDesk Fusion 360, se genera el material y a este se le aplica las características del material seleccionado el cual es el PCM inorgánico savENRG PCM-HS24P , basándose en los datos del material se procede a realizar las pruebas del material en la geometría de la pieza es decir el tablero del vehículo con el acople donde se encuentra el PCM, para esto se realizó la simulación en las cuales se usó una temperatura aplicada en la geometría de 30°C en la temperatura ambiente y una temperatura de radiación de 50°C, estos datos fueron obtenidos de (Spark, 2020) basándose en un día soleado de Quito – Ecuador. Para la simulación se usó las siguientes características de los materiales del tablero y el PCM:

Tabla 48:Características del material del tablero.

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m³) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
Plastico PPS Tecatron PVX black	94	1500	260	0,9	0,58

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Tabla 49:Características térmicas del material seleccionado para la simulación.

Componente Material (M)	Temperatura de cambio de fase (°C) (T1)	Densidad de masa (kg/m3) (T2)	Calor de fusión (Kj/kg) (T3)	Capacidad calorífica específica (Kj/Kg-K) (T4)	Conductividad térmica (W/m-K) (T5)
savENRG PCM-HS24P	24	1820	185	2,26	1,2

Los resultados de la simulación fueron los siguientes:

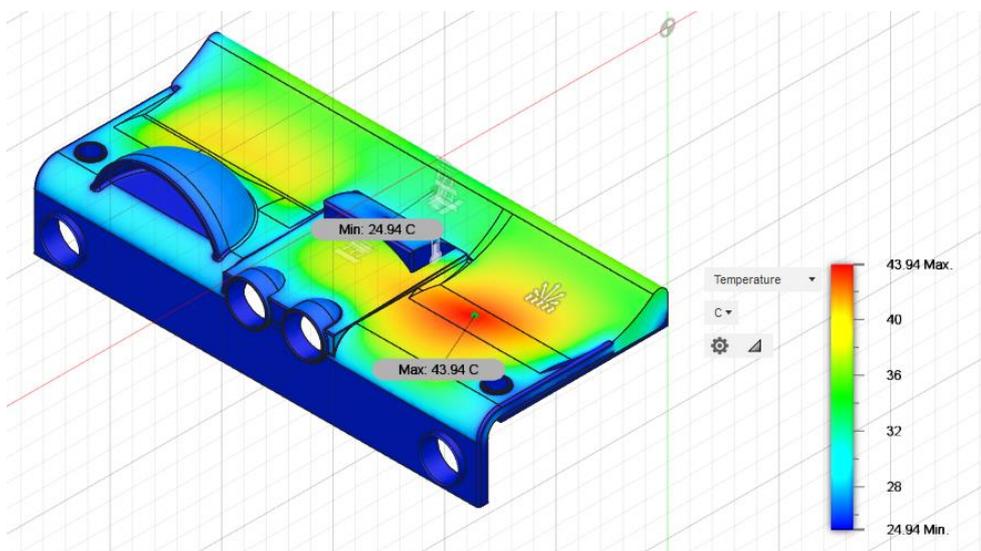


Figura 30: Simulación térmica vista angular.



