



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“MODELACIÓN DE TUBOS DE CALOR TIPO SIFÓN MEDIANTE EL USO
DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA DISIPAR CALOR EN EL
PROCESADOR DE UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO”

AUTOR: Leonel Stalin Salazar Esquivel

TUTOR: Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“MODELACIÓN DE TUBOS DE CALOR TIPO SIFÓN MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA DISIPAR CALOR EN EL PROCESADOR DE UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO”**, elaborado por el Sr. **Leonel Stalin Salazar Esquivel**, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 0503361594, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Leonel Stalin Salazar Esquivel**, con C.I. 0503361594 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“MODELACIÓN DE TUBOS DE CALOR TIPO SIFÓN MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA DISIPAR CALOR EN EL PROCESADOR DE UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Leonel Stalin Salazar Esquivel

C.I. 0503361594

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura de consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2021



Leonel Stalin Salazar Esquivel

C.I. 0503361594

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante **Leonel Stalin Salazar Esquivel**, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“MODELACIÓN DE TUBOS DE CALOR TIPO SIFÓN MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA DISIPAR CALOR EN EL PROCESADOR DE UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO”**.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo
Miembro Calificador

Ing. Mg. Santiago Paul Cabrera Anda
Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mi familia por el apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mi madre que en paz descansa que me ha dado la fuerza y valor para seguir adelante en mis estudios. Por eso madre mía te dedico mi trabajo en ofrenda por todo el amor y la paciencia que me brindaste.

A mis profesores y amigos quienes han sido base fundamental en mi formación académica en la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica que ha sido mi segundo hogar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Carrera De Ingeniería Mecánica por abrirme las puertas para formarme profesionalmente.

A mis profesores, quienes han sido un pilar fundamental en mi formación, compartiendo arduamente sus conocimientos y experiencia.

A mis padres quienes me dieron la vida y apoyo en todo momento desde los inicios de mi formación.

A mi hermano, hermanas, cuñados y sobrinos que siempre me han apoyado moral y económicamente.

A todos mis amigos y compañeros con quienes he compartido momentos alegres y difíciles en el transcurso de nuestra formación.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx

B. CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
ANTECEDENTES	1
1.1 Tema de investigación	1
1.2 Antecedentes	1
1.3 Justificación	2
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos	3
1.5 Investigaciones Previas	4
1.5.1 Principios básicos de los tubos de calor e historia	4

1.5.2 Tubos de calor y propiedades.....	6
1.6 Fundamentación teórica	8
1.6.1 Tipos de tubos de calor	8
1.6.1.1 Sifón termal cerrado en dos fases.....	8
1.6.1.2 Sifón termal bifásico de circuito cerrado	10
1.6.1.3 Tubo de calor estándar	11
1.6.1.4 Tubo de calor de bucle LHP	11
1.6.1.5 Tubo de calor giratorio.....	12
1.6.2 Características de los tubos de calor	14
1.6.3 Formas y dimensionamientos de los tubos de calor.....	15
1.6.4 Espesor y ancho del tubo de calor plano.....	16
1.6.5 Acabados de los tubos de calor	16
1.6.6 Estructuras de las mechas.....	17
1.6.7 Disipador de calor con aletas	19
1.6.8 Disipadores con tubos de calor	20
1.6.9 Fluidos de trabajo.....	22
1.6.10 Procesadores.....	22
1.6.11 CPU Intel.....	23
1.6.12 CPU AMD Ryzen	23
1.6.13 GPU NVIDIA	24
1.6.14 Temperatura en procesadores y tarjetas graficas	25
1.6.15 Pasta térmica	27
1.6.15.1 Tipos de pastas térmicas.....	27
1.6.16. Límites de operación	28
1.6.16.1 Límite viscoso	28
1.6.16.2 Límite sónico.....	28
1.6.16.3 Límite capilar	29

1.6.16.4 Límite de arrastre	30
1.6.16.5 Límite de ebullición	30
CAPÍTULO II	32
METODOLOGÍA	32
2.1 Métodos particulares de investigación	32
2.1.1 Método Histórico	32
2.1.2 Método descriptivo.....	32
2.1.3 Método Experimental.....	32
2.2 Hipótesis.....	33
2.3 Variables	33
2.3.1 Variable independiente	33
2.3.2 Variable dependiente.....	33
2.3.3 Término de relación	33
2.4 Procedimiento del trabajo de investigación	34
2.5 Selección de alternativas	35
2.5.1 Selección de alternativa en el material para el tubo de calor	35
2.5.2 Selección de alternativas para el fluido de trabajo.....	45
2.6 Simulación del disipador con tubos de calor tipo sifón	52
2.6.1 Análisis por conducción y convección en estado transitorio	52
2.6.1.1 Condiciones para el fluido de trabajo.....	52
2.6.1.2 Condiciones de transferencia de calor.....	57
2.6.1.3 Condiciones del aire de ventilación	60
2.6.1.4 Resultados del análisis por conducción y convección en estado transitorio ..	63
2.7 Simulación del disipador de calor con aletas	68
2.7.1 Análisis externo por conducción en estado estable en el disipador de calor con aletas.....	68

2.7.2 Análisis externo por conducción en estado transitorio en el disipador de calor con aletas.....	72
2.7.3 Análisis por conducción y convección en estado transitorio en el disipador de calor con aletas.....	74
2.7.4 Análisis por conducción y convección con el ventilador en el disipador de calor con aletas.....	77
CAPÍTULO III.....	81
CÁLCULOS Y RESULTADOS	81
3.1 Volumen del fluido de trabajo.....	81
3.2 Porosidad de la mecha.....	82
3.3 Permeabilidad de la mecha.....	83
3.4 Radio capilar	83
3.5 Longitud efectiva	84
3.6 Constante de vapor.....	84
3.7 Diámetro hidráulico	85
3.8 Radio hidráulico	85
3.9 Conductividad térmica efectiva.....	86
3.10 Límites de operación	87
3.10.1 Límite capilar	87
3.10.2 Límite sónico.....	88
3.10.3 Límite de arrastre	89
3.10.4 Límite de ebullición	90
3.10.5 Límite viscoso	90
3.11 Temperaturas en el disipador de aletas	91
3.12 Pruebas con materiales y fluidos en tubos de calor.....	92
3.13 Verificación de hipótesis.....	97
CAPÍTULO IV	98

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
4.1 Conclusiones	98
4.2 Recomendaciones.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procesos de los tubos de calor.....	6
Tabla 2. Métodos de Retorno de Condensado	8
Tabla 3. Compatibilidad de medios térmicos y materiales constructivos.....	9
Tabla 4. Características de los tubos de Calor	14
Tabla 5. Aplicaciones de los tubos de calor.....	14
Tabla 6. Formas de los Tubos de Calor	15
Tabla 7. Diámetros de los Tubos de Calor.....	16
Tabla 8. Espesores y anchos para tubos de calor plano	16
Tabla 9. Acabados para los tubos de calor.....	16
Tabla 10. Estructura de las mechas	17
Tabla 11. Características del disipador con aletas	20
Tabla 12. Características del disipador de calor de tubos	21
Tabla 13. Sobrecalentamiento para el inicio de la ebullición a presión atmosférica .	22
Tabla 14. Características del cobre	35
Tabla 15. Propiedades del cobre	35
Tabla 16. Características del aluminio.....	36
Tabla 17. Propiedades del aluminio.....	36
Tabla 18. Características de la plata.....	37
Tabla 19. Propiedades de la plata.....	37
Tabla 20. Características del acero inoxidable AISI 304.....	38
Tabla 21. Propiedades del acero inoxidable AISI 304.....	38
Tabla 22. Criterios relativos de los factores.....	41
Tabla 23. Peso relativo de la conductividad Térmica	41
Tabla 24. Peso relativo del costo.....	42
Tabla 25. Peso relativo del peso.....	42
Tabla 26. Peso relativo del punto de fusión	43

Tabla 27. Peso relativo de la soldadura.....	43
Tabla 28. Peso relativo de la resistencia mecánica	44
Tabla 29. Selección de alternativas para el material	44
Tabla 30. Propiedades y características del agua destilada.....	45
Tabla 31. Propiedades y características del amoniaco	45
Tabla 32. Propiedades y características del sodio	46
Tabla 33. Propiedades y características del mercurio	47
Tabla 34. Propiedades y características del metanol.....	47
Tabla 35. Criterios de los factores del fluido de trabajo	49
Tabla 36. Criterios del precio del fluido	49
Tabla 37. Criterios de la toxicidad del fluido de trabajo.....	49
Tabla 38. Criterios de evaporación de los fluidos.....	50
Tabla 39. Criterios de corrosión de los fluidos	50
Tabla 40. Criterio del peso de los fluidos	50
Tabla 41. Criterios de la conductividad térmica de los fluidos.....	51
Tabla 42. Criterios de selección del fluido de trabajo.....	51
Tabla 43. Valores en los Puntos de temperatura	67
Tabla 44. Dimensiones de la mecha.....	81
Tabla 45. Conductividad térmica efectiva	86
Tabla 46. Tensión superficial.....	87
Tabla 47. Relación de calor específico del vapor	88
Tabla 48. Temperaturas en los puntos de disipador.....	92
Tabla 49. Prueba 1 con material de cobre	93
Tabla 50. Prueba 2 con material de aluminio.....	94
Tabla 51. Prueba 3 con material de Plata.....	95
Tabla 52. Prueba 4 con material de Acero	96
Tabla 53. Cuadro comparativo de temperaturas	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disipador de temperatura VF.....	2
Figura 2. Disipador de temperatura VL	3
Figura 3. Partes del tubo de calor	5
Figura 4. Secciones del tubo de calor.....	6
Figura 5. Termosifón y tubo de calor.....	7
Figura 6. Termosifón cerrado en dos fases	10
Figura 7. Sifón termal bifásico de circuito cerrado.....	10
Figura 8. Tubo de calor estándar.....	11
Figura 9. Tubo de calor de bucle LHP	12
Figura 10. Tubo de calor rotacional en forma de disco.....	12
Figura 11. Tubo de calor giratorio	13
Figura 12. Diseño de mecha compuesta y homogénea	18
Figura 13. Aletas del disipador	19
Figura 14. INTEL A70178-001.....	20
Figura 15. COOLER MASTER	21
Figura 16. Partes de un procesador Intel.....	23
Figura 17. CPU AMD Ryzen	24
Figura 18. GPU NVIDIA	24
Figura 19. Temperatura inicial.....	25
Figura 20. Temperaturas Estables	25
Figura 21. Temperaturas elevadas.....	26
Figura 22. Pasta térmica.....	27
Figura 23. Disipador con tubos de calor tipo sifón	52
Figura 24. Chequeo del volumen del fluido.....	53
Figura 25. Selección de Unidades.....	53
Figura 26. Tipo de análisis.....	54

Figura 27. Fluidos que intervienen.....	54
Figura 28. Parámetros del dominio computacional.....	55
Figura 29. Medidas del dominio computacional.....	55
Figura 30. Condiciones para el fluido de trabajo	56
Figura 31. Condiciones de cálculo para el fluido.....	56
Figura 32. Condiciones de transferencia de calor	57
Figura 33. Fluido de trabajo	57
Figura 34. Selección de materiales.....	58
Figura 35. Fuente de calor en la base	58
Figura 36. Temperaturas en las aletas	59
Figura 37. Tiempo de Simulación	59
Figura 38. Solving fotos del fenómeno	60
Figura 39. Fluido de ventilación	60
Figura 40. Ingreso del Aire	61
Figura 41. Salida del aire	61
Figura 42. Condiciones para los resultados de ventilación	62
Figura 43. Correr el programa.....	62
Figura 44. Visualización de resultados	63
Figura 45. Proceso de evaporación y condensado	63
Figura 46. Trayectoria del vapor y condensado	64
Figura 47. Temperaturas en el dissipador de tubos de calor.....	65
Figura 48. Temperaturas en el exterior del dissipador de tubos de calor	66
Figura 49. Trayectoria del aire	66
Figura 50. Puntos de temperatura	67
Figura 51. Volumen externo	68
Figura 52. Unidades	68
Figura 53. Tipo de análisis	69

Figura 54. Material por defecto.....	69
Figura 55. Temperatura inicial.....	70
Figura 56. Materiales del disipador con aletas.....	70
Figura 57. Análisis del programa.....	71
Figura 58. Vista plana.....	71
Figura 59. Resultados por conducción estable.....	72
Figura 60. Estudio transitorio.....	72
Figura 61. Tiempos para el estado transitorio.....	73
Figura 62. Resultados de análisis por convección en estado transitorio.....	73
Figura 63. Análisis externo.....	74
Figura 64. Flujo de aire en el exterior.....	74
Figura 65. Aire en el exterior del disipador.....	75
Figura 66. Nuevo estudio por conducción y convección.....	75
Figura 67. Vista y transparencia.....	76
Figura 68. Resultados análisis por conducción y convección.....	76
Figura 69. Ensamble con el ventilador.....	77
Figura 70. Nuevo dominio computacional.....	77
Figura 71. Análisis por conducción y convección con el ventilador.....	78
Figura 72. Condiciones para el ventilador.....	78
Figura 73. Revoluciones del ventilador.....	79
Figura 74. Dirección del aire.....	79
Figura 75. Resultados obtenidos en una hora.....	80
Figura 76. Medidas del disipador.....	81
Figura 77. Límites de operación.....	87
Figura 78. Puntos de temperatura.....	91
Figura 79. Puntos de temperatura.....	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Mallas Metálicas.....	103
Anexo B. Propiedades del agua	104
Anexo C. Calor latente de vaporización	105
Anexo D. Propiedades del agua saturada.....	106
Anexo E. Temperaturas del vapor.....	107
Anexo F. Propiedades del aire	108
Anexo G. Eficiencia en aletas rectangulares.....	109

RESUMEN

Sus primeros estudios de los tubos de calor se iniciaron por el año de 1944, sus primeras aplicaciones fueron en los satélites con el objetivo de mantener una temperatura uniforme y distribuida en toda la estructura, posteriormente se enfocaron más en la rama de la electrónica.

Las investigaciones se las realizaron en tubos de calor que son elementos de gran conductividad térmica, su estructura es completamente cerrada, constan; de un evaporador, una sección adiabática y una sección de condensador se utilizaron; varios fluidos de trabajo, agua destilada que tiene un rango de 30 a 200 grados centígrados, el amoniaco -60 a 100 grados centígrados, el sodio 600 a 1200 grados centígrados, mercurio 250 a 650 grados centígrados, metanol 10 a 104 grados centígrados.

Se utilizaron tubos de calor redondos de cobre, aluminio y acero inoxidable que están diseñados entre los 0,6 x 0,6 mm en su sección transversal y su longitud puede variar entre 25 y 100 mm de acuerdo a su uso, en su interior están formados sin mecha o con una mecha de malla fina envolvente, metal en polvo sinterizado, ranura axial y entre otros.

El funcionamiento se aplicó al evaporador que conduce a través de la mecha y el tubo que vaporiza el fluido de trabajo, la presión del vapor es impulsada hacia el condensador donde el vapor se condensa, la presión capilar creada en la mecha bombea el líquido condensado hacia atrás este proceso es continuo mientras exista la presión capilar.

Palabras Clave: Fluido de trabajo, Tubos de calor, Presión capilar, Disipador de calor, Presión de vapor

ABSTRACT

His first studies of heat pipes began in 1944, his first applications were in satellites with the aim of maintaining a uniform and distributed temperature throughout the structure, then he focused more on the branch of electronics.

The investigations were carried out in heat pipes that are elements of great thermal conductivity, their structure is completely closed, they state; of an evaporator, an adiabatic section and a condenser section were used; various working fluids, distilled water having a range of 30 to 200 degrees centigrade, ammonia -60 to 100 degrees centigrade, sodium 600 to 1200 degrees centigrade, mercury 250 to 650 degrees centigrade, methanol 10 to 104 degrees centigrade.

Round copper, aluminum and stainless-steel heat pipes were used that are designed between 0.6 x 0.6 mm in their cross section and their length can vary between 25 and 100 mm according to their use, inside they are formed without a wick or with an enveloping fine mesh wick, sintered powder metal, axial groove and among others.

