

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingeniería

Maestría en Diseño Industrial y de Procesos

Selección del material idóneo para mejorar la eficiencia de transferencia de calor en un radiador de vehículo Nissan Sentra, mediante simulación CFD

Nota del autor

Jorge Paúl Uquillas Santacruz, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Directora Ing. Diana Belén Peralta Zurita, M.Sc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:

jpuquillas.mdin@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, Jorge Paúl Uquillas Santacruz, con cédula de identidad 150096831-6, 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.



JORGE PAÚL UQUILLAS SANTACRUZ

C.I. 150096831-6

Índice de contenido

Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Antecedentes.....	12
Planteamiento del problema	15
Justificación.....	17
Hipótesis	18
Estado del arte	18
Eficiencia térmica de un radiador.....	18
Tipos fluidos de refrigeración.....	22
Tipos y propiedades de materiales.....	23
Diseño de las aletas de radiador	24
Parámetros de estudio para diseño de radiadores automotrices.	26
Dimensionamiento de radiador.....	28
Selección de materiales mediante Software CES Edupack.....	31
Estudio CFD de transferencia de calor	36
Estudio de convergencia.....	41
Metodología.....	44
Tipo de estudio	44
Diagrama de proceso	45
Selección del modelo de radiador.....	46
Modelo CAD radiador de automóvil.....	47
Selección de material a comparar con los materiales comunes de uso para manufactura de un radiador.	49
Variables de Diseño de Radiador	65
Simulación CFD	70
Resultados.....	83
Curvas de convergencia.....	83
Resultados de temperatura del fluido a través del Radiador	85
Resultados de temperatura del radiador solo.....	88
Validación de resultados.....	90
Discusión	92
Conclusiones y recomendaciones	95
Bibliografía.....	97
Anexos.....	105

Índice de figuras

Figura 1. Tipo de intercambiadores de calor de aleta de la louver.....	25
Figura 2. Dimensiones de la aleta.....	25
Figura 3. Estrategia de discretización para radiadores automotrices de tubo plano/aleta corrugada: concepto de volumen de macro control.....	26
Figura 4. Mapas de rendimiento obtenidos para un estudio paramétrico (largo de aleta F_p , en este caso). a) la dependencia de la transferencia de calor en los caudales de aire y refrigerante. b) mejora general frente a los esquemas de flujo de aire y refrigerante. ...	27
Figura 5. Diagrama de flujo de análisis SD del radiador.....	28
Figura 6. Línea de acoplamiento y la mejor selección de materiales para paneles de piel utilizando múltiples restricciones de diseño.....	32
Figura 7. Base de datos presentes en el programa CES Edupack.....	33
Figura 8. Ejemplo práctico de uso de índices de rendimiento.....	35
Figura 9. Proceso de refrigeración de un transformador de aceite.	36
Figura 10. Representación del flujo de aire en el conducto de refrigeración del prototipo de auto de carreras.	37
Figura 11. Contornos de temperatura de un modelo realizado en el estudio.....	38
Figura 12. Distribución general de temperaturas en el panel de un radiador de placas.	39
Figura 13. Contornos, de velocidad del aire (izquierda) y temperatura (derecha), para (a y b) configuraciones ONAN y (c–f) ONAF; (c y d) flujo forzado vertical y (e y f).	40
Figura 14. Se muestra el trazado del desplazamiento máximo frente a n que demuestra los cambios en los valores del desplazamiento para las distintas densidades de malla.	41
Figura 15. convergencia las cargas generadas por la presión de las pastillas.	42
Figura 16. Curva de convergencia para tamaño de malla de 12 mm.....	43
Figura 17. Curva de convergencia para tamaño de malla de 18 mm.....	43
Figura 18. Curva de convergencia para tamaño de malla de 20 mm.....	44
Figura 19. Hitos para el cumplimiento de objetivos detallados para el proyecto.....	45
Figura 20. Radiador, retirado de un automóvil Nissan Sentra 2010.....	46
Figura 21. Radiador recortado la base para la toma de sus dimensiones	47
Figura 22. Dimensiones de los tubos del radiador.....	47
Figura 23. a) bases de radiador. b) panel tubos de radiador	48
Figura 24. Diseño de radiador en 3D.....	48
Figura 25. Radiador simplificado.	49
Figura 26. Base de datos de software Ces Edupack.	50
Figura 27. Opción crear proyecto de selección o gráfico.	52
Figura 28. Selección de grupo de materiales.....	52
Figura 29. Creación de gráficos.....	52
Figura 30. Buscador de índices de rendimiento.	53
Figura 31. Ventana de índice de rendimiento del programa Ces Edupack.....	54
Figura 32. Resultados de primera etapa.....	54
Figura 33. Selección de función a optimizar.	55
Figura 34. Masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de calor.	56
Figura 35. Elección de precio en el eje X (arriba) Elección de conductividad térmica en el eje Y (abajo)	57

Figura 36. Conductividad térmica en función de precio.	58
Figura 37. Masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de calor.	59
Figura 38. Opción para delimitar propiedades.	60
Figura 39. Ingreso de datos de propiedades limitantes para el proceso de selección.	61
Figura 40. Opciones de importación.....	71
Figura 41. Modelo CAD importado.	71
Figura 42. Menú de opciones de acusolve.....	72
Figura 43. Unión de superficies libres.....	72
Figura 44. Formación de superficies para unificar el fluido.....	73
Figura 45. Forma triangular de malla.	74
Figura 46. Mallado 2D.	74
Figura 47. Verificación del mallado 2D.	75
Figura 48. Creación de componentes CFD.....	75
Figura 49. Componentes asignados: a) intercambiador de calor o pared interna, b) entrada y pared externa.....	76
Figura 50. Componentes creados con la herramienta CFD tetramesh.	77
Figura 51. Verificación de mallado 3D.	77
Figura 52. Verificación de creación de capa límite.	77
Figura 53. Asignación de propiedades de la capa límite.	78
Figura 54. Ventana de perfiles de usuario	80
Figura 55. Restricción de temperatura.....	81
Figura 56. Ventana de grupo.	81
Figura 57. Ventana de grupo.	82
Figura 58. barra de herramientas	82
Figura 59. Menú colector.....	83
Figura 60. Menú optistruct	83
Figura 61. Curva de convergencia para AlBeMet con tamaño de malla de 0,5	83
Figura 62. Curva de convergencia para AlBeMet con tamaño de malla de 1	84
Figura 63. Curva de convergencia para AlBeMet con tamaño de malla de 1,5	84
Figura 64. Curva de convergencia para aluminio 6060.....	84
Figura 65. Curva de convergencia para aleación de magnesio Zk60/GNP(0.04%)	85
Figura 66. Curva de convergencia para Beralcast 310	85
Figura 67. Temperatura de fluido en contacto con AlBeMet.....	86
Figura 68. Temperatura de fluido en contacto con Al6060.....	86
Figura 69. Temperatura de fluido en contacto con beralcast.....	87
Figura 70. Temperatura de fluido en contacto con ZK60.....	87
Figura 71. Temperatura a través del Berilio	88
Figura 72. Temperatura a través del Aluminio.....	88
Figura 73. Temperatura a través del beralcast 310.....	89
Figura 74. Temperatura a través del ZK60.....	89
Figura 75. Porcentaje de variación de temperaturas con respecto a cálculo matemático.	92
Figura 76. Diferencia de temperatura por cada material	93

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis químico de las mezclas.....	23
Tabla 2. Características geométricas de radiador.	31
Tabla 3. Índices de rendimiento dada la resistencia a la tracción/compresión.....	34
Tabla 4. Índices de rendimiento dada la rigidez a la tracción/compresión.....	34
Tabla 5. Índices de rendimiento dada la resistencia a la flexión.	35
Tabla 6. Índices de rendimiento dada la rigidez a la flexión.....	35
Tabla 7. Requisitos de selección de materiales para un radiador	51
Tabla 8. Propiedades limitantes.....	60
Tabla 9. Propiedades de aleación de berilio-Aluminio (AlBeMet 162).....	62
Tabla 10. Propiedades de aleación de Beralcast 310.....	63
Tabla 11. Propiedades de Aluminio.	64
Tabla 12. Propiedades de materiales escogidos para comparar.....	65
Tabla 13. Propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el agua.....	69
Tabla 14. Propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el aire.	70
Tabla 15. Parámetros de desempeño del intercambiador de calor	70
Tabla 16. Parámetros de mallado.	73
Tabla 17. Componentes creados para la simulación.....	75
Tabla 18. Componentes fijos y flotantes de CFDTETRAMESH.....	76
Tabla 19. Configuración de propiedades.....	79
Tabla 20. Resultados de la simulación de velocidad del fluido a través de radiador.	87
Tabla 21. Resultados de la simulación de velocidad del fluido a través de radiador.	90
Tabla 22. Datos de simulación y cálculo matemático para refrigerante.....	90
Tabla 23. Resultados de efectividad.....	91
Tabla 24. Rangos de temperatura obtenidos.....	91

Índice de Ecuaciones

Ecuación (1) Sección transversal total de tubos (lado interno-refrigerante)	28
Ecuación (2) Perímetro interno Total	29
Ecuación (3) Diámetro hidráulico del tubo	29
Ecuación (4) Área de transferencia de calor del lado del tubo (por unidad de longitud)29	
Ecuación (5) Área total del intercambiador de calor (Ac).....	29
Ecuación (6) Área bloqueada por las aletas.....	29
Ecuación (7) área de flujo libre	30
Ecuación (8) Perímetro del lado de la aleta	30
Ecuación (9) Diámetro hidráulico de la aleta	30
Ecuación(10) Área de transferencia de calor del lado del aire directa por unidad de longitud.....	30
Ecuación (11) Área de transferencia de calor del lado del aire directa por unidad de longitud.....	30
Ecuación (12) de temperatura de salida de refrigerante.	66
Ecuación (13) de temperatura de salida de refrigerante.	66
Ecuación (14) Razón de capacidad calórica de la corriente	66
Ecuación (15) de temperatura de salida de refrigerante.	67
Ecuación (16) Número de Reynolds para el aire	67
Ecuación (17) Número de Reynolds para el refrigerante	67
Ecuación (18) Número de nussel.....	68
Ecuación (19) Coeficiente de película para aire	68
Ecuación (20) Coeficiente de película para refrigerante	68
Ecuación (21) coeficiente global de transferencia de calor.....	68
Ecuación (22) Cálculo del número de transferencia de calor.....	68
Ecuación (23) determinación de eficiencia de intercambiador	69
Ecuación (24) determinación de capacidad térmica	69

Ecuación (25) determinación de temperatura de salida..... 69

Ecuación (26) determinación de eficiencia de intercambiador 91

Índice de anexos

Anexo 1. Plano del radiador 105

Resumen

En el presente trabajo de investigación se describe el proceso de transferencia de calor de un radiador mediante simulación CFD, focalizado principalmente en la selección de materiales con mejores propiedades térmicas y mecánicas para la transferencia de energía térmica en un radiador de automóvil. La alternativa de un mejor material que el aluminio se enfoca no solo en las propiedades térmicas si no mecánicas del mismo, no obstante, estas no se verán reflejadas para la simulación ya que para la transferencia de energía térmica no se necesita sus propiedades mecánicas. Para la elección de los materiales se utilizó un programa que utiliza la metodología de Ashby basado en índices de rendimiento, luego de esto se seleccionó el radiador de un automóvil como base para obtener sus dimensiones y crear el modelo 3D empleando un software CAD-CAE.

Mediante un software simulación CFD se obtuvo el análisis de cómo influye el material del radiador en la transferencia de calor del refrigerante para que alcance su temperatura óptima. Los datos obtenidos mediante el análisis computacional de fluidos muestran como la aleación de berilio con una conductividad de 246 W/mK, tuvo una mejor transferencia de calor que el aluminio 202 W/mK, aun así, este obtuvo un buen resultado, mientras que la aleación de berilio denominada beralcast 310 (148W/mK), y la aleación de magnesio (136 W/mK) no sobrepasaron una diferencia de temperatura de 3°C lo que implica que no son buenas opciones para utilizarse en procesos de transferencia térmica.

Palabras clave: Transferencia de calor, simulación CFD, conductividad, índices de rendimiento

Abstract

The present work aims to describe the process of heat transfer from radiator by CFD simulation, mainly focused on the selection of materials with better thermal and mechanical properties for the transfer of thermal energy in an automotive radiator. The search for an alternative to aluminum, focuses not only on its thermal but also mechanical properties, however, these will not be reflected for the simulation since its mechanical properties are not needed for the transfer of thermal energy. Used a program with Ashby methodology for the choice of materials based on performance indices, as well as the radiator of a car was selected as a base to obtain its dimensions and create the 3D model using CAD-CAE software. Through CFD simulation software was obtained of an analysis how the radiator material influences the heat transfer of the coolant so that it reaches its optimum temperature. All things considered, the data obtained through the computational analysis of fluids shows how the beryllium alloy with a conductivity of 246 W/mK, had a better heat transfer than the aluminum 202 W/mK, even so, it obtained a good result, while the beryllium alloy called beralcast 310 (148W/mK), and magnesium alloy (136 W / mK) did not exceed a temperature difference of 3 ° C, which implies that they are not good options to be used in heat transfer processes.

Key words: Heat transfer, CFD simulation, conductivity, performance indices

Introducción

Antecedentes

Los automóviles Nissan Sentra con versiones anteriores a las 2010 tiene problemas de sobrecalentamiento del motor cuando estos han pasado los 120000 km de recorrido.

Estos vehículos tienen radiadores de aluminio que funcionan con agua como fluido de refrigeración. Los tubos de aluminio se contraen y la disipación de calor se da de una manera heterogénea. La transferencia de calor tampoco es completa ya que el refrigerante tiene que actuar de manera simultánea enfriando el aceite de transmisión. (Rivera, 2016)

La temperatura de operación de un motor debe permanecer relativamente constante, esto garantiza el control adecuado de su funcionamiento lo que se traduce en un buen rendimiento y emisiones de gases adecuadas; sin embargo, al no controlarse esta temperatura el motor puede llegar al sobrecalentamiento y daño en las piezas del motor. El diseño de la mayoría de los motores de combustión interna está hecho de manera que funcionen dentro de un rango de temperatura aproximado de 70° C a 90° C. (Rafael M. & Hernández G., 2014)

La suciedad en el interior de los tubos, corrosión dentro del tubo que tiene que ver con el tipo de material, golpes en las aletas y en los tubos, son las razones más comunes, para causar problemas de eficiencia en la transferencia de calor; lo cual implica que, la elección de un buen material que sea resistente y buen conductor térmico es importante para un trabajo óptimo del motor. (Cortés Marín, Álvarez Mejía, & González Sánchez, 2007)

De acuerdo a (Romero & Carranza, 2007), el radiador para analizar cuenta con las siguientes características técnicas:

Clase de caja de cambios: para transmisión manual

Equipamiento de vehículo: para vehículos con/sin climatización

Eficiencia: 80,4%

Malla radiador: 410 x 540 x 28,4 mm

Material: Aluminio, Plástico

En la actualidad, los radiadores de los automotores son fabricados en cobre o en aluminio dependiendo del trabajo realizado por el motor; sin embargo, aunque el cobre es el elemento que tiene una mejor conductividad térmica, el aluminio es el material más usado debido a que tiene una mayor área de contacto con una menor cantidad de material usado, una buena conductividad térmica, resistencia a la corrosión y un menor peso, lo cual genera un mejor rendimiento en el motor. (Abugaber Francis, 2003)

El motor de combustión interna transforma la energía química en mecánica generando una liberación de energía la cual no es aprovechada en su totalidad, y se genera calor por rozamiento y radiación lo cual afecta directamente en el funcionamiento del motor, razón por la cual se necesita de un sistema de enfriamiento. (Rojas & Estremera, 2012)

El radiador es un intercambiador de calor generalmente de flujo cruzado, donde a través de este, el líquido refrigerante transmite su calor al aire que pasa por las placas mediante un ventilador y a su vez por el aire que entra con el movimiento del vehículo. (Romero & Carranza, 2007)

La conductividad térmica del material utilizado para los disipadores de calor influye directamente en la eficiencia térmica. (Pathak, Giri, & Das, 2020)

El cobre es de los mejores conductores térmicos con valores entre 207 y 248 W/m K, mientras que el aluminio entre 100 y 150 W/m K. (Cengel & Afshin, 2007). Esta propiedad es uno de los argumentos para escoger entre los materiales que se usan para elaboración de sistemas de dispersión de calor, sin embargo, existen otras características como precio, ductilidad, entre otros.

En la industria cada vez se busca mejorar el sistema de refrigeración de automóviles ya sea modificando su geometría, materiales o fluido refrigerante.

Abugaber Francis (2003) En su trabajo desarrolló una metodología para realizar pruebas térmicas a distintos radiadores de automotores para determinar el comportamiento de disipación de calor, caída de presión, simulando en un túnel de viento un sistema de enfriamiento.

Se han desarrollado estudios sobre la mejora del radiador de un automotor, usando un nano fluido de óxido de titanio en el agua como refrigerante, con el fin de determinar el efecto en el rendimiento del radiador. (Ali, Ozkaymak, Sözen, Menlik, & Fahed, 2018)

Mediante una simulación numérica tridimensional se analizó el rendimiento de los generadores de vórtice con el objetivo de mejorar la transferencia de calor en radiadores de tipo panel obteniendo una mejora del 12% de la transferencia de calor. (Garelli, Ríos Rodríguez, Dorella, & Storti, 2019)

Mediante un estudio experimental, se insertó bobinas de alambre en conjunto utilizó el óxido de aluminio (Al_2O_3) en etilenglicol como nano fluido para la mejora de la transferencia de calor en el radiador de un auto. (Goudarzi & Jamali, 2017)

A través de varias concentraciones de fluido compuesto de nano plaquetas de grafeno a concentraciones de 0,1% al 0,5% en volumen, se demostró que este fluido

tiene potencial para reemplazar a los fluidos de transferencia de calor convencionales.

(Selvam, Solaimalai Raja, Mohan Lal, & Harish, 2017)

Siguiendo la tendencia de aplicación de plásticos en la industria automotriz, dos intercambiadores de calor de plástico fueron fabricados a base de tubos de polipropileno de diámetro 0,6 y 0,8 mm y probados, observando que valores de las velocidades de transferencia de calor llegan hasta los 10,2 kW, coeficientes generales de transferencia de calor hasta 335 W/m² K, y caídas de presión a valores que resultan ser competitivos comparando con resultados obtenidos por radiadores convencionales de tubos aleteados de aluminio. (Krásný, Astrouski, & Raudenský, 2016)

Se estudió las diferentes geometrías de cilindros en trabajos de radiadores obteniendo que el tubo de aluminio tiene un coeficiente de movimiento de calor más notable con contraste con el cilindro de la rotonda. (Kirubagharan, Ramesh, Pragalathan, & Harish, 2020)

El estudio de análisis numérico bajo la plataforma de trabajo Ansys llevo a evaluar la transferencia de calor a través del radiador para el nano fluido CuO a base de agua. A medida que la fracción de volumen de refrigerante aumenta, el rendimiento de transferencia de calor va mejorando, y usando un diseño de experimentación la longitud óptima para mejorar el rendimiento de transferencia de calor no afectar la potencia de bombeo. (Patel, Subhedar, & Ramani, 2017)

Planteamiento del problema

El radiador es un intercambiador de calor mediante el cual se produce una transferencia de calor del refrigerante hacia el ambiente. (Agon, 2017)

La eficiencia térmica de un radiador está relacionada con el flujo másico de aire que pasa, lo cual significa que a mayor flujo mejor eficiencia, rondando así está entre un

50 a 85%. (Romero & Carranza, 2007). Con respecto a la eficiencia de transferencia de calor de las aletas del radiador estas se encuentran sobre el 90%, siendo esta la razón por la que se instala estos elementos en el radiador. (Cengel & Afshin, 2007)

En el proceso de enfriamiento entre el 20% y el 40% de la energía liberada por el combustible en un motor de combustión interna es eliminado en forma de calor a través del radiador, el cual es un sistema de enfriamiento. (Romero & Carranza, 2007)

La carga térmica de los motores de combustión interna ha ido incrementando por lo que los materiales usados deben analizarse. El interés por mejorar los procesos de refrigeración del motor para obtener ahorro de combustible y una mejor eficiencia del motor ha llevado a la industria a investigar ampliamente sobre diferentes compuestos para refrigerantes y también sobre la geometría del radiador.

Con la finalidad de conocer el funcionamiento en cada parte física del equipo, se realiza análisis experimental en los procesos donde se necesita variables como la temperatura, presión, volumen, coeficiente de operación y consumo de energía en las distintas partes del ciclo de refrigeración. (Cabrera Coronel & Tigre Guncay, 2016)

Con el avance de la tecnología los análisis realizados son necesarios para modelar mediante un software de simulación que permita analizar alternativas, enfocándose en distintas geometrías y posiciones del radiador que produzcan menores consumos de energía sin perjudicar la operatividad del equipo.

A pesar del avance tecnológico, en los últimos años los estudios no se han enfocado en el estudio de materiales con mejores características de disipación de calor que se usan en estos equipos para transferir el calor, lo que hace que vehículos antiguos como el Nissan Sentra tengan problemas por no tener un mejor remplazo en sus elementos de transferencia de calor.

Justificación

Un sistema optimizado para un consumo de combustible mínimo es parte de la demanda actual que requiere de un motor de mayor potencia en tamaño compacto. El rendimiento del radiador es una restricción para el desarrollo de sistemas refrigeración. Por lo tanto, un mejor rendimiento de diseño y fabricación con un radiador más pequeño y liviano se necesita para satisfacer las necesidades en diversas condiciones de funcionamiento del motor. (Romero Piedrahita & Carranza Sánchez, 2007)

Para el pronóstico de la capacidad térmica de un radiador se necesita determina: Las características de construcción del radiador, la distribución de flujos, detalle de los materiales, sus dimensiones y geometría, lado de ingreso del refrigerante y lado de ingreso de aire, incluyendo sus características adimensionales de transferencia de calor y de pérdidas de presión como el factor de Colburn y coeficiente de fricción en función del número de Reynolds, los flujos máxicos y las temperaturas de entrada de los fluidos.(Romero & Carranza, 2007)

En el ámbito de investigación a nivel mundial sobre los sistemas de disipación de calor, se dispone de estudios enfocados directamente en el uso de nanomateriales dentro de los fluidos de refrigeración, sin embargo el enfoque en los materiales de los cuales se realizan estos equipos tiene varias falencias como en el caso del cobre y que se necesitan tubos gruesos para poder realizar las placas y por ende el equipo pesa más, o en el caso del aluminio que por ser más liviano y maleable tiende a doblarse, echándose a perder el radiador.

Con base a lo expuesto, el presente estudio tiene como objetivo general: Seleccionar el material idóneo mediante validación CFD, para la fabricación de un radiador con una alta disipación de calor para el vehículo Nissan Sentra.

Con el fin de lograr el objetivo principal se exponen los siguientes objetivos específicos:

1. Seleccionar las características del radiador usado en el vehículo Nissan Sentra, para definir sus dimensiones como información base para el modelo CAD.
2. Seleccionar un material idóneo para el reemplazo del aluminio mediante la selección en el programa CES Edupack en base a la selección multicriterio y de índices de rendimiento que genera el mismo.
3. Simular mediante un programa CFD la transferencia de calor entre el refrigerante y el radiador de auto mediante el uso del modelo CAD del radiador, y de esta forma obtener el comportamiento del nuevo material.
4. Validar los resultados obtenidos mediante cálculo matemático en base a los resultados generados por la simulación CFD, de la trasferencia de calor que se da tanto en el material original como en el que se desea implementar como propuesta de cambio.

Hipótesis

A partir de la selección de un material con buenas propiedades térmicas, mejorar la eficiencia de transferencia de calor en radiadores de vehículos Nissan Sentra, al aplicar este material alternativo en reemplazo del aluminio.

Estado del arte

Eficiencia térmica de un radiador

Para aumentar la eficiencia de un radiador es crucial que se tenga un conocimiento específico de cómo se disipa el calor a través del radiador. la mejora en el diseño se logra identificando los componentes que representan un cuello de botella en el proceso de transferencia de calor, teniendo así con la mejora un diseño más reducido mayor vida útil y un menor costo de fabricación. (Piquero, 2019)

En el ámbito automotriz el sistema de aire acondicionado ha mostrado muchas mejoras en las últimas décadas a fin de conseguir una mayor eficiencia. Se ha investigado el rendimiento del intercambiador de calor en función a su tipo, tamaño y material usado para la construcción de un intercambiador de un auto de tamaño medio.

Las pruebas mostraron que la eficiencia de enfriamiento del automóvil usando cobre aumenta un 4.84%, la potencia de compresor un 6.05% y la COP un 11%, mientras que con el aluminio aumentan en un 3.17%, 4.18% y un 7.18 respectivamente. (Desai, A.D. , Sapali, S.N. , Garikipati, 2011)

Restricciones técnicas como el automóvil a baja velocidad o que el motor se encuentre prendido e inactivo, hacen que en la práctica los sistemas de enfriamiento no operen en las condiciones más adecuadas.(Farzadi & Bazargan, 2020)

Para determinar la eficiencia en un disipador de calor se aplicó un frigorífico de absorción, con el cual se probó el motor a varias velocidades, confirmando en efecto la influencia de la velocidad del motor en la transferencia de calor, en los resultados se contempla como rediseñando en generador la transferencia de calor mejora en un valor de 19%. (Farzadi & Bazargan, 2020)

(Romero & Carranza, 2007) en su estudio aplican correlaciones para predecir la transferencia de calor y factores de fricción analizando las variables geométricas de las aletas del radiador, basado en la teoría de Kays y London.

(Morales González Esteban Andrés, 2011) comparó dos diseños de radiadores, obteniendo de esto que la eficiencia de un radiador liquido-aire es de un 93% y de aire-aire es de un 90%; observando que estos valores disminuían cuando aumentaba la cantidad de pies cúbicos por minuto a enfriar, provocando así una pérdida de eficiencia del 10 % en el Inter enfriador de aire-aire y 5 % en la de aire agua.

De igual manera, (Klein, Reindl, & Brownell, 2000) analizó un sistema de enfriamiento de aspiración líquida, cuantificando su impacto en el rendimiento del sistema. Con su estudio cuantifica la influencia del tamaño del intercambiador en distintas condiciones de funcionamiento, ampliando estudios sobre los efectos de las caídas de presión, y presenta relaciones generales que permitan encontrar el efecto de los intercambiadores de calor de aspiración líquida para cualquier refrigerante, con lo cual condice a datos de mejoras en el rendimiento de los intercambiadores de calor con aspiración líquida (sin pérdidas de presión).

(Bin-Abdun et al., 2015) en su estudio examinó los efectos que tienen los refrigerantes dentro del intercambiador de calor, el estudio lo realizó en base a agua para evaluar el diseño y uso del intercambiador en el aumento del rendimiento en la batería del auto eléctrico. El aumento de la temperatura del fluido conlleva a un aumento de la conductividad térmica y del calor específico reduciendo la densidad y la viscosidad, en base a estas se determina la bomba lo que a su vez está directamente relacionada con la cantidad de tubos del intercambiador de calor, el material de estos y la geometría que tiene. Este estudio demuestra que en función de los materiales su espesor y la geometría la eficiencia en la disipación de calor aumenta o disminuye.

(Ferraris et al., 2015) implementa un sistema doble de bucle de enfriamiento de aire y agua en el cual la solución propuesta garantiza que exista una mejora en el sistema de aire acondicionado. El sistema logra reducir 55 mm del espesor del módulo térmico, garantizando un ahorro en el combustible y mejorando el rechazo de calor en un 5%.

Para mejorar el consumo de combustible, la empresa CalsonicKansei (CK) ha desarrollado un módulo de refrigeración de una capa que consiste en unos dos condensadores uno que es refrigerado por aire, mientras que el otro es refrigerado por

agua y lleva el vapor a condiciones saturadas. El uso de este radiador disminuye el peso y el espacio en la parte delantera del auto ya que ocupa menos espacio por tener los módulos en una sola línea permitiendo ahorrar de esta forma aproximadamente un 40%, y el enfriamiento de carga se reduce en un 30%. (Mathur, Hara, Iwasaki, & Meguriya, 2012).

Wan & Pu, (2020) a través de experimentos de comparación en los que modificó las condiciones de entrada del fluido al radiador, analizó como la temperatura va variando en la superficie de los microtubos tubos; llegando a obtener que, bajo la condición de un mismo caudal y diferente temperatura, la temperatura media y su uniformidad, tanto en la parte horizontal como en la vertical son mejores que en el radiador compuesto de aluminio y cobre. Mientras que para una temperatura constante y un flujo variable la temperatura logarítmica media de la matriz de tubos de calor se incrementa mientras que en la cabeza y extremo del radiador la relación de descenso de temperatura solo se reduce en un 1%, por lo tanto, la uniformidad de la temperatura en la matriz de microtubos sigue siendo mejor que el radiador compuesto de aluminio y cobre.

Abugaber Francis (2003) en su estudio desarrolló la metodología para obtener la caracterización térmica de los radiadores. Para esto en un túnel colocó el radiador en un tubo de viento, donde varió las velocidades del aire, así como el flujo masico del líquido refrigerante manteniendo constante la temperatura de entrada de este. Para la caracterización midió temperaturas de salida, la máxima capacidad de calor disipado, y las caídas de presión del fluido dentro de los tubos. Los valores fueron comparados de acuerdo con las curvas de los fabricantes de radiadores obteniendo una validación del método ya que los valores llegaban a tener la misma tendencia.

La investigación sobre el efecto del flujo vertical comparando con un flujo horizontal para encontrar el rendimiento térmico de un radiador, arrojó resultados del efecto significativo que tiene la dirección de flujo y la distribución de la temperatura en el interior de los radiadores obteniendo un 6,1% más de disipación con un flujo horizontal, ayudando de esta manera a los diseñadores a mejorar el diseño térmico. (Paramane, Van Der Veken, & Sharma, 2016)

De manera cotidiana la gente usa mezclas de agua con líquido refrigerante, lo cual hace que por esto se producen varios daños en el motor, radiador y demás partes que se relacionan al sistema de enfriamiento. Al no dosificar de manera correcta el líquido refrigerante, la transferencia de calor no se realiza correctamente y por ende el rendimiento del motor decae, el consumo de combustible incrementa. Para analizar la influencia de los refrigerantes en la eficiencia de un motor de combustión interna, (Vallejo, 2016), mediante un estudio de los puntos de ebullición de muestras de refrigerantes y de cálculos teóricos y reales analiza el desempeño de los refrigerantes y como inciden en la eficiencia del motor de un vehículo liviano.

Tipos fluidos de refrigeración

El uso de un líquido refrigerante sea agua, etilenglicol, un anticongelante orgánico o inorgánico, se ve determinado por la variación en el coeficiente global de transferencia de calor, es por esto que (Rojas & Estremera, 2012) emplean un 60% de glicol para mezclar el líquido refrigerante y así aumentar la energía térmica disipada.