Figura 31: Simulación térmica vistas superior del tablero

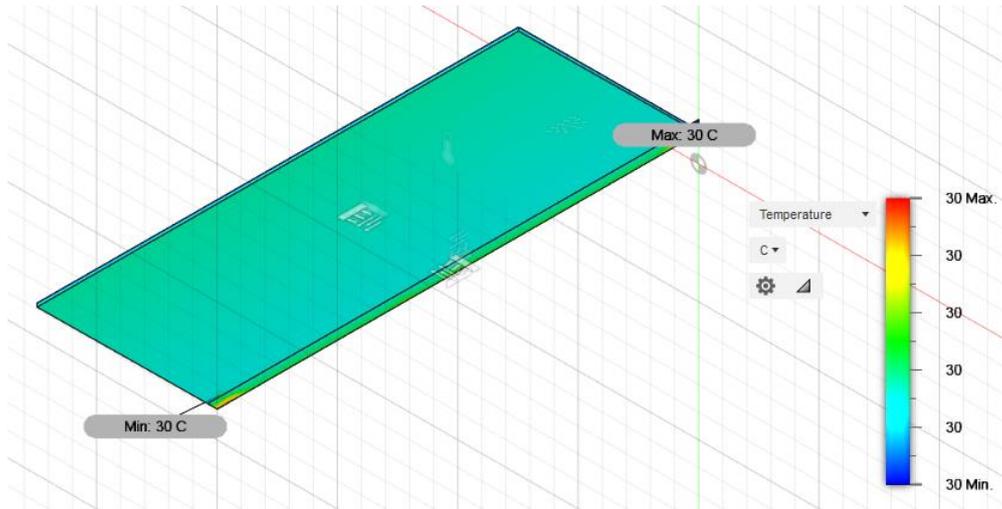


Figura 32: Simulación térmica vista del PCM

En las figuras 30,31 y 32 se puede apreciar cómo se distribuye la temperatura sobre el tablero y sobre el PCM y no se acumula sobre la totalidad de la superficie. En la figura 31 y 32 se puede apreciar como el calor no llega a temperaturas exageradas en el tablero, sino que se mantiene en un rango promedio sin llegar a la temperatura de radiación a la que estaba expuesta constantemente que es de 50°C y 30°C de temperatura ambiente existe un pequeño punto donde la temperatura llega a su punto más elevado de 43,94°C siendo este casi mínimo en comparación al resto del tablero donde la temperatura esta entre un promedio de 24,98 °C a 28 °C, estas temperaturas son muy buenas tomando en cuenta que a la temperatura a la que se encuentra expuesto es de 50°C de radiación y 30°C de temperatura ambiente.

En la figura 32 se observa que el PCM se mantiene a temperatura constante de 30°C este comportamiento demuestra que el PCM absorbe el exceso de calor que se encuentra en el tablero cumpliendo su propósito para el cual está colocado en la parte trasera del tablero.

Tabla 50:Resultados tabulados de la simulación.

Temperatura aplicada	Temperatura radiación aplicada	Temperatura del PCM	Temperatura max. Tablero	Temperatura min. Tablero
30°C.	50°C.	30°C.	43,94°C.	24,94°C.

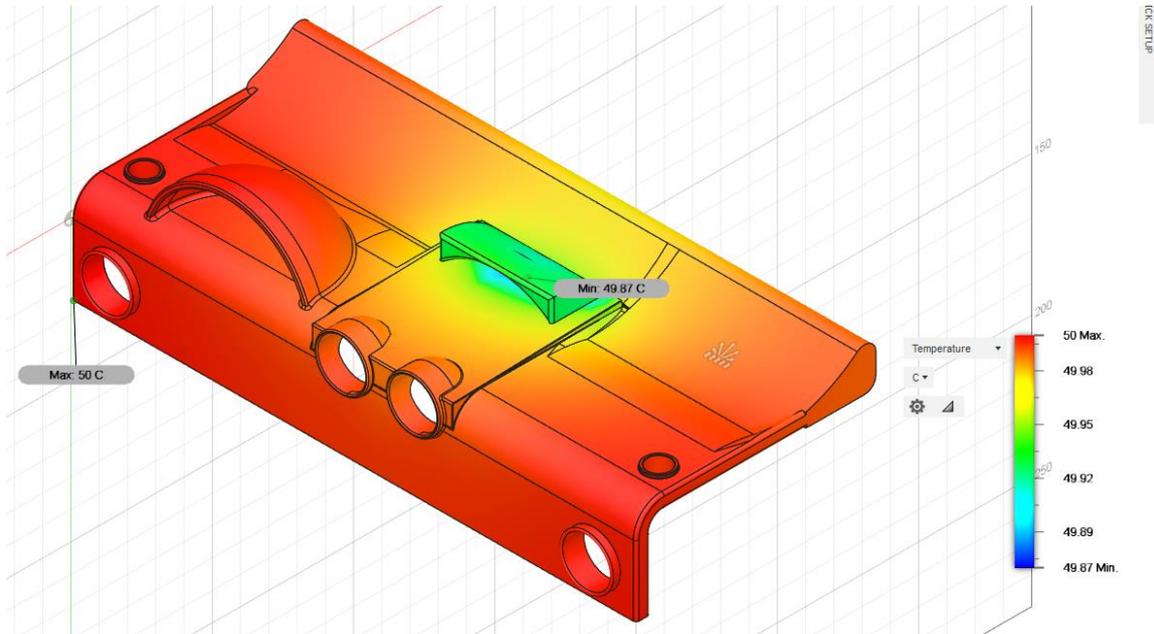


Figura 33:Tablero sin PCM

En la figura 33 se puede apreciar al tablero sin la existencia de PCM en su parte trasera, como consecuencia el tablero está absorbiendo la totalidad del calor que llega hacia el sin tener un apoyo de un PCM todo este calor absorbido por el tablero será liberado lentamente hacia el habitáculo del vehículo, esto provocara un des confort térmico muy notorio, a diferencia de la figura 29 donde el tablero del vehículo se encontraba a una temperatura estable donde el PCM brindaba un aporte al tablero manteniéndolo a temperaturas estables apoyando a la generación de un confort térmico en el habitáculo, de esta manera se corrobora que el uso del PCM en la parte trasera del tablero resulto ser de ayuda en la búsqueda del confort térmico del habitáculo en un vehículo.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