The operation was applied to the evaporator that leads through the wick and the tube that vaporizes the working fluid, the pressure of the vapor is driven towards the condenser where the vapor is condensed, the capillary pressure created in the wick pumps the condensed liquid towards behind this process is continuous as long as there is capillary pressure.

Key Words: Working fluid, Heat pipes, Capillary pressure, Heat sink, Vapor pressure

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Tema de investigación

“MODELACIÓN DE TUBOS DE CALOR TIPO SIFÓN MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE COMPUTACIONAL PARA DISIPAR CALOR EN EL PROCESADOR DE UNA COMPUTADORA DE ESCRITORIO”

1.2 Antecedentes

En todas las áreas de las nuevas tecnologías la transferencia de calor es un tema que genera mucho interés actualmente, considerado como el único sistema para transferir calor de manera más eficiente, los tubos de calor no necesitan una fuente de energía externa para su funcionamiento además su diseño y fabricación es muy simple, sin embargo, su ventaja principal es poder controlar grandes temperaturas de calor a diferentes niveles.

Los tubos de calor se dieron por el origen del estudio de los tubos Perkins por el siglo XIX hasta el siglo XX, los tubos Perkins son tubos de calor sin mecha más conocidos como tubos de calor tipo sifón o termosifones de igual manera son asistidos por el campo gravitacional y cumplen las mismas funciones realizando el cambio de fase de líquido a vapor con un fluido de trabajo.

Jacob Perkins en 1836 patentó el diseño de los tubos de calor, que consistía en un tubo de calor cerrado con un ciclo de dos fases y poseía como fluido conductor el agua, Gaugler de la General Motors Corporation U.S.A. en 1944 introdujo los primeros conceptos de Heat pipe incorporando una mecha de acero sinterizado.

Se realizaron varios ensayos con diferentes tipos de fluidos de trabajo reemplazando el agua por sodio lo cual llegaba a controlar temperaturas de 1200° C, después de varias investigaciones se construyeron tubos contenedores de acero inoxidable, níquel, cobre, molibdeno y de fluidos de trabajo como el agua, bismuto litio y cesio logrando buenos resultados llegando a una temperatura máxima de operación de 1923 ° K.

1.3 Justificación

La presente investigación se basa principalmente en los tubos de calor tipo sifón, utilizados para disipar calor en los procesadores de los ordenadores, sin embargo, los procesadores sufren cambios de altas temperaturas lo cual disminuye el rendimiento y velocidad de funcionamiento, En la actualidad con el avance de la tecnología se han presentado nuevas oportunidades como también defectos de la misma, la importancia de mejorar la eficiencia de los procesadores favorece que el ordenador trabaje con fluidez lo que es necesario cuando se utiliza softwares de ingeniería empleados para diseño, simulaciones, análisis y renderizados, para lo siguiente se ha propuesto la modelación de tubos de calor por donde va a fluir la temperatura mediante la transferencia de calor por conducción, el tipo sifón se debe a que es apto por su modelo y acoplamiento para computadoras de escritorio, el material de cobre por sus mejores propiedades de conductividad, maleabilidad, ductilidad y accesible a bajos costos económicos.

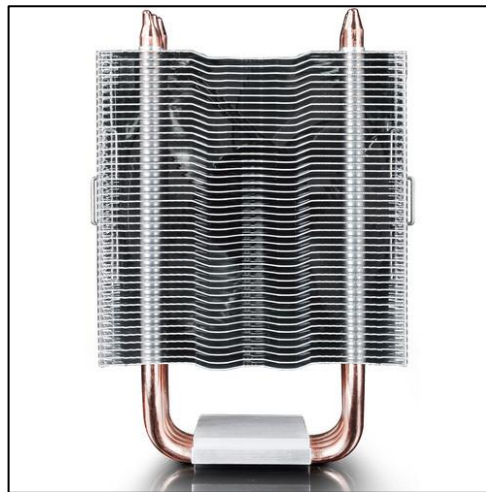


Figura 1. Disipador de temperatura VF

Fuente: [1]

El beneficio de la presente investigación es aportar con la sociedad con conocimientos y estadísticas que beneficiarán de manera significativa al desarrollo tecnológico en la comunidad, con el transcurso del tiempo se fabricarán procesadores de gamas más altas y será necesario el uso de disipadores de temperatura más avanzados.



Figura 2. Disipador de temperatura VL

Fuente: [1]

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Modelar tubos de calor tipo sifón para disipar calor en el procesador de una computadora de escritorio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los materiales adecuados en la modelación de tubos de calor.
- Diseñar el disipador de temperatura en los tubos de calor tipo sifón.
- Comparar los disipadores de calor con aletas en comparación a los disipadores de tubos de calor tipo sifón.

1.5 Investigaciones Previas

1.5.1 Principios básicos de los tubos de calor e historia

Los tubos de calor son importantes en la ingeniería térmica y transferencia de calor por su capacidad de transferir energía térmica sin ocasionar demasiadas pérdidas sus principales aplicaciones están basadas en la protección del medio ambiente, ahorro de energía y combustibles alternativos. Son una solución térmica efectiva y establecida con el propósito de disipar energía térmica en aplicaciones de alto flujo de calor además en lugares donde existe carga de calor no uniforme [2].

Gaugler por el año de 1944 dio su idea de tubos de calor, seguidamente en 1962 fue planteada la idea de creación por Trefethen, Gaugler fue quien patentó el primer diseño de tubos de calor, fue un modelo muy liviano y especialmente muy básico, por lo tanto, en ese tiempo no fue un tema de gran relevancia debido a que la tecnología no era muy avanzada. George Grove en 1964 reinventó el concepto y aplicación de tubos de calor para el programa espacial en el Laboratorio Nacional de los Álamos [2].

Consta con un flujo de dos fases y diferentes procesos el primer proceso es de líquido a vapor el segundo proceso es viceversa al anterior, donde el flujo circula entre el evaporador y el condensador a una alta conductividad térmica, en la parte del evaporador absorbe el calor y se transporta al condensador donde se libera el calor por un medio de enfriamiento. Con el avance de la tecnología se ha encontrado varias aplicaciones para mejorar el rendimiento térmico a base de los tubos de calor como son en sistemas de ventilación, calefacción, aire acondicionado, centros quirúrgicos, quirófanos, regulación de temperatura para el cuerpo humano, salas blancas, hoteles, naves espaciales, satélites, reactores nucleares entre otras aplicaciones [2].

Esta tecnología de tubos de calor es una estructura autónoma que tiene una conducción de calor muy elevada y posee un fluido bifásico con circulación capilar donde la tubería opera como un dispositivo de evaporización y condensación, el calor que es agregado al evaporador es transportado por medio de la conducción térmica al condensador, por lo tanto esta es una de las mejores ventajas para los disipadores de tubos de calor en comparación a los disipadores de calor con aletas, los fluidos de trabajo de metal líquido como el mercurio (Hg) tienen una conductancia térmica de mil a docenas de miles de pliegues más que los conductores metálicos de plata (Ag)

o Cobre (Cu), la energía transportada por el cambio de fase del fluido es mucho mejor que por conducción o convección, los tubos de calor trabajan con varios rangos de temperatura dependiendo de su fluido de trabajo apropiado, sin embargo también tiene algunas limitaciones el límite sónico, capilar, de arrastre y el límite de ebullición bajo esta limitaciones el fluido puede secarse y ocasionar fallas además cuando se utiliza metal líquido como fluido de trabajo hay ciertas complicaciones de arranque la densidad del vapor es muy baja [2].

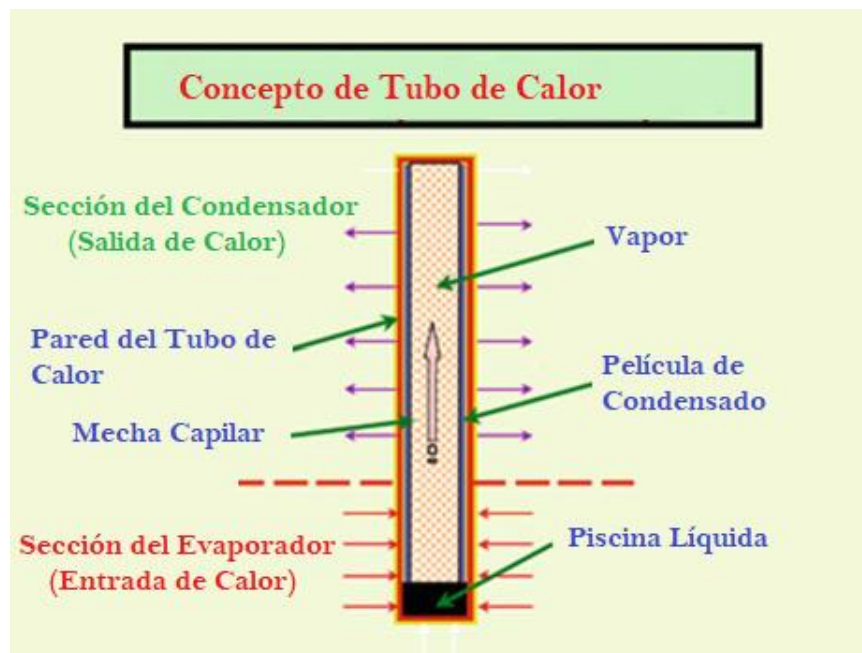


Figura 3. Partes del tubo de calor

Fuente: [2]

Son capaces de transportar calor en cualquier dirección y pueden funcionar de manera horizontal o vertical, la función de isothermalización puede producirse de dos maneras; tubos de calor de conductancia variable y tubos de calor de diodo, los tradicionales son los huecos con líquido vaporizable [3].

Tabla 1. Procesos de los tubos de calor

Procesos de los tubos de calor
a) Absorbe calor en la sección de evaporador.
b) El flujo hierve hasta el estado de vapor.
c) El calor es liberado desde la parte superior al medio ambiente.
d) El líquido por efecto de la gravedad regresa a la sección del evaporador.

Fuente: [3].

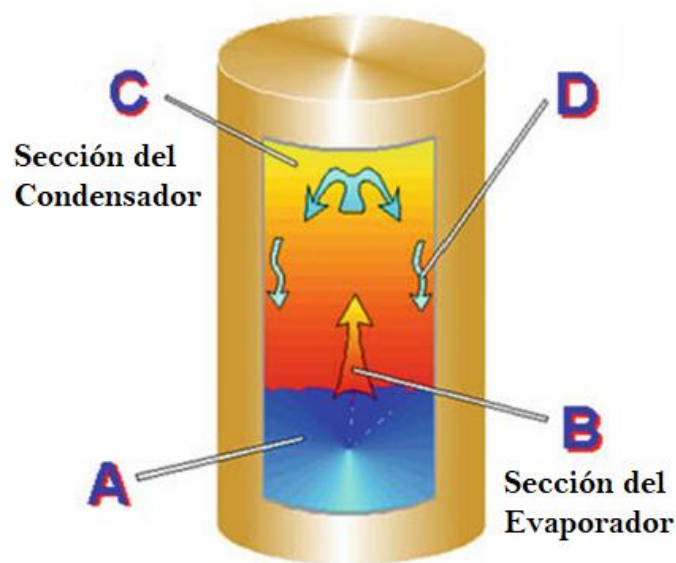


Figura 4. Secciones del tubo de calor

Fuente: [3]

1.5.2 Tubos de calor y propiedades

Utilizan como fuente de trabajo agua y operan a 150°C la conductividad térmica es mucho mayor que la del tubo de cobre, los fluidos de trabajo de litio llegan hasta una temperatura de 1500°C , es posible construir tubos de calor para temperaturas de 4°K hasta 2300°K , los tubos más utilizados son los circulares, pero se puede adoptar otras geometrías que estén acorde a las necesidades y aplicaciones que se requieran [4].

Los termosifones en comparación a los tubos de calor su única diferencia es la mecha, el tubo de calor contiene la mecha fija en su interior del tubo de espesor muy fino cuya función es devolver el condensado al evaporador, en los tubos de calor no está restringida la posición del evaporador por lo tanto se puede usar en cualquier

orientación, la mecha que posee tiene una función muy importante la cual es devolver el condensado al evaporador [4].

Los termosifones contienen una pequeña cantidad de agua dentro el tubo que luego se evacua al aire y son sellados completamente, la parte del evaporador se calienta a medida que se dirige a la parte fría y en la parte del condensador por efectos de cambio de fase se condensada, el condensado por efectos de gravedad regresa a la parte del evaporador, dado que el calor latente de evaporación es muy grande sin embargo dicho esto se puede transportar grandes cantidades de calor con una diferencia de temperatura muy baja de un extremo al otro [4].

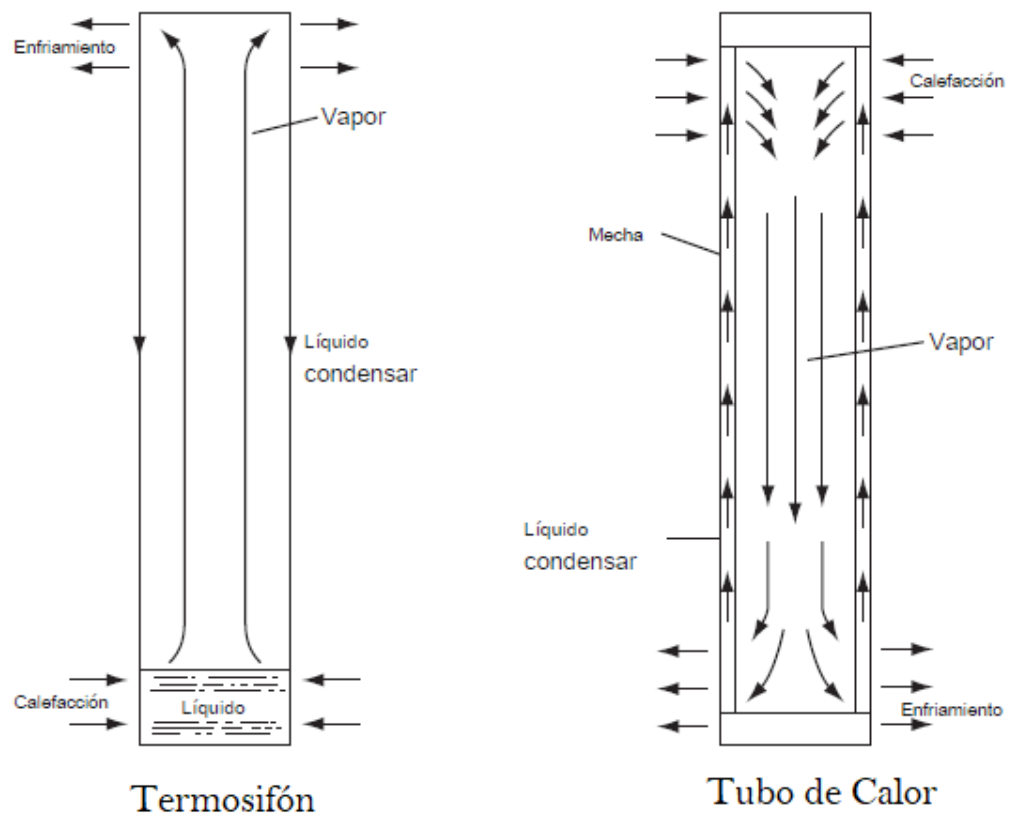


Figura 5. Termosifón y tubo de calor

Fuente: [4]

El término "tubo de calor" también se usa para describir dispositivos de alta conductancia térmica en los que el retorno del condensado se logra por otros medios, por ejemplo, fuerza centrípeta, ósmosis o electrohidrodinámica, sin embargo, existen varios métodos de retorno del condensado aplicando técnicas como la de Roberts, Reay, Jeyadeven y Mayank que se pueden apreciar en la tabla 2 [4].