En los últimos años en el afán de mejorar el rendimiento de los motores ha llevado a estudiar el uso de otras sustancias para reemplazar el agua o el etilenglicol para usarlas como refrigerante a fin de obtener una mejor transferencia de calor en el radiador; es así que (Tripathi & Chandra, 2015) en su estudio se centra en el mejoramiento de la transferencia de calor de un radiador de automóvil usando en el

interior del fluido refrigerante nano fluidos de zinc y hierro obtenidos por coprecipitación química; del uso de esta mezcla, observo que, la velocidad de transferencia de calor y el coeficiente de transferencia aumentaron obteniendo aproximadamente un 78% de la mejora añadiendo un 1% de nano fluidos en la mezcla refrigerante.

Vallejo (2016) realizó el análisis químico de dos refrigerantes puros y en mezclas con agua en diferentes proporciones, a una temperatura de 22°C y en una altitud 2800 metros sobre el nivel del mar. En base a los resultados obtenidos el refrigerante puro con mayor punto de inflamación es el más adecuado para mantener la temperatura y la eficiencia del motor en óptimas condiciones.

En la Tabla 1, se muestra las propiedades de las mezclas de refrigerantes.

Tabla 1.
Análisis químico de las mezclas.

Refrigerante	% mezcla	Temperatura de ebullición, °C	Gravedad específica
Vistony	100/0	110	0,9931
Freezetone	100/0	101	0,9989
Vistony	70/30	100	0,9984
Freezetone	70/30	94	0,9929
Vistony	50/50	98	1,0010
Freezetone	50/50	92	0,9925

Fuente: (Vallejo, 2016)

Tipos y propiedades de materiales.

Con el fin cubrir demanda de sistemas de calefacción alternativos a los que se encuentran en el mercado, se realizó la instigación de varios materiales en función de las exigencias funcionales estéticas y de durabilidad y mediante el diseño y construcción del prototipo se analizó una evaluación económica del uso de cobre sobre aluminio las ventajas del cobre dieron un resultado competitivo para el mercado. (Madariaga, 2006)

González (2004) realizó la evaluación de las condiciones de transferencia de calor de las camisas de hierro gris y de aluminio-silicio expuestas a diferentes tratamientos de superficies, mediante el uso del método inverso y extrapolación de estado estacionario, concluyendo que la importancia en el tipo de material de la camisa y de la interfase existente entre la camisa y el motor están directamente relacionadas con la temperatura de la interfase. Con camisas de aluminio se lograron valores más bajos en la temperatura de interfase mientras que con el hierro la barrera de aire entre los materiales es constante.

Diseño de las aletas de radiador

Con el apoyo de una base de datos que contiene 91 muestras de radiadores con aletas de láminas de diferentes parámetros de diseño que incluyen ángulos , longitudes y ancho de aletas, forma de los tubos, y la disposición de las aletas, (Chang & Wang, 1997) desarrollan correlaciones de transferencia de calor para la geometría de la aleta de rejilla, en donde obtiene que un 89,3% de los datos de diseño para aletas Louver se encuentran correlacionados dentro de un rango de $\pm 15\%$ con una desviación estándar de 7,55%, mientras que la introducción de los datos de radiador con aletas de lámina de placa y tubo modificó la desviación a un valor de 8,21%.

Mediante algoritmos genéticos, Izquierdo (2011) ha realizado el diseño de un radiador para motocicleta de carreras, en función del mínimo peso y al valor máximo de calor de refrigeración con una carga máxima. Con el diseño obtenido comprobó que hay una convergencia de las variables geométricas con las de operación en la optimización.

Por criterios operativos de fabricación, Izquierdo ha tomado en cuenta los estándares de diseño en función de las variables geométricas, de modo que el resultado final depende de la geometría del tubo, dimensiones del radiador y aletas de las cuales su

dimensión forma y espesor aumentan el área de transferencia de calor y por ende la eficiencia del radiador. El diseño lo realizó en el software CATTIA, que realiza la parametrización en un entorno CAD.

En la figura 1. Se muestran los tipos de intercambiadores de aleta que existen mientras que en la figura dos se puede observar las dimensiones que se toman en cuenta para el diseño de las aletas.

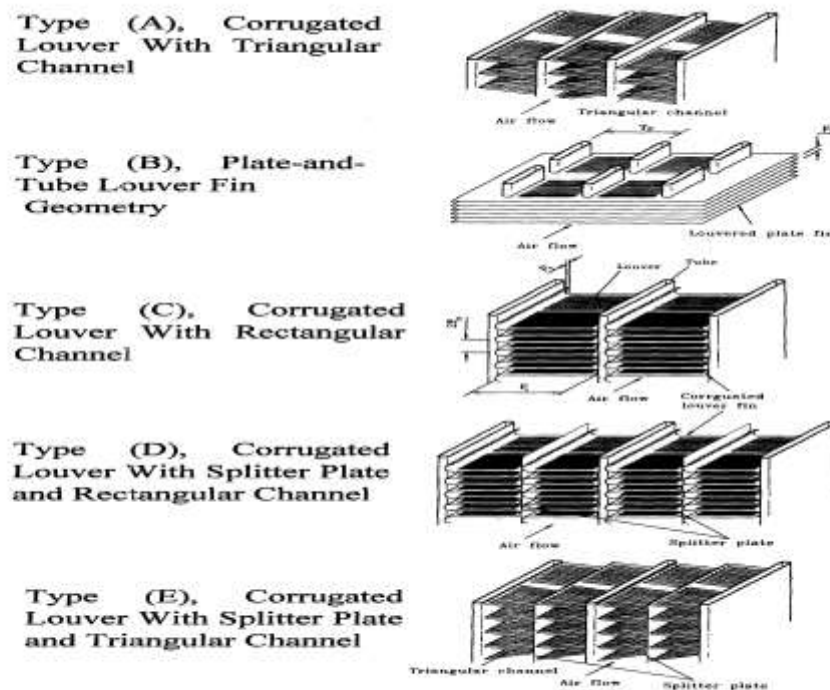


Figura 1. Tipo de intercambiadores de calor de aleta de la louver.
Fuente: (Chang & Wang, 1997)

En la figura 2 se muestran las dimensiones para formar la aleta.

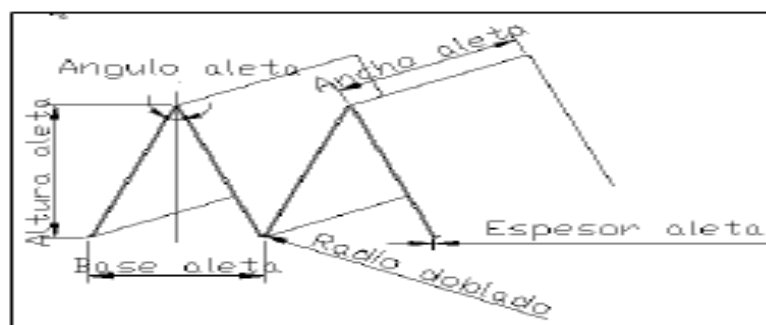


Figura 2. Dimensiones de la aleta.
Fuente (Izquierdo, 2011)

Parámetros de estudio para diseño de radiadores automotrices.

Una optimización de diseño de un radiador necesita de herramientas avanzadas que nos den una mejor solución de diseño y mejor rendimiento. La metodología numérica para desarrollar un modelo de intercambiador se basó en la discretización de los tubos la cual se presenta en la figura 3, que toma el flujo como si fueran pequeños intercambiadores de calor.

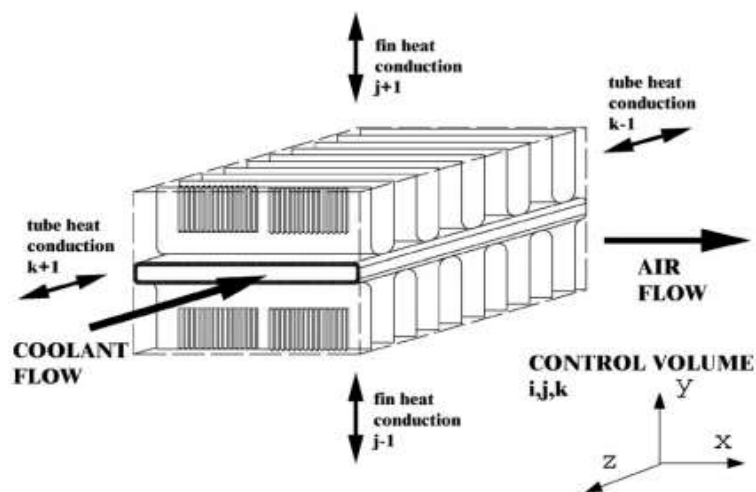


Figura 3. Estrategia de discretización para radiadores automotrices de tubo plano/aleta corrugada: concepto de volumen de macro control.

Fuente: (Oliet, Oliva, Castro, & Pérez-Segarra, 2007)

El análisis de transferencia de calor a lo largo de los tubos y extremos proporcional un acoplamiento de todo el núcleo del radiador dando como resultado un sistema de ecuaciones algebraicas no lineales que al resolver proporcionan mapas tridimensionales detallados de velocidad, temperatura y presión para toda la estructura.

El método describe las ecuaciones de flujo de aire, información empírica como coeficientes de transferencia de calor, caídas de presión factores de fricción y de flujo, así como también propiedades termo físicas extraídas de la literatura. (Oliet et al., 2007)

A continuación, en la figura 4, se muestran Mapas de rendimiento obtenidos para un estudio paramétrico.

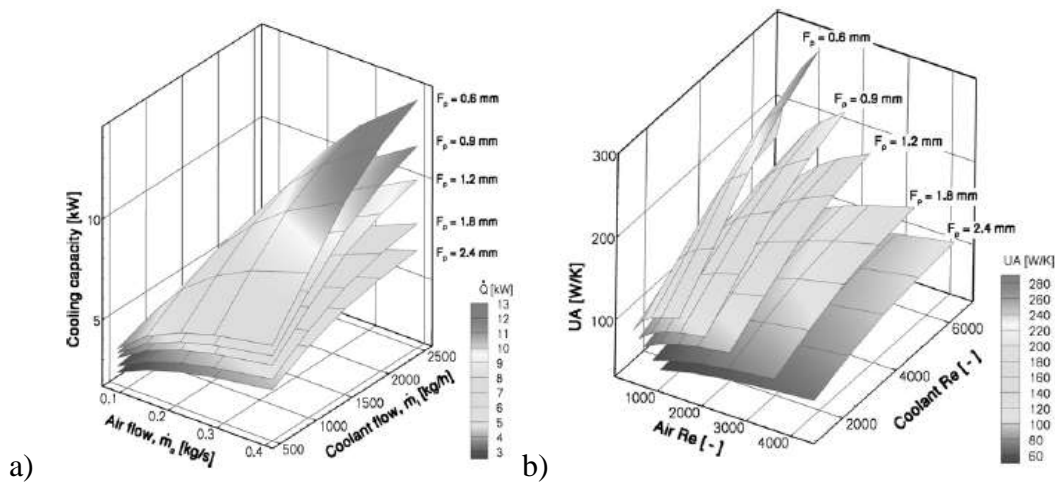


Figura 4. Mapas de rendimiento obtenidos para un estudio paramétrico (largo de aleta F_p , en este caso). a) la dependencia de la transferencia de calor en los caudales de aire y refrigerante. b) mejora general frente a los esquemas de flujo de aire y refrigerante.

Fuente: (Oliet et al., 2007)

(Lin, Saunders, & Watkins, 2000) realizaron un modelo teórico para el cálculo de la disipación específica (SD). Según lo estudiado los resultados indican que variar la temperatura de entrada ambiental entre 10 a 50 °C y del refrigerante en SD entre el 60 y 120 °C produce un efecto mejor al 2% que un efecto menor (menos del 2%), mientras que una variación de 1,0 L/s causara una variación de un 0,6%, reflejando así cuán importante es el control responsable del caudal.

El algoritmo para el análisis matemático del flujo de calor a través de un radiador se indica a continuación en la figura 5.

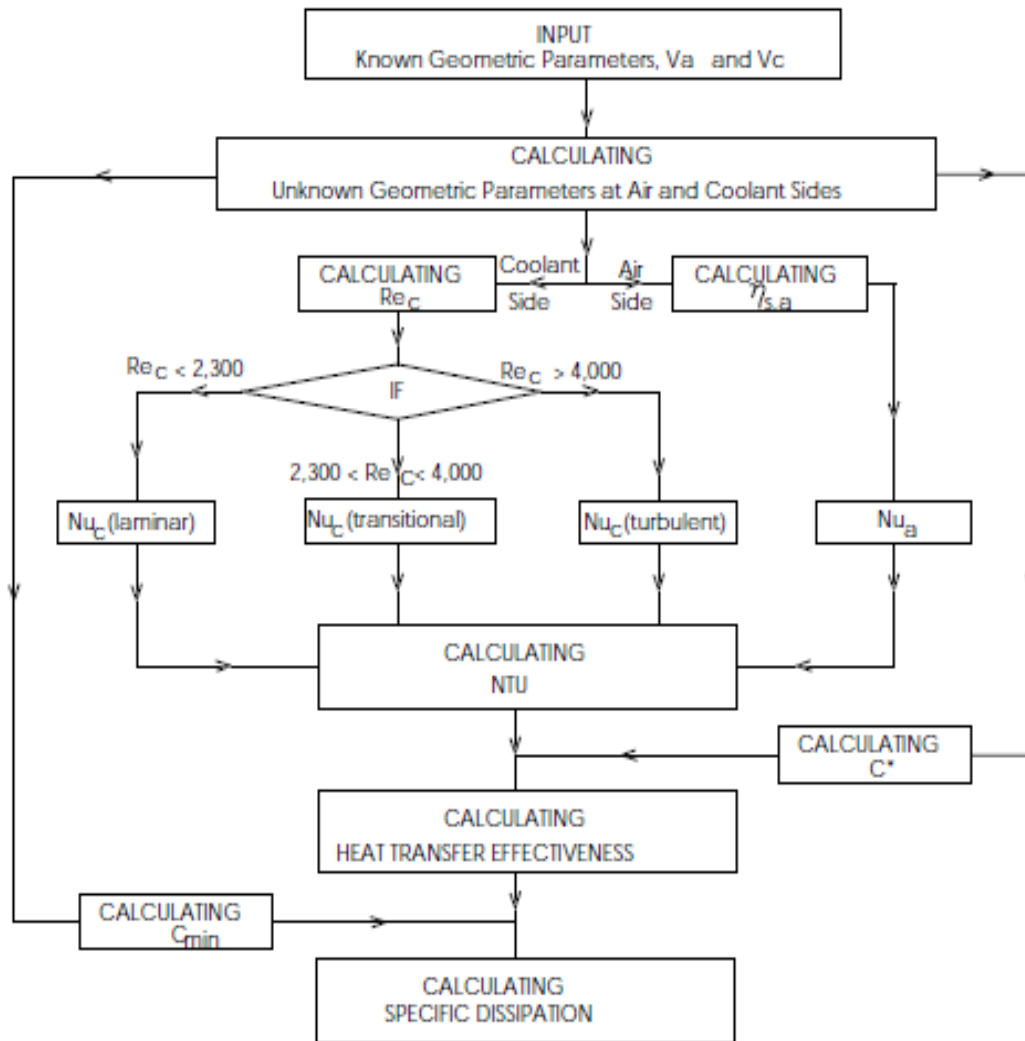


Figura 5. Diagrama de flujo de análisis SD del radiador.

fuelle: (Lin et al., 2000)

Dimensionamiento de radiador

Determinación de propiedades geométricas a ambos lados del intercambiador.

Ecuación (1) Sección transversal total de tubos (lado interno-refrigerante)

$$A_{tubo} = N_t \left[t_{hi}(t_{wi} - t_{hi}) + \frac{\pi}{4} t_{hi}^2 \right] \quad (1)$$

Donde:

A_{tubo} = área interna total de los tubos por donde pasa el refrigerante

N_t = número de tubos del radiador

t_{hi} = altura interna del tubo

t_{wi} = ancho interno del tubo

Ecuación (2) Perímetro interno Total

$$P_{tubo} = N_t[\pi * t_{hi} + 2 * (t_{wi} - t_{hi})] \quad (2)$$

Donde:

P_{tubo} = Perímetro interno total de los tubos por donde pasa el refrigerante

Ecuación (26) Diámetro hidráulico del tubo

$$D_{h_{tubo}} = \frac{A_{tubo}}{P_{tubo}} \quad (3)$$

Ecuación (4) Área de transferencia de calor del lado del tubo (por unidad de longitud)

$$A_{efec,tubo} = N_t[2 * (t_{wi} - t_{hi}) + \pi * t_{hi}] \quad (4)$$

Ecuación (5) Área total del intercambiador de calor (A_c)

$$A_c = (N_t * t_{ho} + N_c * C_h)L_t \quad (5)$$

Donde:

A_c = área externa total de los tubos por donde pasa el aire

N_c = número de aletas

C_h = altura de los centros de aletas

t_{hi} = altura interna del tubo

L_t = longitud de tubo por paso

Ecuación (6) Área bloqueada por las aletas

$$A_{ba} = \frac{L_t}{f_p} (C_h * f_f + (f_p - f_t) * f_t) * N_c \quad (6)$$

Donde:

A_{ba} = área bloqueada por las aletas

A_{fa} = área de flujo libre

f_p = paso de la aleta

f_i = espesor de la aleta

Ecuación (7) área de flujo libre

$$A_{fa} = A_c - (A_{ba} + N_t * t_{ho} * L_t) \quad (7)$$

Donde:

A_{fa} = área de flujo libre

Ecuación (8) Perímetro del lado de la aleta

$$P_{air} = 2N_c L_t \left[\left(\frac{C_h - f_t}{f_p} \right) + \left(1 - \frac{f_t}{f_p} \right) \right] + 2 * N_c * C_h \quad (8)$$

Ecuación (9) Diámetro hidráulico de la aleta

$$D_{h,tubo} = \frac{4 A_{fa}}{P_{air}} \quad (9)$$

Ecuación(10) Área de transferencia de calor del lado del aire directa por unidad de longitud.

$$A_{d,aire} = 2(t_{wo} - t_{ho}) \left(1 - \frac{f_f}{f_p} \right) + \pi * t_{ho} \quad (10)$$

Ecuación (26) Área de transferencia de calor del lado del aire directa por unidad de longitud.

$$A_{efec,tubo} = 2 c_w \left(\frac{C_h - f_f}{f_p} \right) \quad (11)$$

A continuación, se presenta en la *Tabla 2*, resumen de las características geométricas del radiador.

Tabla 2.
Características geométricas de radiador.

Parámetro	Unidad	Valor
Ancho externo de un tubo	mm	12,57
Altura externa de un tubo	mm	2,54
Aletas por milímetro	-	0,61
Diámetro hidráulico	mm	1,88
Espesor de la aleta	mm	0,10
Longitud de la aleta	mm	2,50
Longitud del intercambiador	mm	540
Ancho del intercambiador	mm	28,4
Altura del intercambiador	mm	410
Área libre / área frontal (lado del aire)	-	0,78
Área de transferencia / volumen total	mm ² /mm ³	1,84
Área de aletas / área total	-	0.85
Área frontal (lado de refrigerante)	mm ²	11644
Área frontal (lado del aire)	mm ²	221400
Volumen total del Intercambiado	mm ³	6287760
Área total de transferencia (lado del aire)	mm ³	11572622
Conductividad térmica de las aletas	W/m-K	85
Diámetro de redondeo externo de tubo	mm	2,54
Ancho interno de un tubo	mm	12,062
Diámetro de redondeo interno de un tubo	mm	2,032
Espesor del del tubo	m	0,25
Paso a lo largo de los tubos	mm	15,54
Paso a lo alto de los tubos	mm	7,54
Área frontal de un tubo	mm ²	117
Numero de tubos	-	99
Área de flujo libre de un tubo	mm ²	21,98
Periferia interna del tubo	mm	26,44
Área libre / área frontal	-	0,19
Área de transferencia (lado de refrigerante)	mm ²	1419045
Área de transferencia (lado de refrigerante) /Volumen total	mm ² /mm ³	0,23
Radio hidráulico del pasaje (lado de refrigerante)	mm	0,83

Nota: los datos geométricos presentados, son extraídos del estudio hecho a un radiador

por (Romero & Carranza, 2007)

Selección de materiales mediante Software CES Edupack

Para el análisis estructural de las partes portadoras de carga de un avión en el estudio hecho por (Yavuz, 2019) Se efectuó representaciones simplificadas de partes

utilizadas para establecer cuanto carga pueden soportar los componentes sin llegar al fallar, no obstante, los materiales también deben conservar una relación con la eficiencia en el peso distribuyendo las fuerzas de manera segura. Para lo antes expuesto es de gran importancia escoger de manera idónea los compuestos, como se puede apreciar en la figura 6, en la cual en base a sus propiedades y aplicaciones en estructuras específicas se selecciona los materiales apropiados.

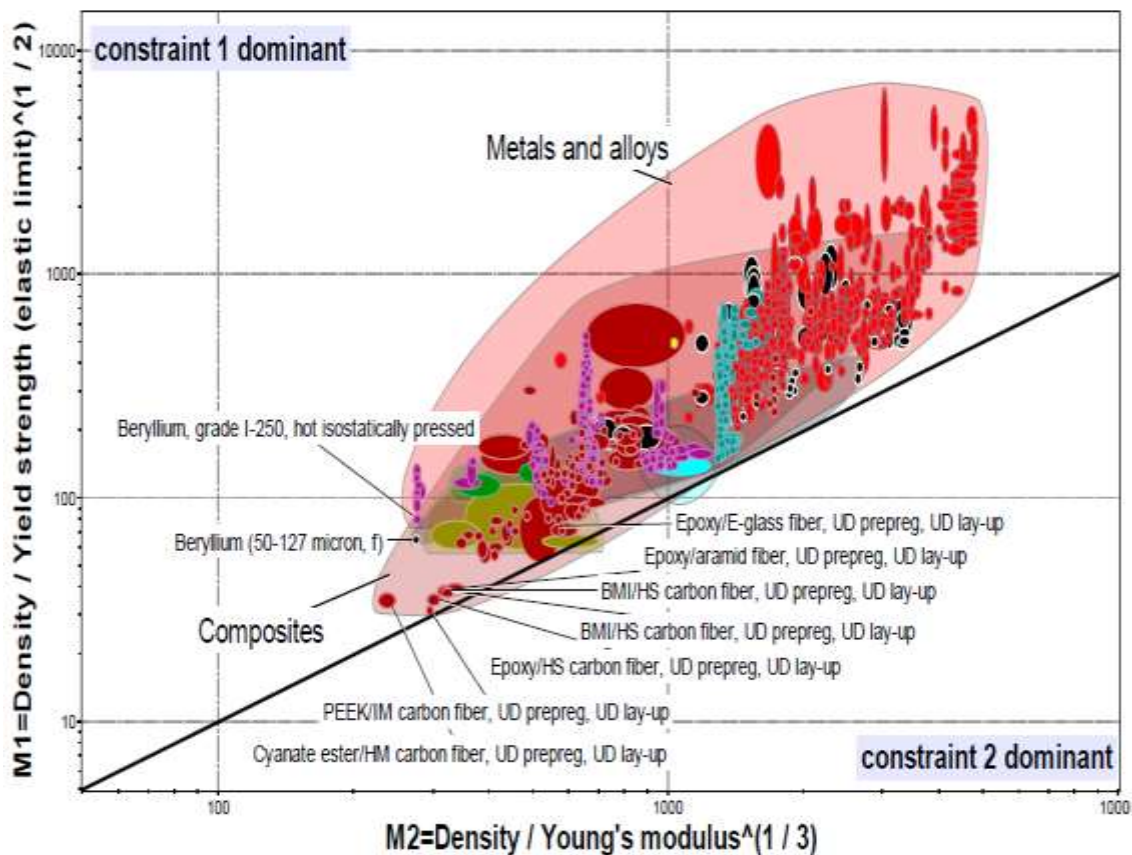


Figura 6. Línea de acoplamiento y la mejor selección de materiales para paneles de piel utilizando múltiples restricciones de diseño.

Fuente: (Yavuz, 2019)

En el software de selección de materiales (Ces Edupack) se encuentran integradas bases de datos de desarrollo y estandarización de propiedades de materiales metálicos (MMPDS), manual de propiedades preliminares (PMP-HDBK) y manual de propiedades de materiales compuestos (CMH- 17) como se puede observar en la figura 7. (Ashby, 2005) por lo cual, (Yavuz, 2019) en su estudio sigue la metodología de

Ashby para poder determinar los mejores materiales para la construcción de los paneles de piel rígida del avión.



Figura 7. Base de datos presentes en el programa CES Edupack.

Fuente (Granta/ANSYS, 2019b)

(Jimenez, 2015) en su proyecto mediante la metodología de Ashby realizó un estudio para encontrar el material óptimo para industrializar en la parte automotriz, de modo que, para desarrollar un tanque de depósito de gasolina de una moto, se basó en el diseño y selección de materiales con el fin justificar una mejora en cuanto a peso y prestaciones que otorgarán a ese fabricante, lo que representa un motivo de peso suficiente para realizar un cambio en el componente.

(Callejón, 2016) En su estudio realiza de manera sistemática un método para realizar la selección de materiales, con el fin de conseguir un material óptimo que satisfaga las condiciones de diseño teniendo en cuenta las características físicas, mecánicas térmicas y precio mediante el uso del software CES EduPack, presentando a su vez guía de manejo del programa por medio de ejemplos prácticos.

(Riba, 2008) en su trabajo realiza un análisis de las propiedades que tienen los materiales metálicos, polímeros, cerámicas, con el objetivo de dar una guía conceptual y metodológica para la elección de materiales previo el diseño y fabricación de una máquina.

La selección de materiales con el pasar de los años se ha vuelto más compleja debido al desarrollo que hay para que estos sean más ligeros y resistentes. Este estudio se basó en la revisión de las propiedades de los materiales y la selección se la realiza en base a la metodología de (Ashby, 1999) y los índices de rendimiento en función a los criterios de selección tanto cualitativos como cuantitativos.

En las tablas 3,4,5 y 6 se muestran diferentes índices de rendimiento de las funciones a satisfacer en un ejemplo de selección entre un aluminio y un acero, de donde se deducen las magnitudes características.

Tabla 3.

Índices de rendimiento dada la resistencia a la tracción/compresión

Magnitudes	Índice	Unidades	Aluminio 2017-T4		Acero34CrNiMo6	
			Valor	Base=100	Valor	Base=100
Masa	$\Gamma_{M/TT} = \rho/R_e$	Mg/(m ³ MPa)	0,0098	126	0,0078	100
Volumen	$\Gamma_{V/TT} = 1/R_e$	MPa ⁻¹	0,0035	126	0,0010	100
Coste	$\Gamma_{C/TT} = \rho \cdot C_u/R_e$	k€/m ³ MPa)	0,0426	126	0,0085	100

Fuente (Riba, 2008)

Tabla 4.

Índices de rendimiento dada la rigidez a la tracción/compresión.

Magnitudes	Índice	Unidades	Aluminio 2017T4		Acero34CrNiMo6	
			Valor	Base=100	Valor	Base=100
Masa	$\Gamma_{M/TT} = \rho/R_e$	Mg/(m ³ MPa)	0,0377	101	0,0078	100
Volumen	$\Gamma_{V/TT} = 1/R_e$	MPa ⁻¹	0,0135	287	0,0010	100
Coste	$\Gamma_{C/TT} = \rho \cdot C_u/R_e$	k€/m ³ MPa)	0,1640	407	0,0085	100

Fuente (Riba, 2008)

Tabla 5.

Índices de rendimiento dada la resistencia a la flexión

Magnitudes	Índice	Unidades	Aluminio 2017		Acero34CrNiMo6	
			Valor	Base=100	Valor	Base=100
Masa	$\Gamma_{M/TT} = \rho/R_e^{2/3}$	Mg/(m ³ MPa ^{2/3})	0,0069	100	0,0078	100
Volumen	$\Gamma_{V/TT} = 1/R_e^{2/3}$	MPa ^{-2/3}	0,0231	231	0,0100	100
Coste	$\Gamma_{C/TT} = \rho \cdot C_u/R_e^{2/3}$	k€(m ³ MPa ^{2/3})	0,2802	331	0,0840	100

Fuente (Riba, 2008)

Tabla 6.

Índices de rendimiento dada la rigidez a la flexión

Magnitudes	Índice	Unidades	Aluminio 2017		Acero34CrNiMo6	
			Valor	Base=100	Valor	Base=100
Masa	$\Gamma_{M/TT} = \rho/R_e^{1/2}$	Mg/(m ³ MPa ^{1/2})	0,3243	100	0,5417	100
Volumen	$\Gamma_{V/TT} = 1/R_e^{1/2}$	MPa ^{-1/2}	0,1162	168	0,0690	100
Coste	$\Gamma_{C/TT} = \rho \cdot C_u/R_e^{1/2}$	k€(m ³ MPa ^{1/2})	1,4108	241	0,5843	100

Fuente (Riba, 2008)

En la figura 8. Se muestra varios tipos de ensayos térmicos, en función de los cuales se usan los índices de rendimiento.

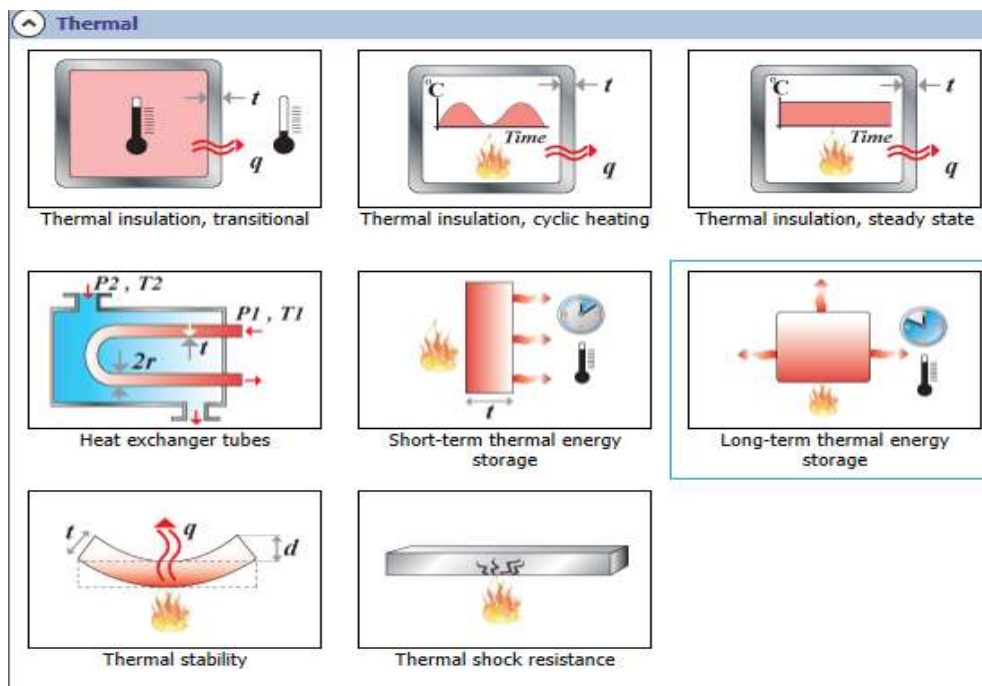


Figura 8. Ejemplo práctico de uso de índices de rendimiento.