En la tabla 43 se encuentran los resultados de las temperaturas obtenidas en la simulación del tablero sin PCM.

Tabla 51: Temperaturas resultantes de la simulación sin PCM.

Temperatura aplicada	Temperatura radiación aplicada	Temperatura max. Tablero	Temperatura min. Tablero
30°C.	50°C.	50°C.	49.8°C.

Las temperaturas del tablero al no usar un material de cambio de fase se disparan de manera elevada, esto se debe a que al no tener un apoyo para la reducción de su temperatura este empieza a extender esta temperatura por toda la superficie del tablero generando un exceso de calor en el habitáculo y un total desconfort térmico. En la tabla 44 y en la figura 34 se puede apreciar las diferencias entre la simulación generada con y sin PCM. Las temperaturas más bajas en el tablero al aplicar un PMC son de 24.95°C. a diferencia de cuando no se usa un PCM que es de 49,87°C.

Tabla 52: Resultados tabulados de las simulaciones.

Simulación	Temperatura aplicada	Temperatura radiación aplicada	Temperatura PCM	Temperatura max. Tablero	Temperatura min. Tablero
SIN PCM	30°C.	50°C.	-	50°C	49,87°C.
CON PCM	30°C.	50°C.	30°C.	43,94°C.	24,94°C.

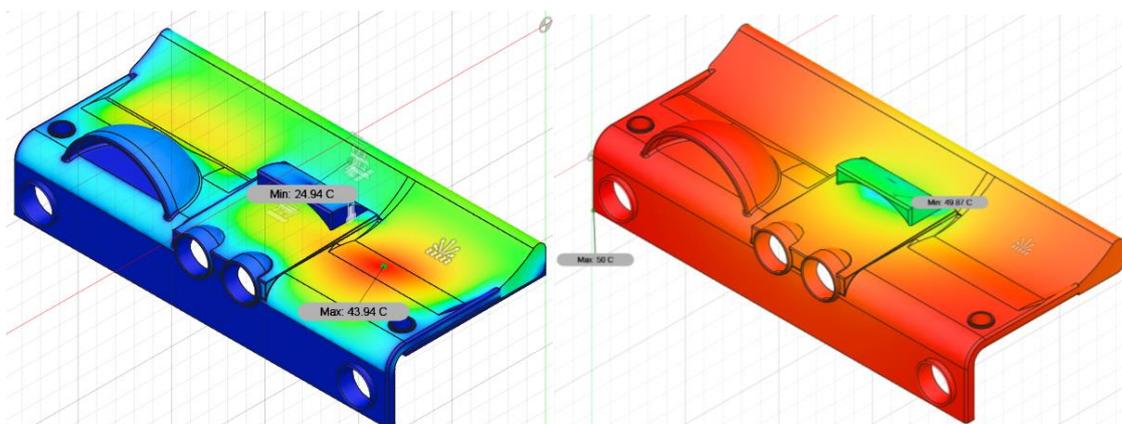


Figura 34: Comparación visual de las simulaciones (con PCM vs sin PCM)

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Realizando la comparación entre las dos simulaciones se puede dar como resultado de la simulación que el material de cambio de fase savENRG PCM-HS24P refleja resultados positivos a favor de la búsqueda del confort térmico dentro del habitáculo ya que al generar un espacio debajo del tablero donde el exceso de temperatura será almacenado el calor del tablero pasa al PCM dándole así una temperatura exterior mucho más baja y por ende brindando apoyo al confort térmico dentro del habitáculo, sosteniendo así la hipótesis donde se planteaba que investigación en el uso de PCM en el tablero frontal del vehículo resulta ser de gran ayuda a momento de buscar el confort térmico.

Discusión de resultados.

A partir de los hallazgos encontrados, se confirma que los PCM elegidos por medio de MCDM cumplen su aplicación de manera ideal ya que mantienen el calor excesivo dentro de ellos evitando así que este salga de manera excesiva por el tablero hacia el aire dentro del habitáculo mejorando así el confort térmico dentro del mismo.