Tabla 2. Métodos de Retorno de Condensado

Métodos de Retorno de Condensado	
Gravedad	Sifón Termal
Fuerza Capilar	Tubo de Calor Estándar Tubo de Calor de Bucle LHP
Fuerza Centrípeta	Tubo de Calor Giratorio
Fuerzas Electrocinéticas	Tubo de Calor Electrohidrodinámico Tubo de Calor Electro-osmótico
Fuerzas Magnéticas	Tubo de Calor Magnetohidrodinámico Tubo de Calor de Flujo Magnético
Fuerzas Osmóticas	Tubo de Calor Osmótico
Bomba de Burbujas	Sifón Térmico Inverso

Fuente: [4]

1.6 Fundamentación teórica

1.6.1 Tipos de tubos de calor

1.6.1.1 Sifón termal cerrado en dos fases

El sifón termal o tubo de calor tipo sifón es un tubo de calor similar al estándar cerrado en sus dos fases con la única diferencia de que su contenido interno no se encuentra proporcionado de una mecha para el retorno del condensado para lo cual en el termosifón el retorno del condensado se basa en función de la gravedad, de acuerdo a una determinada cantidad de flujo de trabajo la tasa de transferencia de calor se incrementa [5].

Tabla 3. Compatibilidad de medios térmicos y materiales constructivos

Calor medio	Aluminio	Wolfram	Hierro	Cobre	Molibdeno	Níquel	Niobium	Inoxidable			
								Acero	Carbón	Tantalio	Titán
Nitrógeno	C	-	C	C	-	C	-	C	-	-	-
Amoniaco	C	-	C	H	-	C	C	C	H	-	C
Acetona	C	C	-	C	C	C	C	C	C	C	-
Agua	R	C	-	C	C	C	C	C _{un}	H	C	C
Dowtherm UN	-	C	-	C	C	C	C	C	C	C	-
Potasio	H	C	-	C hasta 600 K	C	C	C	C	H	C hasta 900 K	H
Litio	-	-	-	-	C	C	C	C	H	-	-
Metano	C	C	-	C	-	-	-	C	-	-	-
Metanol	H	-	C	C	-	C	C	C	H	-	C
Sodio	H	C	-	C hasta 600 K	C	C	C	C	H	C hasta 900 K	H
Naftalina	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	C
H-Octano	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-
Toluol	-	-	-	-	-	-	-	C	-	-	-
Freones	R _{segundo}	C	-	C	C	C	C	C	C	C	-
Etanol	R	-	-	-	-	C	-	C	-	-	-

Nota: “C” compatible, “H” incompatible, “R” compatible restringido, “un” posible corrosión, “segundo” posible corrosión

Fuente: [6]

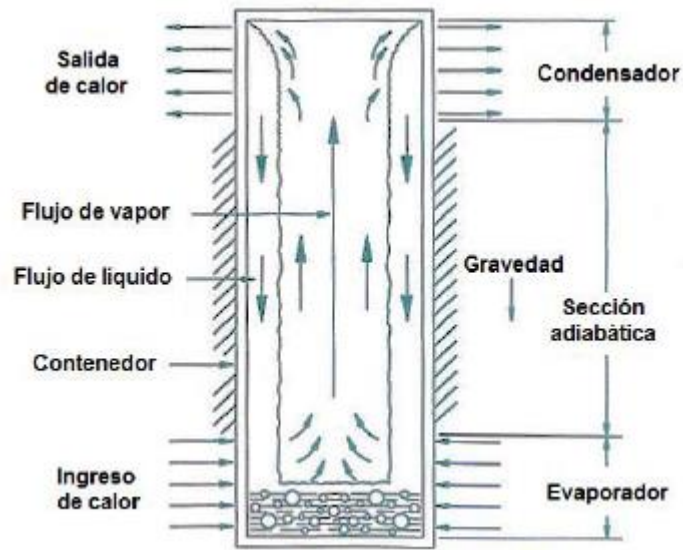


Figura 6. Termosifón cerrado en dos fases

Fuente: [5]

1.6.1.2 Sifón termal bifásico de circuito cerrado

El tubo de calor tipo termosifón cerrado en dos fases, tiene su diseño orientado verticalmente se dobla en un solo bucle, se calienta en un lado y en el otro extremo se enfría, el vapor formado por el proceso de ebullición a causa del condensador en la parte inferior va hacia arriba de la tubería en bucle donde se enfría y ocurre el condensado que fluye hacia abajo, sin embargo, este proceso se repite constantemente [7].

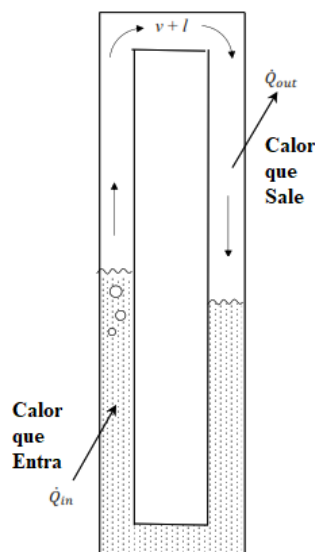


Figura 7. Sifón termal bifásico de circuito cerrado

Fuente: [7]

1.6.1.3 Tubo de calor estándar

Son los más comunes utilizados en diversos campos tecnológicos están formados por un contenedor metálico, en su parte interior se encuentra sujeta una mecha que se encarga que fluya el condensado por medio del flujo capilar además su fluido de trabajo debe contener una cantidad suficiente para saturar la mecha, el principio de funcionamiento consiste en calentar el evaporador para lo cual el fluido de trabajo se evapora dirigiéndose al condensador ocurriendo el condensado, en este lugar se direcciona al evaporador por medio de la mecha debido a la alta presión, la ventaja principal de este tubo de calor es que puede transportar calor a grandes distancias [5].

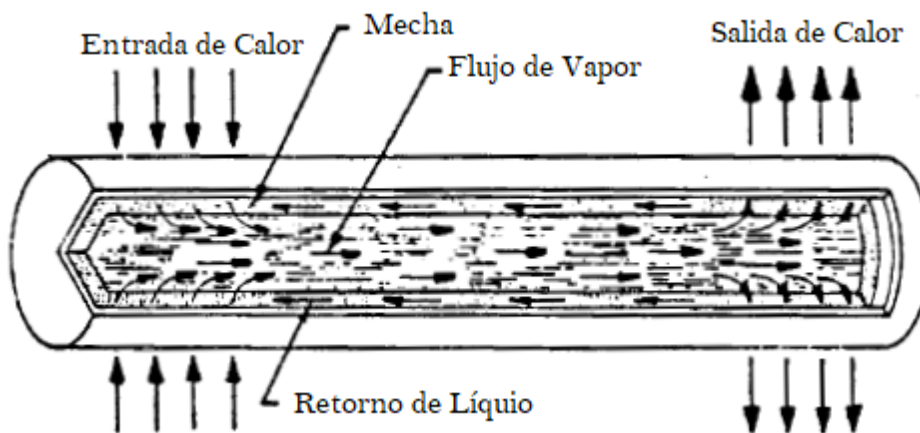


Figura 8. Tubo de calor estándar

Fuente: [8]

1.6.1.4 Tubo de calor de bucle LHP

Este tipo de tubo de calor está formado por un evaporador y un condensador similar a los tubos de calor estándar o convencionales, la única diferencia es que tienen los líquidos y las líneas de vapor separadas su diseño se asemeja a un intercambiador de calor monofásico, una de las características que sobresalen en el LHP es su cámara de compensación que tiene como ventaja ayudar a establecer la presión y temperatura, además puede alcanzar potencias de bombeo muy altas facilitando el transporte de calor a varios metros de distancia superando a varios sistemas de bombeo que requieren fuentes de energía para su funcionamiento [4].

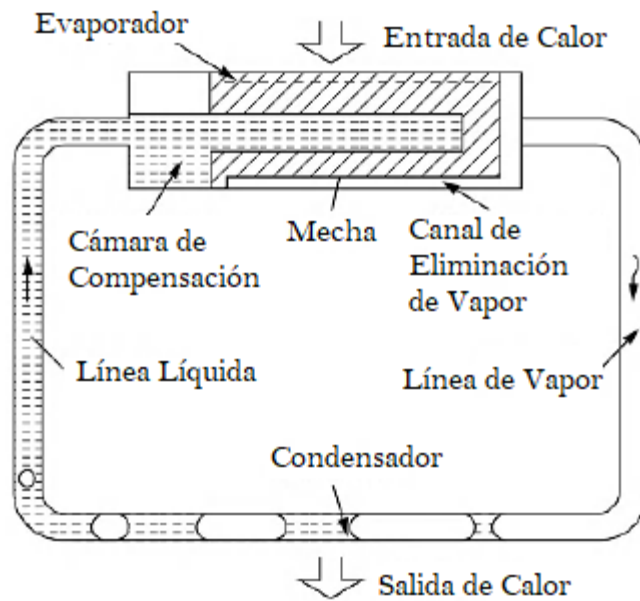


Figura 9. Tubo de calor de bucle LHP

Fuente: [4]

1.6.1.5 Tubo de calor giratorio

Los giratorios pueden estar diseñado de dos formas, pueden ser de forma cilíndrica circular y con estrechamiento axial o sin estrechamiento axial, el cual, rota alrededor de su propio eje, además puede ser manufacturado en forma de un disco [5].

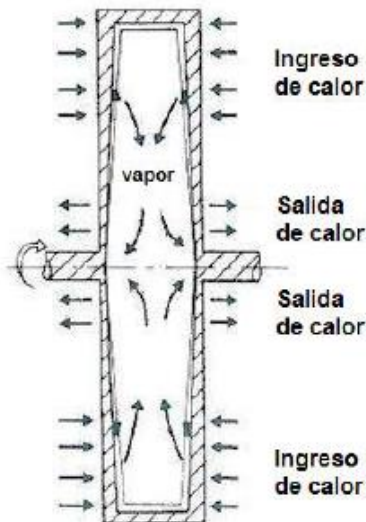


Figura 10. Tubo de calor rotacional en forma de disco

Fuente: [5]

Su principio de funcionamiento se basa en la aceleración centrípeta para transferir el fluido desde el condensador al evaporador sus aplicaciones más comunes son el los rotores de los motores, rotores de álabes de turbinas con su propósito de enfriar [4].

Aquellos rotacionales o giratorios cumplen el mismo principio que los tubos convencionales, simplemente su estrechamiento interno sirve para que regrese el condensado al evaporador por efecto de la centrifuga, en los tubos de calor tipo disco el calor es ingresado en los extremos del disco y se extrae en el radio interno del disco lo cual el condensado es realimentado al evaporador por efecto centrífugo, son un tipo de tubos de calor tipo termosifón que no son implementados de una mecha [5].

En la región del radio interior se mantiene un alto coeficiente de condensación debido a la alimentación del fluido refrigerado, los límites de capacidad calorífica son los límites sónicos, de ebullición, de arrastre y de condensación, los límites sónicos y los gases no condensables son los mismos de los tubos de calor convencionales [4].

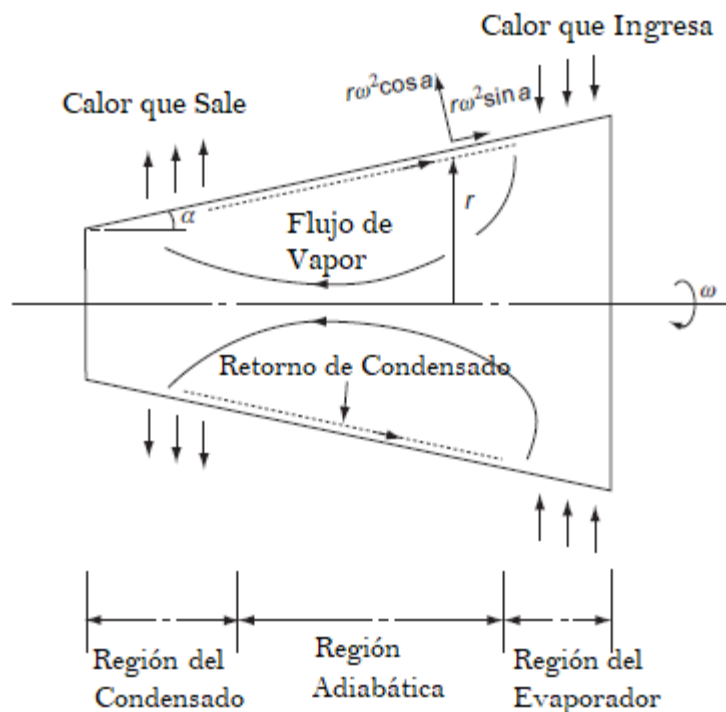


Figura 11. Tubo de calor giratorio

Fuente: [4]

1.6.2 Características de los tubos de calor

Son dispositivos funcionales con grandes ventajas formados por un evaporador y condensador capaces de transferir calor a gran velocidad, dando paso a muchas aplicaciones por sus características primordiales de funcionalidad que se muestran en la tabla 4 [9].

Tabla 4. Características de los tubos de Calor

CARACTERÍSTICAS
No necesitan de una fuente de energía externa
No necesitan mantenimiento
Son resistentes a la corrosión
Su transferencia térmica debido a su estructura es muy rápida
Grandes cantidades de transferencia de calor
Son superconductores térmicos
Tienen una amplia gama de usos
Son seguros para el medio Ambiente
Su tamaño es pequeño y sumamente liviano
Son capaces de funcionar en frío y calor
Tienen la ventaja de fácil drenaje de la condensación
Variar formas de tuberías de calor
Conductividad térmica alta con diferencia de temperatura baja

Fuente: [9]

Tabla 5. Aplicaciones de los tubos de calor

APLICACIONES
Refrigeración de leds
Refrigeración de procesadores CPU
Refrigeración de tarjetas gráficas GPU
Enfriamiento VGA de gráficas
Enfriamiento de discos duros HDD
Enfriamiento de placas de circuitos impresos PCB
Enfriamiento de fuentes de alimentación
Refrigeración de gabinetes

Refrigeración en estaciones aeroespaciales, satélites, aviónica
Industria automotriz
Equipos médicos
Equipos militares
Máquinas y motores

Fuente: [9]

1.6.3 Formas y dimensionamientos de los tubos de calor

Las formas y dimensiones de los tubos de calor están catalogadas de acuerdo a su aplicación, además de las necesidades que el usuario requiera, sin embargo, existen diversas aplicaciones donde son usados, por consiguiente, las formas y espesores van a cambiar de acuerdo al campo en donde se los vaya a utilizar [9].

Tabla 6. Formas de los Tubos de Calor

FORMAS
Forma en L
Forma en J
Forma en U
Forma en C
Forma en S
Forma en W
Forma en M
Forma en G
Forma en N
Forma en V
Forma en Z
Forma recta
Redondo y recta
Redondo y doblado
Plano y recta
Plano y doblado
Otros a pedido

Fuente: [9]

Tabla 7. Diámetros de los Tubos de Calor

DIMENSIONES
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
8 mm
10 mm
12 mm
Otros a pedido

Fuente: [9]

1.6.4 Espesor y ancho del tubo de calor plano

Tabla 8. Espesores y anchos para tubos de calor plano

Espesores y anchos
Espesores de 3 a 14 mm
Anchos de 3 a 14 mm
Otros

Fuente: [9]

1.6.5 Acabados de los tubos de calor

Para la fabricación de los tubos de calor se propone una variedad de materiales metálicos, los mismos que son aplicados a ambientes normales y agresivos, por lo tanto, estos metales son muy electronegativos debido a que poseen propiedades para evitar la corrosión fácilmente, para lo cual es importante la aplicación de los acabados correspondientes para reforzarlos contra ambientes corrosivos, se recomienda aplicar una pequeña capa de recubrimiento esta puede ser metálica o no metálica, existen otros procesos de protección que se aplican eléctricamente [10].

Tabla 9. Acabados para los tubos de calor

Acabados
Natural
Pasivo
Niquelado
Otros

Fuente: [10]

1.6.6 Estructuras de las mechas

Las estructuras de las mechas se pueden diseñar de una variedad de formas dependiendo de su aplicación y criterios básicos de funcionamiento, las mechas se dividen en dos las homogéneas y compuestas, En las mechas homogéneas el bombeo capilar se deriva del tamaño efectivo de los canales o porosidades, para el diseño de estas mechas se requiere de mucho compromiso y requisitos, las mechas homogéneas son usadas comúnmente debido a su confiabilidad, flexibilidad y costos [8].