Fuente: (Granta/ANSYS, 2019^a)

Estudio CFD de transferencia de calor

El uso de un programa de CFD (Computational Fluid Dynamics) nos permite analizar diferentes configuraciones y modelos de fluidos en menor tiempo que un programa matemático iterativo o que realizar el prototipo y probarlo en el túnel de viento. Adicional el CFD al evitar realizar prototipos nos menora los costos en diseño. (Martorell Bardaji, 2006)

(Torres de Oliveira, 2019) con el objetivo de encontrar variaciones en la geometría del radiador para que este sea más eficiente, efectúa un análisis de los parámetros de los radiadores usados en los transformadores de energía, a través de simulaciones térmicas desarrolladas en el software [®] ANSYS CFX[®], que usa el método de elementos finitos. Los resultados los analiza comparando las temperaturas extremas en cada geometría usada a un tamaño de malla similar.

Mediante el método de elementos finitos se permite tener un valor aproximado del comportamiento real del transformador y corregir de esta manera los errores de diseño del sistema de refrigeración. (Iaronka, 2014)

En la figura 9, se presenta el proceso de refrigeración del transformador de aceite analizado en el estudio.

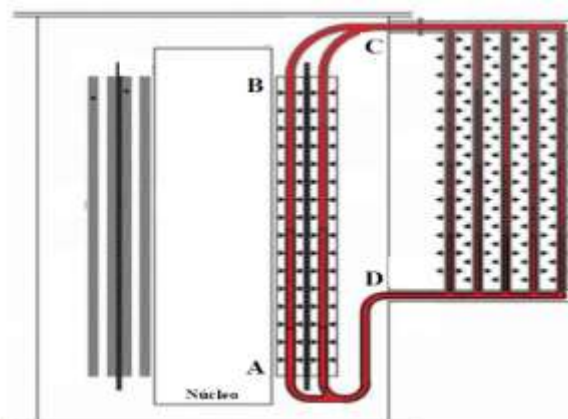


Figura 9. Proceso de refrigeración de un transformador de aceite.

Fuente: (Feil, 2015)

El estudio de un radiador en el ámbito del automovilismo difiere en si este es para un auto normal o si se trata de un vehículo de carreras. El problema para iniciar este estudio es que parte de que la carrocería tiene que ser aerodinámica el radiador es parte importante para que esta condición se dé; razón por la cual se realizó el modelado CFD. (Martorell Bardaji, 2006)

A continuación, en la figura 10, se presenta la distribución del flujo de aire a través del conducto de refrigeración de un auto de carreras.

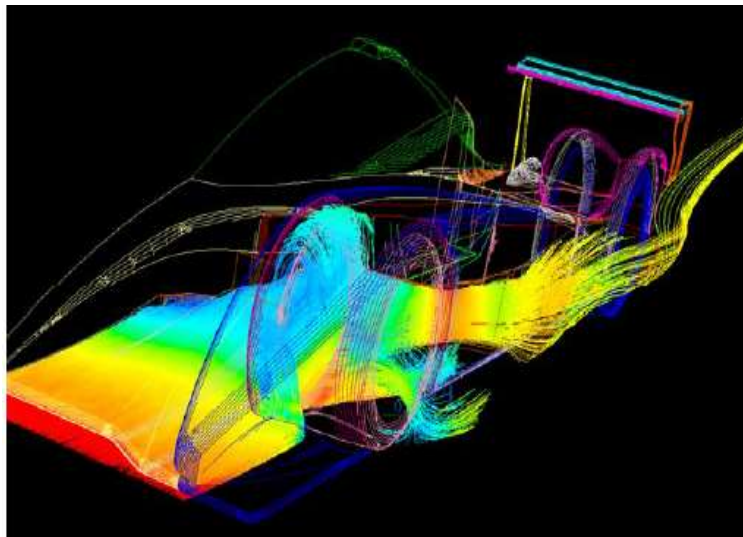


Figura 10. Representación del flujo de aire en el conducto de refrigeración del prototipo de auto de carreras.

Fuente: (Martorell Bardaji, 2006)

Partiendo de la información de estudios hechos por la empresa PENSKE Cars de Inglaterra dónde analizaron tipos de radiadores. En base a los resultados se analiza las mejores variables que se utilizaran para comprobar los modelos 3D mediante la simulación CFD. Una vez obtenidos los resultados se realizó la simulación con diferentes diseños de radiadores buscando encontrar cuales se adaptan a la realidad, para posteriormente utilizar el mejor modelo y modificarlo de manera que los resultados sean lo mejor posible. (Martorell Bardaji, 2006)

En figura 11. A continuación se muestra el contorno de temperatura de uno de los modelos geométricos realizados en el estudio.

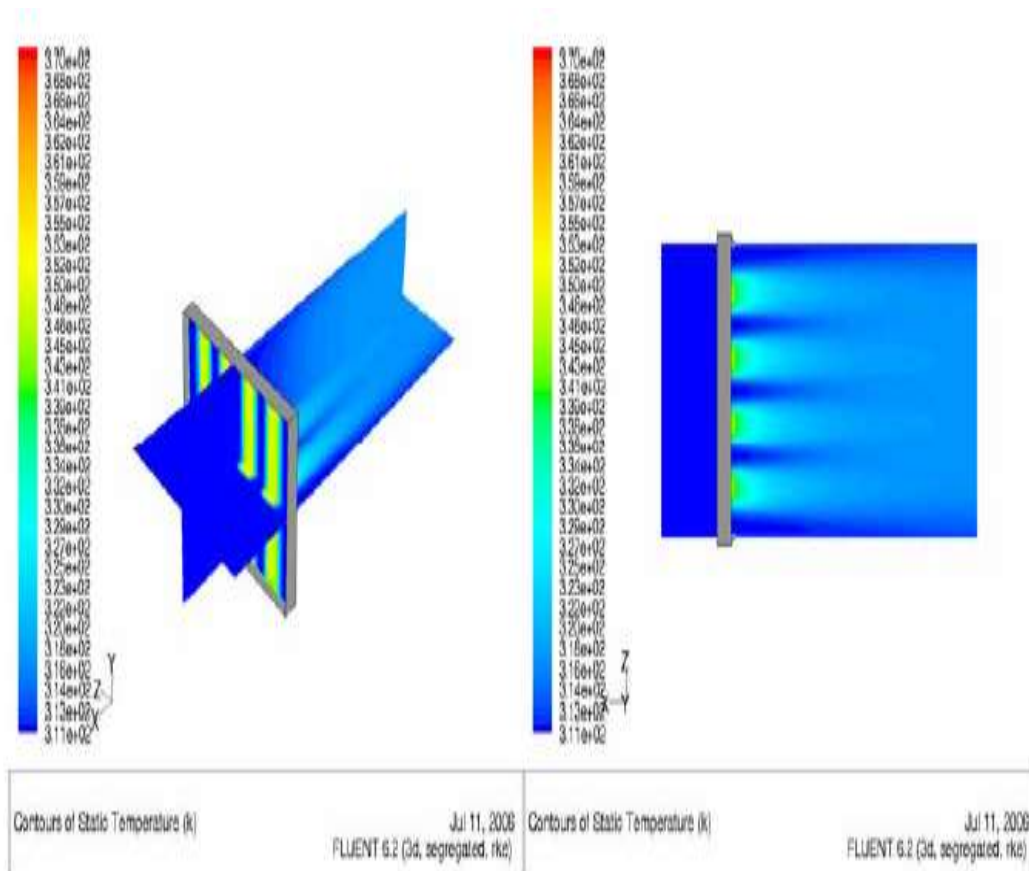


Figura 11. Contornos de temperatura de un modelo realizado en el estudio.
Fuente: (Martorell Bardaji, 2006)

En el año 2019, el autor Alejandro Piquero presenta su trabajo que se basa en la obtención del modelo termo-hidráulico basado en las variables de los flujos que ingresan al radiador temperatura y velocidad de entrada del refrigerante y del aire mediante procedimientos CFD, simulando varios puntos de funcionamiento para comparar dos líquidos dieléctricos y a su vez revisar el efecto del cambio de un mayor número de paneles, los resultados de la distribución general de temperaturas a través del radiador se presentan en la figura 12. (Piquero, 2019)

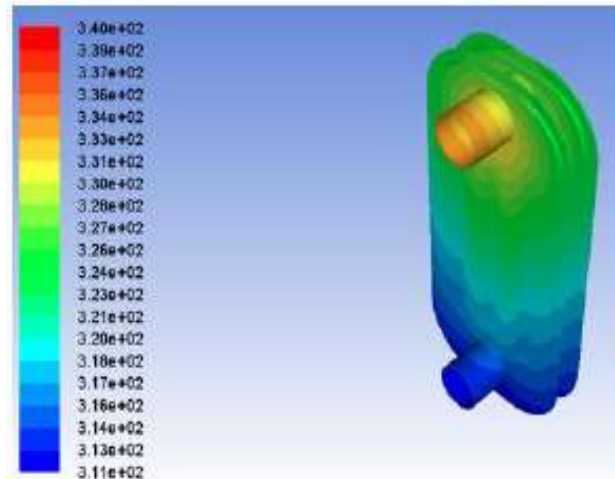


Figura 12. Distribución general de temperaturas en el panel de un radiador de placas.
Fuente: (Piquero, 2019)

(Kim, Joo; Kim, M.; Cho, 2013) Estudiaron de manera experimental la capacidad de refrigeración de un radiador de transformador funcionando en dos modos ONAN y ODAN, por medio de cálculos matemáticos mediante los cuales desarrollaron un cálculo analítico con el que se determinó la distribución de las temperaturas a través del radiador consiguiendo comprobar que una elevación en la velocidad de entrada del flujo conlleva a una disminución en el paso de temperatura entre la entrada y la salida; posteriormente verificaron los resultados obtenidos mediante simulación CFD, obteniendo así similitud en los resultados teniendo un incremento de calor disipado del 17% entre ambos modos.

En un estudio la configuración radiador-ventilador funcionando en dos configuraciones de enfriamiento ONAN y ONAF, (Paramane et al., 2016) crearon una plataforma conformada por un grupo de 5 radiadores de 2,5 m de altura con 27 aletas y dos ventiladores de 1 metro de diámetro cada uno. Mediante el análisis numérico empleando el software comercial de CFD -ANSYS CFX se obtuvieron relaciones buenas entre valores numéricos y experimentales consiguiendo así una diferencia de calor disipado del 18% para la configuración ONAN y del 17% para la ONAF.

Los resultados del análisis CFD se muestran en la figura 13, en la cual se muestra los contornos de distribución de la presión y la temperatura del flujo a través de los paneles del radiador.

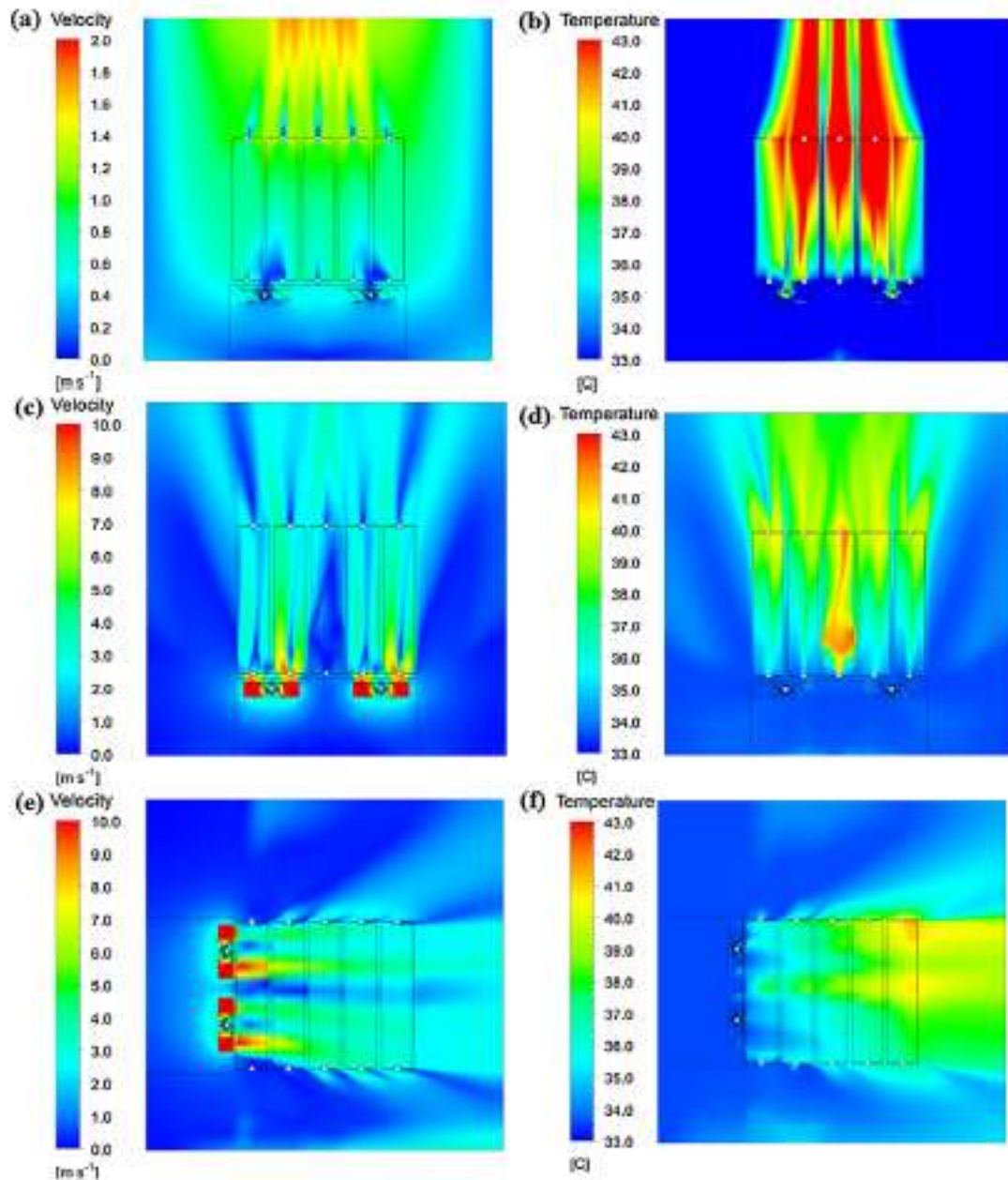


Figura 13. Contornos, de velocidad del aire (izquierda) y temperatura (derecha), para (a y b) configuraciones ONAN y (c–f) ONAF; (c y d) flujo forzado vertical y (e y f).

Fuente: (Paramane et al., 2016)

Estudio de convergencia

Cuando se modela con elementos finitos por lo general una malla que se encuentre más refinada da resultados de las soluciones de manera más precisa. Sin embargo, a medida que la malla es más refinada, el tiempo en el que se obtienen los resultados aumenta, por esta razón, se realiza un análisis de convergencia para obtener el tamaño de malla en el cual se obtiene el resultado óptimo. (Autodesk.Support, 2015)

En la figura 14, se muestra el trazado del desplazamiento máximo frente a n que demuestra los cambios en los valores del desplazamiento para las distintas densidades de malla.

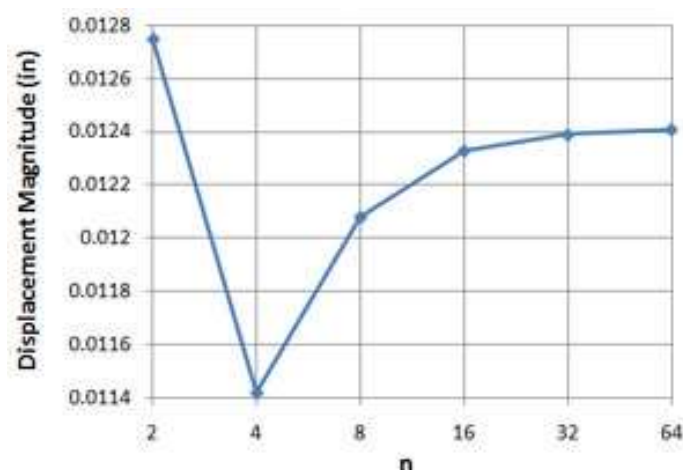


Figura 14. Se muestra el trazado del desplazamiento máximo frente a n que demuestra los cambios en los valores del desplazamiento para las distintas densidades de malla.

Fuente: (Autodesk.Support, 2015)

(Gutierrez & Vinueza Lozada, 2018), En su trabajo de investigación realizaron el análisis del comportamiento de las pastillas de freno de un sistema ABS mediante el uso del método por elementos finitos, en el cual una de las partes importantes del estudio es tener un mallado de calidad que mejora la convergencia de los resultados obtenidos y a su vez optimiza la carga computacional lo cual genera que los resultados se obtengan en un menor tiempo y que estos a su vez sean adecuados. El estudio se los

realizó para dos materiales compuestos para obtener características mecánicas y térmicas importantes para de esta forma determinar la viabilidad de usar estos por sus propiedades y costos.

A continuación, en la figura 15, se muestra la convergencia las cargas generadas por la presión de las pastillas.

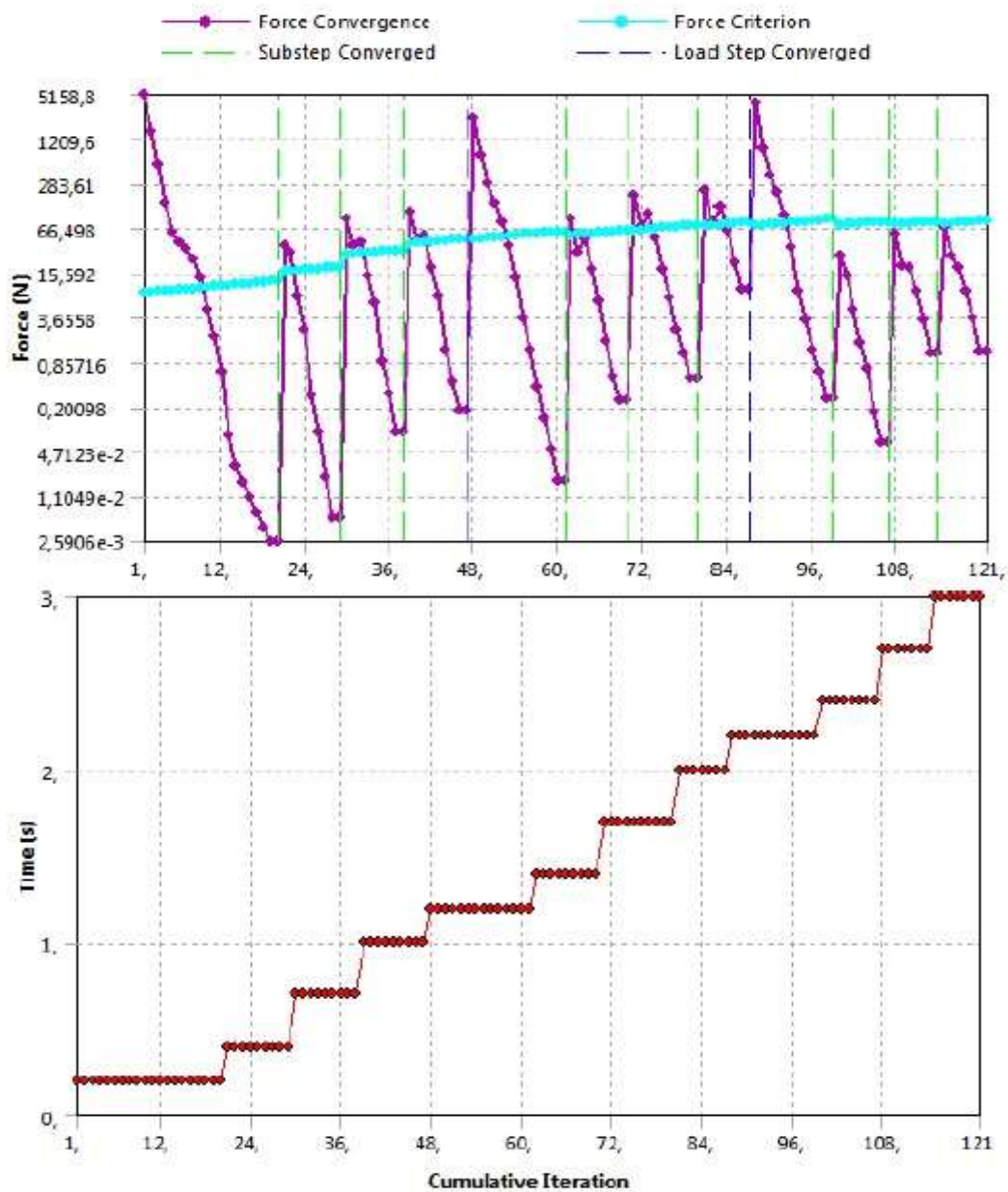


Figura 15. convergencia las cargas generadas por la presión de las pastillas.

(Castañera, 2015), realizo estudios en el programa LS-DYNA, sobre diferentes tipos de hormigón. En este se realizó análisis sobre la adecuación del tamaño de malla atendiendo a los criterios de energía de fractura del material. Para lo cual dentro de cada simulación hecha se malló con diferentes tamaños y de estos se descartó unos cuantos para aplicar la relación de refinamiento del método GCI.

En las figuras 16, 17 y 18 se muestra las gráficas de convergencia de los modelos aplicados en el estudio con 3 tamaños de malla diferente.

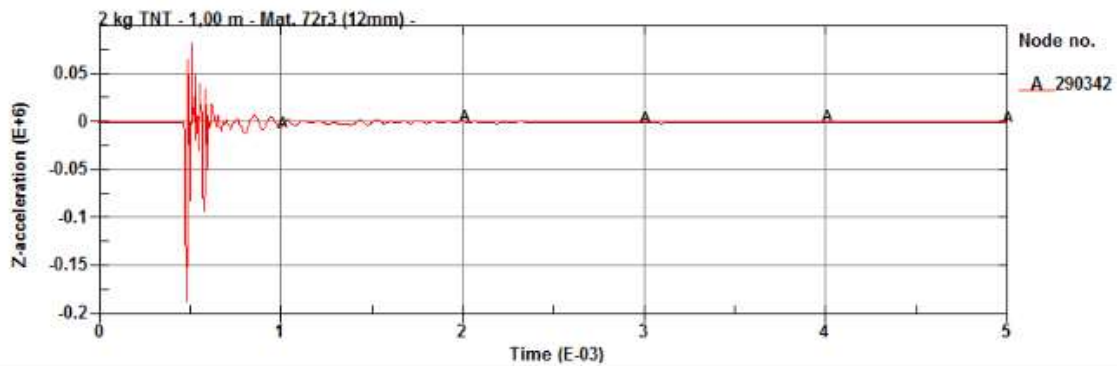


Figura 16. Curva de convergencia para tamaño de malla de 12 mm

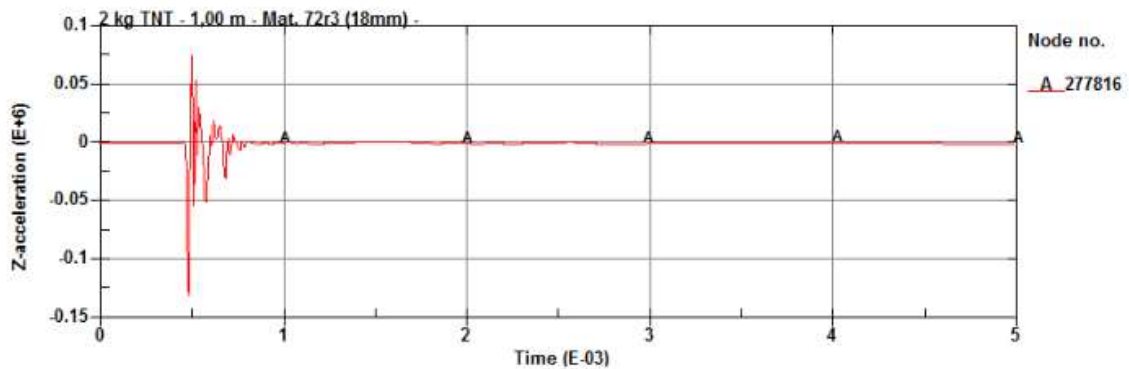


Figura 17. Curva de convergencia para tamaño de malla de 18 mm

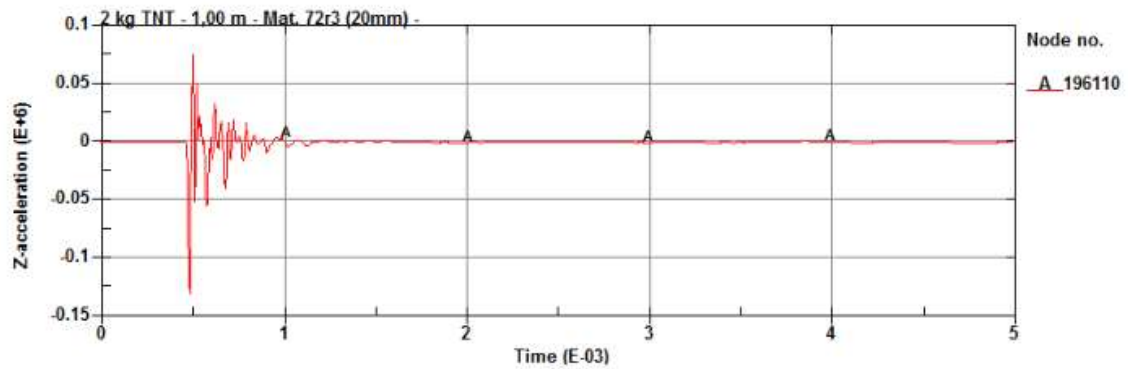


Figura 18. Curva de convergencia para tamaño de malla de 20 mm

Metodología

Tipo de estudio

Este trabajo se basa como una primera parte en un estudio cualitativo y descriptivo en el cual se busca especificar las propiedades de los materiales para someter a un estudio de transferencia de calor mediante el programa Ces Edupack el cual discrimina los resultados en función de las propiedades especificadas. El resultado del estudio de índices de rendimiento que se realiza en el software mencionado también tiene un alcance del tipo correlacional con un valor explicativo el cual nos ayuda a entender como ciertas propiedades como la conductividad térmica y el precio se relacionan para la elección de un material idóneo para su selección.

En una segunda parte el estudio se descriptivo de enfoque cuantitativo pues se busca mediante investigación de descriptiva especificar propiedades, características y rasgos importantes del análisis del fenómeno de transferencia de calor por convección. Así mismo, el estudio tiene un enfoque cuantitativo, ya que es necesario para poder analizar los resultados recolectados probar hipótesis previamente realizada.

En cierto modo todo este estudio también tiene un alcance del tipo exploratorio ya que, aunque lo que se investiga ya ha sido abordado en tiempos pasados, en la actualidad no se ha enfocado este tipo de investigaciones al material para abordar el problema de sobrecalentamiento de los motores por disipación de calor.

Diagrama de proceso

En la imagen 19 se muestra los hitos para el cumplimiento de objetivos detallados para el proyecto.

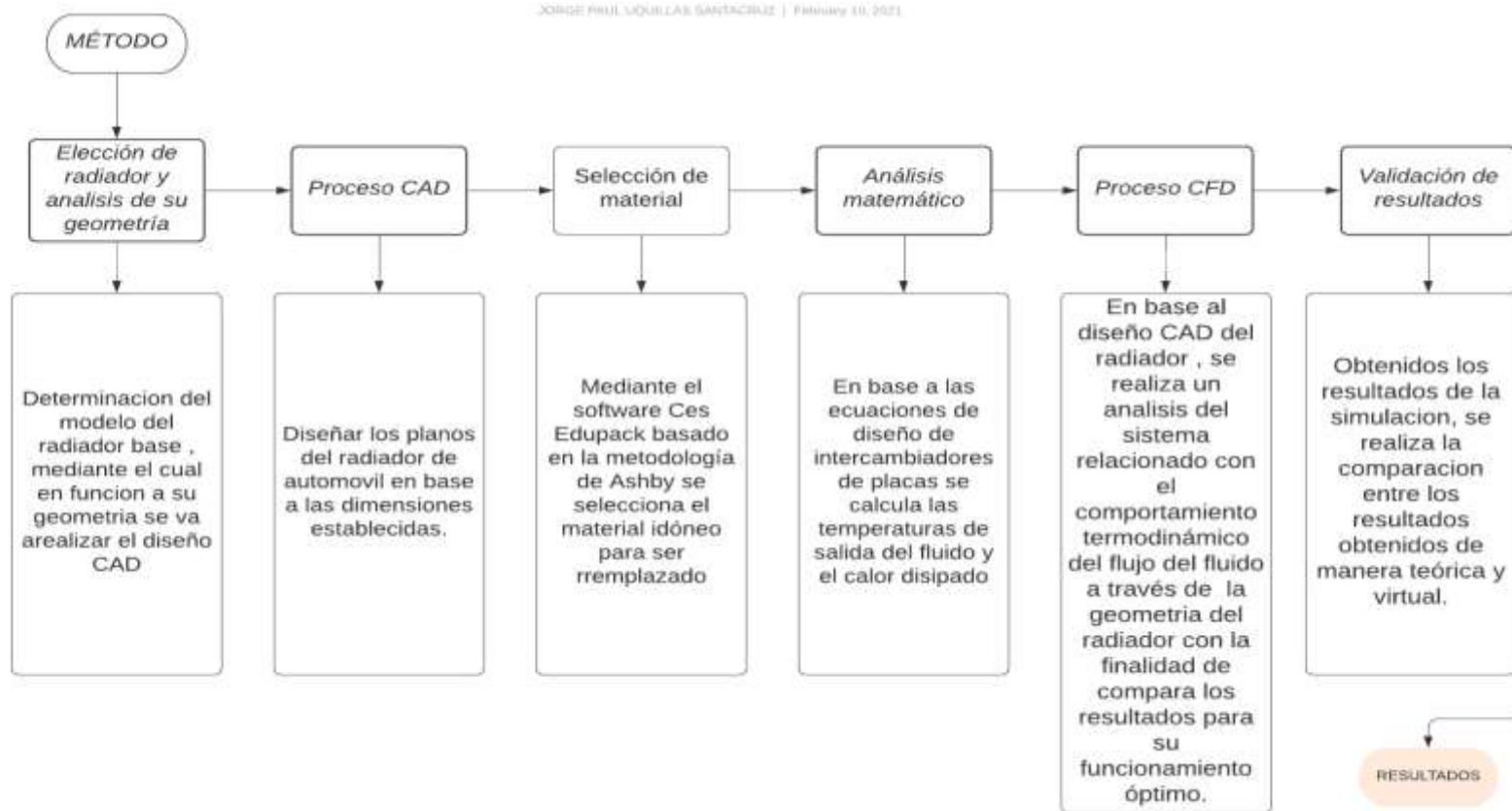


Figura 19. Hitos para el cumplimiento de objetivos detallados para el proyecto.