En lo que respecta a el uso de PCM en aplicaciones térmicas para el confort térmico del habitáculo del vehículo, se ha corroborado esta hipótesis ya que estos materiales ya sean de cualquier rama de PCM resultan ser una excelente alternativa al ser usados como sistemas de almacenamiento térmico amigables con el medio ambiente. (Beltran, 2019) en su estudio “Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment” busca por medio de MCDM materiales que cumplan la función de aislante térmico y a su vez este sea eco amigable por lo que comparte el criterio de esta investigación donde se señala que los materiales de cambio de fase resultan ser grandes aislantes térmicos y controladores de temperatura para espacios cerrados amigables con el ambiente resultando ser una solución efectiva y poco contaminante.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

Los resultados de esta investigación guardan relación con (Javani N, 2014) en su investigación “Modeling of passive thermal management for electric vehicle battery packs with PCM between cells” ya que el investigador plantea que los PCM son ideales para ser usados como sistemas de control térmico pasivo en las baterías de vehículos eléctricos. Sus resultados están acordes con los de esta investigación ya que se comprobó que los PCM son excelentes materiales cuando se busca tener un control térmico dentro del habitáculo del vehículo, siendo una solución factible y segura a largo plazo en el vehículo.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene (Rastogi, 2014) en “Selection and performance assessment of Phase Change Materials for heating, ventilation and air-conditioning applications” quien señala que el uso de MCDM para la selección de PCM resultan ser métodos confiables, rápidos y económicos ya que sin uso de tiempo ni recursos excesivos se logró encontrar un PCM adecuado para la situación, esto esta acorde con lo que en este estudio se halla. Pero en lo que no concuerda es en el material seleccionado. En esta investigación a diferencia de (Rastogi, 2014) se uso valores promedio en criterios donde ella usaba rangos tales como la densidad y la conductividad térmica, esto con el objetivo de generar valores más generalizados al momento de aplicarlos en los MCDM.

El uso de MCDM para encontrar el material ideal es una de las múltiples opciones que se encontra para poder dar con el material ideal. El investigador (M.E, 2012) en su documento “Selection and characterization of recycled materials for sensible thermal energy storage” realiza su investigación por medio del software de Cambridge education (CES), a diferencia de esta investigación donde se valida el material seleccionado por medio de métodos de selección multicriterio, selección por índices y correlación de Spearman sin embargo en ambas investigaciones se logra obtener un material adecuado

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

para el almacenamiento de calor. A diferencia de la investigación de (M.E, 2012) esta investigación cuenta con la ventaja de que requirió de recursos mínimos para poder realizar la selección, esto se debe a que los MCDM como lo señala (Rastogi, 2014) son métodos confiables, rápidos y económicos.

Al momento de comparar diferentes materiales por medio de los métodos de selección multicriterio se debe tomar en cuenta que existe una amplia selección de materiales de cambio de fase. (A.I, 2010) en su investigación “Selection of materials with potential insensible thermal energy storage” toma en cuenta la existencia de miles de materiales que se han descubierto con el pasar del tiempo. Este aspecto también fue tomado en cuenta en esta investigación, es por eso que los resultados de esta investigación están acorde con los de (A.I, 2010) y (Rastogi, 2014) ya que ambos toman en cuenta la existencia de diversos materiales. Para solventar esto se usó los materiales que (Rastogi, 2014) selecciono en su investigación al ser algunos de los más usados en la actualidad.

Para comprobar la funcionalidad de los materiales de cambio de fase en el área de la climatización automotriz es necesario realizar una comparación entre los mismos. (Rastogi, 2014) en “Selection and performance assessment of Phase Change Materials for heating, ventilation and air-conditioning applications” usa el método de selección por índices (Aproximación de Ashby) para conocer los valores de FOM1 y FOM2 los cuales brindan los valores de calor extraído por unidad de volumen y tiempo de respuesta respectivamente. El objetivo de estos valores es conocer si los PCM candidatos son funcionales al momento de ser aplicados como sistemas de control térmico en el área automotriz. Los resultados de esta investigación están acordes con los de (Rastogi, 2014) ya que se comprobó que el material seleccionado savENRG PCM-HS24P cuenta con un excelente valor de calor extraído por unidad de volumen al igual que en su investigación volviéndolo el candidato ideal por lo que se lo ha seleccionado en esta investigación. Sin

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

embargo, existe una diferencia en los valores del tiempo de respuesta (FOM2) con respecto a los valores obtenidos por (Rastogi, 2014) esto se debe a que se usó promedios de los valores de algunos materiales en los criterios de densidad y conductividad térmica para poder obtener valores más generales al momento de compararlos con los resultados de los PCM sin embargo el material seleccionado cumplió con su objetivo de manera ideal corroborando que los métodos de selección por índices tanto en la investigación de (Rastogi, 2014) como en esta son de total importancia al momento de buscar PCM que funcionen de manera eficiente como sistemas de control térmico al ser usados en el área de la automoción.