Tabla 10. Estructura de las mechas

Estructuras
Malla de mecha
Fibras en polvo sinterizado
Loza de mecha
Ranuras axiales
Anillo abierto
Anillo cerrado
Arteria abierta
Arteria cerrada
Compuesto circunferencial
Loza compuesta
Ranuras compuestas por pantalla
Arteria espiral
Ranuras circunferenciales
Malla de alambre de una sola capa
Otros

Fuente: [8].

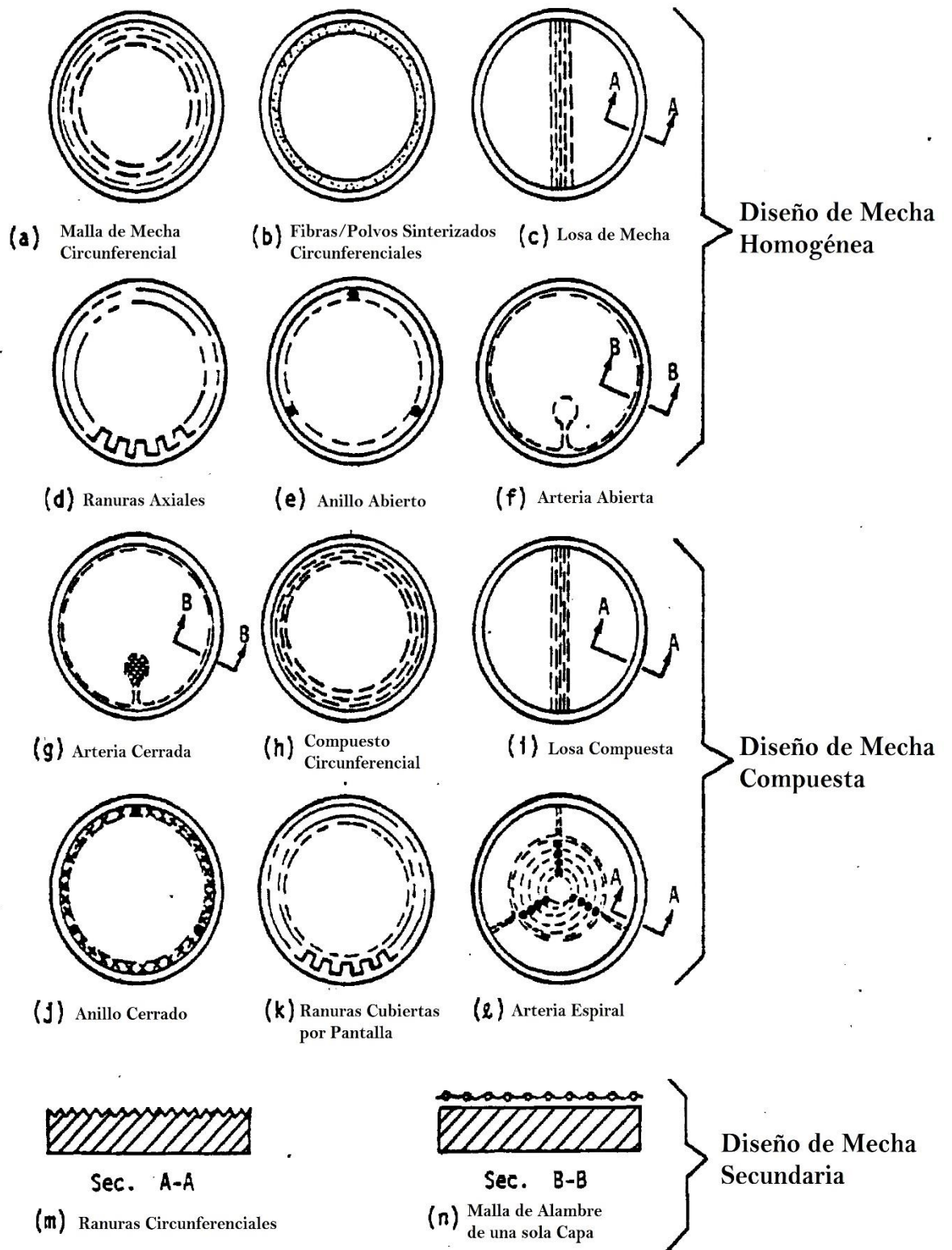


Figura 12. Diseño de mecha compuesta y homogénea

Fuente: [8]

1.6.7 Disipador de calor con aletas

Los disipadores de calor de tipo aleta tienen como objetivo, disipar el calor generado en los procesadores, su función principal es evacuar la mayor parte de energía calorífica al exterior donde se encuentra una fuente de temperatura baja, están conformados por ventiladores los cuales se encargan de generar aire a una temperatura ambiente, para que las aletas tengan un buen funcionamiento, su material debe ser seleccionado adecuadamente y así evitar los cambios bruscos de temperatura, el tipo de material de aletas son aleaciones de aluminio y cobre, [11].

Para los acabados especialmente pueden ser de color negro y así mejorar la radiación logrando anodizar el aluminio adquiriendo una mayor emisividad comparado con el metal original, de igual manera el cobre debe ser tratado con los mismos principios además en ocasiones suelen ser pintados o platinados logrando un incremento de emisividad [11].

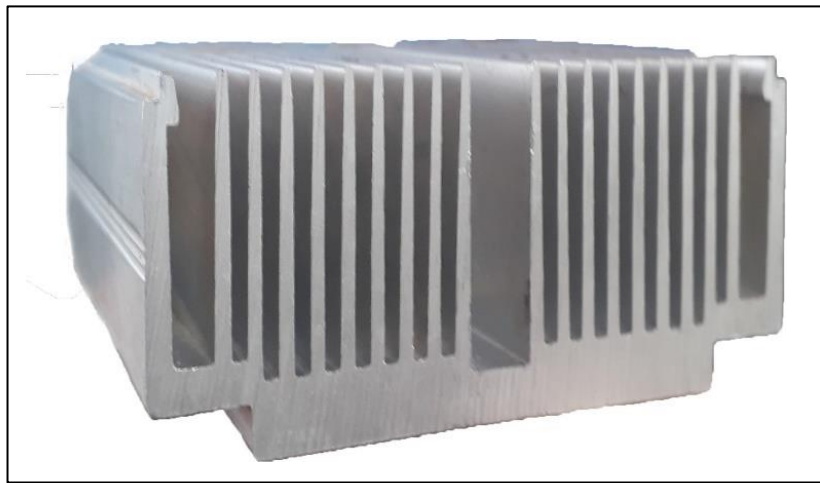


Figura 13. Aletas del disipador

Fuente: [Autor]

Estos disipadores gozan de un ventilador de serie echo por el fabricante del procesador pueden estar hechos de aluminio y disipan el calor proveniente del procesador por una corriente de aire la cual se va distribuyendo a través de las placas de aluminio su ventaja es que al venir incluidos con el procesador de serie son completamente gratuitos y suelen tener un tamaño bastante reducido lo cual los hace perfectos para usarse en cualquier tipo de case, sin embargo tienden a ser algo ruidosos y no se recomienda hacer uso de los mismos en situaciones en las que se

tenga que emplearlos de manera prolongada y sobre todo si existe una exigencia del procesador, ya que a mayor exigencia mayor será su temperatura, por consiguiente su capacidad de disipación de calor no será suficiente para disminuir de manera considerable la temperatura. [11].



Figura 14. INTEL A70178-001

Fuente: [11].

Tabla 11. Características del disipador con aletas

Características
Dimensiones (largo, ancho, alto) 64 x 67 x 47 mm
Dimensiones del ventilador (largo, ancho, alto) 70 x 20 x 70 mm
Dimensiones de aletas (largo, ancho, alto) 64 x 67 x 27 mm
Tensión 12 VDC
Velocidad 4000 rpm
Ruido 21 dB
Presión del aire 2.02 mm-H ₂ O
Peso 24 g
Aletas de aluminio 20
Flujo del aire 7,20 CFM (pies ³ /min)

Fuente: [11].

1.6.8 Disipadores con tubos de calor

Es un sistema de refrigeración para CPU con altas prestaciones por aire, están compuestos por disipador de aluminio con tubos de cobre unidos a un ventilador de alta revolución, su funcionamiento en esencia es el mismo que los disipadores de

serie, pero estos se caracterizan por tener una mayor potencia y eficiencia, su principal ventaja es que suelen ser bastante accesibles y su instalación en la tarjeta madre es bastante sencilla, sin embargo, pueden tener un tamaño considerable.

Lo importante para el uso de estos disipadores es tener un case acorde con un buen sistema de túnel de viento para sacar el aire caliente del interior, junto con una tarjeta madre con espacio suficiente para acoplarlo en el interior del equipo y de esta manera no interfiera en la ubicación de otros componentes [12].



Figura 15. COOLER MASTER

Fuente: [13]

Tabla 12. Características del disipador de calor de tubos

Características
Número de serie RR-H410-20PC-R1
Tubos de calor 4*6 mm de diámetro
Aletas de aluminio 33*1 mm de espesor
Dimensiones (largo, ancho, alto) 65 x 45 x 85 mm
Dimensiones de los tubos (largo, ancho, alto) 75 x 6 x 85 mm
Dimensiones del ventilador (largo, ancho, alto) 70 x 20 x 70 mm
Dimensiones de aletas (largo, ancho, alto) 65 x 25 x 66 mm
Peso 760 g
Velocidad del ventilador 600-2000 rpm
Flujo del aire 34,1 CFM (pies ³ /min)

Presión del aire 1,79 mmH₂O

Nivel de ruido 29 dB

Voltaje 12 VDC

Consumo 2.28 W [13]

Fuente: [13]

1.6.9 Fluidos de trabajo

El fluido de trabajo debe ser adquirido en el mercado en estado óptimo, en algunos casos, debe purificarse antes de introducirlo en el termosifón. La destilación es un proceso muy empleado para fluidos que operan a bajas temperaturas como acetona, metanol y amoníaco, ya que la presencia de agua puede causar incompatibilidades químicas entre el metal de la carcasa y el fluido de trabajo [6].

La ebullición de nucleados depende en gran medida de la superficie calentada y factores como la liberación de gas absorbido, la rugosidad de la superficie, la oxidación de la superficie y la humectabilidad afectan en gran medida la diferencia de temperatura entre la superficie y el líquido. La naturaleza de la superficie puede cambiar durante un período de tiempo [4].

Tabla 13. Sobrecalentamiento para el inicio de la ebullición a presión atmosférica

Líquido	Punto de ebullición (°K)	Densidad de vapor (kg/m ³)	Calor latente (kJ/kg)	Tensión superficial	ΔT (°C)
Amoniaco (NH ₃)	239,7	0,3	1350	0,028	2,0
Alcohol etílico (C ₂ H ₅ OH)	338	2,0	840	0,021	0,51
Agua	373	0,60	2258	0,059	1,9
Potasio	1047	0,486	1938	0,067	8,9
Sodio	1156	0,306	3913	0,113	26,4
Litio	1613	0,057	19700	0,26	44,6

Fuente: [4]

La cantidad de fluido de trabajo en los tubos de calor para disipadores de temperatura son en pequeñas cantidades por ejemplo usando agua tiene un calor latente de 539 calorías por gramo, por lo tanto, evaporar un gramo de agua requiere 539 calorías, de acuerdo a estos sistemas que no superan grandes temperaturas la temperatura máxima que alcanzan son 100 °C, si llegan a este alcance el rendimiento baja [14].

1.6.10 Procesadores

El calor que produce el procesador es uno de los grandes problemas para el CPU y lo mismo para el GPU las grandes temperaturas provocan una sobreestimulación de los

electrones y eso hace que al pasar por las celdas de silicio todo se vuelve muy inestable, existiendo posibilidades que se congele la PC, se inicie, se apague y en casos muy extremos explote [15].

1.6.11 CPU Intel

La temperatura asignada por el fabricante del hardware para la pieza del CPU Intel es de 100 grados, está programado que cuando llegué a esta temperatura dejé de trabajar tan fuerte y baje las revoluciones para que la temperatura no siga ascendiendo, este límite es en donde el procesador va trabajar de manera normal, si llega ahí va a bajar las revoluciones porque está rondando temperaturas peligrosas, las temperaturas aceptables para Intel son por debajo de los 100 ° C pero no es recomendable que en sesiones largas este a 100 ° C ya que la degradación de la pieza de hardware va ser muy notoria a corto plazo, se puede llegar a 100 ° solo cuando se esté realizando por ejemplo un renderizado muy corto, sin embargo si el uso es de unas 6 horas no es recomendable llegar a 100 ° C, si la PC va estar encendida 24 horas la temperatura debe rondar entre los 78 ° C y 77° C para no causar un daño a corto plazo [15].

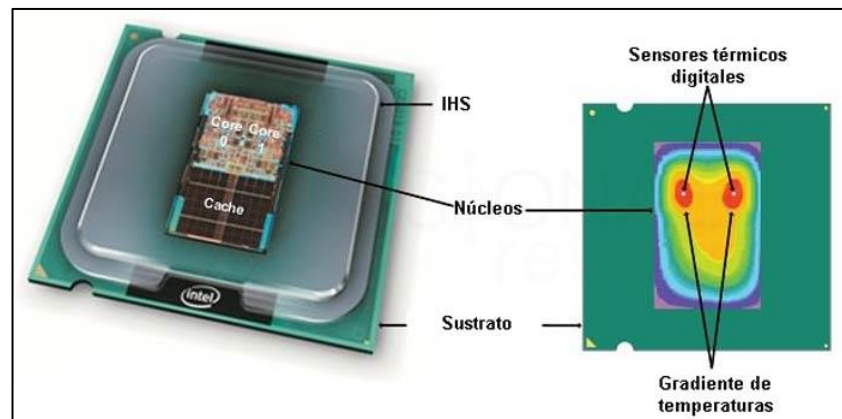


Figura 16. Partes de un procesador Intel

Fuente: [15]

1.6.12 CPU AMD Ryzen

El límite de temperatura en los procesadores Ryzen están en los 95 ° C ahí el CPU va dejar de producir potencia para reducir temperaturas, igual si se va hacer un renderizado rápido es aceptable, pero si es 24-7 lo recomendable es 75 ° C a 74 ° C, la ventaja de estos procesadores a comparación de los Intel es que tienen una pasta térmica interna y están soldados con una aleación metálica de indio (In) [15].



Figura 17. CPU AMD Ryzen

Fuente: [16]

1.6.13 GPU NVIDIA

Las temperaturas de las tarjetas gráficas están osciladas entre los 80 y 85 °C aproximadamente, su límite dependiendo de los modelos utilizados, es muy bajo sin embargo estas temperaturas son muy normales para su correcto funcionamiento, si las temperaturas superan los 85 °C es recomendable un cambio de pasta térmica para mejorar el rendimiento del mismo [15].

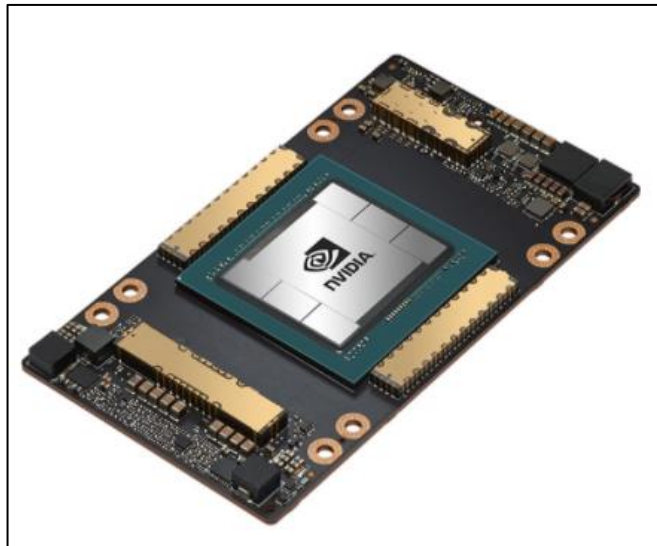
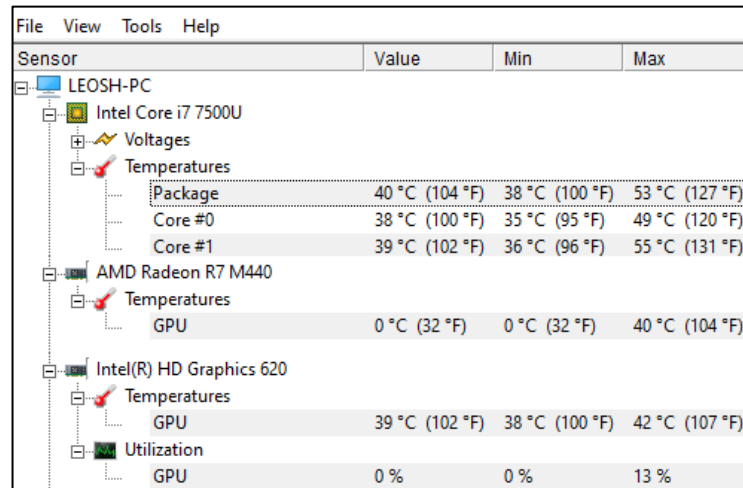


Figura 18. GPU NVIDIA

Fuente: [17]

1.6.14 Temperatura en procesadores y tarjetas graficas

Al momento que se enciende el ordenador la temperatura inicial comienza con valores mínimos entre 35 y 38 °C y valores máximos de 40 y a 55 °C con un porcentaje de utilización del 13 %.