Selección del modelo de radiador.

En el Ecuador los automóviles Nissan Sentra son muy comunes por su gran resistencia para trabajos razón por la cual se los usa en su gran mayoría como vehículos de servicio de taxi.

Estos radiadores están hechos de aluminio y funcionan con agua como fluido de refrigeración. En el presente estudio en base a sus características dimensionales se realizará un modelo CAD para su análisis en CFD.

Cabe señalar que, aunque las dimensiones son para un modelo específico este estudio servirá para aplicar a radiadores de diferentes tipos ya que el objetivo es encontrar un material que presente mejores prestaciones al momento de transferir el calor traduciendo esto en un mejor rendimiento del automotor.

A continuación, se presenta en la figura 20 el modelo real del radiador el cual ha sido extraído de un automóvil Nissan Sentra, el mismo que se ha seccionado para tomar las dimensiones exactas para realizar el modelo CAD mediante el programa Autodesk Inventor Profesional 2019.



Figura 20. Radiador, retirado de un automóvil Nissan Sentra 2010.

En la figura 21 se muestra el radiador seccionado.



Figura 21. Radiador recortado la base para la toma de sus dimensiones

Modelo CAD radiador de automóvil

El modelado CAD se desarrolló en el programa Autodesk Inventor 2019, con base a las medidas obtenidas del radiador de la figura 22; a continuación, en la figura 18 se detallan las medidas de los tubos de radiador.

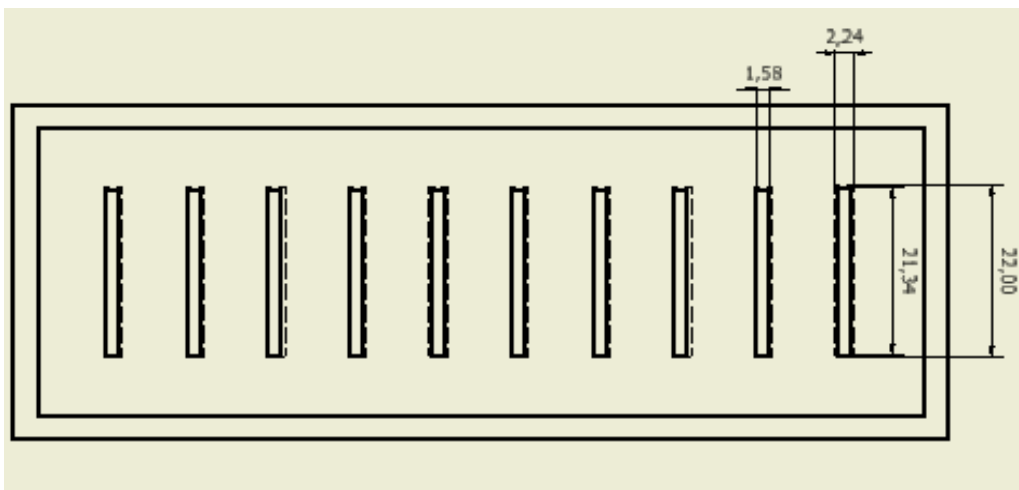


Figura 22. Dimensiones de los tubos del radiador

El radiador se realizó por partes y luego estos se los unió como un solo sólido, como se muestra en la figura 23.

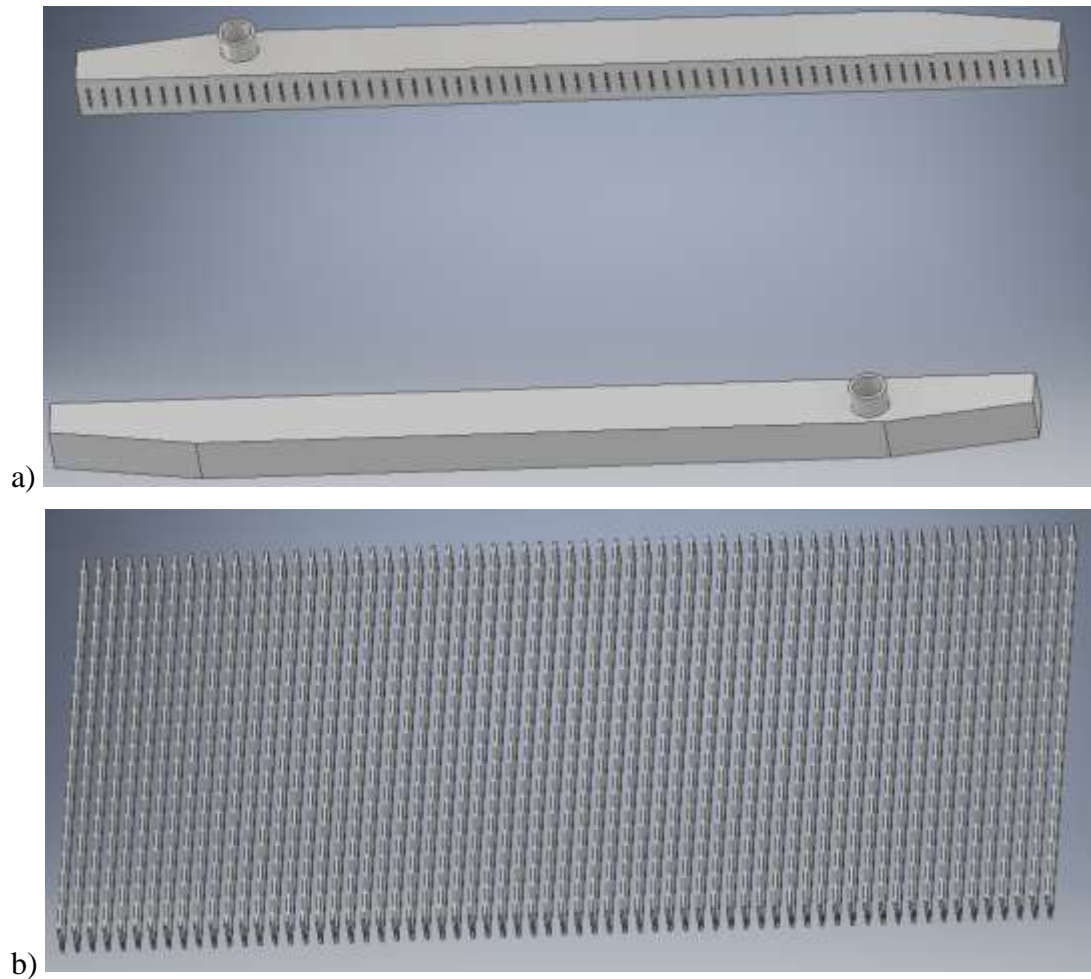


Figura 23. a) bases de radiador. b) panel tubos de radiador

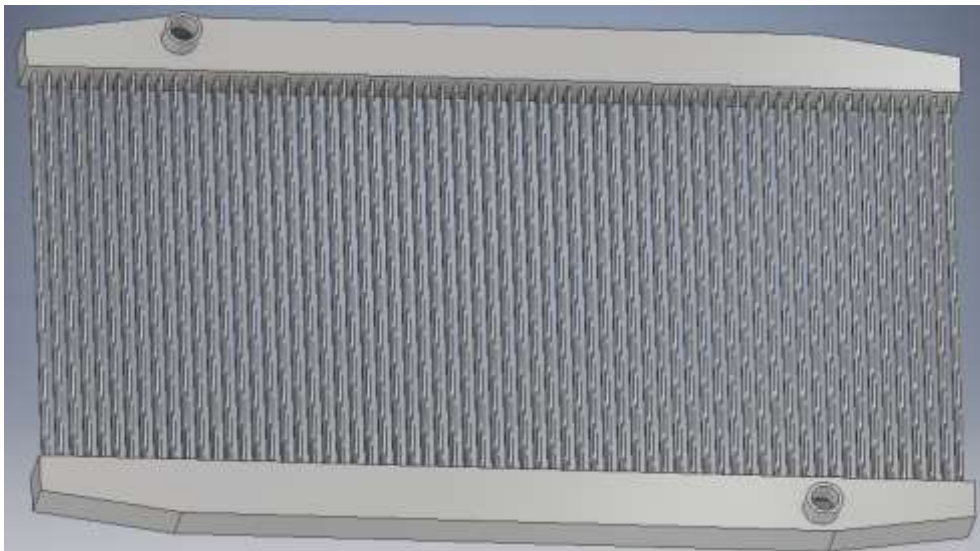


Figura 24. Diseño de radiador en 3D

En la figura 24. se muestra realizado el modelo CAD del radiador con la geometría real, sin embargo, este diseño para realizar la simulación en el programa CFD por su forma es compleja, es por eso por lo que para facilitar el proceso de la simulación se ha decidido simplificar el modelo a una porción del radiador que se muestra en la figura 25, siendo esto posible ya que se puede extrapolar lo que ocurre en una porción hacia la población completa.

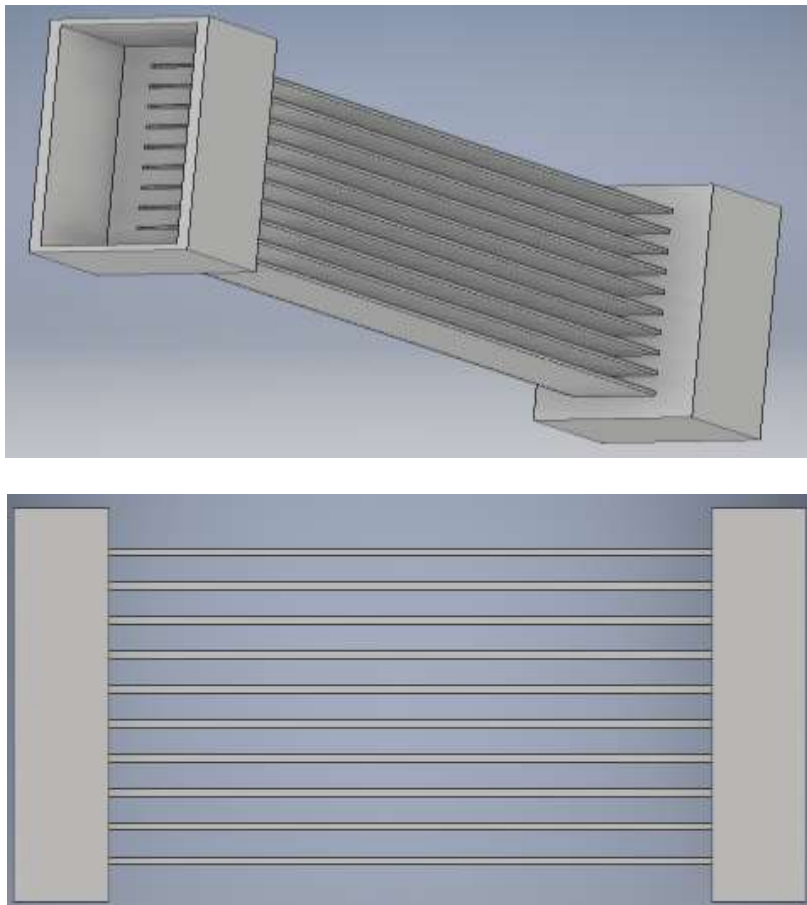


Figura 25. Radiador simplificado.

Selección de material a comparar con los materiales comunes de uso para manufactura de un radiador.

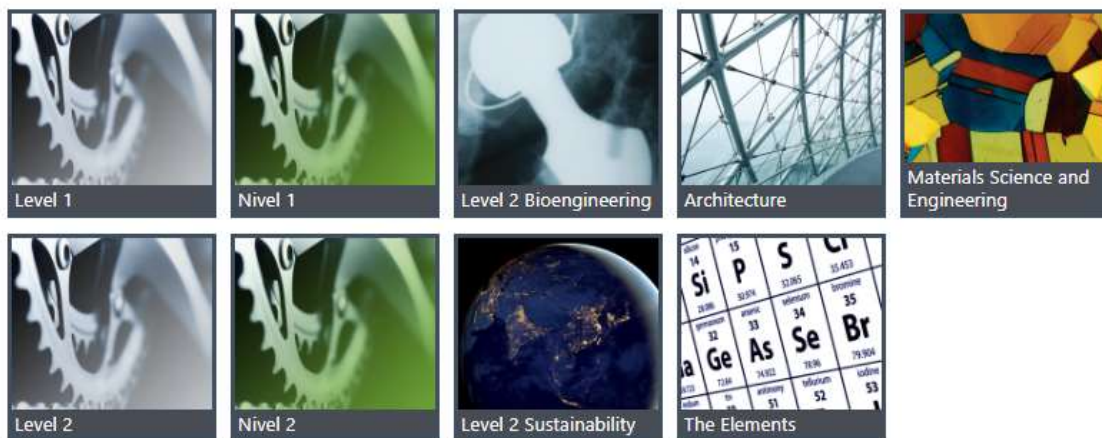
La selección de material para los tubos del intercambiador de calor se realizó en base a la metodología de múltiples restricciones de Ashby.

Para esto se realizó la elección mediante etapas mediante las cuales se va filtrando los materiales en función a las propiedades que se especifiquen. En este caso para el análisis de materiales se utilizó el nivel 3 del programa Ces Edupack, el cual cuenta con una mayor base de datos integral de elementos, materiales y de procesos de fabricación que en los niveles anteriores.

En la figura 26, se muestra la ventana de inicio en donde se encuentran los niveles de la base de datos divididos en básicos y avanzados.

Bases de datos

Básico



Avanzado



Figura 26. Base de datos de software Ces Edupack.

Dado que objetivo de este estudio es encontrar un material que tenga entregue mejores prestaciones para transferencia de calor y que a su vez sea rentable para la industria, la selección se realiza en función de requisitos establecidos para la elección de un intercambiador de calor a través de las limitaciones presentadas en la Tabla 7.

Tabla 7.

Requisitos de selección de materiales para un radiador.

<i>Función</i>	<i>Tubos y aletas de radiador.</i>
<i>Objetivo</i>	Mejorar la transferencia de calor.
<i>Restricciones</i>	Densidad relativamente elevada (1750 - 9000 Kg/m ³) Resistencia mecánica elevada (50 - 2500 MPa) Rigidez elevada (40 - 240 GPa) Buena ductilidad Precio
<i>Variables libres</i>	Espesor del tubo Espesor de aletas

Una vez especificados los requisitos para la selección de materiales para un radiador se procede a realizar la elección mediante filtros en a través de la elección de índices de rendimiento.

A continuación, se especifica por etapas la elección de los materiales.

Etapa 1.

Para la etapa uno se ingresa en la opción “gráfico/Seleccionar”, en la opción “datos para la selección” se personaliza los materiales que se quiere analizar y posteriormente en la etapa de selección se ingresa a gráfico.

En las figuras 27,28,29 y 30 se mostrará los pasos especificados para un mejor entendimiento de manera visual.

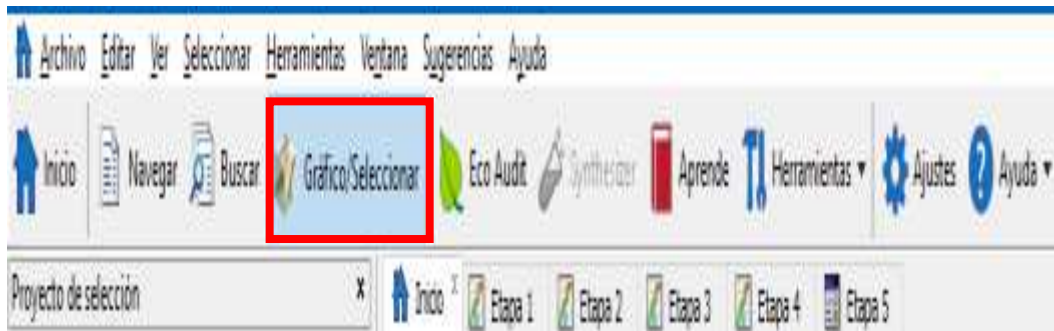


Figura 27. Opción crear proyecto de selección o gráfico.

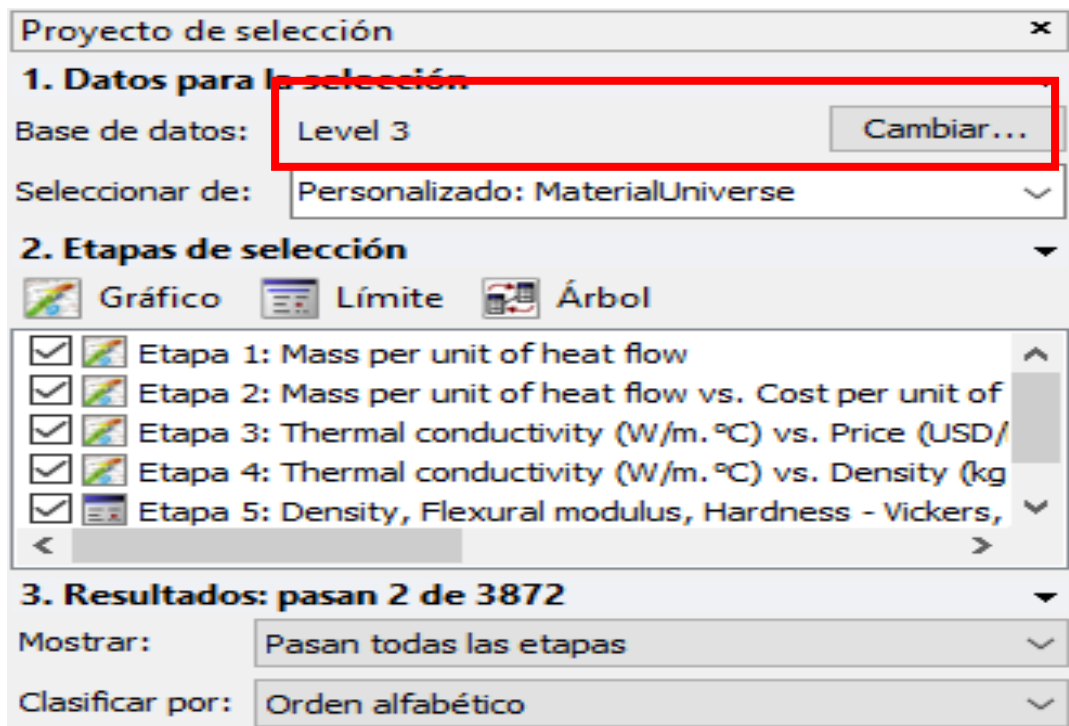


Figura 28. Selección de grupo de materiales.

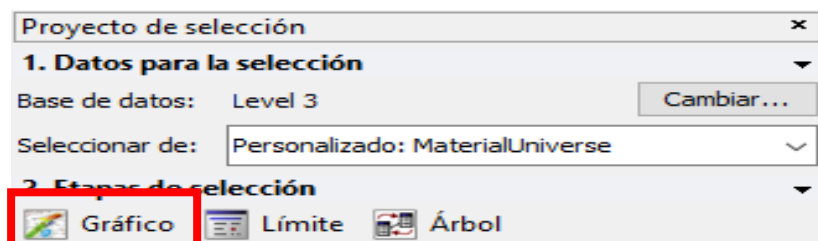


Figura 29. Creación de gráficos.

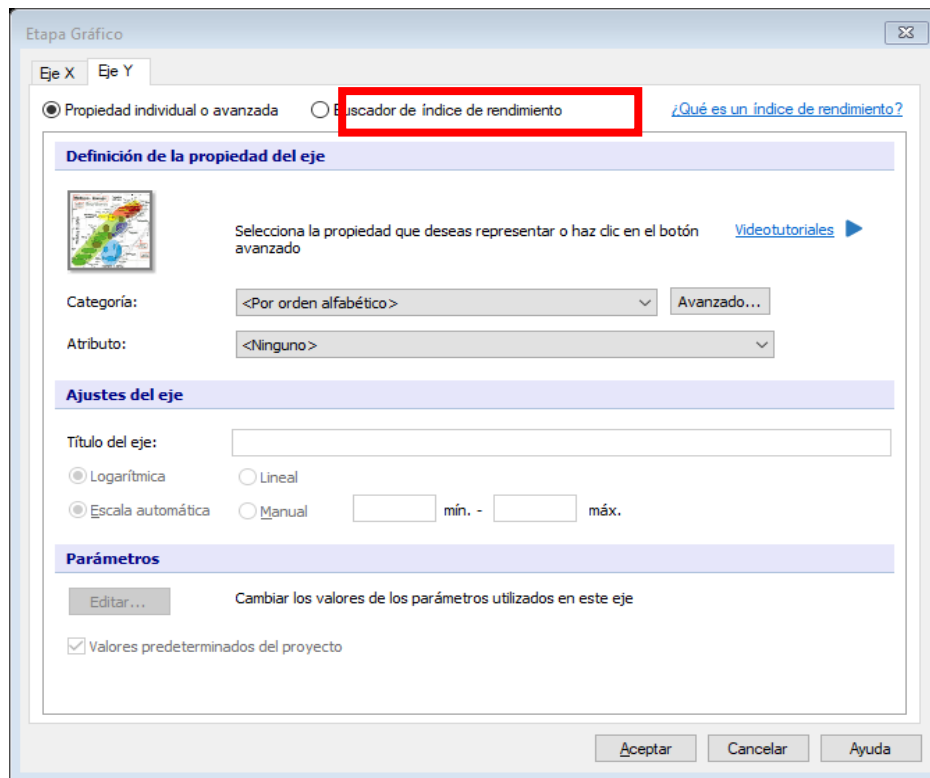


Figura 30. Buscador de índices de rendimiento.

Mediante la introducción de índices de rendimiento específicos para la función de intercambio de calor a través de los tubos de un intercambiador de calor que se encuentran ya establecidos en el Software CES Edupack, se realiza la optimización de selección de materiales de manera automática, ya que el programa usa las ecuaciones relevantes para la construcción de un intercambiador en base a la presión, diferencias de temperaturas, ancho y largo de los tubos, en función al flujo de calor, usando como función a optimizar la masa del material.

A continuación, en la figura 31. Se muestra la variables fijas y libres, así como las restricciones que limitan el diseño y la función necesaria para optimizar el proceso específico de transferencia de calor en los intercambiadores de calor en general, lo cual encontramos en la opción chart/selection.

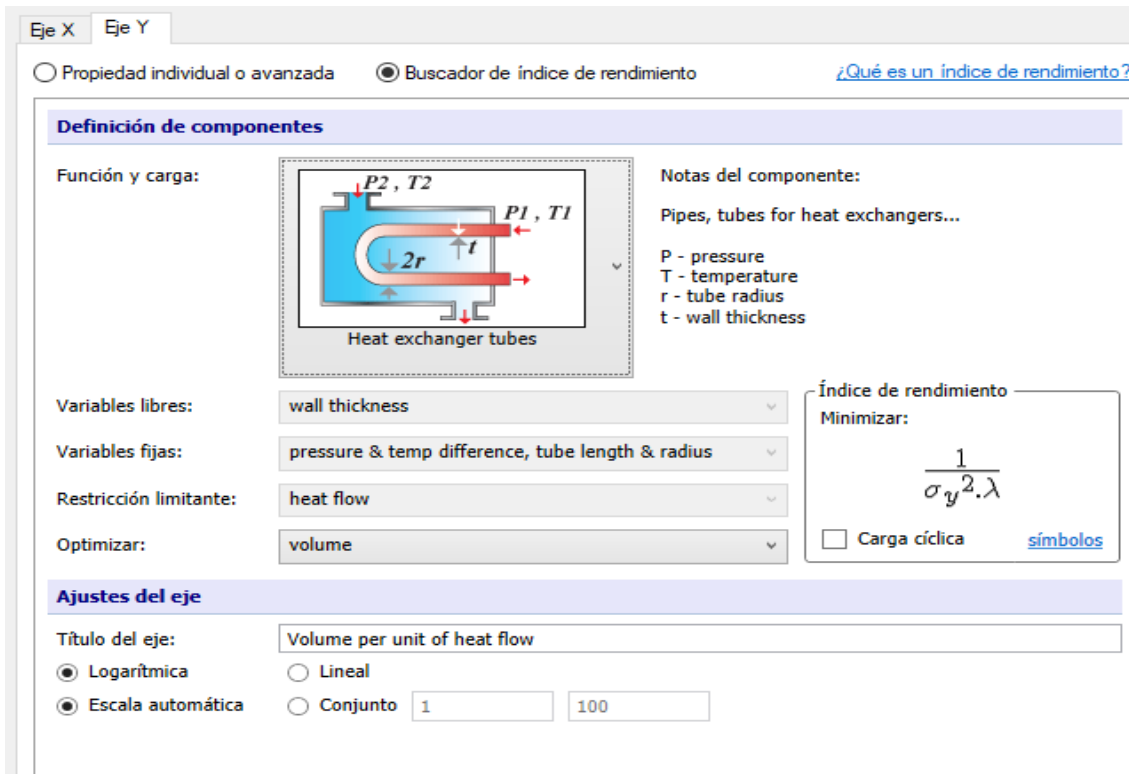


Figura 31. Ventana de índice de rendimiento del programa Ces Edupack.
 Fuente: (Granta/ANSYS, 2019^a)

En la figura 32, se muestra los resultados de las propiedades de los materiales por unidad de flujo de calor.

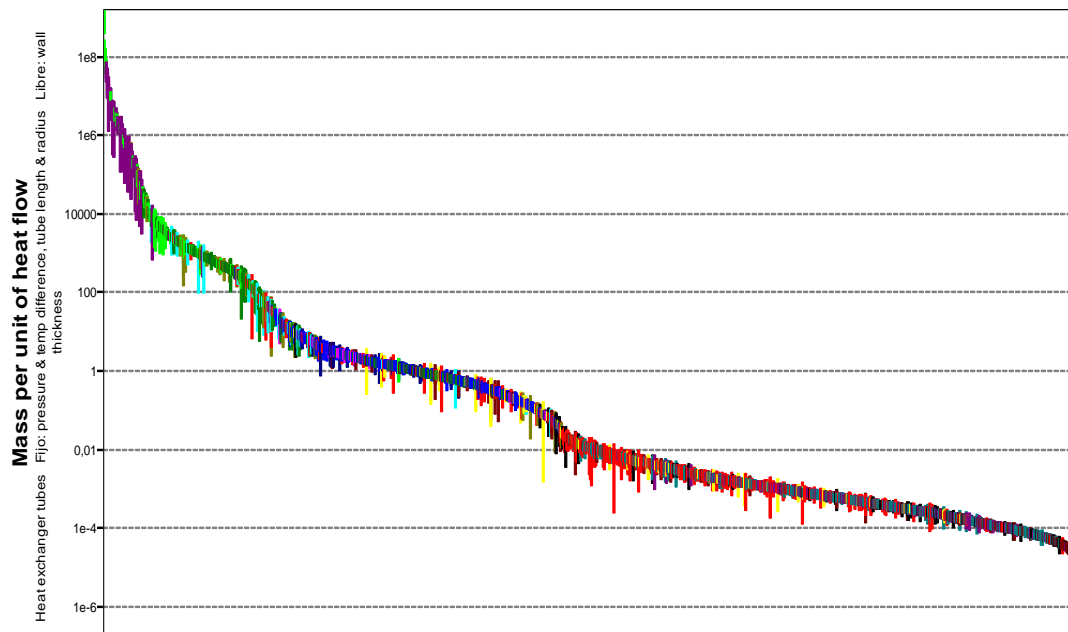


Figura 32. Resultados de primera etapa.

Etapa 2.

En esta etapa se realizó un gráfico siguiendo los mismos pasos que se presentan en la etapa uno, en el cual se representa en el eje “y” el índice de rendimiento de la masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de flujo (eje “x”). Este gráfico nos permite observar de manera más clara como se encuentran los materiales en base al costo y la masa por cantidad de calor que transmiten.

En la figura 33, se muestra la ventana de configuración de la etapa uno en donde se seleccionan las funciones a optimizar.

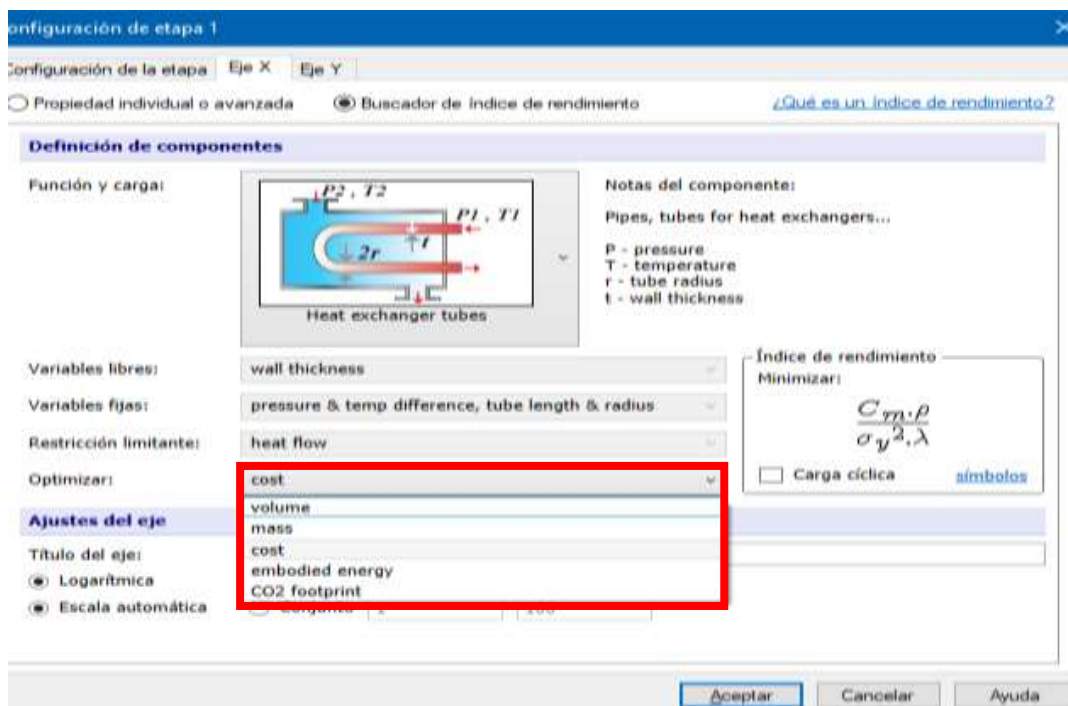


Figura 33. Selección de función a optimizar.