Los resultados obtenidos en esta investigación tienen ligeras discrepancias en comparación a los resultados obtenidos por (Mendez, 2016) en su investigación “ALMACENAMIENTO TÉRMICO CON MATERIALES DE CAMBIO DE FASE”, donde realiza comparación solo entre 7 materiales muy generalizados, obteniendo como resultado de su selección la parafina, este rango de posibles materiales limita grandemente la selección. En esta investigación se realizó la comparación entre 35 materiales de cambio de fase más usados en la actualidad dando como resultado un material mucho más específico con mejores prestaciones, por lo tanto, se considera que esta investigación cuenta con una selección mucha más amplia y precisa de materiales de cambio de fase para el uso en la automoción.

El investigador (Martinez, 2015) señala que es importante contar con varios métodos de selección y corroboración de resultados que respalden la selección establecida ya que con diferentes criterios matemáticos que apoyen a una misma selección ayudaran a confirmar que la simulación estará bien realizada. (Beltran, 2019) en su estudio “Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on the effect of environment” señala que los métodos de selección multicriterio llegaron a tener ciertas discrepancias

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

debido a que no contaban con la información necesaria. Es por eso que esta investigación esta sostenida a más de MCDM también por selección por índices y para seguridad se realizó la correlación de las respuestas con el método de Spearman. Por eso se considera que los resultados de selección de esta investigación están bien sustentados por los métodos seleccionados generando confianza en los resultados obtenidos en esta simulación.

Conclusiones

Por medio del trabajo propuesto se ha buscado examinar y clasificar diferentes materiales comerciales de cambio de fase para ser aplicados como sistemas de control térmico en el habitáculo del vehículo. En esta investigación gracias a la aplicación de los métodos de selección VIKOR, TOPSIS y COPRAS además de método de selección por índices de Ashby y la correlación de Spearman se ha logrado seleccionar un material de cambio de fase ideal para ser usado como sistema de almacenamiento de calor en el tablero frontal de un automóvil. El material seleccionado fue el material de cambio de fase inorgánico “savENRG PCM-HS24P”. El material seleccionado fue sometido a una simulación térmica en el programa Fusion 360 donde se concluyó que la aplicación de un material de cambio de fase resulta ser de gran ayuda si lo que se busca es el control térmico de un área cerrada como es en este caso el habitáculo de un vehículo, ya que el PCM en la simulación logro controlar el exceso de temperatura generada en el tablero siendo así de gran ayuda para lograr el confort térmico dentro del habitáculo del vehículo.

Después de inspeccionar con cuidado los conceptos y resoluciones presentados en este estudio, se llegó a obtener las siguientes conclusiones:

- El material seleccionado “savENRG PCM-HS24P” fue capaz de cumplir con todas las especificaciones para poder ser usado como material de cambio de fase en el tablero del vehículo, ya que en las simulaciones se comprobó que el calor

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

acumulado en el PCM no fue expulsarlo en su totalidad desde el tablero hacia el habitáculo del vehículo, al contrario todo el calor que entraba al tablero llegaba al material de cambio de fase ayudo a reducir en un 65% el calor expulsado por el tablero apoyando así al resto del habitáculo para encontrar el confort térmico dentro del mismo.

- Los PCM son un material que resulta muy eficiente en comparación a los materiales tradicionales usados para repeler el exceso de calor, al haber sido simulado en el tablero de un vehículo se muestra que los materiales de cambio de fase ayudan a mantener un control estable de temperatura en el interior del vehículo, ayudando a que el confort térmico se mantenga sin importar ninguna circunstancia térmica que se presente.
- El uso de un programa de simulación resulta ser de gran ayuda al momento de validar la selección realizada por medio de los métodos de selección multicriterio ya que permite comprobar el correcto funcionamiento del material de cambio de fase al ser usado como sistema de almacenamiento térmico.
- En la simulación el material “savENRG PCM-HS24” presento resultados positivos ya que fue capaz de mantener el exceso de temperatura que ingresaba en el tablero en su interior, esto se debe a que este material es capaz de mantener grandes cantidades de calor por unidad de masa permitido así que el tablero se mantenga a temperaturas aceptables para lograr un confort térmico en el habitáculo del vehículo.
- Gracias a la capacidad térmica del material usado en la simulación el panel del vehículo logro mantenerse a temperaturas menores a los 30 grados centígrados ya que este logro distribuirse de mejor manera sobre el tablero y a su vez enviar

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

el exceso hacia el PCM obteniendo menores temperaturas en el tablero logrando un control térmico del habitáculo.