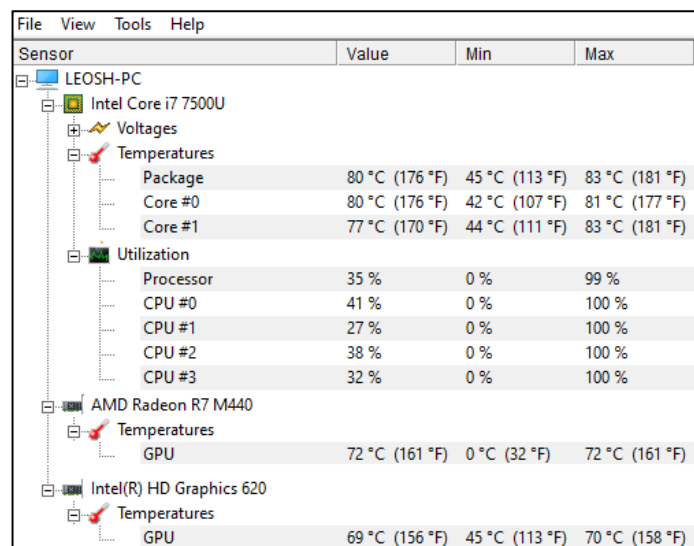


Sensor	Value	Min	Max
LEOSH-PC			
Intel Core i7 7500U			
Voltages			
Temperatures			
Package	40 °C (104 °F)	38 °C (100 °F)	53 °C (127 °F)
Core #0	38 °C (100 °F)	35 °C (95 °F)	49 °C (120 °F)
Core #1	39 °C (102 °F)	36 °C (96 °F)	55 °C (131 °F)
AMD Radeon R7 M440			
Temperatures			
GPU	0 °C (32 °F)	0 °C (32 °F)	40 °C (104 °F)
Intel(R) HD Graphics 620			
Temperatures			
GPU	39 °C (102 °F)	38 °C (100 °F)	42 °C (107 °F)
Utilization			
GPU	0 %	0 %	13 %

Figura 19. Temperatura inicial

Fuente: [Autor]

Durante el encendido de un periodo largo de tiempo las temperaturas siguen ascendiendo y variando desde 60 y 70 °C que pueden llegar hasta una temperatura máxima de 80 °C donde permanece estable sin correr ningún riesgo al procesador.



Sensor	Value	Min	Max
LEOSH-PC			
Intel Core i7 7500U			
Voltages			
Temperatures			
Package	80 °C (176 °F)	45 °C (113 °F)	83 °C (181 °F)
Core #0	80 °C (176 °F)	42 °C (107 °F)	81 °C (177 °F)
Core #1	77 °C (170 °F)	44 °C (111 °F)	83 °C (181 °F)
Utilization			
Processor	35 %	0 %	99 %
CPU #0	41 %	0 %	100 %
CPU #1	27 %	0 %	100 %
CPU #2	38 %	0 %	100 %
CPU #3	32 %	0 %	100 %
AMD Radeon R7 M440			
Temperatures			
GPU	72 °C (161 °F)	0 °C (32 °F)	72 °C (161 °F)
Intel(R) HD Graphics 620			
Temperatures			
GPU	69 °C (156 °F)	45 °C (113 °F)	70 °C (158 °F)

Figura 20. Temperaturas Estables

Fuente: [Autor]

Las temperaturas críticas empiezan desde los 97 °C, donde el rendimiento del procesador comienza a bajar produciendo apagones en otros casos llegando a producir la pérdida del dispositivo, estos casos de incremento de temperatura se deben a la utilización de softwares de gran tamaño de memoria en tiempo real, con gráficas de alta definición y el procesador llega a su 100 % de capacidad de utilización, para este tipo de aplicaciones lo recomendable es la utilización de disipadores de temperatura como son los disipadores con tubos de calor o disipadores con aletas en otros casos para mejorar el rendimiento sobrepasando las especificaciones del fabricante se aplica el método “Overclocking” en el cual se aplica un sistema de enfriado directamente mediante nitrógeno líquido, este método no es recomendable por su excesivo costo y el fluido de enfriamiento dura un corto tiempo.

The screenshot shows the CPUID HWMonitor application window. The main display is a table with columns for Sensor, Value, Min, and Max. The data is organized into a tree view on the left, showing various hardware components and their associated metrics.

Sensor	Value	Min	Max
LEOSH-PC			
Intel Core i7 7500U			
Voltages			
Temperatures			
Package	81 °C (177 °F)	69 °C (156 °F)	98 °C (208 °F)
Core #0	80 °C (176 °F)	68 °C (154 °F)	97 °C (206 °F)
Core #1	81 °C (177 °F)	68 °C (154 °F)	99 °C (210 °F)
Powers			
Utilization			
Processor	19 %	0 %	100 %
CPU #0	17 %	0 %	100 %
CPU #1	23 %	0 %	100 %
CPU #2	18 %	0 %	100 %
CPU #3	12 %	0 %	100 %
Clocks			
KINGSTON SA400S37960G			
AMD Radeon R7 M440			
Temperatures			
GPU	84 °C (183 °F)	69 °C (156 °F)	99 °C (210 °F)
Clocks			
Utilization			
GPU	9 %	0 %	59 %
Memory	28 %	21 %	30 %
Intel(R) HD Graphics 620			
Temperatures			
GPU	81 °C (177 °F)	68 °C (154 °F)	89 °C (192 °F)
Utilization			
GPU	0 %	0 %	11 %
DELL Y3F7Y6B			
Dell Inc. 05VRRG			

Figura 21. Temperaturas elevadas

Fuente: [Autor]

1.6.15 Pasta térmica

Es un tipo de fluido cremoso como una silicona la función principal es transmitir calor desde el procesador al disipador para que no se caliente además lo que hace es constituir una base que sea uniforme, sin embargo, cuando son dos metales de forma plana siempre puede haber un poco de separación entre ellos, con determinados componentes, como puede ser el procesador que si se separa unos milímetros se calienta, y el ordenador se puede reiniciar o incluso en casos excesivos se puede quemar [18].

1.6.15.1 Tipos de pastas térmicas

La pasta térmica blanquecina con su composición de polvo de cerámica y silicona, es la más económica para ordenadores de gamas bajas.

Pasta térmica de tipo metálico, es la más recomendada a parte de tener silicona está formado por metales de aluminio o plata, que ofrecen una mayor conductividad térmica y funcionan mejor para componentes que se calientan mucho como pueden ser procesadores, chips o tarjetas gráficas, es la más recomendada, aunque su precio es un poco más elevado [18].

La pasta térmica se cambia cuando el rendimiento del ordenador comienza a disminuir por problemas de recalentamiento, para colocar una nueva pasta se limpia la superficie del procesador retirando la pasta térmica anterior, se coloca en la superficie del procesador evitando que se derrame en la placa por lo que es conductora y puede producir un corto circuito [18].



Figura 22. Pasta térmica

Fuente: [18]

1.6.16. Límites de operación

Están determinados por ciertos límites que ayudan a determinar cuántos vatios van a transportarse desde cantidades pequeñas hasta kilovatios lo cual evita que supere los rangos permitidos, que son límite viscoso, límite sónico, límite capilar, límite de arrastre y límite de ebullición [4] .

1.6.16.1 Límite viscoso

La presión en el evaporador se reduce considerablemente, cuando la viscosidad domina las fuerzas en el flujo vapor, dado a estas circunstancias el transporte de temperatura y fluido de trabajo en este sitio es limitada [19].

$$Q_v = \frac{A_v r_v^2 h_{lv} \rho_v P_v}{16 \mu_v L_{eff}} \quad \text{Ec. 3.14}$$

Cuando:

Q_v : Flujo de calor viscoso [W]

A_v : Área del flujo de la sección transversal del vapor [m²]

r_v : Radio de vaporización [m]

h_{lv} : Calor latente de vaporización [J/Kg]

ρ_v : Densidad en la zona del evaporador [Kg/m³]

P_v : Presión en la zona del evaporador [N/m²]

μ_v : Viscosidad dinámica en la zona del evaporador [Kg/m s]

L_{eff} : Longitud efectiva [m] [19].

1.6.16.2 Límite sónico

La velocidad del vapor en la salida del evaporador puede alcanzar a la velocidad del sonido en ocasiones hasta supersónicas debido a las bajas presiones del vapor, por lo tanto, el evaporador no puede responder a bajas presiones del condensador, lo que provoca una limitación del flujo de vapor [4].

$$Q_{s, max} = A_v \rho_v h_{lv} \left[\frac{\gamma_v T_v R_v}{2(\gamma_v + 1)} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Cuando:

A_v : Área de sección transversal del espacio de vapor [m^2]

ρ_v : Fase de densidad de vapor [kg/m^3]

h_{lv} : Coeficiente de transferencia de calor líquido, vapor (calor latente de vaporización) [KJ/kg]

γ_v : Relación de calor específico para el lado del vapor [adimensional]

T_v : Temperatura de vapor [$^{\circ}C$]

R_v : Constante de vapor [$J/kg \text{ } ^{\circ}K$]

h_{lv} : Coeficiente de transferencia de calor líquido, vapor [KJ/kg] [4].

1.6.16.3 Límite capilar

Es la capacidad de transportar un fluido de trabajo en los tubos de calor hasta cierto límite, esto depende de las propiedades del fluido de trabajo y la permeabilidad de la estructura del tubo de calor [19].

$$Q_{c, \max} = \frac{2 \left(\frac{\sigma \rho_l h_{lv}}{\mu_l} \right) \left(\frac{K}{r_{c,e}} \right) (2\pi r_v t_w)}{0.5L_e + L_a + 0.5L_c} \quad \text{Ec. 3.10}$$

Cuando:

σ : Tensión superficial, coeficiente de condensación [N/m]

ρ_l : Fase de densidad líquida [Kg/m^3]

h_{lv} : Coeficiente de transferencia de calor líquido, vapor (calor latente de vaporización) [KJ/kg]

K : Permeabilidad [m^2]

r_v : radio de la sección del espacio de vapor [m]

t_w : Templado de la pared del tubo de calor [m]

μ_l : Viscosidad líquida [$N\cdot s/m^2$]

r_c : radio capilar efectivo [m]

L_e : Longitud de la sección del evaporador [m]

L_a : Longitud de la sección adiabática [m]

L_c : Longitud de la sección del condensador [m] [19].

1.6.16.4 Límite de arrastre

El fluido circula en dirección opuesta al flujo de vapor ejerciendo una fuerza cortante sobre el líquido, si la fuerza cortante excede los límites proporciona el arrastre de pequeñas gotas reduciendo el condensado, este fenómeno limita la capacidad para transportar calor [19].

Ec. 3.12

$$Q_{e,max} = A_v h_{lv} \left(\frac{\sigma \rho_v}{2r_{h,s}} \right)^{1/2}$$

Cuando:

A_v : Área de sección transversal del espacio de vapor [m^2]

h_{lv} : Coeficiente de transferencia de calor líquido, vapor (calor latente de vaporización) [KJ/kg]

ρ_v : Fase de densidad de vapor [Kg/m^3]

σ : Tensión superficial, coeficiente de condensación [N/m]

r_{hs} : Radio hidráulico [m] [19].

1.6.16.5 Límite de ebullición

Al estar expuesto el tubo de calor a temperaturas elevadas, el fluido de trabajo producirá burbujas, una ebullición nucleada lo que ocasionará un bloqueo disminuyendo el flujo de vapor y la conducción de calor produciendo el límite de ebullición [19].

$$Q_{b,max} = \frac{2\pi L_e K_{eff} T_v}{h_{lv} \rho_v L n \left(\frac{r_i}{r_v} \right)} \left(\frac{2\sigma}{r_n} - P_c \right) \quad \text{Ec. 3.13}$$

Cuando:

L_e : Longitud del evaporador [m]

K_{eff} : Conductividad térmica efectiva de la mecha saturada del líquido [W/m.°K]

T_v : Temperatura de vapor [°K]

σ : Tensión superficial, coeficiente de condensación (N/m)

ρ_v : Fase de densidad de vapor (kg/m³)

h_{lv} : Coeficiente de transferencia de calor líquido, vapor (calor latente de vaporización) [KJ/kg]

r_i : Radio interior de la tubería [m]

r_v : Radio del núcleo del vapor [m]

r_n : Radio inicial o radio de ebullición ($2.54 \times 10^{-5} m$ – $2.54 \times 10^{-7} m$)

P_c : Presión capilar [kg/s².m] [19].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

Se analiza la obtención de variables que se requieren para el cálculo y simulación de los tubos de calor, se valora los tipos de variables y los parámetros necesarios para la simulación de tubos de calor, se plantea una selección de alternativas donde los datos adquiridos mediante la investigación se aplicaran a una selección añadiendo varios criterios, de acuerdo al peso de valoración se destacará el material y fluido para la simulación y cálculo.

2.1 Métodos particulares de investigación

2.1.1 Método Histórico

Se investiga lo referente al pasado de una manera imparcial o crítica, para estudiar e investigar los hechos desde cuando se originaron los tubos de calor, es decir remontándose al pasado y relacionándolos con el presente.

2.1.2 Método descriptivo

Describir y detallar las propiedades de materiales que se van a utilizar como recipientes así también del fluido de trabajo que se utilice, los datos serán obtenidos en acontecimientos de la actualidad para la obtención de resultados con una mayor precisión.

2.1.3 Método Experimental

Se estudia los hechos o fenómenos que presenten durante la simulación bajo condiciones especiales, es decir los valores obtenidos se manejarán a su criterio diversos factores, para establecer los resultados que se obtendrán durante la simulación.