En la figura 34, se muestra cómo se distribuyen los materiales en un gráfico que indica la masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de flujo de calor de todos los materiales.

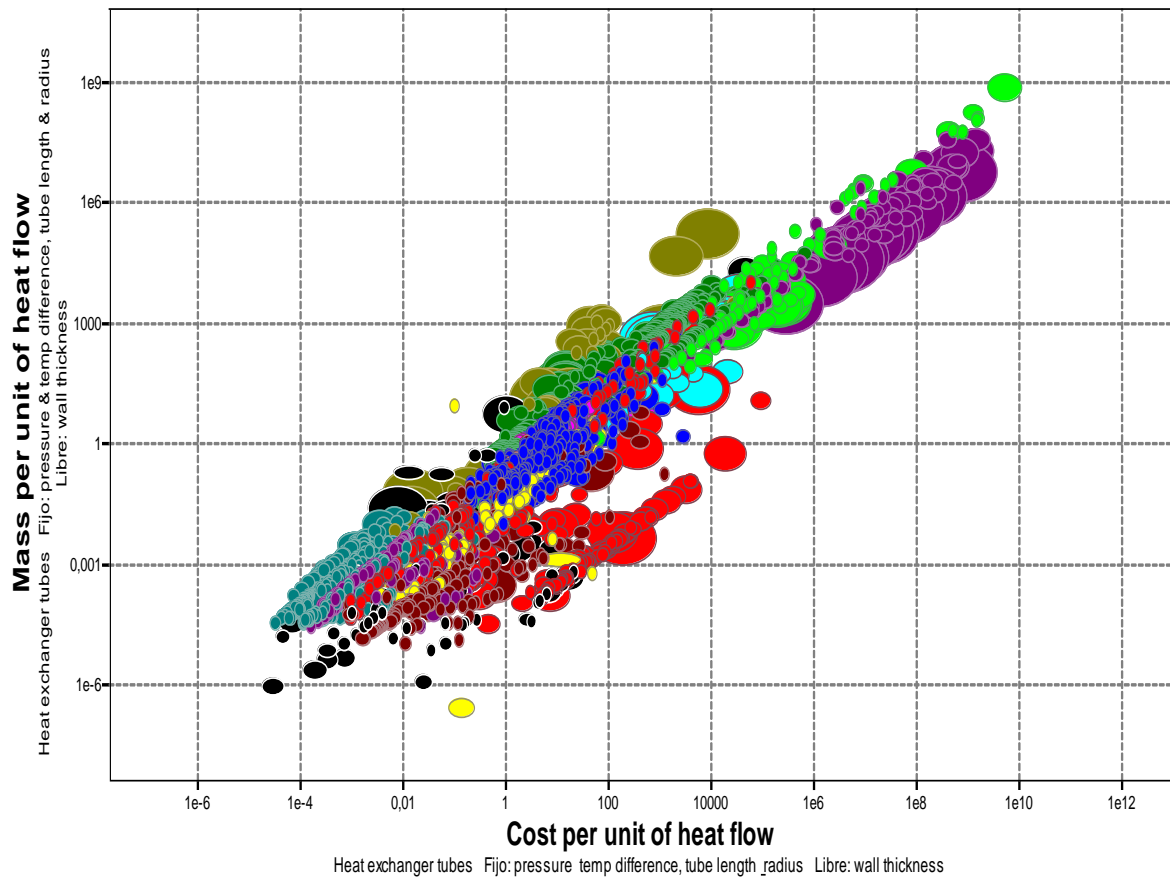


Figura 34. Masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de calor.

Fuente: (Granta/ANSYS, 2019^a)

Etapa 3.

En esta etapa se vuelve a realizar un filtro de los materiales encontrados en las dos etapas anteriores, para esto se tiene como restricción la conductividad térmica de los materiales en un rango óptimo, y a su vez el precio de estos dentro de lo aceptable en la industria para que sea una opción de cambio.

En este caso se ingresa a la configuración del eje X y se selecciona “Price” en categoría y lo propio en la pestaña de atributo. Una vez seleccionado esto, en la sección de categoría del eje Y se selecciona “thermal properties” y en atributo “thermal conductivity”.

En la figura 35 se muestra la ventana donde se configuran las propiedades en cada eje del gráfico para su selección.

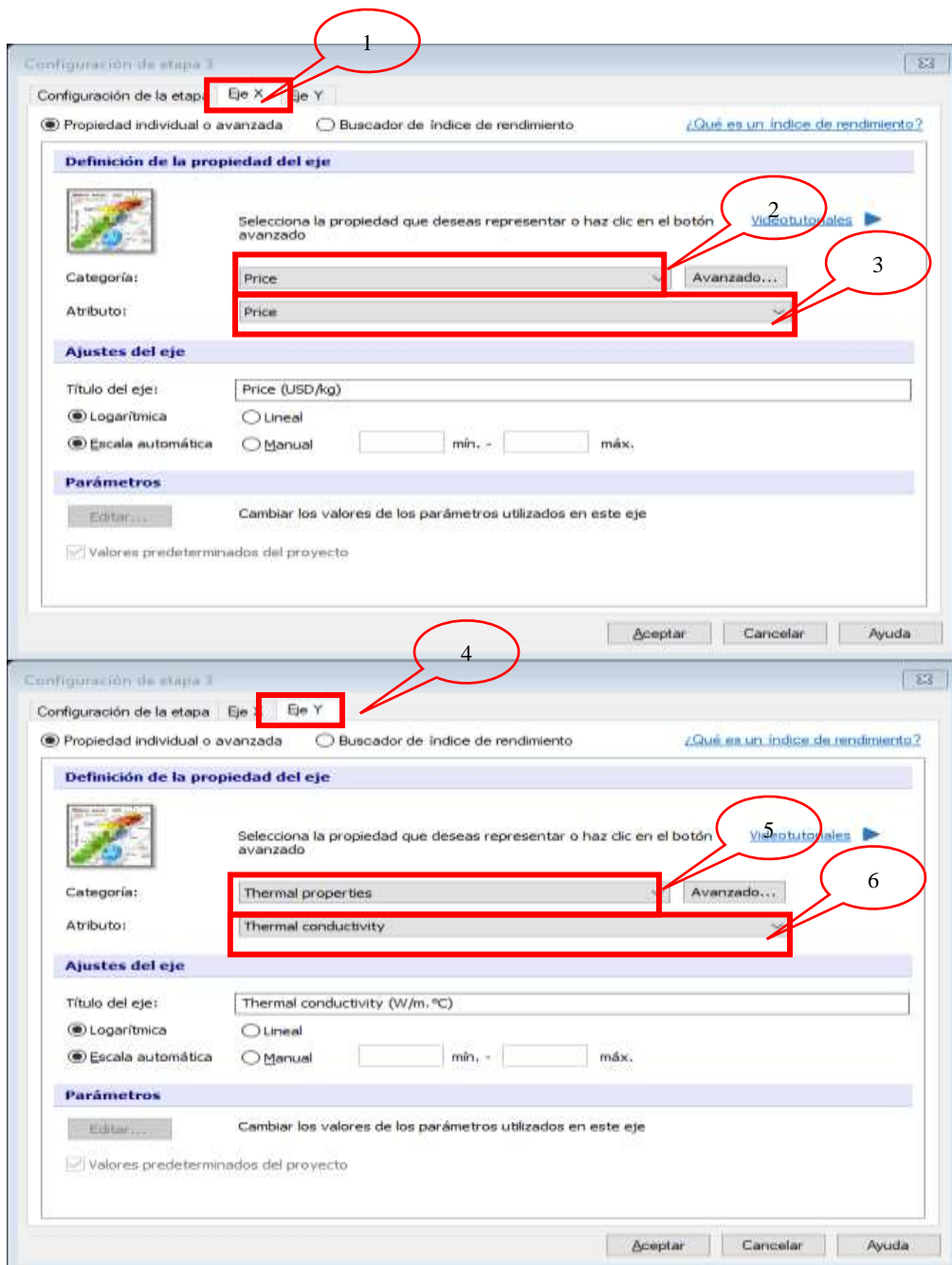


Figura 35. Elección de precio en el eje X (arriba) Elección de conductividad térmica en el eje Y (abajo)

En la figura 36, se muestra el resultado de la selección de materiales en una gráfica que indica la conductividad térmica en función al precio.

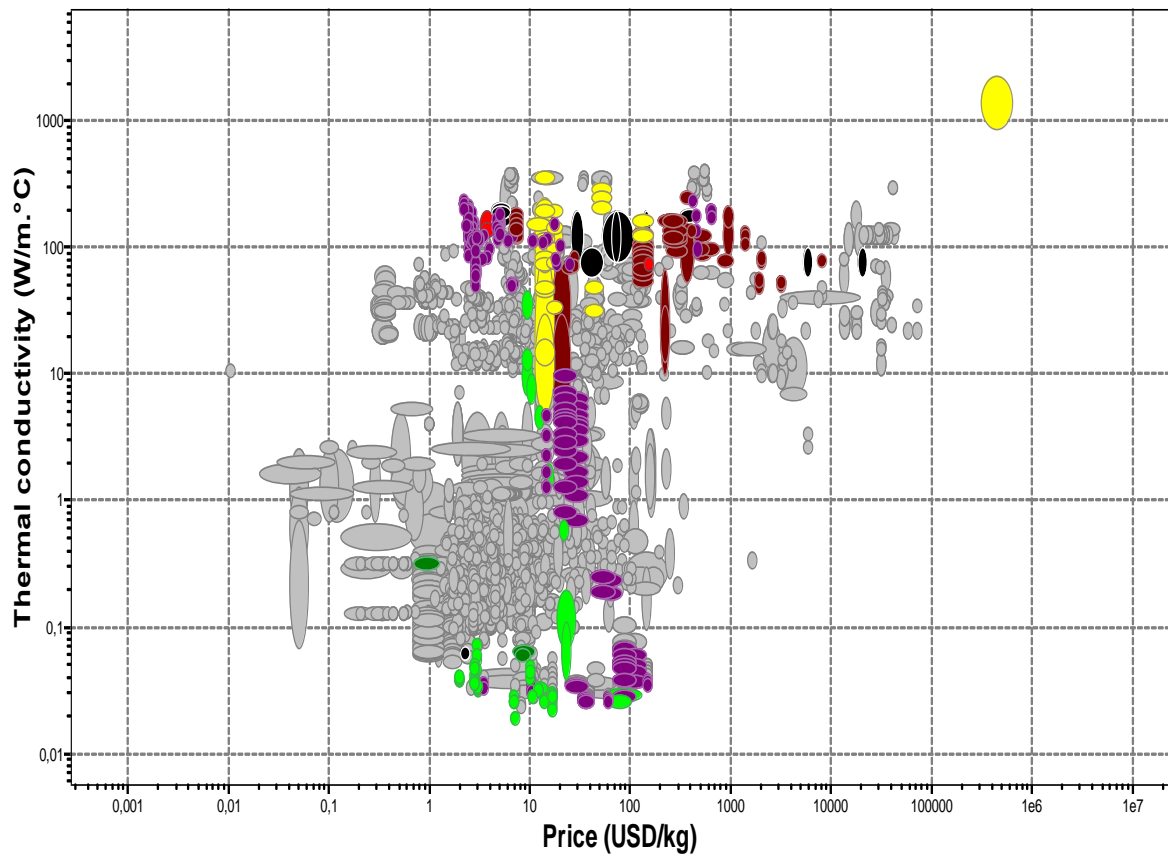


Figura 36. Conductividad térmica en función de precio.

Fuente: (Granta/ANSYS, 2019a)

Etapa 4.

En esta etapa mediante una restricción basada en el trazo de una pendiente que divide los componentes entre los que poseen características óptimas o no, y a través del gráfico que indica las características de conductividad térmica de los materiales en función a la densidad de los mismos, se logró tener otra grafica en la cual representa con colores a los materiales idóneos y en gris los que no cumplen con las características necesarias, ya sea por una conductividad baja o porque a su vez son extremadamente caros para implementarlos en la industria automotriz.

En la figura 37, se muestra cómo se distribuyen los materiales en un gráfico que indica la conductividad térmica en función de la densidad de todos los materiales.

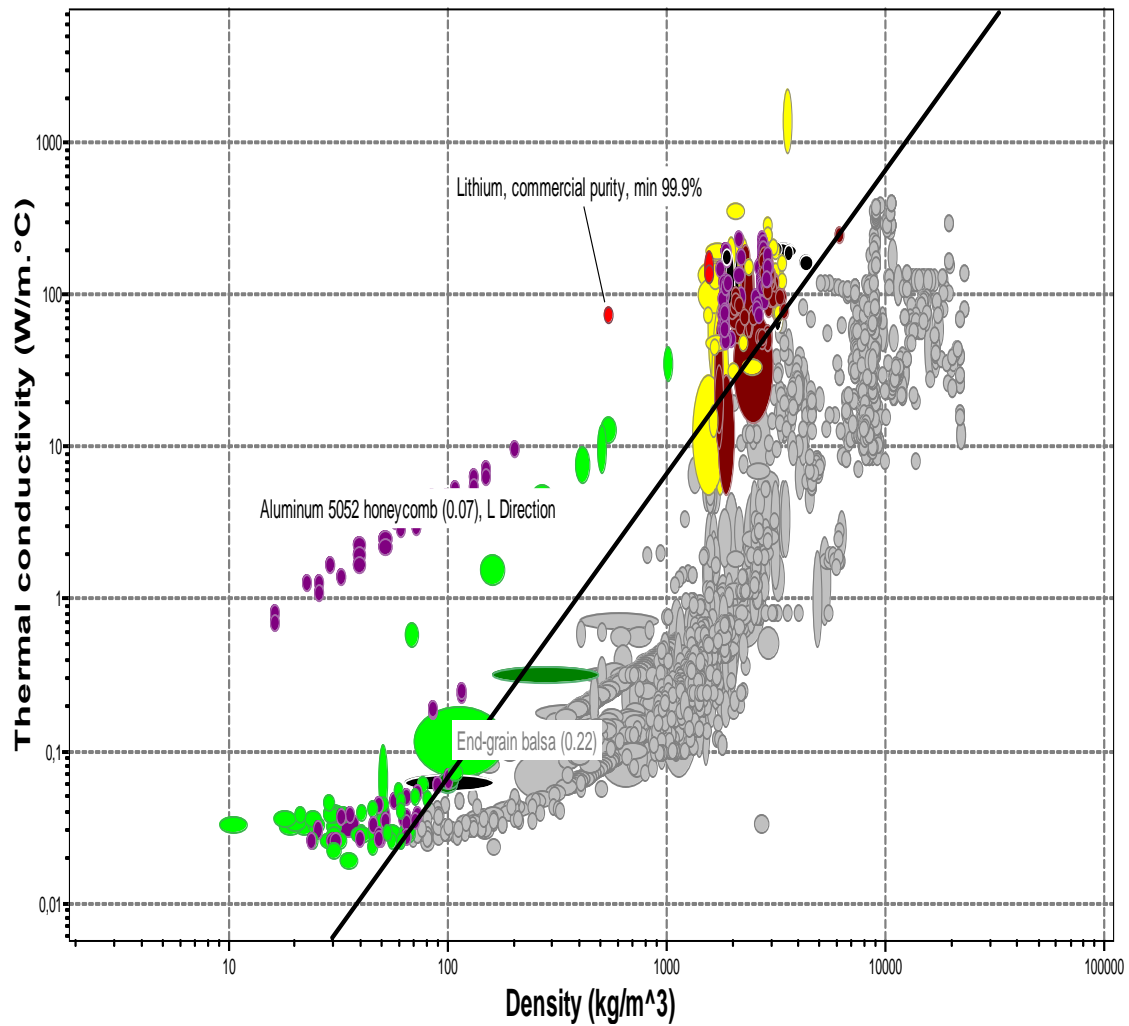


Figura 37. Masa por unidad de flujo de calor en función del costo por unidad de calor.

Fuente: (Granta/ANSYS, 2019^a)

Etapa 5.

En esta etapa como se tienen todavía mucha variedad de materiales de los cuales se puede analizar, se realiza una limitación en función a los mínimos requisitos que debería gozar el material para ser una opción óptima de cambio.

En la Tabla 8, se muestra las propiedades limitantes para la selección de los materiales, mientras que en la figura 38, se muestra la ventana del software donde se selecciona las propiedades y en la figura 39, donde se ingresan los rangos en donde se buscará el material.

Tabla 8.
Propiedades limitantes.

Propiedad	Unidad	VALOR		
		Mínimo	Máximo	
Física	Densidad	Kg/m ³	1750	9000
Mecánica	Módulo de flexión	GPa	40	240
	Dureza	HV	100	-
Térmica	Conductividad térmica	W/m °C	100	400
	Capacidad calorífica	J/kg °C	350	-
Durabilidad	Agua	-	Excelente	
	Oxidación	-	Aceptable	

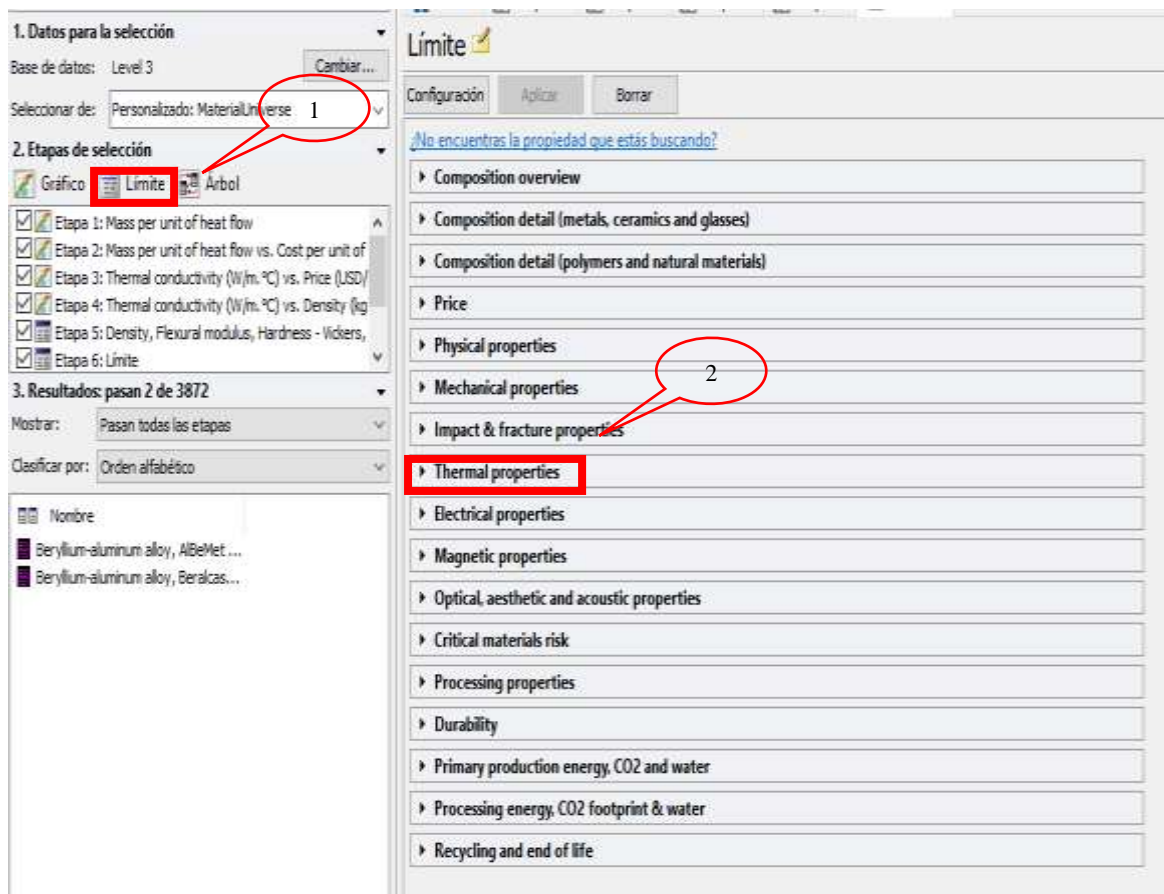


Figura 38. Opción para delimitar propiedades.

▼ Thermal properties			
	Mínimo	Máximo	
Melting point	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Glass temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Maximum service temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Minimum service temperature	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Thermal conductivity	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="400"/>	W/m.°C
Specific heat capacity	<input type="text" value="350"/>	<input type="text"/>	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	<input type="text"/>	<input type="text"/>	µstrain/°C
Thermal shock resistance	<input type="text"/>	<input type="text"/>	°C
Thermal distortion resistance	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MW/m
▼ Mechanical properties			
	Mínimo	Máximo	
Young's modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Specific stiffness	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Tensile strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Specific strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kN.m/kg
Elongation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	% strain
Compressive strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Flexural modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa
Shear modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Bulk modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Poisson's ratio	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Shape factor	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Hardness - Vickers	<input type="text"/>	<input type="text"/>	HV
Elastic stored energy (springs)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa

Figura 39. Ingreso de datos de propiedades limitantes para el proceso de selección.

Al término de todos los filtros para llegar a un material óptimo que podría ser el reemplazo del aluminio y del cobre que se utilizan actualmente, se obtuvo como la

mejor opción a dos aleaciones de berilio con las propiedades mostradas a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9.

Propiedades de aleación de berilio-Aluminio (AlBeMet 162).

Aleación de Berilio-Aluminio, AlBeMet 162				
Información General				
Composición				
Al (aluminio)	36	-	40	%
Be (berilio)	60	-	64	%
Precio				
Precio	*	394	-	428 USD/kg
Propiedades físicas				
Densidad	2,07e3	-	2,12e3	kg/m ³
Propiedades Mecánicas				
Módulo de Young	179	-	200	GPa
Limite elástico	193	-	324	MPa
módulo de ruptura	179	-	200	GPa
Dureza	*	115	-	125 HV
Propiedades de impacto y fractura				
Resistencia a la fractura	11,3	-	24	MPa .m ^{0.5}
dureza	0,749	-	2,74	kJ/m ²
Propiedades Térmicas				
conductividad térmica	240	-	246	W/m.°C
Capacidad calórica específica	1,59e3	-	1,67e3	J/kg.°C
Propiedades de procesamiento				
Fundición de metales				Inadecuado
Forma de metal frío				Aceptable
Metal en caliente formando				Aceptable
Prensa metálica formando				Aceptable
Dibujo profundo de metal				Inadecuado
Velocidad de mecanizado				143 m/min
Soldabilidad				Buena
Durabilidad				
Agua (fresca)				Excelente
Oxidación a 500C				Aceptable
Nota				
Las aleaciones de berilio forman fácilmente un óxido a altas temperaturas que pueden causar agallas. Para evitar esto utilice lubricantes, chaquetas específicas.				
Resistencia a la corrosión de los metales				
Agrietamiento por corrosión por estrés				No susceptible

A continuación, en la Tabla 10, se tiene las propiedades del segundo mejor material que presenta mejores características tanto mecánicas como térmicas con relación a su precio para ser usado en la transferencia de calor.

Tabla 10.

Propiedades de aleación de Beralcast 310.

Aleación de Berilio-Aluminio, Beralcast 310			
Información General			
Composición			
Ag (plata)	1,5	-	2,5 %
Al (aluminio)	26,6	-	38,5 %
Be (berilio)	60	-	70 %
Co (Cobalto)	0	-	0,2 %
Fe (hierro)	0	-	0,2 %
Ge (germanio)	0	-	0,2 %
Si (silicio)	0	-	0,25 %
Precio			
Precio	* 426	-	464 USD/kg
Propiedades físicas			
Densidad	2,02e3	-	2,23e3 kg/m ³
Propiedades Mecánicas			
Módulo de Young	185	-	238 GPa
Limite elástico	315	-	330 MPa
módulo de ruptura	315	-	330 GPa
Dureza	* 94	-	104 HV
Propiedades de impacto y fractura			
Resistencia a la fractura	10	-	20 MPa .m ^{0.5}
dureza	0,518	-	1,75 kJ/m ²
Propiedades térmicas			
conductividad térmica	137	-	148 W/m.°C
Capacidad calórica específica	1,8e3	-	1,85e3 J/kg.°C
Propiedades de procesamiento			
Fundición de metales			Inadecuado
Forma de metal frío			Aceptable
Metal en caliente formando			Aceptable
Prensa metálica formando			Inadecuado
Dibujo profundo de metal			Inadecuado
Velocidad de mecanizado			155 m/min
Soldabilidad			Buena
Durabilidad			
Agua (fresca)			Excelente
Oxidación a 500C			Aceptable

En la Tabla 11, se muestran las propiedades del aluminio que más se usa para la realización de radiadores de automóviles.

Tabla 11.

Propiedades de Aluminio.

Aluminio, A96060 T6				
Información General				
Composición				
Al (aluminio)	97,8	-	99,2	%
Cr (Cromo)	0	-	0,05	%
Cu (Cobre)	0	-	0,1	%
Fe (hierro)	0,1	-	0,3	%
Mg (magnesio)	0,35	-	0,6	%
Mn(Manganeso)	0	-	0,1	%
Si (silicio)	0,3	-	0,6	%
Ti (Titanio)	0	-	0,1	%
Zn (Zinc)	0	-	0,15	%
Otro	0	-	0,15	%
Precio				
Precio	*	2,18	-	2,55 USD/kg
Propiedades físicas				
Densidad	2,69e3	-	2,73e3	kg/m ³
Propiedades Mecánicas				
Módulo de Young	65,9	-	73	GPa
Limite elástico	150	-	175	MPa
módulo de ruptura	150	-	175	GPa
Dureza	*	86	-	95 HV
Propiedades de impacto y fractura				
Resistencia a la fractura	30	-	36	MPa .m ^{0.5}
dureza	12,7	-	18,1	kJ/m ²
Propiedades térmicas				
conductividad térmica	205	-	213	W/m.°C
Capacidad calórica específica	878	-	914	J/kg.°C
Propiedades de procesamiento				
Fundición de metales				Inadecuado
Forma de metal frío				Excelente
Metal en caliente formando				Aceptable
Prensa metálica formando				Aceptable
Dibujo profundo de metal				Limite de uso
Velocidad de mecanizado				110 m/min
Soldabilidad				Buena
Durabilidad				
Agua (fresca)				Excelente
Oxidación a 500C				Aceptable

Para la obtención de las características de otro material para la comparación con los antes mencionados se tomó referencia del estudio hecho por (Du, Du, Wang, Liu, & Li, 2021), en el cual realizaron diversas aleaciones de Mg-Zn-Zr (ZK60) reforzadas por contenido ultra bajo ($< 0,1$ wt%) de nano plaquetas de grafeno (GNP). Estas nano plaquetas de grafeno se dispersan a fondo y se combinan continuamente con la matriz Mg en la interfaz, mejorando la carga y la transferencia de calor de los compuestos. El compuesto GNP(0.04)/ZK60 e obtuvo una conductividad térmica superior de 139,4 W/mK, mientras que la aleación ZK60 132,2 W/mK a temperatura ambiente mostrando que las nanopartículas de grafeno dispersas en matriz proporcionan redes beneficiosas para una transferencia de calor.

En la Tabla 12, se muestra un resumen de las propiedades de los compuestos a utilizar en nuestra simulación.

Tabla 12.

Propiedades de materiales escogidos para comparar.

Aleación	Densidad, ρ Kg/m ³	Capacidad calorífica, Cp J/kg.K	Conductividad térmica, k W/m.K
BeAlMet	2120	1670	246
Al6060	2710	896	209
Beralcast 310	2230	1850	148
Zk60/GNP(0.04%)	1879	1060	139,4

Variables de Diseño de Radiador

El radiador se considera como un intercambiador de placas, en este caso para el cálculo de la capacidad térmica del mismo, se lo analiza de una manera global como un intercambiador de calor de flujo cruzado en base a los siguientes pasos.

Cálculo de la temperatura global media

Para esto se asumen temperaturas de salida con una eficiencia de radiador entre 60 y 75%, y se procede mediante la fórmula:

Ecuación (26) de temperatura de salida de refrigerante.

$$T_{h,o} = T_{h,i} - \varepsilon \left(\frac{C_{min}}{C_h} \right) (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (12)$$

Ecuación (26) (13) de temperatura de salida de refrigerante.

$$T_{c,o} = T_{c,i} - \varepsilon \left(\frac{C_{min}}{C_h} \right) (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (13)$$

Siendo:

Ecuación (26) (14) Razón de capacidad calórica de la corriente

$$C_{min} = (\dot{m}C_p)_{min} ; C_{max} = (\dot{m}C_p)_{max} ; C_{min} = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (14)$$

Donde:

$T_{c,o}$ = temperatura de salida del fluido frío

$T_{c,i}$ = temperatura de entrada del fluido frío

$T_{h,o}$ = temperatura de salida del fluido caliente

$T_{h,i}$ = temperatura de entrada del fluido caliente

C_h = calor específico del fluido caliente

C_c = calor específico del fluido frío.

En los radiadores la temperatura global media del refrigerante se puede calcular con el promedio de las temperaturas de entrada y de salida, a su vez para el aire será similar a la temperatura media logarítmica. En función a las temperaturas de entrada y salida, se obtiene las propiedades de los fluidos para a su vez volver a calcular las temperaturas y obtener un valor real.

Cálculo de diámetro hidráulico

Ecuación (26) (26) de temperatura de salida de refrigerante.

$$D_h = \frac{4A_t}{P_h} \quad (15)$$

Donde:

A_t = área transversal de las aletas

P_h = Perímetro húmedo

Cálculo del número de Reynold

Ecuación (26) Número de Reynolds para el aire

$$Re = \frac{vD_h}{\mu} \quad (16)$$

Donde:

v = velocidad del aire

μ = viscosidad cinemática

D_h = diámetro hidráulico

Ecuación (26) Número de Reynolds para el refrigerante

$$Re_w = \left(\frac{4r_{hw}}{A_{wt}} \right) \left(\frac{\dot{m}_w}{\mu} \right) \quad (17)$$

Donde:

r_{hw} = radio hidráulico

\dot{m}_w = flujo másico de agua

A_{wt} = área de flujo de refrigerante

Cálculo de numero de Nussel y de los coeficientes de película para ambo fluidos, y coeficiente global de transferencia de calor.