- PCM inorgánico “savENRG PCM-HS24P” “al ser usado en el aislamiento térmico en el habitáculo de un vehículo es un método bastante efectivo ya que este material permite que la temperatura este dentro del rango de confort térmico es decir máximo hasta 25 °C.
- Los PCM permiten aprovechar la capacidad de almacenamiento térmico cuando las temperaturas sean demasiado elevadas y se pueda liberar cuando sea necesario, existen diferentes tipos de PCM disponibles para su adquisición, esto permite que las aplicaciones de estos sean muy amplias, con el objetivo de poder controlar la temperatura en diferentes ambientes, como en este caso el habitáculo de un vehículo.
- El material de cambio de fase “savENRG PCM-HS24P” es un material de cambio de fase que cuenta con una amplia variedad de usos en diferentes industrias tales como la construcción y el transporte, ya que el uso de PCM se traduce como una amplia reducción del uso excesivo de sistemas de aire acondicionado.
- Los métodos de selección multicriterio son una gran herramienta si se está buscando una respuesta precisa durante una selección de posibles candidatos, esto se debe a que los MCDM en su mayoría aplican métodos matemáticos para poder llegar a una respuesta aumentando así su eficiencia y precisión a la hora de encontrar un candidato ideal para una determinada tarea.

Recomendaciones

- Para próximas simulaciones tratar de usar más de un programa de simulación ya que de esta manera se pueden corroborar los resultados obtenidos, y poder tener

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

un resultado mucho más acertado de como sería el comportamiento del material cuando se esté aplicando en una situación práctica.

- Buscar más posibles aplicaciones de PCM dentro de la industria automotriz ya que estos materiales podrían brindar varias soluciones térmicas en diferentes sistemas del vehículo desde el sistema de aire acondicionado hasta el sistema de enfriamiento del motor.
- Se recomienda buscar ampliar este estudio a la parte práctica para así poder comprobar que todo lo estudiado y simulado en verdad es una solución real al momento de busca el confort térmico dentro del habitáculo de los vehículos.
- Realizar una aplicación mucho más a fondo de las posibles consecuencias de no contar con un confort térmico dentro del habitáculo del vehículo, para que de esta manera se pueda considerar cada vez más a los PCM como un material requerido en los siguientes diseños del habitáculo del vehículo, ya que de esta manera se llegara a dar a conocer que la salud de los usuarios también está en juego si no se cuenta con un ambiente térmico ideal.

Bibliografía

- (s.f.).
- A.I, F. (2010). *Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage*. Barcelona - España.
- activatie. (2016 de 09 de 2016). *activatie*. Obtenido de <https://www.activatie.org/publicacion?473>
- Arancibia, S. (2016). *uchile.cl* . Obtenido de <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges48.pdf>

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Ariño, M. (2013). *UMCH*. Obtenido de <http://www.umch.edu.pe/arch/hnomarino/metodo.pdf>
- ARQUITECTOS., C. D. (2017). *cosas de arquitectos*. Obtenido de <https://www.cosasdearquitectos.com/2017/11/pcm-materiales-de-cambio-de-fase-construccion/>
- Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection*. El Savier.
- Barrera, M. M. (2014). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/332365912_USO_DE_LA_CORRELACION_DE_SPEARMAN_EN_UN_ESTUDIO_DE_INTERVENCION_EN_FISIOTERAPIA#:~:text=USO%20DE%20LA%20CORRELACI%C3%93N%20DE%20SPEARMAN%20EN%20UN%20ESTUDIO%20DE%20INTERVENCION%20EN%20FISIOTERAPIA,-A
- Beltran, D. (2019). *Analysis of phase change materials (PCM) for building wallboards based on*. Quito .
- Bielsa, P. D. (2011). *Universidad de Zaragoza*. Obtenido de <https://zagan.unizar.es/record/6153/files/TESIS-2011-036.pdf>
- Cabeza, M. /. (2008). *Heat and cold storage with PCM*. Springer.
- Cabezas, J. A. (2008). *Aritmetica y Algebra* . Madrid : Grupo Editorial Bruño .
- CAD, N. i. (2016). *Prototicad3D*. Obtenido de <https://www.prototicad3d.com/2016/06/analisis-termico-en-autodesk-inventor-con-nastran-in-cad.html>