2.2 Hipótesis

La simulación de los disipadores de tubos de calor y aletas permitirá analizar cuál tiene mejor rendimiento para disipación de calor en el ordenador

2.3 Variables

2.3.1 Variable independiente

La simulación de los disipadores de tubos de calor y aletas

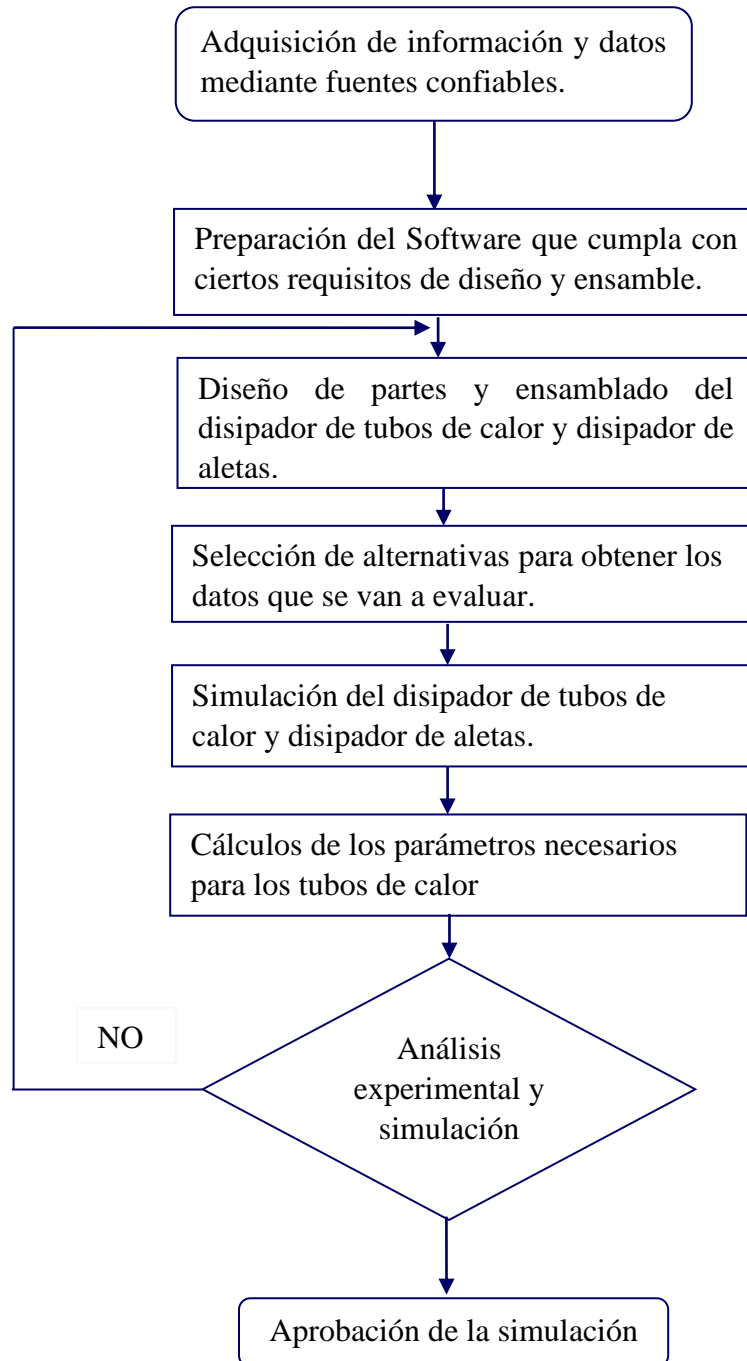
2.3.2 Variable dependiente

El rendimiento para disipar calor en el ordenador

2.3.3 Término de relación

Permitirá analizar

2.4 Procedimiento del trabajo de investigación



2.5 Selección de alternativas

Para la selección de alternativas se debe tomar en consideración varios factores en la modelación, como la disponibilidad de los materiales y equipos, factores económicos que estén a las posibilidades de adquisición, tipos de materiales acorde a su resistencia y conductividad térmica, diseños y modelaciones.

2.5.1 Selección de alternativa en el material para el tubo de calor

La selección de un material idóneo va en función de las propiedades del material que tenga una buena capacidad de transferencia de calor o conductividad térmica.

Tabla 14. Características del cobre

Características de cobre
Facilidad de unión
Alta conductividad eléctrica
Alta conductividad térmica
Opera a 150 ° C con agua de fluido de trabaja
Metal no ferroso
Color rojizo
Tonalidad brillante
Dúctil

Fuente: [19]

Tabla 15. Propiedades del cobre

Propiedades del cobre
Módulo elástico $1.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Coefficiente de Poisson 0.37 N/D
Módulo cortante $4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Densidad de la masa 8900 Kg/m^3
Límite de tracción 394380000 N/m^2
Límite elástico 258646000 N/m^2
Coefficiente de expansión térmica $2.4 \times 10^{-5} \text{ K}$
Conductividad térmica $390 \text{ W/(m.}^\circ\text{K)}$
Calor específico 390 J/(Kg.K)
Radio atómico 0,1278 nm

Estructura cristalina FCC
Peso atómico 63,5 g/mol
Punto de ebullición 2350 °C

Fuente: [19]

Tabla 16. Características del aluminio

Características del aluminio

Poca resistencia mecánica
Fáciles de ensamblar
Fáciles de fundir
Fáciles de maquinar
Gran variedad de acabados
Metal no ferroso
Es el que más existe considerablemente
Resistente a la corrosión
Alta conductividad térmica
Alta conductividad eléctrica

Fuente: [20]

Tabla 17. Propiedades del aluminio

Propiedades del aluminio

Módulo elástico 6.9×10^{10} N/m²
Coeficiente de Poisson 0.33 N/D
Módulo cortante 2.7×10^{10} N/m²
Densidad de la masa 2700 Kg/m³
Límite de tracción 68935600 N/m²
Límite elástico 27574200 N/m²
Coeficiente de expansión térmica 2.4×10^{-5} K
Conductividad térmica 200 W/(m.°C)
Calor específico 900 J/(Kg.K)
Estructura cristalina FCC
Radio atómico 0,1431 nm
Punto de fusión 660 °C
Punto de ebullición 2450 °C

Densidad 2,7 g/mol
Peso atómica 26,9 g/mol

Fuente: [20]

Tabla 18. Características de la plata

Características de la plata

Resistente a la corrosión
Buena conductividad térmica
Buena conductividad eléctrica
Dúctil
Maleable
Brillante
Metal blanco
Se funde a 962,78 °C
Punto de ebullición 2162.5 °C
Tiene 47 electrones alrededor del núcleo
Apenas más dura que es el oro
Susceptible al pulimento

Fuente: [21]

Tabla 19. Propiedades de la plata

Propiedades de la plata

Módulo elástico 7.1×10^{10} N/m²
Coeficiente de Poisson 0.37 N/D
Módulo cortante 2.5×10^{10} N/m²
Densidad de la masa 11000 Kg/m³
Límite de tracción 125000000 N/m²
Coeficiente de expansión térmica 2×10^{-5} K
Conductividad térmica 420 W/(m.K)
Calor específico 230 J/(Kg.K)
Radio atómico 0,1445 nm
Estructura cristalina FCC
Peso atómico 107,9 g/mol

Fuente: [21]

Tabla 20. Características del acero inoxidable AISI 304

Características del acero inoxidable AISI 304

Alta conductividad térmica
Alta conductividad eléctrica
Resistente a la corrosión
Resistente a temperaturas extremas
Reciclable
Fácil de limpiar
Estético
Alta ductilidad
Alta elasticidad
Resistente al desgaste
Resistente al impacto

Fuente: [22]

Tabla 21. Propiedades del acero inoxidable AISI 304

Propiedades del acero inoxidable AISI 304

Módulo elástico $1.9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Coeficiente de Poisson 0.9 N/D
Módulo cortante $7.5 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$
Densidad de la masa 8000 Kg/m^3
Límite de tracción 517017000 N/m^2
Límite elástico 206807000 N/m^2
Coeficiente de expansión térmica $1.8 \times 10^{-5} \text{ K}$
Conductividad térmica 16 W/(m.K)
Calor específico 500 J/(Kg.K)
Punto de fusión $1454 \text{ }^\circ\text{C}$

Fuente: [22]

Criterios a considerar

- **Conductividad Térmica.** Para la selección del tubo de calor, este debe tener una buena conductividad térmica para que el sistema funcione a la perfección disipando la energía calorífica que no beneficia, provocando un bajo rendimiento en el procesador, para lo cual mediante la extracción de calor mejorará el rendimiento.
- **Costo.** Debe tener un valor que no supere las condiciones económicas y sea accesible para una producción.
- **Peso.** El material para el estudio no debe superar condiciones de peso para tener libre movilidad, ya que va estar sobre una placa electrónica que podría ocasionar roturas.
- **Punto de fusión.** Se recomienda un material para los tubos de calor que tenga un punto de fusión adecuado que soporten grandes temperaturas y funciones normalmente sin cambiar sus propiedades.
- **Soldadura.** Para la unión de los tubos de calor ocasionalmente se procede hacer puntos de soldadura, lo que se recomienda que se utilice un material que tenga la facilidad de ser soldable a un bajo costo y sin ocasionar daños.
- **Resistencia Mecánica.** Los materiales para la selección se elegirán por sus propiedades mecánicas resistentes a temperaturas altas y presiones que vayan a ocurrir por el aumento de temperatura, por lo tanto, estos materiales no deben fisurarse o romperse en el funcionamiento ya que el fluido de trabajo ocasionaría daños en los circuitos electrónicos.

Procedimiento

Para la modelación de los tubos de calor se debe tomar en cuenta el material que cumpla con las condiciones de buen funcionamiento realizando la selección de alternativas por criterios ponderados, utilizando el método de Riba asignando los siguientes valores.

1 = El criterio es mayor que las otras condiciones

0.5 = El criterio es igual que las otras condiciones

0 = El criterio es menor que las otras condiciones

$\Sigma + 1$ = Es la suma de todos los valores por ejemplo 1, 0.5, 0 según los valores considerados, el método de Riba propone sumar adicionalmente un valor más para cumplir la convergencia.

Ponderación = Es el resultado final de los criterios, obtenido mediante el resultado de cada uno " $\Sigma + 1$ " dividido para la sumatoria total de la " $\Sigma + 1$ " de todos los criterios, la sumatoria de todas las ponderaciones debe ser igual a "1" si es así el resultado está bien resultado.

En la primera tabla se realiza la selección de alternativas de solo los criterios, por ejemplo, la conductividad térmica, los costos, el peso del metal, el punto de fusión, la soldadura, y la resistencia mecánica donde se muestra en la tabla 22, para los tubos y tabla 35, para el fluido de trabajo en este caso para el fluido se asignará otros criterios.

En las siguientes tablas para la selección de alternativas el primer criterio por ejemplo "la conductividad térmica" será comparado con los pesos como son los tipos de materiales en este caso cobre, aluminio, plata y acero inoxidable, se realizará la selección de alternativas de todos los criterios anteriores.

Para la tabla final los valores de los pesos son, el resultado de la ponderación de los criterios multiplicado con la ponderación de los pesos, considerando que sea el mismo criterio, por ejemplo, los valores de la conductividad térmica de la tabla 29, se obtiene mediante la operación, la ponderación de la conductividad térmica "0,275" de la tabla 22, se multiplicará con cada valor de las ponderaciones de la tabla 23, y así hasta sacar todos los valores de todos los criterios finales.

Los resultados obtenidos son la sumatoria de los valores calculados en la tabla final por ejemplo la tabla 29, se considera la mejor alternativa para el tipo de material de los tubos de calor el valor más alto en este caso "0,3123" y para el fluido de trabajo la mejor alternativa con un valor de "0,4103" en la tabla 42.

Tabla 22. Criterios relativos de los factores

Criterio	Conductividad Térmica	Costo	Peso	Punto de Fusión	Soldadura	Resistencia Mecánica	$\Sigma+1$	Ponderación
Conductividad Térmica		0,5	1	1	1	1	5,5	0,275
Costo	0,5		1	1	0,5	0	4	0,2
Peso	0	0		1	0	0,5	2,5	0,125
Punto de Fusión	0	0	0		0,5	0	1,5	0,075
Soldadura	0	0,5	1	0,5		1	4	0,2
Resistencia Mecánica	0	0,5	0	1	0		2,5	0,125
						suma	20	1

Fuente: [Autor]

De acuerdo con la tabla 22, se pudo determinar que los valores más relevantes que se necesitan para que los tubos de calor funciones en perfectas condiciones son la conductividad térmica, costos y soldadura, alta conductividad térmica para disipar el calor en costos para que sea accesible, y soldadura para la facilidad de unión de los metales.

Tabla 23. Peso relativo de la conductividad Térmica

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		1	0,5	1	3,5	0,318181818
Aluminio	0,5		0	1	2,5	0,227272727
Plata	0,5	1		1	3,5	0,318181818
Acero Inoxidable AISI 304	0	0,5	0		1,5	0,136363636
				suma	11	1

Fuente: [Autor]

Según la tabla 23, los valores obtenidos para la selección de los metales de acuerdo a la conductividad térmica son la plata con un valor de 3,5 y seguida del cobre con un valor similar ya que las diferencias de las propiedades de los materiales por su alta conductividad térmica, es muy poca, lo que es de primordial recomendación para que su aplicación tenga una buena conductividad.

Tabla 24. Peso relativo del costo

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		0,5	1	1	3,5	0,35
Aluminio	0,5		1	1	3,5	0,35
Plata	0	0		0,5	1,5	0,15
Acero Inoxidable AISI 304	0	0	0,5		1,5	0,15
				suma	10	1

Fuente: [Autor]

Los resultados de la tabla 24, demuestran los valores de los costos para los metales según la ponderación con un valor de 3,5 para el aluminio y 3,5 para el cobre por lo que estos metales son los más comerciales y existen en gran variedad en el mercado y minas, en comparación con la plata y el acero inoxidable que su valor es un poco más elevado que los anteriormente mencionados.

Tabla 25. Peso relativo del peso

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		0,5	1	1	3,5	0,304347826
Aluminio	1		1	1	4	0,347826087
Plata	0,5	0		0,5	2	0,173913043
Acero Inoxidable AISI 304	0,5	0	0,5		2	0,173913043
				suma	11,5	1

Fuente: [Autor]

En la tabla 25, los valores obtenidos para la selección de alternativas para los pesos de los metales que se van a usar en los tubos de calor son para el aluminio con un valor de 4 es el más liviano seguido del cobre con 3,5, lo recomendable es el uso de metales livianos por la facilidad de colocación, manipulación y lo más importante que van estar sobre el procesador del ordenador, siendo un chip muy delicado.

Tabla 26. Peso relativo del punto de fusión

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		1	1	0,5	3,5	0,35
Aluminio	0		0	0	1	0,1
Plata	0,5	0		0	1,5	0,15
Acero Inoxidable AISI 304	1	1	1		4	0,4
suma					10	1

Fuente: [Autor]

Los valores obtenidos en la tabla 26, según la selección de alternativas de los pesos relativos del punto de fusión son; para el acero inoxidable siendo el más resistente a temperaturas altas con un valor de 4 y seguido del cobre con un valor de 3.5 con una diferencia considerable, para el uso de disipadores de calor la temperatura no excede demasiado sin embargo para otras aplicaciones estos valores si son relevantes.

Tabla 27. Peso relativo de la soldadura

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		1	0,5	0,5	3	0,333333333
Aluminio	0		0	0	1	0,111111111
Plata	0	1		0,5	2,5	0,277777778
Acero Inoxidable AISI 304	0	1	0,5		2,5	0,277777778
suma					9	1

Fuente: [Autor]

La tabla 27, para la selección de alternativas de acuerdo a la soldadura de los tubos de calor los valores obtenidos son; para el cobre con 3 siendo el metal más accesible para su soldadura por sus costos y facilidad de unión luego le sigue la plata y el acero inoxidable con un valor igual de 2,5 estos materiales para su utilización poseen un valor económico un poco más elevado que la del cobre.

Tabla 28. Peso relativo de la resistencia mecánica

Peso	Cobre	Aluminio	Plata	Acero Inoxidable AISI 304	$\Sigma+1$	Ponderación
Cobre		1	0	0	2	0,19047619
Aluminio	0		0	0	1	0,095238095
Plata	1	1		0,5	3,5	0,333333333
Acero Inoxidable AISI 304	1	1	1		4	0,380952381
suma					10,5	1

Fuente: [Autor]

La selección de alternativas en la tabla 28, para la resistencia mecánica de los materiales mencionados nos muestran que el acero inoxidable tiene un valor de 4 siendo el más sobresaliente con una gran resistencia mecánica seguida de la plata con un valor de 3,5, la importancia de esta propiedad nos beneficia de manera considerable ya que el tubo de calor va estar sometido a temperaturas altas y gracias a esta propiedad no sufrirá daños considerables en su funcionamiento.

En la tabla 29, se realizará la correcta selección de alternativa del material para el tubo de calor.