Ecuación (26) Número de nussel

$$Nu = 0.023 * Re^{0.5} Pr^{0.33} \quad (18)$$

Ecuación (19) Coeficiente de película para aire

$$h_a = \frac{NuK_a}{D_{ha}} \quad (19)$$

Ecuación (20) Coeficiente de película para refrigerante

$$h_w = \frac{NuK_w}{D_{hw}} \quad (20)$$

Ecuación (26) coeficiente global de transferencia de calor.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\eta_0} + \frac{1}{\left(\frac{a_w}{a_0}\right) h_w} \quad (21)$$

Donde:

Pr = número de prandtl

h_a = conductancia de película para el aire

h_w = conductancia de película para el agua

η_0 = eficiencia de la aleta

α_w = relación del área de contacto de agua y volumen

α_0 = relación del área de contacto de aire y volumen

Ecuación (26) Cálculo del número de transferencia de calor.

$$NTU_{max} = \frac{A_a U_a}{\dot{m} C_{p \min}} \quad (22)$$

Ecuación (23) determinación de eficiencia de intercambiador

$$\varepsilon = 1 - e^{\left[\frac{e^{[-NTU \cdot C \cdot NTU^{-0,22}] - 1}}{C \cdot NTU^{-0,22}} \right]} \quad (23)$$

Ecuación (24) determinación de capacidad térmica

$$Q = C_{\min} (T_{h,i} - T_{c,i}) * \varepsilon \quad (24)$$

Ecuación (26) determinación de temperatura de salida

$$\varepsilon = \left(\frac{C_{\max}}{C_{\min}} \right) \left(\frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \right) \quad (25)$$

Nota: si las temperaturas de salida son demasiado diferentes a las asumidas en el inicio se realiza un procedimiento de iteración hasta que converjan dentro de un rango aceptable del 5%. (KAYS & LONDON, 1984)

En la Tabla 13, se presentan las propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el agua.

Tabla 13.

Propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el agua.

Propiedad	Unidad	Valor
Temperatura estimada de salida	K	361
Conductividad térmica	W/m.K	0.673
Viscosidad dinámica	Kg/m.s	0.000297
Calor específico	kJ/kg.K	4.184
Número de Prandtl	-	2.012
Número de Reynolds	-	14885
Número de Nusselt	-	29.53
Factor de fricción fw	-	0.0156
Temperatura de salida	K	361.31

En la Tabla 14, se presentan las propiedades termodinámicas y números

adimensionales calculados para el agua.

Tabla 14.

Propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el aire.

Propiedad	Unidad	Valor
Temperatura estimada de salida	K	354
Viscosidad dinámica	Kg/m.s	0.000019
Calor específico	kJ/kg.K	1.01
Presión de salida del aire	Pa	198000
Número de Prandtl	-	0.7268
Número de Reynolds	-	6406.3
Factor de fricción fw	-	0.0057
Temperatura de salida	K	354.03

En la Tabla 15 se presentan las propiedades termodinámicas y números adimensionales calculados para el agua.

Tabla 15.

Parámetros de desempeño del intercambiador de calor.

Propiedad	Unidad	Valor
Capacidad térmica (agua)	kW/K	4182
Capacidad térmica (aire)	kW/K	1007
$C = C_{\min}/C_{\max}$	-	0.187
Coefficiente global de transferencia de calor	W/m ² .K	3234
Capacidad térmica máxima	kW	105.22

Simulación CFD

Una vez obtenido el modelo CAD del radiador de automóvil, y las propiedades fisicoquímicas del refrigerante que en este caso será el agua, se procede a realizar la simulación mediante el software de Altair Hypermesh acusolve.

A continuación, se presenta el procedimiento del proceso de simulación CFD:

1. Para la simulación de CFD se escoge en paquete AcuSolve, luego se importa la geometría como ensamble mediante el archivo de extensión .step. como se muestra en la figura 40, y en la figura 41 se muestra la geometría ya importada.

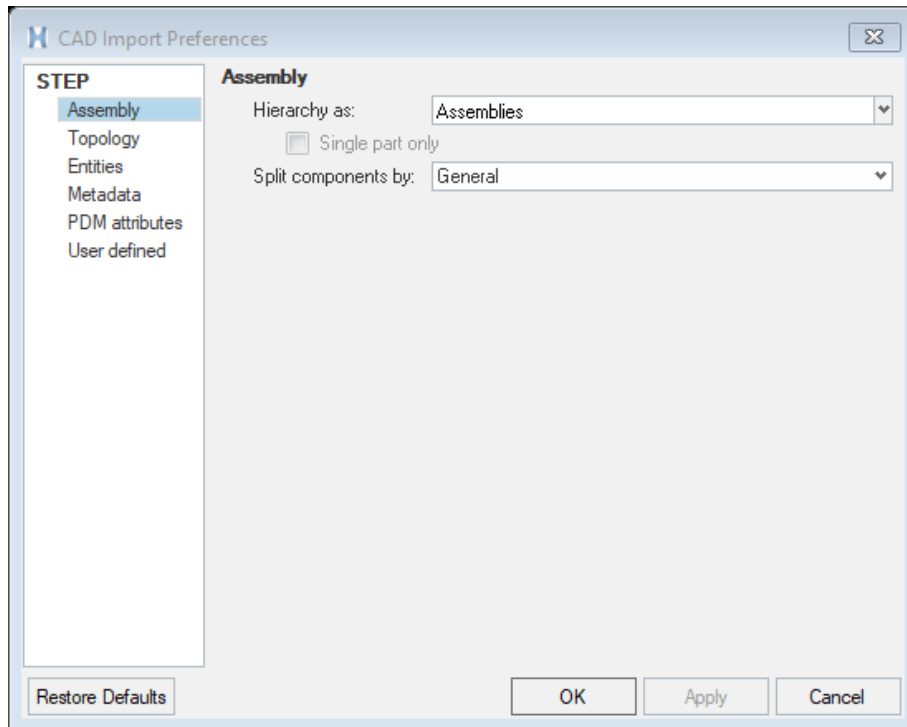


Figura 40. Opciones de importación

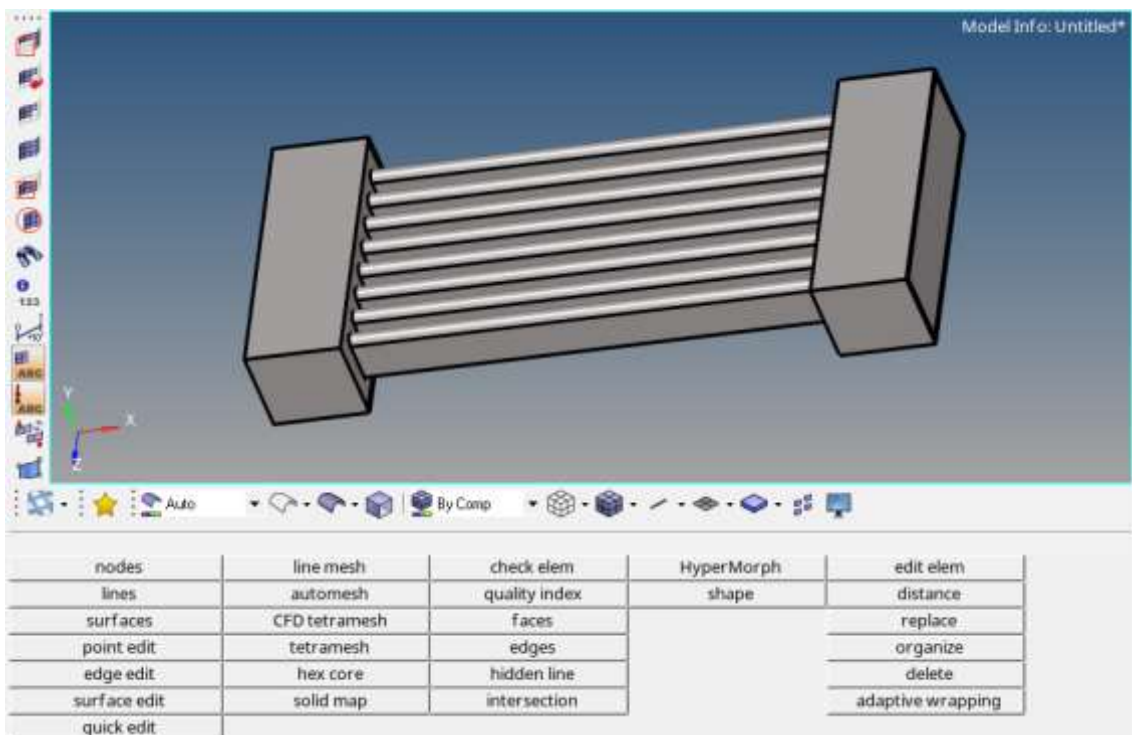


Figura 41. Modelo CAD importado.

2. Antes de mallar es importante comprobar que las superficies están unidas correctamente, para lo cual iremos a la opción “Surface edit” que se muestra en

la figura 42, seleccionaremos “trim with surfs/plan luego en la opción “self intersectings surfs” hacer clic en “surfs” escoger toda la superficie y clic en Trim, tal como se indica en la figura 43.

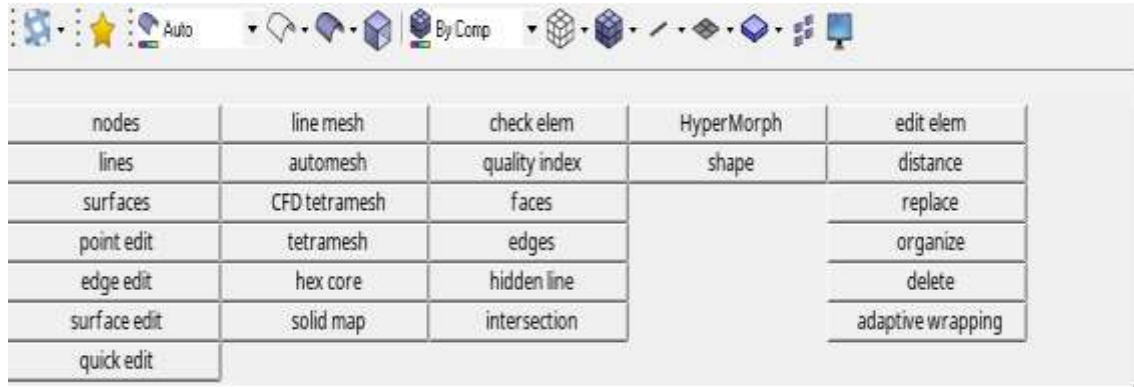


Figura 42. Menú de opciones de acusolve.

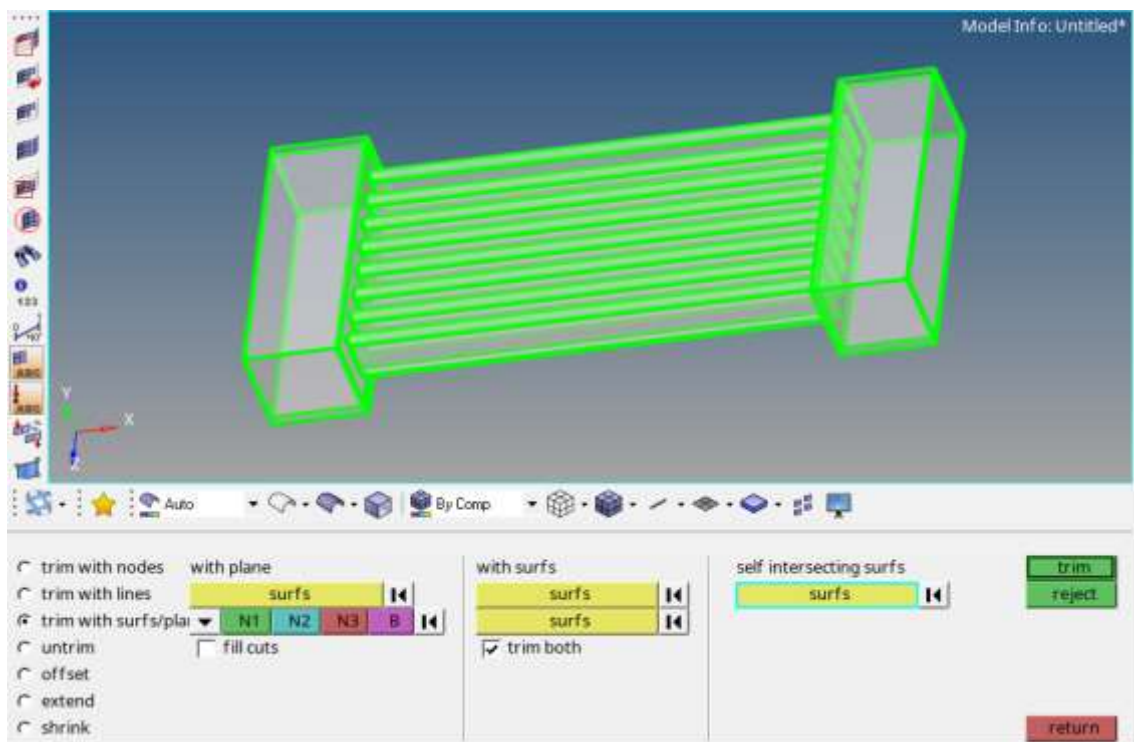


Figura 43. Unión de superficies libres.

- Para la simulación del ingreso del fluido y la salida de este se crean dos capas en la opción create: skin como se demuestra en la figura 44, de tal manera que al mallar todo el interior se comporte como el fluido pasando por el radiador.

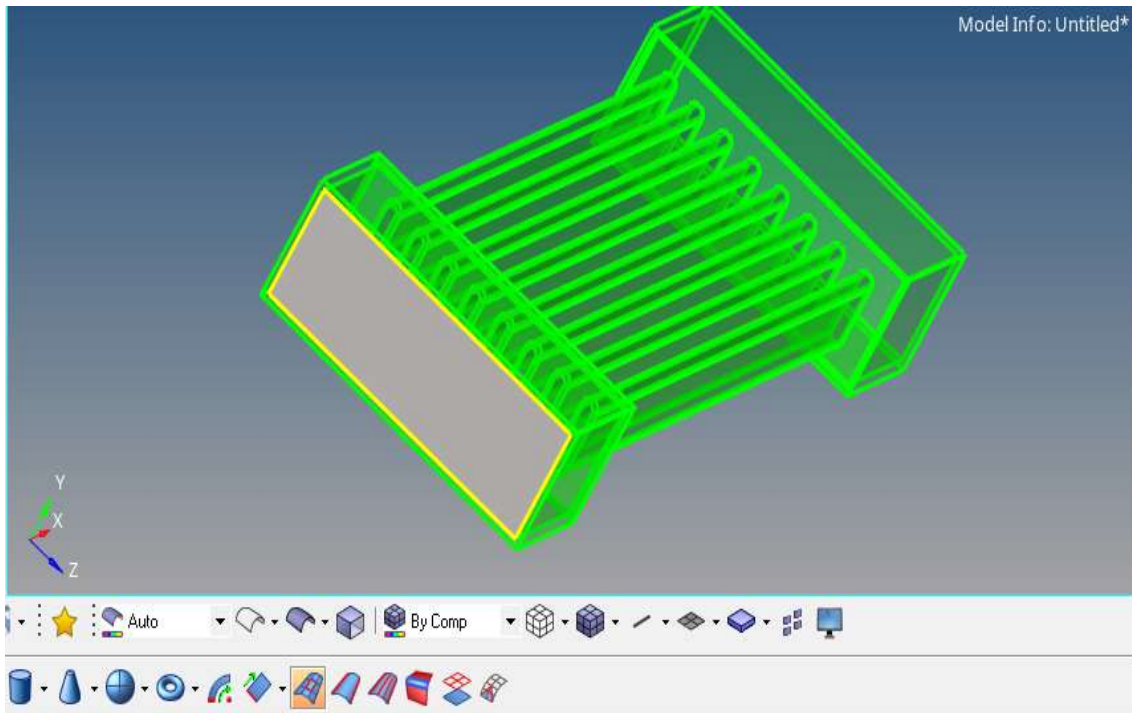


Figura 44. Formación de superficies para unificar el fluido.

4. Se realizó el mallado 2D en función con las siguientes características:

Tabla 16.

Parámetros de mallado.

Tamaño de mall	1.0
Geometría	Triangular

Nota: la geometría triangular es la más recomendada para la simulación de fluidos incompresibles.

En la figura 45, se observa el mallado con elementos triangulares, mientras que en la figura 46 se puede apreciar toda la estructura completamente mallada.

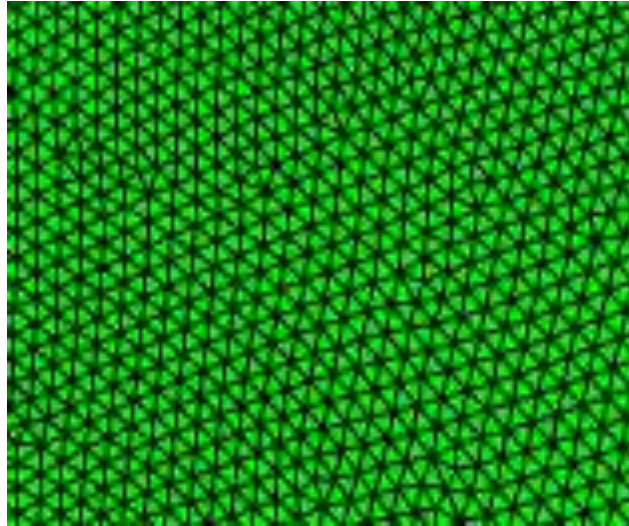


Figura 45. Forma triangular de malla.

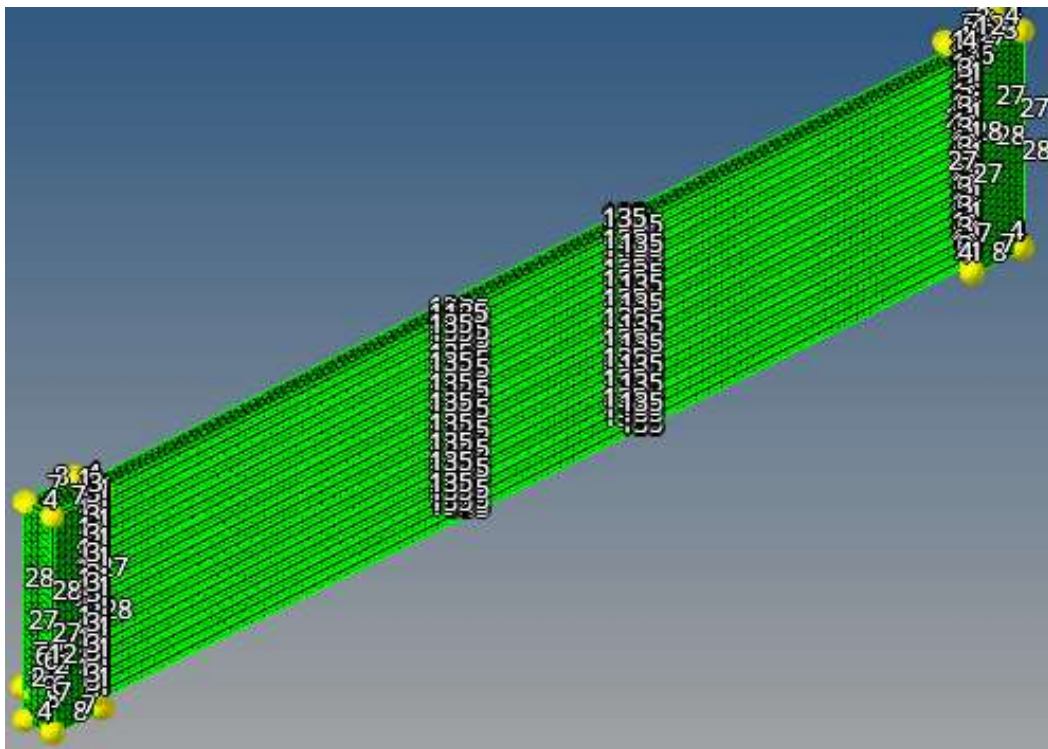


Figura 46. Mallado 2D.

5. Comprobación de mallado 2D mediante la herramienta “mask”.

En la figura 47, se aprecia como haciendo un corte a la estructura muestra el mallado por todas las superficies.

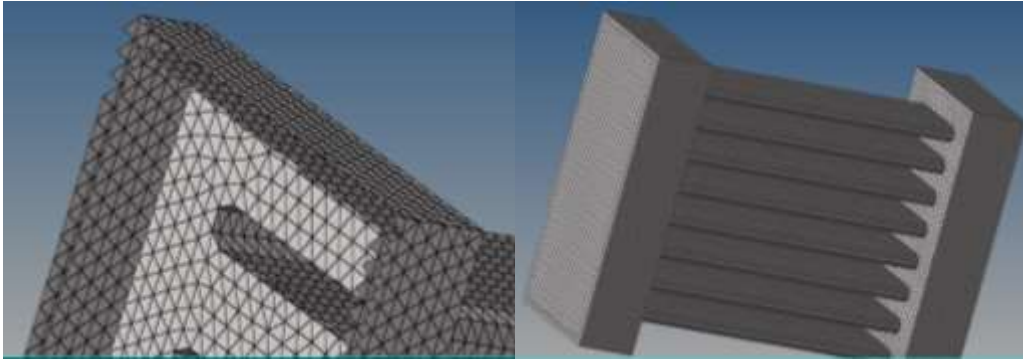


Figura 47. Verificación del mallado 2D.

6. Luego de generar el mallado se crea los componentes CFD que formaran parte de la entrada y la salida del flujo como se muestra en la figura 48, a su vez en la tabla 17, se muestra los componentes creados con su función.

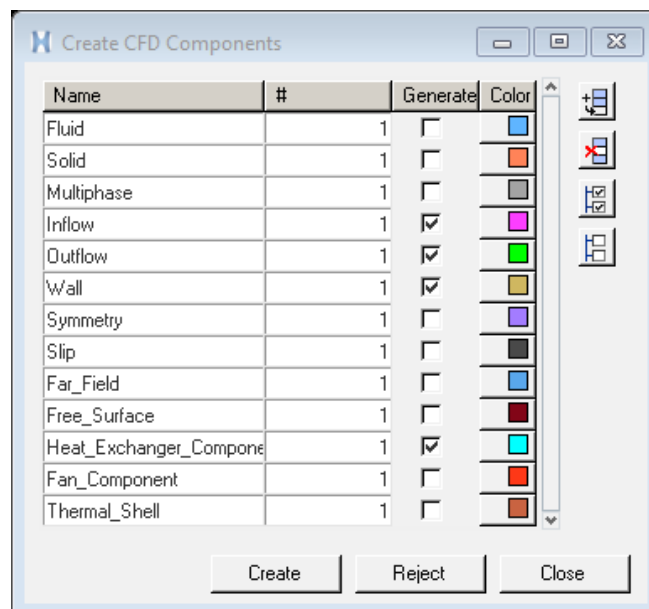


Figura 48. Creación de componentes CFD.

Tabla 17.

Componentes creados para la simulación.

Componente	Función
Inflow	Ingreso de refrigerante
Outflow	Salida del refrigerante
pared_interna	Intercambiador de calor
pared externa	Pared externa del radiador
Refrigerante	Fluido que pasa por el interior del radiador
Berilio	Metal del que está formado el radiador

Los componentes creados se asignan a cada una de las mallas 2D con la herramienta “ORGANIZE”, seleccionando la opción “FACE”, como se muestra en la figura 49.

7. Asignación de componentes de entrada, salida, pared externa y pared interna (intercambiador de calor).

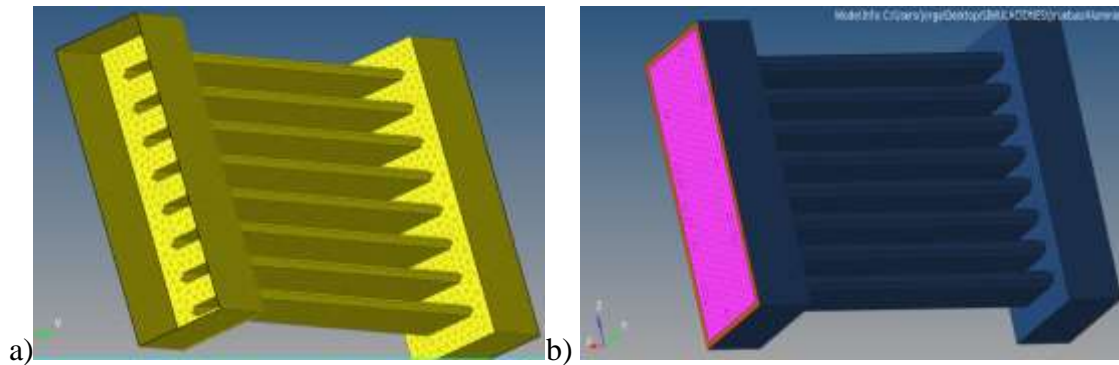


Figura 49. Componentes asignados: a) intercambiador de calor o pared interna, b) entrada y pared externa.

8. Una vez asignados los componentes de entrada y de salida, se definió los componentes sólidos (fijos) y los fluidos (flotantes) mediante la herramienta CFD tetramesh en donde se procedió a realizar el mallado 3D, los mismos que se muestran en la Tabla 18. Al término del mallado se generan dos capas una que es el fluido que pasa por todo el interior del radiador y otra que es la capa límite del fluido.

Tabla 18.

Componentes fijos y flotantes de CFDTETRAMESH.

Componente	Estado
Inflow	Flotante
Outflow	Flotante
Radiador	fijo
Pared interna	Fijo
Pared Externa	Fijo

Como se puede observar en la figura 50, se muestra la ventana de componentes donde se han creado los componentes 3D, y esto se demuestra en la figura 51, haciendo un corte al sólido.

Name	ID	Include
Outflow	3	0
pared_interna	4	0
pared_externa	6	0
Symmetry_fluido	7	0
Symmetry_rad	8	0
CFD_tetcore001	10	0
CFD_bl001	13	0
CFD_tetcore002	16	0
CFD_bl002	19	0

Figura 50. Componentes creados con la herramienta CFD tetramesh.

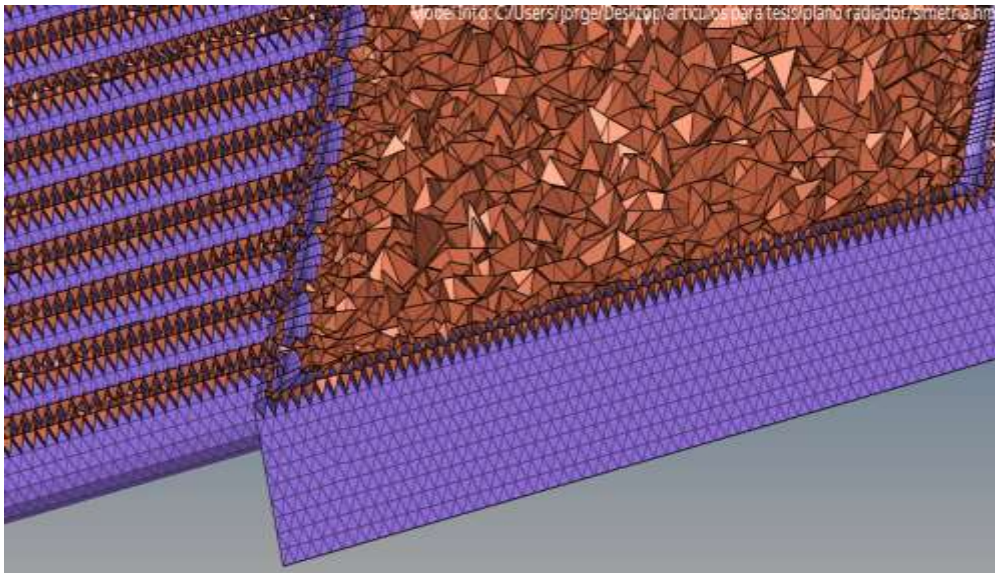


Figura 51. Verificación de mallado 3D.

Una vez obtenidos los nuevos componentes podemos verificar la capa límite haciendo un acercamiento a la imagen, lo cual se muestra en la figura 52.

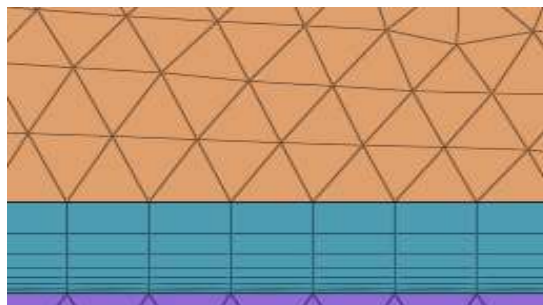


Figura 52. Verificación de creación de capa límite.

9. Creados el fluido y su capa límite, se asigna las propiedades del fluido formado a la capa límite, y posteriormente se eliminar el componente de capa límite, esto se lo realiza mediante la herramienta “organize”.

En la figura 53 se puede identificar como ya se ha asignado las propiedades de sólido y fluido a las capas límite.

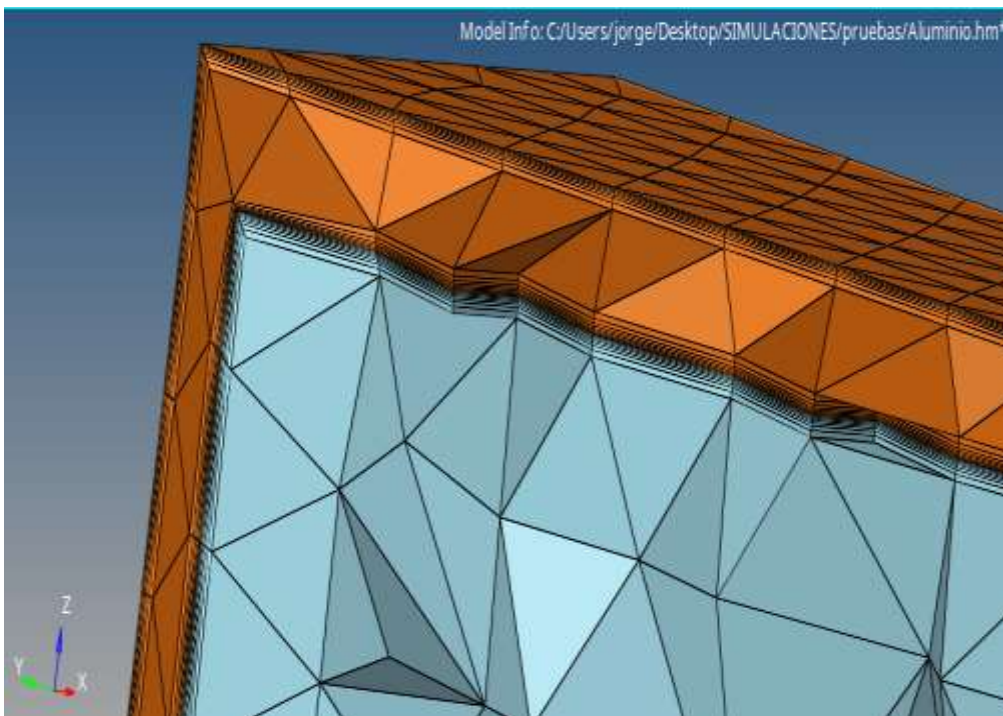


Figura 53. Asignación de propiedades de la capa límite.

10. Generar el material del que está hecho el radiador ingresando los valores de las propiedades establecidas en la tabla 5 que en este caso el material a usar del radiador es Berilio. En este paso también se configuran los parámetros para la resolución del problema y las respectivas condiciones de borde.