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- David García Sanoguera, D. J. (2012). *ESTUDIO DE MATERIALES CON CAMBIO DE FASE Y ANALISIS SEM DE MICRO*. 3ciencias . Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817585>
- Dominguez, M. (2009). *Aprovechamiento de los PCM en la climatizacion*.
- EcuRed. (s.f.). *EcuRed*. Obtenido de https://www.ecured.cu/An%C3%A1lisis_multicriterio
- energeticos., c. (2016). *certificadosenergeticos.com* . Obtenido de <https://www.certificadosenergeticos.com/contenido-minimio-certificado-energetico>
- Ensigner. (2019). *Ensigner* . Obtenido de <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/plastico/tecatron-pvx-black#/product-technical-detail-collapse-item-1-lvl-1>
- Fuente, J. d. (Marzo de 2018). *PMFarma* . Obtenido de <http://www.pmfarma.es/articulos/2341-el-analisis-multicriterio-mcda-en-la-toma-de-decisiones.html>
- Gaudy. (2014). *Escuela tecnica superior de ingenieros industriales de Madrid*. Obtenido de http://oa.upm.es/32901/1/GAUDY_CLARET_BRAVO_MORALES.pdf
- Gobain, S. . (2013). *Saint - Gobain*. Obtenido de Saint - Gobain: <https://www.saint-gobain-autover.es/confort-termico>
- Godoy, L. (2015). *Universidad nacional Mayor de San Marcos* . Obtenido de <https://prezi.com/grewrvqypecx/metodo-topsis/>

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Gomez, J. C. (2008). *EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) Y LA TOMA DE DECISIONES*. Pereira.
- Gonzales, F. J. (2017). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4243918>
- Herce, A. C. (2017). *Universidad de la rioja*. Obtenido de https://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/TFE002504.pdf
- iberley. (2019). *iberley*. Obtenido de <https://www.iberley.es/temas/condiciones-termohigrometricas-manipulacion-manual-cargas-prl-63690>
- Inocencio, A. S. (24 de Mayo de 2016). *Angel Sanchez Inocencio* . Obtenido de Angel Sanchez Inocencio : <https://angelsinocencio.com/material-de-cambio-de-fase-pcm-inercia-termica-100-veces-mas-eficiente/>
- Intercomercial, M. (2013). *Mutua Intercomercial* . Obtenido de https://www.mutua-intercomarcal.com/portal/doc/comfort_termico_castb.pdf
- interempresaria., R. (2019). *Canales Sectoriales*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Instaladores/Articulos/259860-Nuevos-materiales-para-el-almacenamiento-de-energia-termica.html>
- Jaguemount. (2017). *Materiales de cambio de fase (PCM) para aplicaciones de automocion. Ingenieria Termica aplicada*. N.O.
- Javani N, D. I. (2014). *Modeling of passive thermal management for electric vehicle battery*. Ontario.
- Khare.S. (2013). *Selection of materials for high temperature sensible energy storage*. Astralia.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Laboratories, I. (2019). *ANDOR*. Obtenido de <http://spanish.andores.com/sale-9516717-phase-change-micro-capsule-paraffin-wax-pcm-for-intelligence-attenuation.html>
- Lara, A. (2001). *Research Gate* . Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/292227646_Arquitectura_modular_y_evolucion_de_los_sistemas_complejos_el_caso_del_sector_automotriz
- Larsen, S. (2001). *ASADES*. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/c529/7898d6d0bc8447780008a4351698c228fad0.pdf>
- Leguisamo, J. (2017). *Blog UISEK* . Obtenido de <https://uisekblog.blogspot.com/2017/05/materiales-de-cambio-de-fase-para-la.html>
- M.E, N. (2012). *Selection and characterization of recycled materials for sensible*. Barcelona, España.
- Maldonado, J. M. (2018). *Phase Change Material Selection for Thermal Energy*. Santiago - Chile .
- Martinez, J. (2015). *Aplicacion de metodos multicriterio para la seleccion de materiales para menaje de cocinas de induccion*. Instituto Nacional de Eficiencia Energetica y Energias Renovables.
- Mayayo, J. G. (2012). *Diseño de una instalacion para la caracterizacion de PCM a altas temperaturas*., Zaragoza.