Tabla 29. Selección de alternativas para el material

Peso	Conductividad Térmica	Costo	Peso	Punto de Fusión	Soldadura	Resistencia Mecánica	Σ	Ponderación
Cobre	0,0875	0,07	0,0380	0,0263	0,0667	0,0238	0,3123	A1
Aluminio	0,0625	0,07	0,0435	0,0075	0,0222	0,0119	0,2176	A2
Plata	0,0875	0,03	0,0217	0,0113	0,0556	0,0417	0,2477	A3
Acero Inoxidable AISI 304	0,0375	0,03	0,0217	0,0300	0,0556	0,0476	0,2224	A4

Fuente: [Autor]

De acuerdo a la tabla 29, los valores obtenidos para la correcta sección de alternativas del material son la alternativa 1 y la alternativa 3 siendo el cobre el metal recomendado para la modelación de los tubos de calor.

2.5.2 Selección de alternativas para el fluido de trabajo

La selección de alternativas de un fluido de trabajo va a depender mucho de la clase de fluido se vaya a utilizar, por lo que los fluidos de trabajo tienen distintas propiedades y de acuerdo a sus propiedades tienen un rendimiento mayor o menor de transferencia de calor, evaporación y condensación.

Tabla 30. Propiedades y características del agua destilada

Propiedades y características del agua destilada
Está libre de electrolitos
Está libre de sales minerales
Libre de microorganismos
Libre de sustancias contaminantes
Compuesto de oxígeno
Compuesto de hidrógeno
Aspecto muy transparente
Sin sabor
Sin olor
Masa molecular 18.015 g/mol
Carece de iones metálicos
Es una sustancia aislante
Punto de congelación 0 °C
Punto de ebullición 100 °C
Conductividad térmica 0,58 W/(m.°K)

Fuente: [23]

Tabla 31. Propiedades y características del amoníaco

Propiedades y características del amoníaco (NH₃)
Compuesto químico
Es muy corrosivo
Es tóxico
Gas incoloro
Densidad de 0,7714 kg/m ³
Masa 17 g/mol
Temperatura de solidificación -77 °C

Temperatura de ebullición -33,44 °C
Calor latente 1265 KJ/Kg
Presión de vapor 415 Kpa
Temperatura crítica 132,4 °C
Conductividad térmica 0.55 (W/m °C)
Presión crítica 113 atm

Fuente: [24]

Tabla 32. Propiedades y características del sodio

Propiedades y características del Sodio (Na)

Aspecto blanco plateado
Pertenece a los metales alcalinos
Poca afinidad electrónica
No magnético
Irritante con la piel
Punto de fusión 98,72 °C
Punto de ebullición 883, 85 °C
Masa atómica 22, 989769 u
Radio medio 180 pm
Radio atómico 190
Radio covalente 154 pm
Radio de van der Waals 227 pm
Densidad 968 kg/m³
Calor de fusión 2,598 KJ/mol
Electronegatividad 0.93
Calor específico 1230 J/(K.Kg)
Conductividad eléctrica 21 x 10⁶/m S/N
Conductividad térmica 141 W/(K.m)
Estructura cristalina BCC
Presión de vapor 1,43 x 10⁻⁵ Pa a 1234 K

Fuente: [25]

Tabla 33. Propiedades y características del mercurio

Propiedades y características del Mercurio (Hg)
Elemento químico metálico
Brillante color plata
Se evapora fácilmente a 20 °C
Metal líquido
Tiene reactividad baja
Inmune a los ácidos
Metal blanco pesado
Disuelve el oro, zinc y cobre perfectamente
No disuelve el hierro
Corrosivo con el aluminio
Mal conductor de calor
Punto de solidificación -38.83 °C
Punto de ebullición 356,73 °C
Número atómico 80
Buen conductor eléctrico
Masa atómica 200,59 u
Conductividad térmica 8,34 W/(K.m)
Altamente toxico

Fuente: [26]

Tabla 34. Propiedades y características del metanol

Propiedades y características del Metanol (CH₄O)
Peso molecular 32.04
Temperatura crítica 239.45
Presión crítica 80.9 bar
Punto de ebullición 64.46 °C
Punto de congelación -98 °C
Densidad a 20° C 0.791 g/cm ³
Vaporización a 0°C 1248 KJ/Kg
Calor específico a 20 °C 2.567 KJ/Kg K
Tensión superficial a 20 °C 22.6 mN/m

Momento dipolar μ 1.7 Debye

Densidad vapor a 5 °C 76.4e-3

Fuente: [27]

Criterios a considerar:

- Precio. Los precios a considerar para los fluidos de trabajo deben ser accesibles, por lo tanto, se recomienda un fluido que cumpla con las características recomendadas y que no encarezca su precio.
- Tóxico. Para los fluidos de trabajo no es muy recomendable utilizar fluidos tóxicos, ya que pueden ocasionar daños a la salud durante un mantenimiento o ensamble.
- Evaporación. Es necesario que un fluido de trabajo tenga buenas propiedades de evaporación para que cumpla su ciclo de funcionamiento, sin embargo, de no ser así el fluido es innecesario.
- Corrosivo. Los fluidos de trabajo no siempre son compatibles con los tubos contenedores, se debe utilizar un fluido que no sea corrosivo con el material.
- Peso. Se utilizará pesos del fluido de acuerdo a su utilización el mismo que se encontrará en un rango no muy exagerado, sin embargo, se va utilizar en tubos de calor y por estética no debe ser muy pesado.
- Conductividad. El objetivo de fluido conductor es generar una mayor conductividad que la de los tubos, por lo tanto, el fluido debe tener buenas propiedades de conductividad.

Tabla 35. Criterios de los factores del fluido de trabajo

Criterio	Precio	Toxico	Evaporación	Corrosivo	Peso	Conductividad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precio		0,5	0,5	1	1	1	5	0,2272
Toxico	0		0	0,5	0,5	0	2	0,0909
Evaporación	0,5	1		1	1	0,5	5	0,2273
Corrosivo	0	0,5	0		0,5	0	2	0,0909
Peso	0,5	0,5	0	0,5		0	2,5	0,1136
Conductividad	1	1	0,5	1	1		5,5	0,25
						suma	22	1

Fuente: [Autor]

De acuerdo a la tabla 35, los factores más recomendados y necesarios que se deben tomar en cuenta en la selección de un fluido de trabajo se destacan entre su conductividad térmica, sus propiedades de evaporación y un precio accesible.

Tabla 36. Criterios del precio del fluido

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación	
Agua		1	1	0,5	1	4,5	0,500	
Amoniaco	0		0	0,5	0	1,5	0,167	
Sodio	0	0		0	0	1	0,111	
Mercurio	0,5	0,5	0		0	2	0,222	
Metanol	0	0	0,5	0		1,5	0,167	
						suma	9	1

Fuente: [Autor]

La tabla 36, de acuerdo al precio de los fluidos se puso en consideración que el agua es el fluido más económico y accesible, en segundo lugar, tenemos al mercurio.

Tabla 37. Criterios de la toxicidad del fluido de trabajo

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación	
Agua		1	1	1	0,5	4,5	0,409	
Amoniaco	0		0	0,5	0	1,5	0,136	
Sodio	0	1		1	0,5	3,5	0,318	
Mercurio	0	0,5	0		0	1,5	0,136	
Metanol	0,5	1	0,5	1		4	0,364	
						suma	11	1

Fuente: [Autor]

Los criterios de toxicidad más relevantes sin contaminación para los fluidos según la tabla 37, es el agua destilada la cual se encuentra libre de sustancias químicas, metálicas y organismos contaminantes, la segunda opción es el metanol.

Tabla 38. Criterios de evaporación de los fluidos

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación
Agua		1	1	1	0,5	4,5	0,429
Amoniaco	0		0	0	0	1	0,095
Sodio	0	0,5		0	0	1,5	0,143
Mercurio	0	1	1		0,5	3,5	0,333
Metanol	0,5	1	1	1		4,5	0,429
						suma	10,5
							1

Fuente: [Autor]

La tabla 38, de acuerdo a los criterios de evaporación de los fluidos menciona el agua y al metanol de acuerdo a sus propiedades, son los fluidos más recomendables para el uso.

Tabla 39. Criterios de corrosión de los fluidos

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación
Agua		1	1	1	1	5	0,556
Amoniaco	0		0	0,5	0	1,5	0,167
Sodio	0	0,5		0	0	1,5	0,167
Mercurio	0	0	0		0	1	0,111
Metanol	0,5	1	1	1		4,5	0,500
						suma	9
							1

Fuente: [Autor]

Los criterios para seleccionar un material que no sea corrosivo para el tubo de calor que va contener el fluido es el agua y el metanol según la tabla 39, sin embargo, los otros fluidos son corrosivos para el cobre, por los tanto esto puede ocasionar daños durante el funcionamiento.

Tabla 40. Criterio del peso de los fluidos

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación
Agua		0,5	1	1	1	4,5	0,375
Amoniaco	1		1	1	1	5	0,417
Sodio	0,5	0		0	0	1,5	0,125
Mercurio	0	0	0		0	1	0,083
Metanol	0	0	0	0,5		1,5	0,125
						suma	12
							1

Fuente: [Autor]

La tabla 40, indica el criterio del peso del fluido, siendo los más recomendables el amoniaco que es un gas y el agua que es un fluido de trabajo.

Tabla 41. Criterios de la conductividad térmica de los fluidos

Criterio	Agua	Amoniaco	Sodio	Mercurio	Metanol	$\Sigma+1$	Ponderación
Agua		1	0,5	0,5	1	4	0,276
Amoniaco	0		0	0	0	1	0,069
Sodio	1	1		1	1	5	0,345
Mercurio	1	1	0,5		1	4,5	0,310
Metanol	0	0,5	0	0		1,5	0,103
					suma	14,5	1

Fuente: [Autor]

En la tabla 41, se muestra los valores más sobresalientes de los fluidos de trabajo que tienen una buena conductividad térmica para el sodio y el mercurio siendo los más esenciales y recomendados para altas temperaturas de transferencia de calor, y en tercer lugar el agua para una transferencia de calor media, para temperaturas no muy altas.

Tabla 42. Criterios de selección del fluido de trabajo

Criterio	Precio	Toxico	Evaporación	Corrosivo	Peso	Conductividad	Σ	Ponderación
Agua	0,113636364	0,03719	0,0974	0,0505	0,0426	0,0690	0,4103	A1
Amoniaco	0,037878788	0,012397	0,0216	0,0152	0,0473	0,0172	0,1517	A2
Sodio	0,025252525	0,028926	0,0325	0,0152	0,0142	0,0862	0,2022	A3
Mercurio	0,050505051	0,012397	0,0758	0,0101	0,0095	0,0776	0,2358	A4
Metanol	0,037878788	0,033058	0,0974	0,0455	0,0142	0,0259	0,2539	A5

Fuente: [Autor]

Según los datos para selección de alternativas para un buen fluido de trabajo en la tabla 42, se muestra que el agua es el fluido más recomendado para el uso en los tubos de calor no contaminante sin agentes corrosivos y con una conductividad normal para el uso en los procesadores de los ordenadores con un valor de 0,4103, después está el metanol con un valor de 0,2539, dado estos datos se utilizará agua como fluido de trabajo.

2.6 Simulación del disipador con tubos de calor tipo sifón

Para el análisis de la simulación de los disipadores de calor, el estudio se basará mediante un software, usando la herramienta de “Flow Simulation” los estudios que se aplicarán serán análisis externo por conducción en estado estable que se obtendrá una temperatura final en todo el disipador y en estado transitorio para determinar las temperaturas como se van formando a medida que pasa el tiempo, además el análisis por conducción y convección en estado transitorio donde se incluirá el fluido de trabajo obteniendo nuevas temperaturas y por último un análisis por conducción y convección que se incluirá un ventilador para disipar las temperaturas

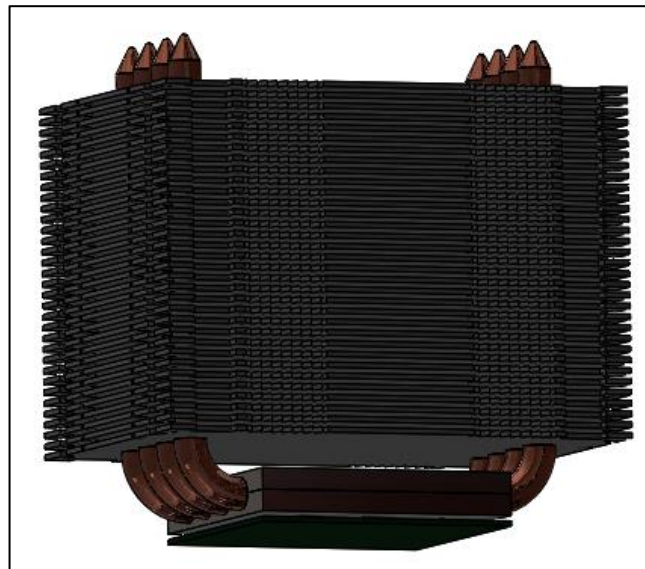


Figura 23. Disipador con tubos de calor tipo sifón

Fuente: Autor

2.6.1 Análisis por conducción y convección en estado transitorio

2.6.1.1 Condiciones para el fluido de trabajo

Paso 1. Chequeo del volumen del fluido

Chequear primero el volumen interno seguidamente el volumen externo del fluido para verificar que no haya aberturas, los resultados mostrados “SUCCESSFUL” demuestra que está completamente sellado y listo para el estudio, sin embargo, si el modelo contiene orificios el programa no permitirá realizar el estudio y simulación arrojando errores al momento de correr el proyecto.

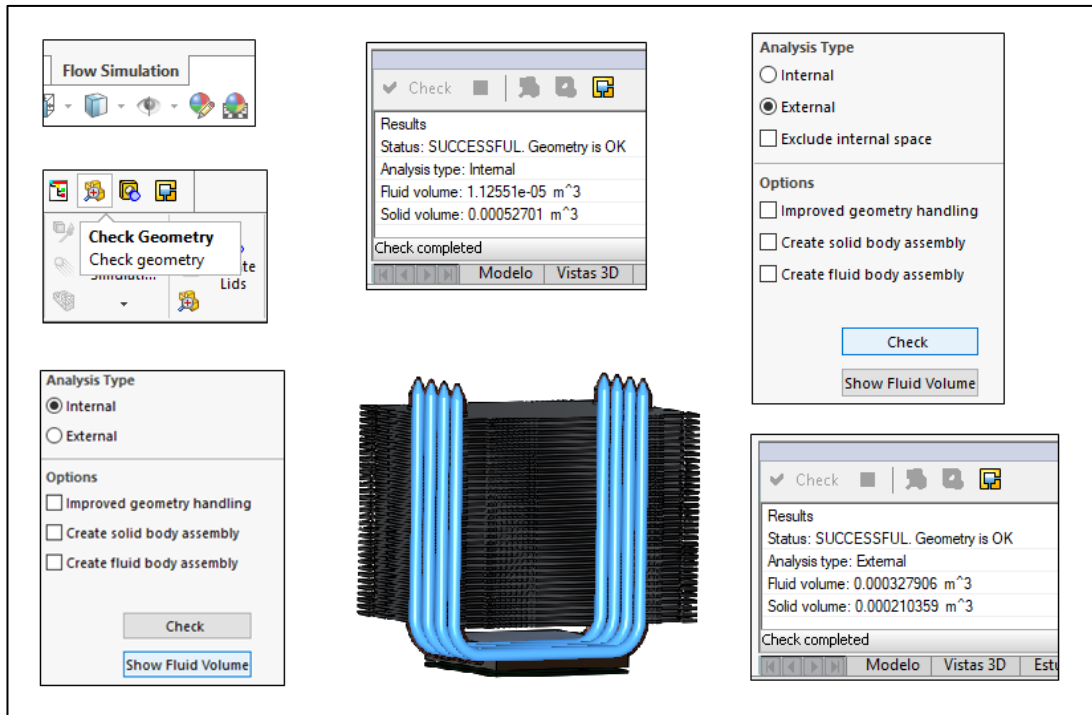


Figura 24. Chequeo del volumen del fluido

Fuente: [Autor]

Paso 2. Seleccionar unidades

Se creará un nuevo “Wizard” que es un nuevo proyecto para el estudio, seleccionando las unidades en sistema internacional y la temperatura en grados centígrados.