En la Tabla 19, se muestra un resumen de la configuración de propiedades que se insertan en la ventana de componentes.

Tabla 19.
Configuración de propiedades.

Ubicación	Propiedad	Valor
Cards: Problem description	Analysis Type	SteadyState
	Absolute Pressure (N/m ²)	71940
	Temperature equation	Advective diffusive
	Absolute Temperature (°K)	298.15
	Turbulence model	Spalart Allmaras
	Global gravity Y (m/s ²)	-9.81
Cards: Solver Settings	Initial time	1.0
Cards: Nodal initial cond.	Temperature default value	298.15
Components: Radiador	Type	Wall
Components: Inflow	Type	Inflow
	Mass Flow	1.97
Components: Outflow	Type	Outflow
Components: agua	Type	Fluid
Components: Berilio	Type	Solid
	Material	Berilio
Load colectors: Gravity	Gravity Y (m/s ²)	-9.81
Materials: Agua	Type	Fluid
	Density (Kg/m ³)	997.0
	Specific heat (J/Kg-°K)	4,178
	Viscosity (Kg/m-s)	0,891x10 ⁻³
	Conductivity (W/m-°K)	0,618
Materials: berilio	Type	Solid
	Density (Kg/m ³)	2120
	Specific heat (J/Kg-°K)	1670
	Conductivity (W/m-°K)	246

Nota: Propiedades del agua tomadas de (Cengel & Afshin, 2007).

Una vez realizado el procedimiento para la simulación CFD se procede a realizar la simulación mediante el software de Altair Hypermesh optistruct.

A continuación, se presenta el procedimiento del proceso de simulación térmica estática de la estructura del radiador:

1. Una vez realizado el paso 1 de CFD, de importar la geometría se cambia de perfil de usuario a optistruct como se indica en la figura 54, en donde se hará el análisis de transferencia de calor a través del sólido.

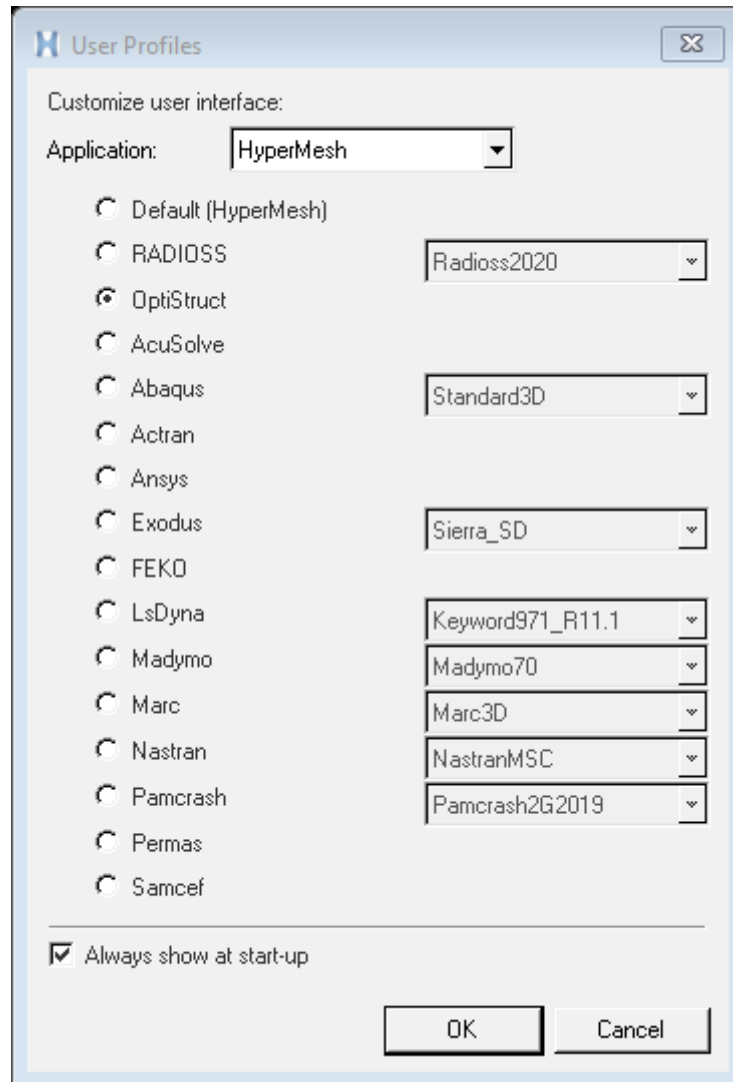


Figura 54. Ventana de perfiles de usuario

2. En la ventana de componentes crear un “load colector”, seleccionar “constrains” y luego “face” y seleccionar la parte interna donde será la fuente de temperatura, poner “create/edit” y digitar la temperatura de la fuente.

En la figura 55, se muestra la fuente de temperatura creada.

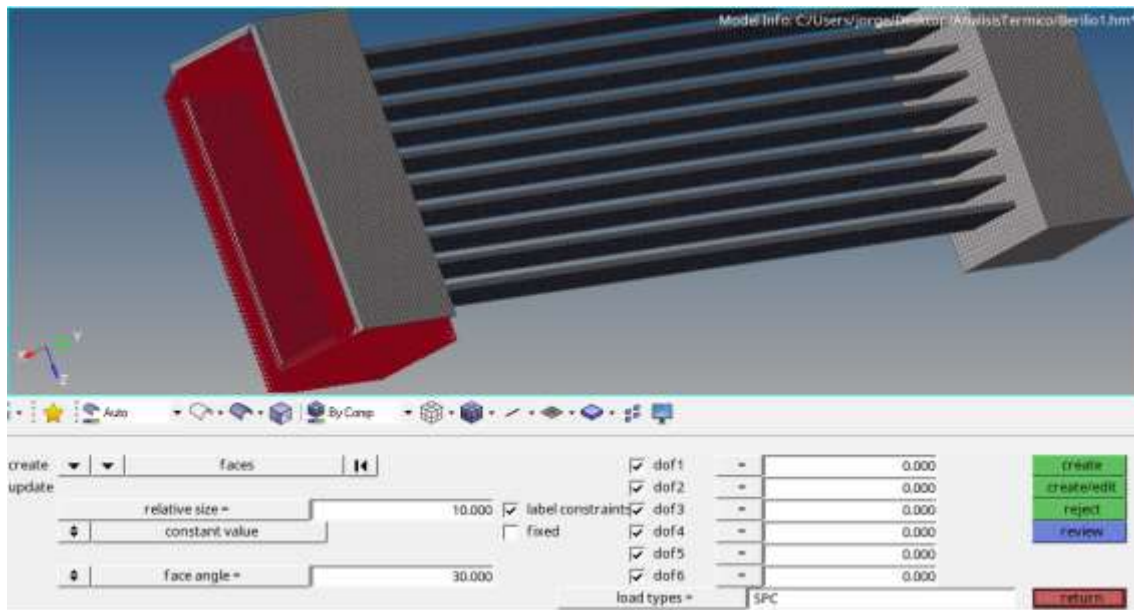


Figura 55. Restricción de temperatura

3. El mismo procedimiento del paso 2 se realiza para crear la restricción de la temperatura ambiente.
4. Crear un grupo y seleccionar los elementos en la opción “Slave Entity IDs”, en Card Image seleccionar “CONVECTION”, y en la parte inferior colocar el valor de coeficiente de convección, como se muestra en la figura 56.

Name	Value
Solver Keyword	PCONV
Name	Conveccion
ID	1
Color	
Include	[Master Model]
Card Image	CONVECTION
Slave Entity IDs	94634 Elements
User Comments	Hide In Menu/Export
FORM	0
EXPF	0.0
FTYPE	3
H1	3234.0

Figura 56. Ventana de grupo.

5. Crear un “load steps”, seleccionar el tipo de análisis, y cargar las temperaturas en “SPC” y dejar las demás condiciones por default. “load steps”. En la figura 57 se muestra las opciones antes indicadas.

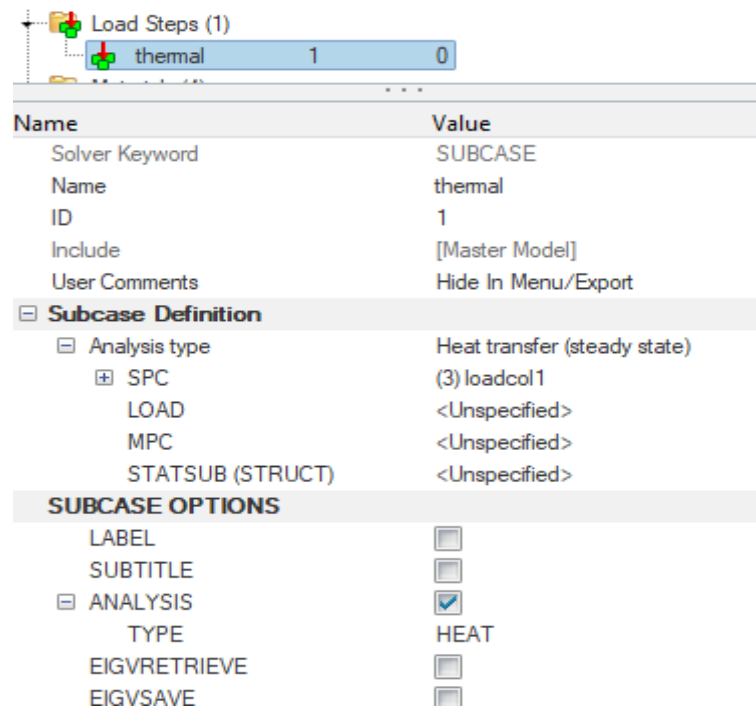


Figura 57. Ventana de grupo.

6. Activar la opción “colector” como se muestra en la figura 58, configurar “slave 3”, clic en elems y seleccionar “convection” y “select” como se indica en la figura 59.

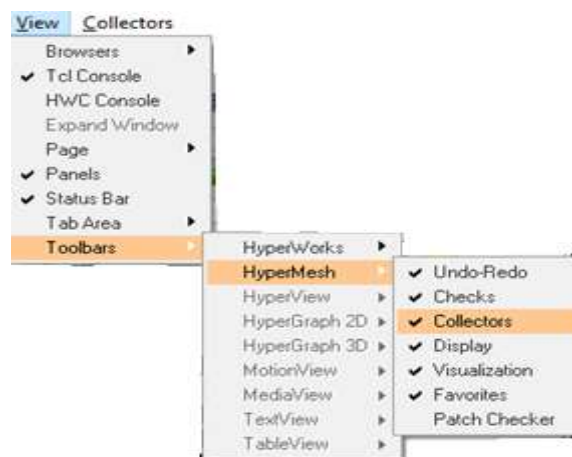


Figura 58. barra de herramientas

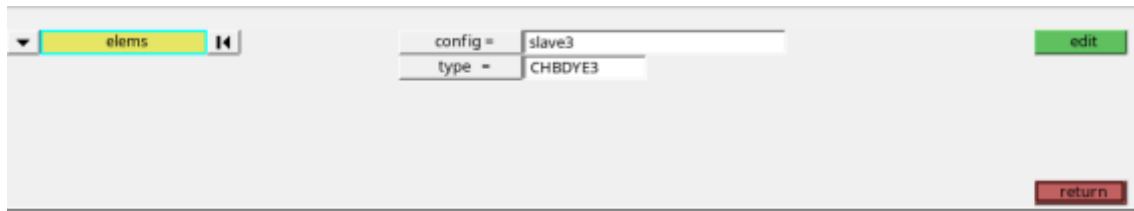


Figura 59. Menú colector

7. Finalmente ir a la opción análisis y correr el programa en OptiStruct como se indica en la figura 60.

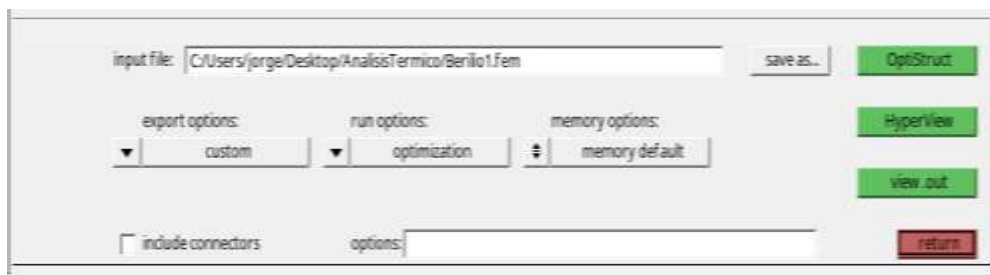


Figura 60. Menú optiStruct

Resultados

Curvas de convergencia

En las figuras 61, 62, ,63 se muestran las curvas de convergencia para el AIBeMet con diferentes tamaños de malla de 0,5, 1 y 1,5 respectivamente.

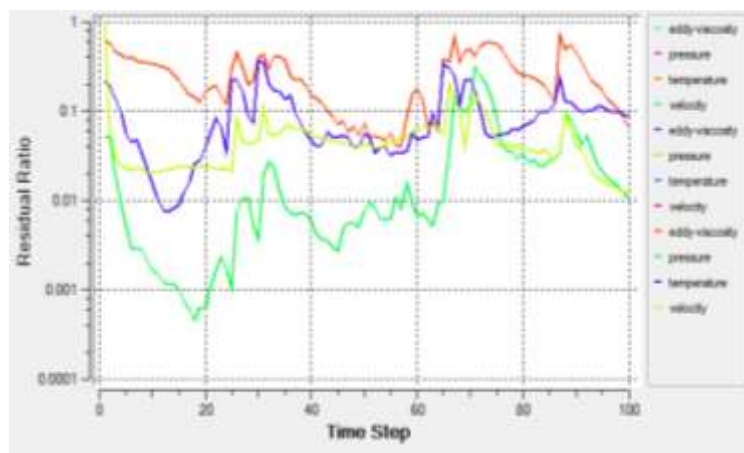


Figura 61. Curva de convergencia para AIBeMet con tamaño de malla de 0,5

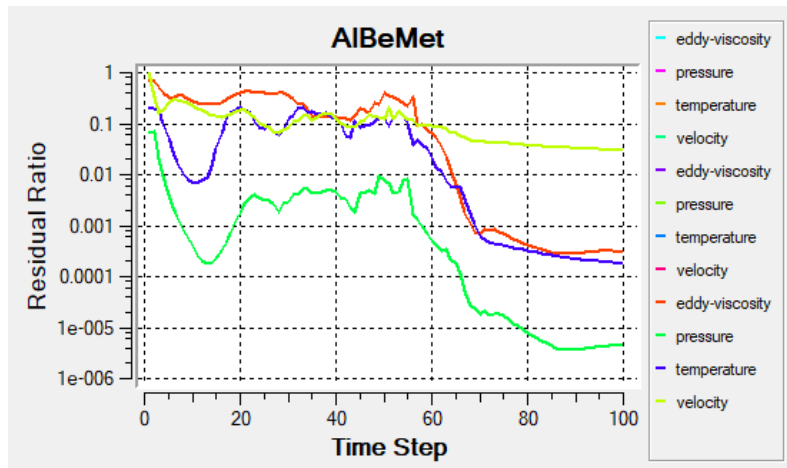


Figura 62. Curva de convergencia para AlBeMet con tamaño de malla de 1

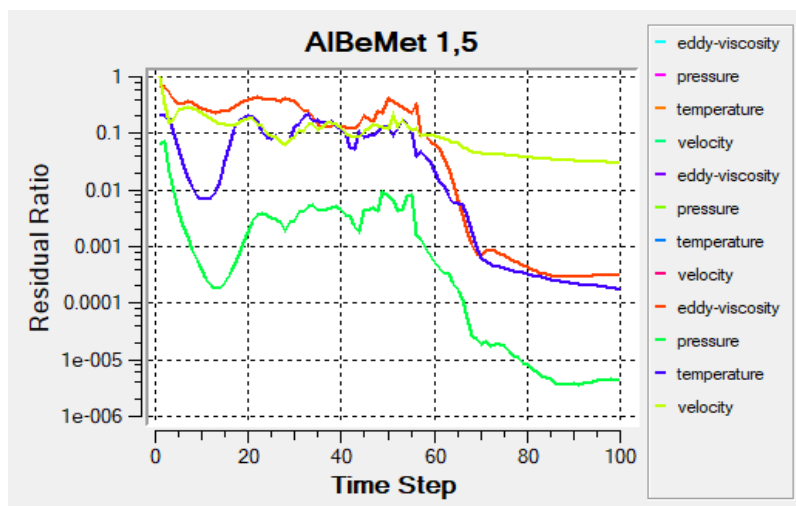


Figura 63. Curva de convergencia para AlBeMet con tamaño de malla de 1,5

En las figuras 64, 65, 66 se muestran las curvas de convergencia de los demás materiales usados en el estudio.

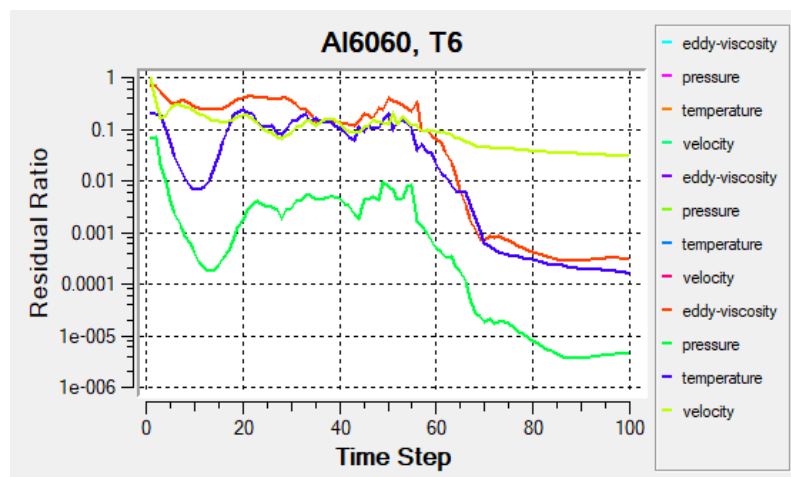


Figura 64. Curva de convergencia para aluminio 6060

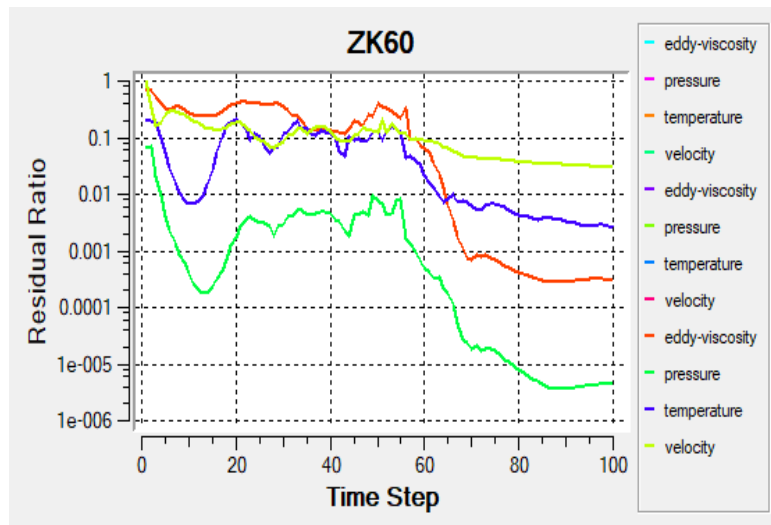


Figura 65. Curva de convergencia para aleación de magnesio Zk60/GNP(0.04%)

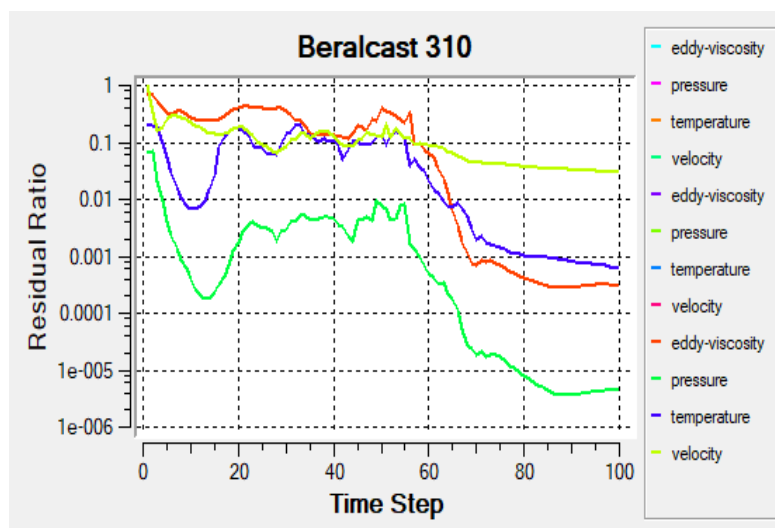


Figura 66. Curva de convergencia para Beralcast 310

Resultados de temperatura del fluido a través del Radiador

En las figuras 67,68,69 y 70 se presentan los resultados de la temperatura alcanzada por el fluido en contacto con diferentes materiales, mientras que en la tabla 20 se encuentran tabulados dichos valores.

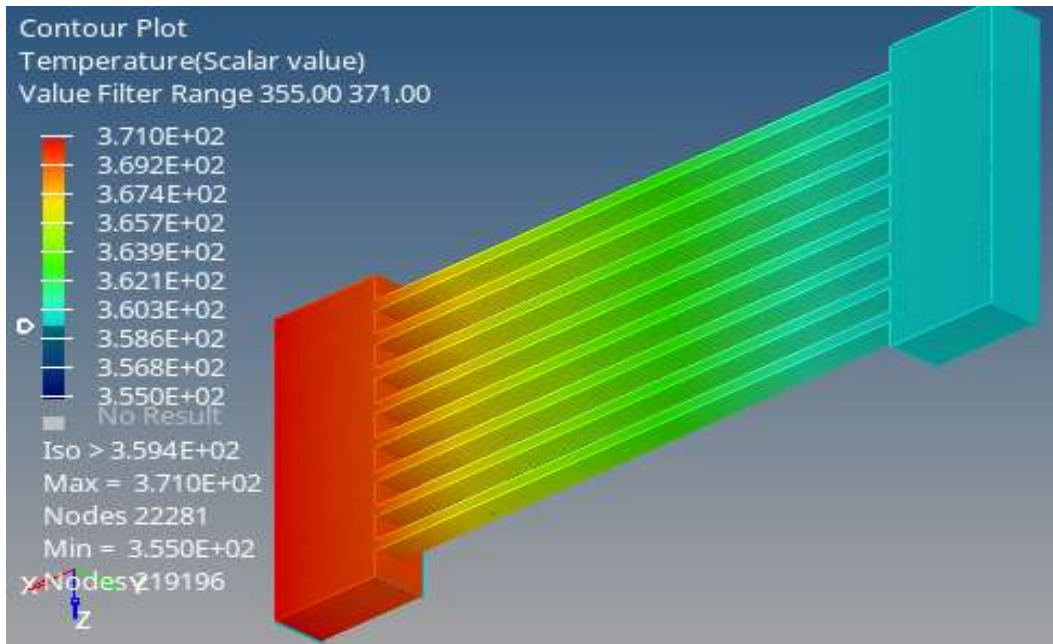


Figura 67. Temperatura de fluido en contacto con AlBeMet

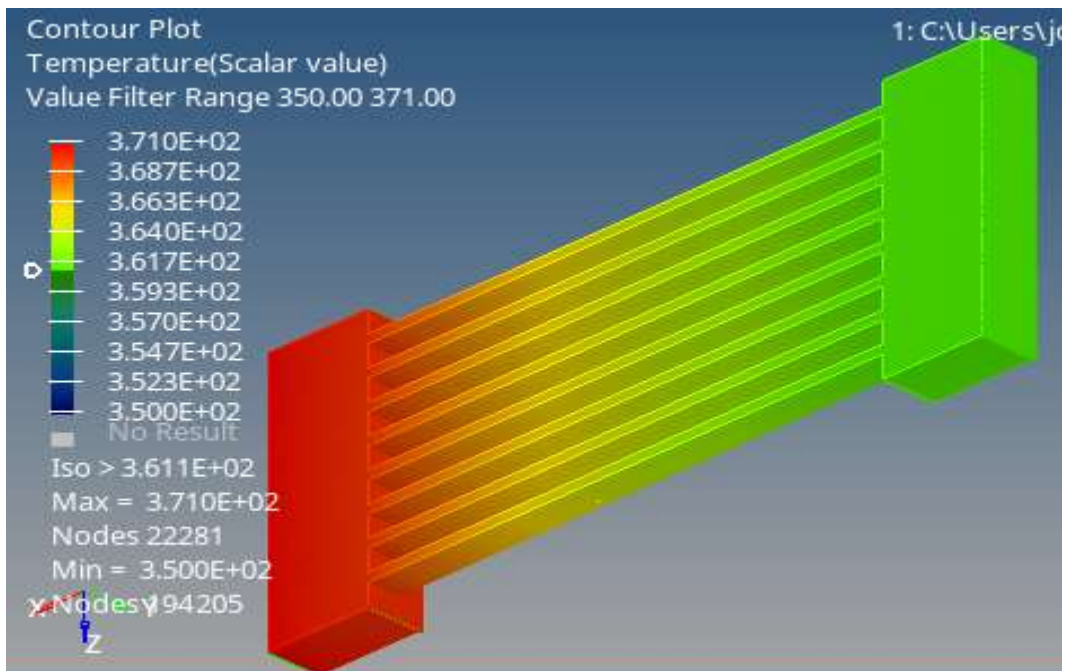


Figura 68. Temperatura de fluido en contacto con Al6060

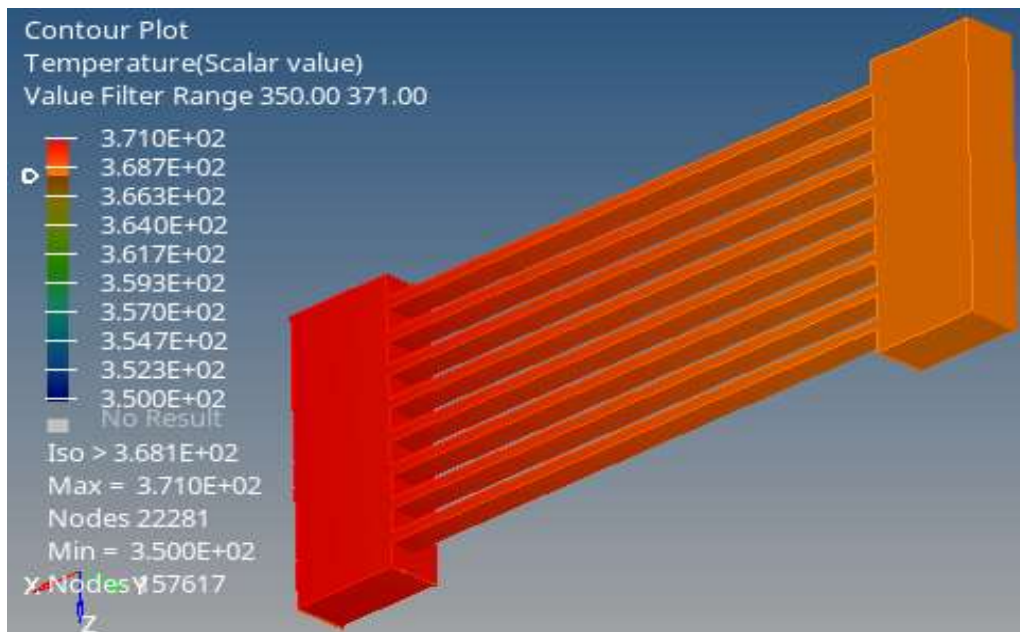


Figura 69. Temperatura de fluido en contacto con beralcast

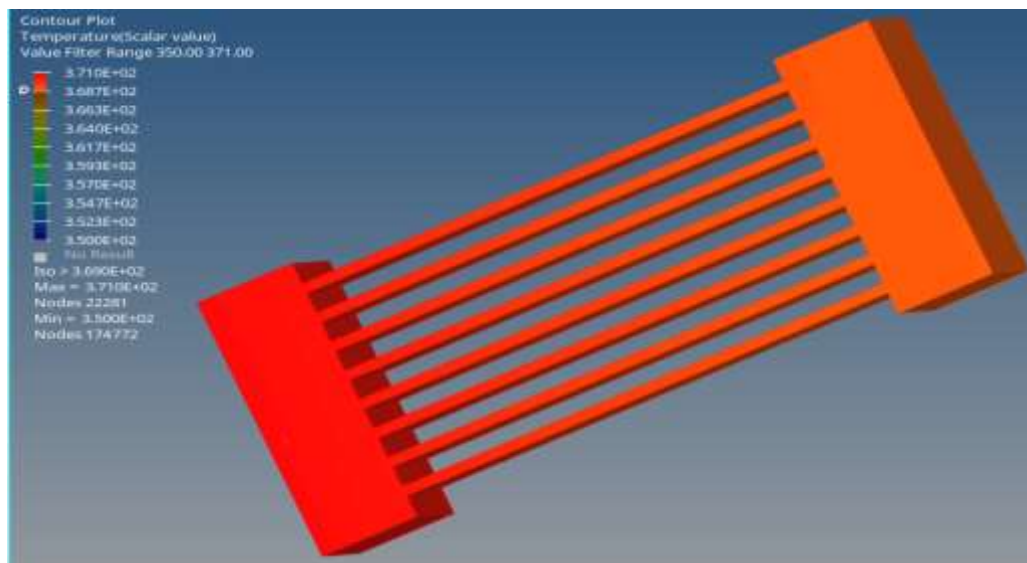


Figura 70. Temperatura de fluido en contacto con ZK60

Tabla 20.

Resultados de la simulación de velocidad del fluido a través de radiador.

Aleación	Conductividad térmica, k W/m.K	Temperatura inicial, K	Temperatura final, K
BeAlMet	246	371	359,41
Al6060	209	371	361,10
Beralcast 310	148	371	367,65
Zk60/GNPs(0,04%)	139,4	371	369,0

Resultados de temperatura del radiador solo

En las figuras 71, 72, 73 y 74 se presentan los resultados de la temperatura en grados celcius, alcanzada de cada material del que se compuso el radiador, aplicando un análisis térmico estático.