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Mendez, A. (2016). *UISEK*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3325/1/Almacenamiento%20t%C3%A9rmico%20mediante%20PCM%20%28tesis%29.pdf>
- Monisha Rastogi, A. C. (29 de SEPTIEMBRE de 2014). *ELSEVIER*. Obtenido de ELSEVIER: <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2014.09.077>
- Moscoso, M. (2016). *APLICACIÓN DE LOS MATERIALES DE CAMBIO*.
- motor.es. (2018). *MOTOR.ES*. Obtenido de <https://www.motor.es/ques/plastico-tipos-caracteristicas>
- Neila, J. (2012). *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica*.
- Oliver, A. (2012). *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según*. Obtenido de http://oa.upm.es/19031/1/INVE_MEM_2012_138993.pdf
- Oliver, N. G. (2012). *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/789/845>
- Ortega, R. M. (2009). *Scielo* . Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Pacheco Torgal, C. B.-G. (2015). *Nano and biotech Based Materials for energy building efficiency*. Springer.
- Palomo, M. (2017). *UPM (Aislantes Térmicos)*. Obtenido de http://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- Pereza, C. (2001). Obtenido de <https://www.cepal.org/prensa/noticias/comunicados/8/7598/CarlotaPerez.pdf>
- Powell, K. M. (2012). *IEEE Xplore*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5991593>
- Quintero, A. G. (2013). *Luna Azul ISSN 1909 - 2474*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a14.pdf>
- Qwe. (2015). *Qwe*. Obtenido de https://es.qwe.wiki/wiki/VIKOR_method
- Rastogi, M. (2014). *ELSEVIER*.
- Roy, J. (2019). *Taylor Francis Online*. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1331677X.2018.1543054>
- RUBITHERM. (2018). *RUBITHERM*. Obtenido de <https://www.rubitherm.eu/en/index.php/productcategory/organische-pcm-rt>
- S&P. (2017). *S&P*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-doble-flujo-optimizar-confort-los-usuarios/>
- S&P. (18 de Noviembre de 2019). *S&P Blog*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/condiciones-termohigrometricas/>

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- Salamander. (2019). *infraredheaters*. Obtenido de <https://www.infraredheaters.com/manual13.html>
- Salameh, C. G. (2012). *Sistemas auto sustentables de aire acondicionado*. IntechOpen.
- Santaella, R. (Junio de 2015). *NeoPetrol* . Obtenido de https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/eu.storage.safecreative.org/1/2015/05/15/0000014d/57f7/d56e/79d2/540930acd682/Tratamiento_quimico_de_parafinas_meta.pdf?response-content-type=application%2Fpdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20200616T115147Z
- Santos, G. (2009). *CSIC*. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/645/691>
- savENRG. (2013). *savENRG*. Obtenido de http://www.rgees.com/documents/aug_2013/savENRG%20PCM-HS24P.pdf
- Sectoriales., C. (2012). *Canales Sectoriales*. Obtenido de https://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/98083-CTC-y-los-materiales-con-cambio-de-fase-gestion-termica-eficiente.html
- Sharma, A. (2007). *Science Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032107001402>
- Spark, W. (2020). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/20030/Clima-promedio-en-Quito-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

SELECCIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA LA AUTOMOCION.

- TecnoAutos. (2010). *TecnoAutos* . Obtenido de https://tecnoautos.com/automoviles/aveo-5-puertas/attachment/aveo-hb5p-interior_07_15/
- Torres, L. (2012). *NANOPDF.COM*. Obtenido de https://nanopdf.com/download/diseo-e-instalacion-de-aislante-termico-en-tuberias-y-equipos_pdf
- Varon, D. J. (2012). *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4817585>
- Velez, J. (2015). *Universidad Autonoma de Madrid* . Obtenido de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/676123/velez_santa_fredy.pdf?sequence=4
- Washington. (2018). *Agencia EFE* . Obtenido de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/el-uso-creciente-del-aire-acondicionado-agrava-la-contaminacion-atmosferica/20000013-3671811#:~:text=El%20uso%20creciente%20del%20aire%20acondicionado%20agrava%20la%20contaminaci%C3%B3n%20atmosf%C3%A9rica,-EFEWashi>
- Yepes, V. (2008). *Universidad politecnica de Valencia* . Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/promethee/>