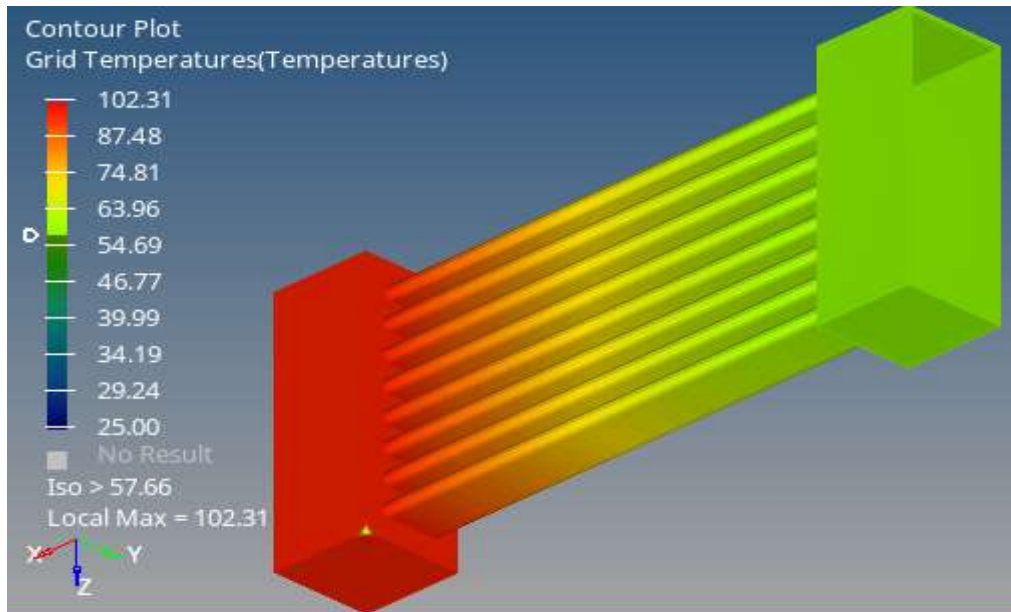


Figura 71. Temperatura a través del Berilio

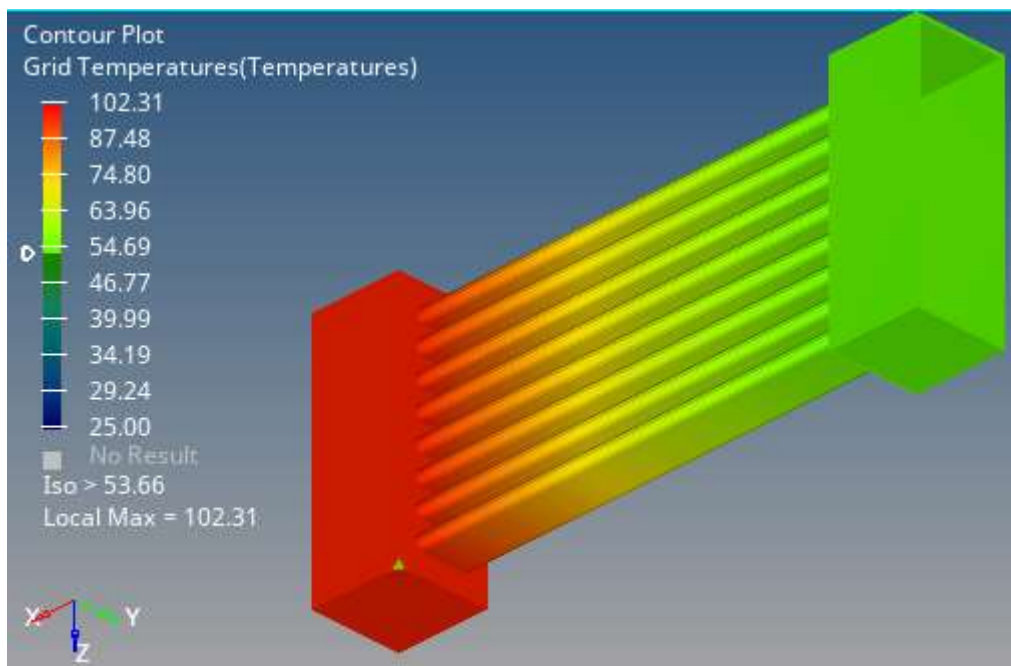


Figura 72. Temperatura a través del Aluminio

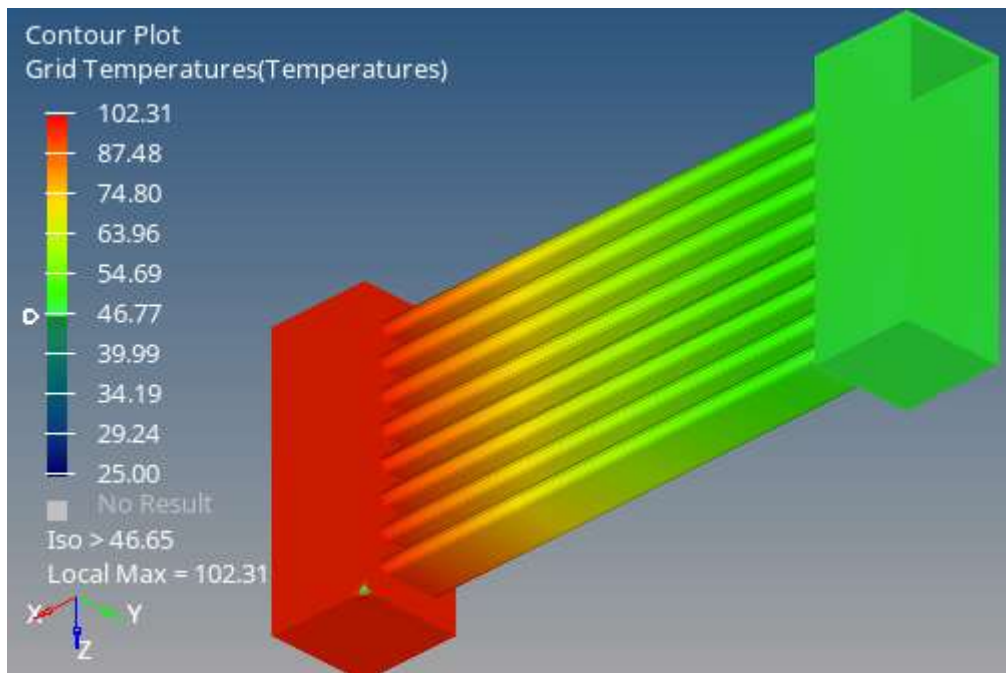


Figura 73. Temperatura a través del beralcast 310

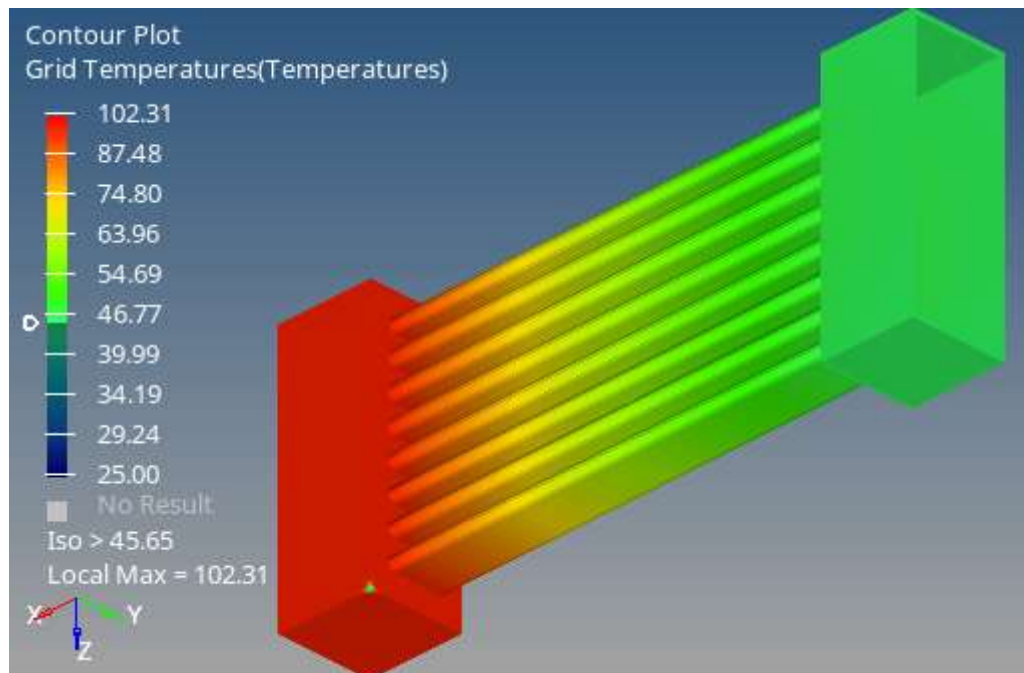


Figura 74. Temperatura a través del ZK60

En la Tabla 21, se muestran tabuladas las temperaturas obtenidas en el análisis térmico de la estructura del radiador.

Tabla 21.

Resultados de la simulación de velocidad del fluido a través de radiador.

Aleación	Conductividad térmica, k W/m.K	Temperatura inicial, K	Temperatura final, K
BeAlMet	246	371	330,81
Al6060	209	371	326,81
Beralcast 310	148	371	319,8
Zk60/GNPs(0,04%)	139,4	371	318,8

Validación de resultados

Se tiene 3 argumentos para la validación de la simulación, el primero es comparar el resultado matemático con el de la simulación, un segundo es analizar la transferencia de calor que sea aceptable dentro de un rango entre 5 a 10 °C, y por último se basa en el cálculo de la efectividad para un radiador.

Los datos de temperatura de salida del fluido para cada material se compararon con el valor de temperatura de salida del fluido obtenido mediante cálculo matemático el cual es de 360,83 K, dando como resultado porcentajes presentados en la Tabla 22.

Tabla 22.

Datos de simulación y cálculo matemático para refrigerante.

Aleación	Temperatura de simulación, K	% de variación	% de tolerancia
BeAlMet	359,41	0,57	5
Al6060	361,10	0,10	5
Beralcast 310	367,65	1,71	5
Zk60	369,0	2,09	5

Como se puede observar ha obtenido valores bajos de variación con respecto a la temperatura de salida calculada. Por lo tanto, la forma más efectiva para validar los valores resultantes es utilizando el cálculo de la efectividad de acuerdo con la ecuación

planteada para un intercambiador de calor de flujo cruzado sin mezcla de pasos múltiples. Este valor tiene que estar en un rango entre 50 y 80 % para que resulte un valor óptimo.

Ecuación (26) determinación de eficiencia de intercambiador

$$\varepsilon = \frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,in} - T_{h,out}} \quad (26)$$

Tabla 23.

Resultados de efectividad.

Aleación	Efectividad
BeAlMet	0,66
Al6060	0,56
Beralcast 310	0,19
Zk60	0,11

En base a los datos obtenidos a la efectividad se puede tomar como validos los resultados ya que normalmente el radiador está hecho de aluminio para lo cual este material entra en el porcentaje de efectividad óptimo.

En la Tabla 24. Se muestra la variación de temperatura entre la entrada y la salida.

Tabla 24.

Rangos de temperatura obtenidos.

Aleación	Delta T	Rango de variación	Cumplimiento estándar
BeAlMet	11,59	5-10	Cumple
Al6060	9,9	5-10	Cumple
Beralcast 310	3,3	5-10	No Cumple
Zk60	2,0	5-10	No Cumple

Discusión

La simulación CFD usado para la transferencia de calor se basó en el modelo de Navier-Stockes que incluye ecuaciones de intercambio de calor, masa y cantidad de movimiento, usando como turbulencia el modelo Spalart-Allmaras el cual es un modelo que ofrece buena estabilidad y convergencia y está diseñado para flujos delimitados por paredes. Mediante los resultados obtenidos de la simulación CFD del flujo de refrigerante que para este caso fue agua a través de diferentes materiales, se demuestra mediante la validación antes descrita que el método de análisis usado es satisfactorio.

Los resultados obtenidos en validación nos muestran mediante el análisis matemático que se tiene una desviación del valor calculado menor al 5% valor que converge dentro de los límites de tolerancia de acuerdo al estudio de (Romero & Carranza, 2007), como se demuestra en la figura 75.

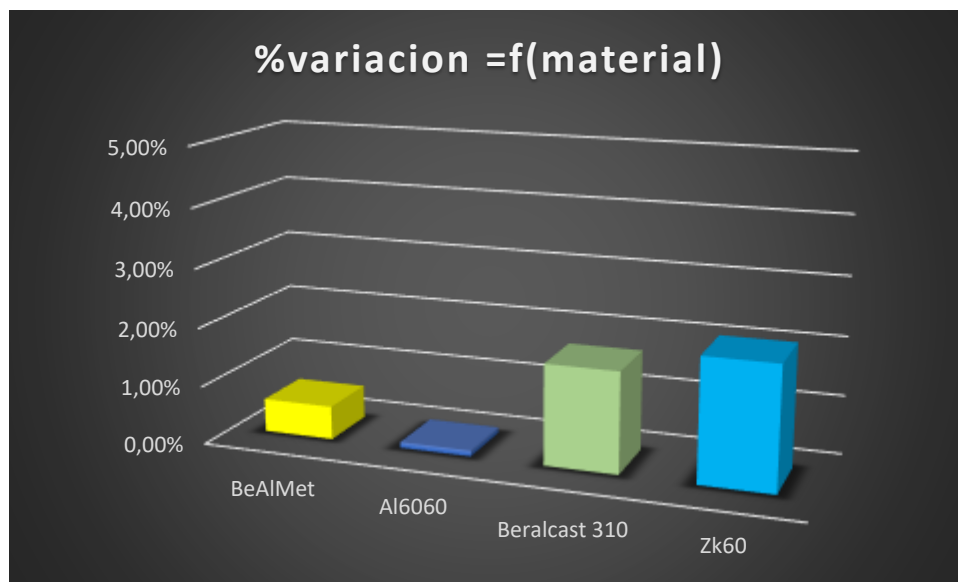


Figura 75. Porcentaje de variación de temperaturas con respecto a cálculo matemático.

A su vez con estos resultados al comparar las variación de temperatura de entrada y salida del fluido como se muestra en la figura 76, se tiene que el valor del berilio (11,59

°C) y del aluminio (9,9°C) cumplen con la especificación de diseño de autores como (Cabrera Coronel & Tigre Guncay, 2016) que en su estudio toman en cuenta un valor diferencial mínimo de 5°C como fiable o (Rojas & Estremera, 2012) que tiene un rango de entre 5 y 10°C de variación, mientras que el beralcast con un valor de 3,3°C y la aleación de magnesio Zk60 con 2°C, no serian metales a considerar para la construccion de un radiador.

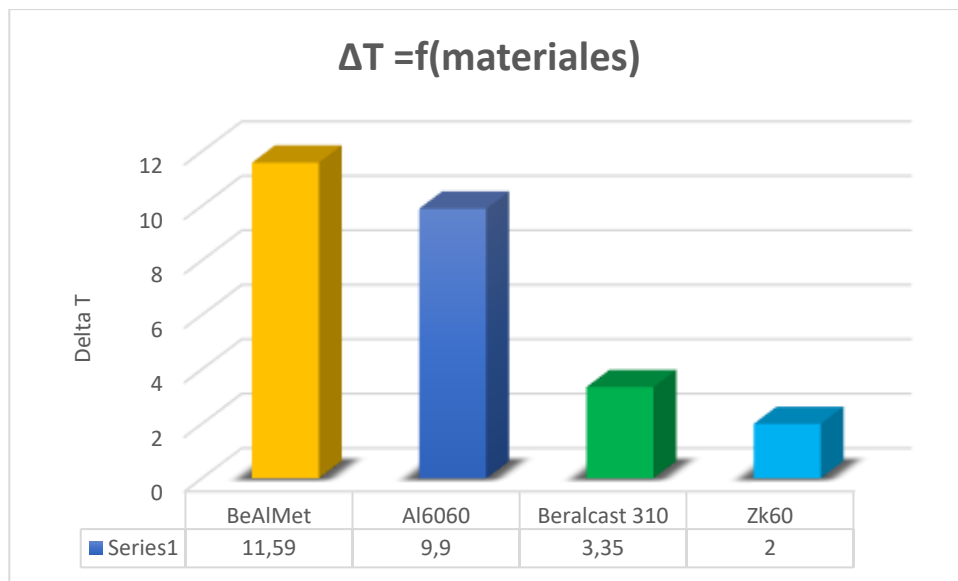


Figura 76. Diferencia de temperatura por cada material

El análisis de la variación de temperatura muestra que usando la aleación de berilio (AlBeMet), se puede ahorrar material ya que para obtener el mismo resultado que el aluminio necesaria menos area de contacto.

Los resultados muestran que la propiedad que influye directamente en la transferencia de calor es conductividad del material y a su vez la geometría del radiador. Esto se demuestra con los estudios térmicos estáticos realizados a los sólidos sin interferencia del fluido, en las cuales se evidencia que la aleación de berilio que tiene una conductividad térmica de 246 W/mK aumenta su temperatura en 4 grados más que el

aluminio con una conductividad térmica de 202 W/mK , y a su vez en el fluido con el berilio hace que el mismo baje en un grado más que al contacto con el aluminio.

Dichos resultados se contrastan con los obtenidos en otros estudios como en el caso del estudio hecho por (Tasdemir, Sengul, & Tasdemir, 2017), en el cual preparan distintas muestras de hormigones en los cuales sus resultados de análisis demuestran que mientras mayor es la conductividad térmica de los materiales en las paredes de los edificios da como resultado mayores pérdidas de calor. Lo propio sucede en la revisión de estudios hecho por (Yu, France, Routbort, & Choi, 2008) en el cual se analiza el efecto de las nanopartículas en los compuestos mostrando que en toda la bibliografía especificada da como resultado una proporcionalidad entre el aumento de la conductividad térmica con el aumento de transferencia térmica.

Los resultados obtenidos tienen un buen contraste con la parte matemática ya que con estos se ha obtenido una eficiencia entre 50% y 80%, valores que se encuentra en el rango de eficiencia en el cual se diseñan los radiadores según (KAYS & LONDON, 1984).

En lo que respecta a la refinación del mallado, para un solo material se implementó las simulaciones con 4 tamaños de malla diferentes (0,5, 1, 1,5 y 2), obteniéndose resultados similares entre estos excluyendo al de tamaño dos el cual por el tamaño del diseño CAD generó error siendo este excluido en el análisis, sin embargo, por el tema del consumo computacional y por tener una mejor adaptación de su tamaño a la forma del CAD se escogió el valor de uno para todos los materiales. Así mismo, sus curvas de convergencia se vieron afectadas por los pasos en los que se usó que para esto se tomó valores de (10, 45, 50, y 100), encontrando así mejores resultados de convergencia con los 100 pasos.

Un punto para destacar de este estudio es que se hizo la elección de los materiales incluyendo las propiedades mecánicas, de impacto y dureza del material, así como su precio, los cuales son factores por considerar para el reemplazo del material usado comúnmente, sin embargo, estas propiedades no se contemplan para el análisis térmico como tal por lo cual no se puede concluir completamente que este sea adecuado para utilizarse en los radiadores.

Conclusiones y recomendaciones

Para la mejor elección de un material, aunque resulta importante contar con conocimiento del método multicriterio ya que permite la elección de variables para profesiones de ingeniería, el programa Ces Edupack es una herramienta muy valiosa que aplica la metodología de Ashby basada en índices de rendimiento lo cual facilita de gran manera la elección de un material y reduce tiempos de trabajo.

Se logro modelar la transferencia de calor a través del programa Hypermesh de Altair, permitiendo mediante la simulación CFD ver como la transferencia de calor del refrigerante dentro del radiador está ligado en gran parte a la conductividad del metal usado, teniendo así una mejor transferencia de calor mientras mayor sea la conductividad, la cual también va ligada de manera intrínseca a la capacidad específica y a la densidad del material.

El análisis CFD es muy sensible a la variación de las condiciones de borde, por lo que es de suma importancia que se defina muy bien los parámetros a analizar ya que si uno no está bien el programa puede dar resultados, pero estos no serán coherentes a la realidad.

Una vez realizado el proceso de simulación usando todas las características del software, nos permite concluir que este programa Hypermesh Desktop de Altair, es una herramienta computacional con grandes cualidades, que permite realizar una gran variedad de análisis tanto estructurales como térmicos y fluidos.

Para transferencia de calor en un material se puede utilizar simplificaciones en el sistema de análisis para evitar consumos de recursos computacionales, sin implicaciones de fallas en su análisis.

Se recomienda realizar un trabajo practico, que permita respaldar los resultados obtenidos en este estudio.

Para finalizar Se recomienda que antes de simular en cualquier software se familiarice con los comandos y con las condiciones de borde que se necesita ingresar para obtener resultados fiables.

Bibliografía

- Abugaber Francis, J. (2003). Desarrollo Y Validacion De Una Metodologia Para Caracterizar Termicamente Radiadores Automotrices., 27–30.
- Agon, F. (renault). (2017). Todo sobre el Radiador. Retrieved from <https://fernandoagon.com/e-marketing/grt/agon/images/MA2018FA05326/Todo-sobre-Radiador.pdf>
- Ali, S., Ozkaymak, M., Sözen, A., Menlik, T., & Fahed, A. (2018). Engineering Science and Technology , an International Journal Improving car radiator performance by using TiO₂ -water nanofluid. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(5), 996–1005.
<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.07.008>
- Ashby, M. (1999). *Materials Selection in Mechanical Design* (tercera ed). Massachusetts.
- Ashby, M. (2005). *Materials selection in mechanical design. Lecture Notes in Mechanical Engineering* (3rd ed.). https://doi.org/10.1007/978-3-319-05203-8_21
- Autodesk.Support. (2015). Cómo realizar un estudio de convergencia de malla. Retrieved from <https://knowledge.autodesk.com/es/support/simulation-mechanical/learn-explore/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/How-to-Perform-a-Mesh-Convergence-Study.html>
- Bin-Abdun, N. A., Razlan, Z. M., Shahrman, A. B., Wan, K., Hazry, D., Faiz Ahmed, S., ... Zunaidi, I. (2015). Base fluid in improving heat transfer for EV car battery. *AIP Conference Proceedings*, 1660, 1–6. <https://doi.org/10.1063/1.4915880>
- Cabrera Coronel, F. A., & Tigre Guncay, E. M. (2016). Diseño y construcción de los

- sistemas de refrigeración de un vehículo formula SAE eléctrico. *Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca*, 1–87.
- Callejón, A. (2016). *Aplicaciones y usos del software CES EduPack aplicados a la selección de Materiales en la Ingeniería Mecánica*. Universidad de Jaén.
- Castañera, S. (2015). *Evaluación del tamaño óptimo de mallado para la modelización mediante elementos finitos en losas de hormigón frente a cargas explosivas*.
- Cengel, Y., & Afshin, G. (2007). *Transferencia de calor y masa*. (McGraw-Hill, Ed.) (Cuarta edi).
- Chang, Y. J., & Wang, C. C. (1997). A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40(3), 533–544. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(96\)00116-0](https://doi.org/10.1016/0017-9310(96)00116-0)
- Cortés Marín, E. A., Álvarez Mejía, F., & González Sánchez, H. A. (2007). *Máquinas autopropulsadas: guía práctica* (primera ed). Medellín.
- Desai, A.D. , Sapali, S.N. , Garikipati, P. V. (2011). Development of efficient R-134a A/C system of a medium size car, 11.
- Du, X., Du, W., Wang, Z., Liu, K., & Li, S. (2021). Simultaneously improved mechanical and thermal properties of Mg-Zn-Zr alloy reinforced by ultra-low content of graphene nanoplatelets. *Applied Surface Science*, 536(August 2020), 147791. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147791>
- Farzadi, R., & Bazargan, M. (2020). Experimental study of a diffusion absorption refrigeration cycle supplied by the exhaust waste heat of a sedan car at low engine speeds. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 56(4), 1353–1363. <https://doi.org/10.1007/s00231-019-02793-w>

- Feil, D. (2015). *Desenvolvimento de Transformador de Distribuição de Elevada Eficiência e Reduzida Relação Peso/Potência Empregando Núcleo Amorfo e Óleo Vegetal Isolante*. Universidade Federal de Santa Maria.
- Ferraris, W., Di Sciullo, F., Malvicino, C., Vestrelli, F., Beltramelli, F., & Gotta, G. (2015). Single Layer Cooling Module for A-B Segment Vehicles. *SAE Technical Papers, 2015-April*(April). <https://doi.org/10.4271/2015-01-1692>
- Garelli, L., Ríos Rodriguez, G., Dorella, J. J., & Storti, M. A. (2019). Heat transfer enhancement in panel type radiators using delta-wing vortex generators. *International Journal of Thermal Sciences, 137*(February 2018), 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2018.10.037>
- González, J. (2004). *ESTUDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN COMPONENTES AUTOMOTRICES DE ALTA TEGNOLOGÍA*. Universidad Autónoma de Nueva León.
- Goudarzi, K., & Jamali, H. (2017). Heat transfer enhancement of Al₂O₃-EG nanofluid in a car radiator with wire coil inserts. *Applied Thermal Engineering, 118*, 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.016>
- Granta/ANSYS. (2019a). CES Edupack.
- Granta/ANSYS. (2019b). CES EduPack.
- Gutierrez, N., & Vinueza Lozada, A. F. (2018). Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de las pastillas de freno ABS con base de acero y zinc discretizando el elemento continuo utilizando software CAE. *Enfoque UTE, 9*(1), 188–203. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n1.259>
- Iaronka, O. (2014). *Desenvolvimento de um Sistema de Refrigeração de Elevada*

Eficiência com o Método de Elementos Finitos para Transformadores de Distribuição. Universidade Federal de Santa Maria.

Izquierdo, A. (2011). *Diseño optimizado mediante algoritmos genéticos del radiador para una motocicleta de competición de encendido provocado de 250cc 4T para Motostudent.* Universidad de Sevilla.

Jimenez, A. (2015). *Diseño y selección de material de un depósito de motocicleta.*

Retrieved from <http://hdl.handle.net/2099.1/25708>

KAYS, W. M., & LONDON, A. L. C. (1984). *Compact Heat Exchangers* (second).

Kim, Joo; Kim, M.; Cho, S. M. (2013). Prediction and evaluation of the cooling performance of radiators used in oil-filled power transformer applications with non-direct and direct-oil-forced flow,” *Experimental Thermal and Fluid Science*, 397.

Kirubagharan, R., Ramesh, C., Pragalathan, P., & Harish, N. (2020). Materials Today : Proceedings Geometrical analysis of automobile radiator using CFD, (xxxx), 3–9.

Klein, S. A., Reindl, D. T., & Brownell, K. (2000). Refrigeration system performance using liquid-suction heat exchangers. *International Journal of Refrigeration*, 23(8), 588–596. [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(00\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(00)00008-6)

Krásný, I., Astrouski, I., & Raudenský, M. (2016). Polymeric hollow fiber heat exchanger as an automotive radiator. *Applied Thermal Engineering*, 108, 798–803. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.07.181>

Lin, C., Saunders, J., & Watkins, S. (2000). The effect of changes in ambient and coolant radiator inlet temperatures and coolant flowrate on specific dissipation. *SAE Technical Papers*, (March 2000). <https://doi.org/10.4271/2000-01-0579>

- Madariaga, A. (2006). *Construcción de radiadores de cobre para proyecto Hotel Entrevientos*. Universidad Andrés Bello.
- Martorell Bardaji, J. (2006). Simulación Fluido-Dinámica en CFD de un Radiador aplicado a la Automoción, 1–80.
- Mathur, G. D., Hara, J., Iwasaki, M., & Meguriya, Y. (2012). Development of an innovative energy efficient compact cooling system "sLIM. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2012-01-1201>
- Morales González Esteban Andrés. (2011). “Diseño, selección e implementación de un interenfriador aire-agua en un banco de pruebas para comprobar la eficiencia térmica con un interenfriador aire- aire.”
- Oliet, C., Oliva, A., Castro, J., & Pérez-Segarra, C. D. (2007). Parametric studies on automotive radiators. *Applied Thermal Engineering*, 27(11–12), 2033–2043. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.12.006>
- Paramane, S. B., Van Der Veken, W., & Sharma, A. (2016). A coupled internal-external flow and conjugate heat transfer simulations and experiments on radiators of a transformer. *Applied Thermal Engineering*, 103, 961–970. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.04.164>
- Patel, H. V., Subhedar, D. G., & Ramani, D. B. (2017). Numerical Investigation of performance for Car Radiator Oval Tube. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 9384–9389. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.190>
- Pathak, K. K., Giri, A., & Das, B. (2020). Thermal performance of heat sinks with variable and constant heights: An extended study. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 146, 118916.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118916>

Piquero, A. (2019). *ESTUDIO TERMO-HIDRÁULICO DEL COMPORTAMIENTO DEL RADIADOR DE UN TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE TÉCNICAS CFD*. Universidad de Cantabria.

Rafael M., M. Y., & Hernández G., A. (2014). Caracterización De Un Motor De Combustión Interna Con Dos Tipos De Combustible. *Imt - Sct*, 417(417), 12.
Retrieved from

<http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>

Riba, C. (2008). *Selección de materiales en el proceso de diseño de maquinas*.

Retrieved from

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>

Rivera, C. (2016). NISSAN Sentra-Problemas. Retrieved from

<https://www.opinautos.com/nissan/sentra/defectos/218996/calentamiento>

Rojas, A., & Estremera, V. (2012). *INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO DISEÑO Y COMPARATIVA DE RADIADORES PARA VEHÍCULOS AUTOMÓVILES*.

Romero, C. A., & Carranza, Y. A. (2007). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD TÉRMICA DE UN RADIADOR DE CALOR. *Dialnet*, (35), 225–230.

Romero Piedrahita, C., & Carranza Sánchez, Y. (2007). Elementos de diseño de sistemas de enfriamiento de motores de combustión interna. *Scientia et Technica*, 2(34), 261–266. <https://doi.org/10.22517/23447214.5605>

Selvam, C., Solaimalai Raja, R., Mohan Lal, D., & Harish, S. (2017). Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based

suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 580–588.

<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.08.071>

Tasdemir, C., Sengul, O., & Tasdemir, M. A. (2017). A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes. *Energy and Buildings*, 151, 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.013>

Torres de Oliveira, A. (2019). *Análise Térmica de Radiadores de Transformadores Eléctricos Utilizando o Método de Elementos Finitos*.

Tripathi, A., & Chandra, H. (2015). Performance investigation of automobile radiator operated with ZnFe₂O₄ nano fluid based coolant. *MATEC Web of Conferences*, 34, 1–7. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20153401003>

Vallejo, C. (2016). *ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE VARIOS TIPOS DE REFRIGERANTES UTILIZADOS EN LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CICLO OTTO, Y SU INCIDENCIA EN LA EFICIENCIA DEL MOTOR DE UN VEHÍCULO LIVIANO*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.

Wan, L., & Pu, Z. (2020). Experimental study on the temperature uniformity of radiator based on micro heat pipe array in plateau area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 450(1), 5–12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/450/1/012033>

Yavuz, H. (2019). Materials Selection for Aircraft Skin Panels by Integrating Multiple Constraints Design with Computational Evaluations. *Procedia Structural Integrity*, 21, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.092>

Yu, W., France, D. M., Routbort, J. L., & Choi, S. U. S. (2008). Review and

Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements.

Heat Transfer Engineering, 29(5), 432–460.

<https://doi.org/10.1080/01457630701850851>

Anexos

Anexo 1. Plano del radiador