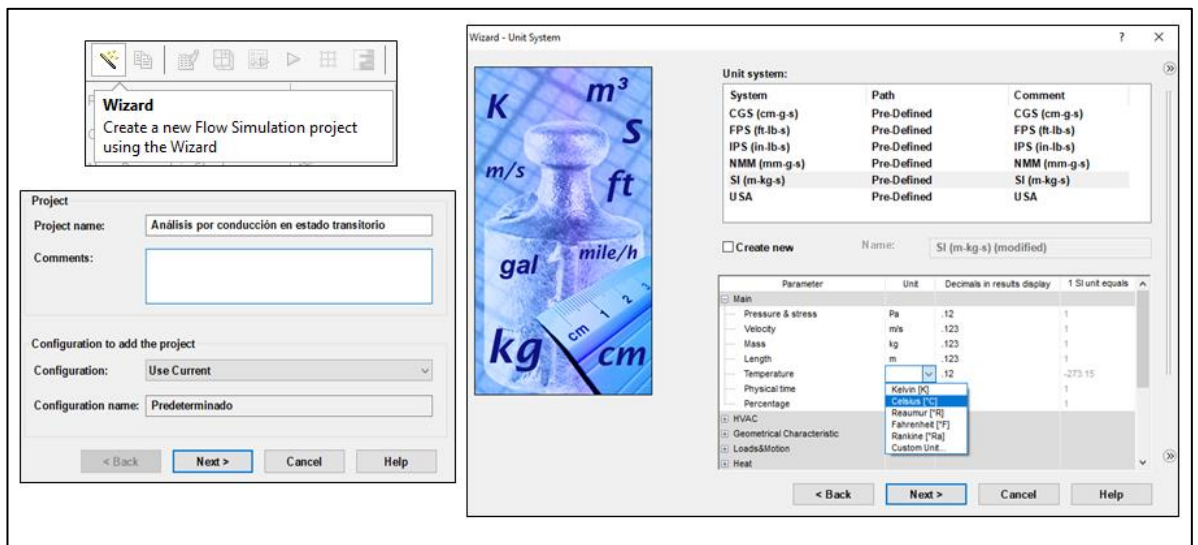


Figura 25. Selección de Unidades

Fuente: [Autor]

Paso 3. Tipo de análisis

El primer análisis de transferencia de calor en el dissipador de tubos será interno puede ser también externo sin embargo tiene que ser interno porque existe una geometría cerrada, marcar dependencia del tiempo porque es un análisis transitorio en este caso comenzamos con 10s y muy importante la gravedad que es la fuerza que va estar actuando.

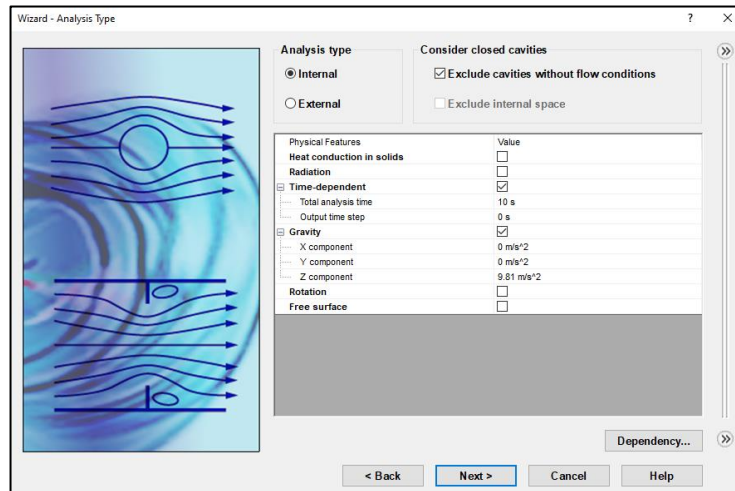


Figura 26. Tipo de análisis

Fuente: [Autor]

Paso 4. Seleccionar los fluidos que intervienen

Agregar los fluidos que van estar interviniendo dentro de los tubos de calor en este caso agua, vapor y para los ventiladores aire.

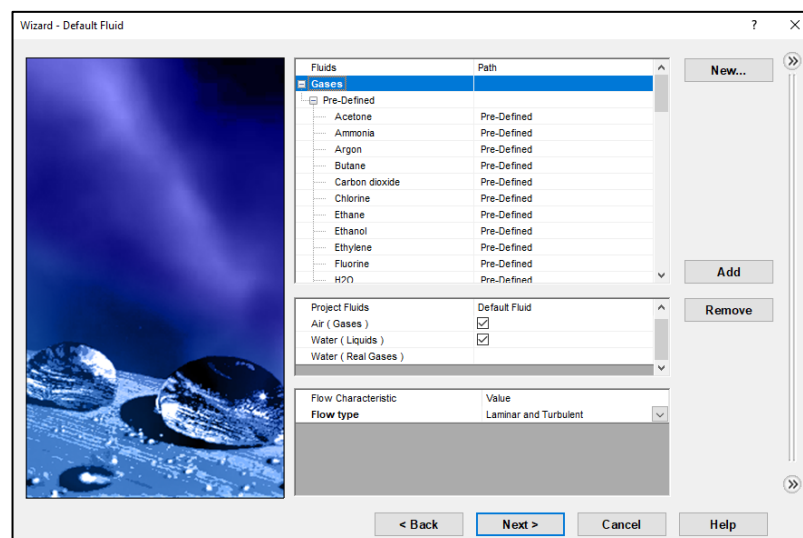


Figura 27. Fluidos que intervienen

Fuente: [Autor]

Paso 5. Parámetros del dominio computacional

En concentraciones todo lo que este dentro del dominio computacional se considere aire, la temperatura ambiente de 20 °C, la presión de una atmósfera 101325 Pa.

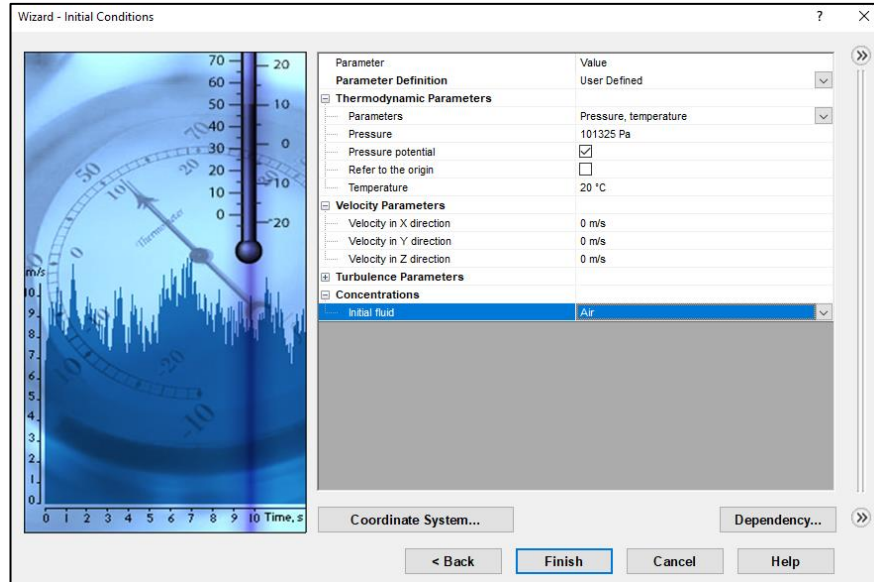


Figura 28. Parámetros del dominio computacional

Fuente: [Autor]

En “Computational Domain” editamos y cambiamos los valores en todos los ejes para que se mantenga parejo las dimensiones y ocultamos con “Hide” para tener mejor visualización en la modelación.

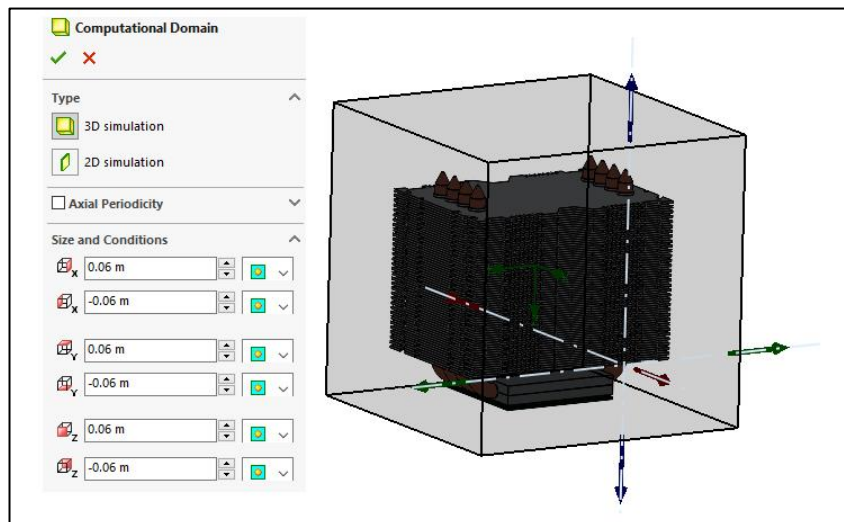


Figura 29. Medidas del dominio computacional

Fuente: [Autor]

Paso 6. Condiciones para el fluido de trabajo

Buscamos “Initial Condition” seleccionamos el sólido que se va considerar como fluido de trabajo, desactivar “disable solid components” para que no le considere un sólido y una región en la cual no pueda entrar el fluido y como fluido de trabajo seleccionar agua.

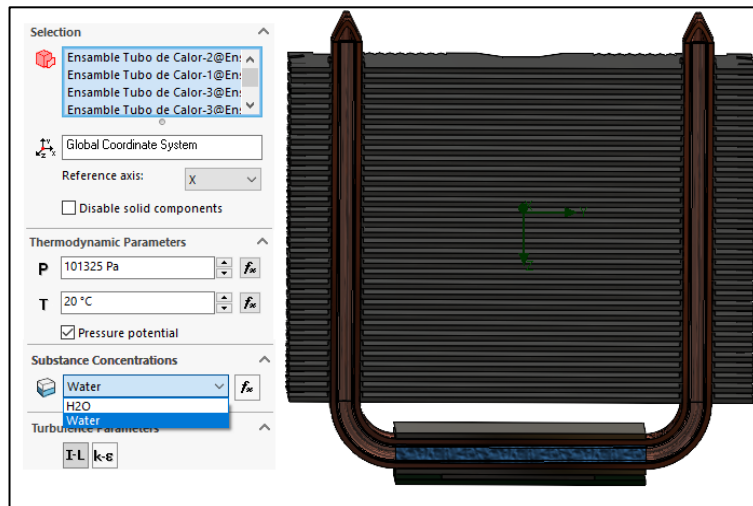


Figura 30. Condiciones para el fluido de trabajo

Fuente: [Autor]

Paso 7. Condiciones de cálculo para el fluido

En “Goals” insertamos la masa del fluido de trabajo y así determinar los resultados, sin embargo, se debe seleccionar los parámetros que se vayan a calcular, para que el tiempo de solución no se extienda demasiadas horas.

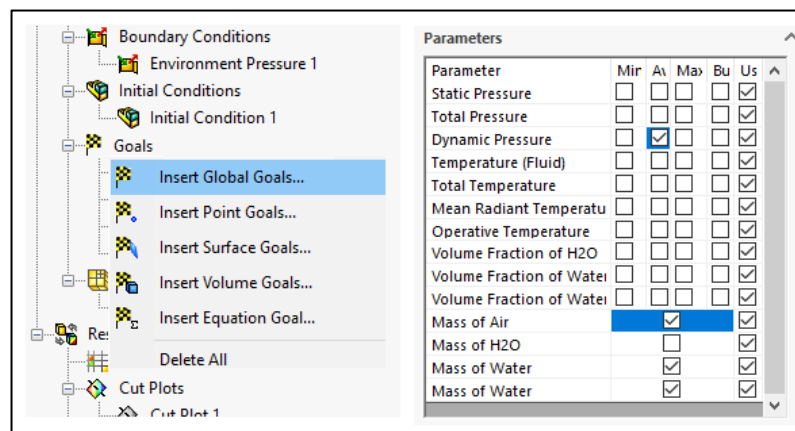


Figura 31. Condiciones de cálculo para el fluido

Fuente: [Autor]

2.6.1.2 Condiciones de transferencia de calor

Paso 1. Cambiar las condiciones de transferencia

En “General Settings” cambiar las condiciones de transferencia de calor para los sólidos y los demás componentes, el tipo de estudio será interno por el fluido de trabajo que se encuentra en su interior.

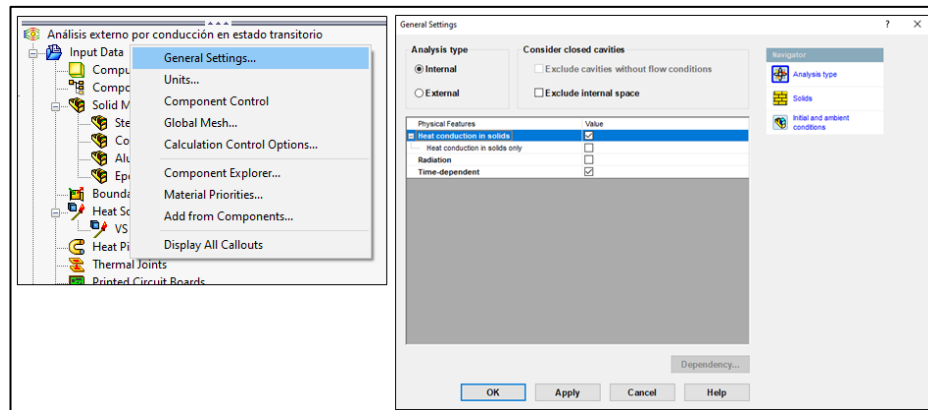


Figura 32. Condiciones de transferencia de calor

Fuente: [Autor]

Paso 2. Colocar el fluido

Colocamos el fluido dentro de los tubos en este caso agua como fluido de trabajo a condiciones normales.

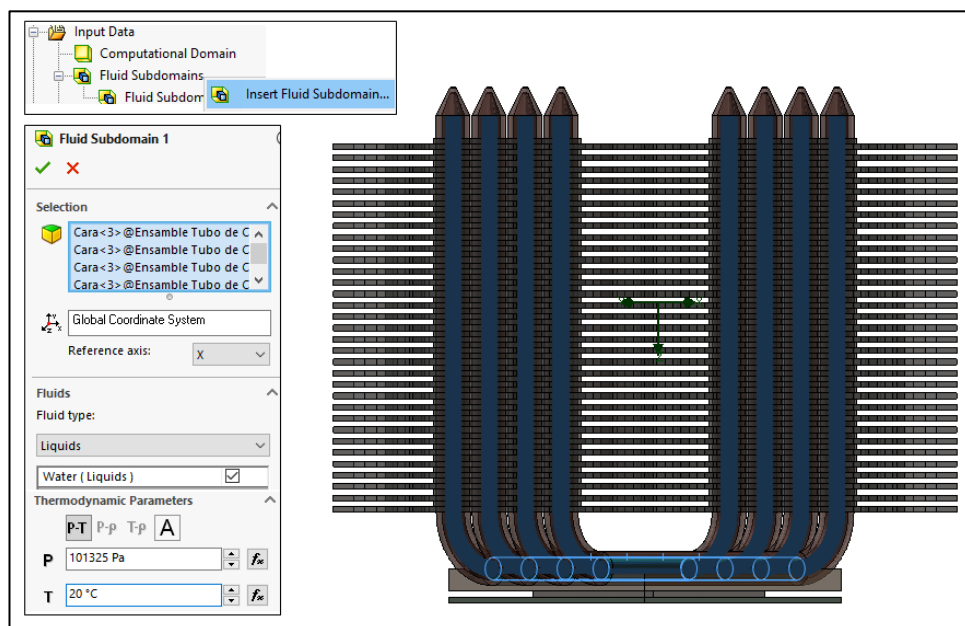


Figura 33. Fluido de trabajo

Fuente: [Autor]

Paso 3. Selección de materiales de los componentes

Seleccionamos los materiales de cada uno de los componentes, los materiales se elegirán de acuerdo a los resultados de la selección de alternativas, según lo mencionado los tubos de calor serán cobre, las aletas de aluminio.

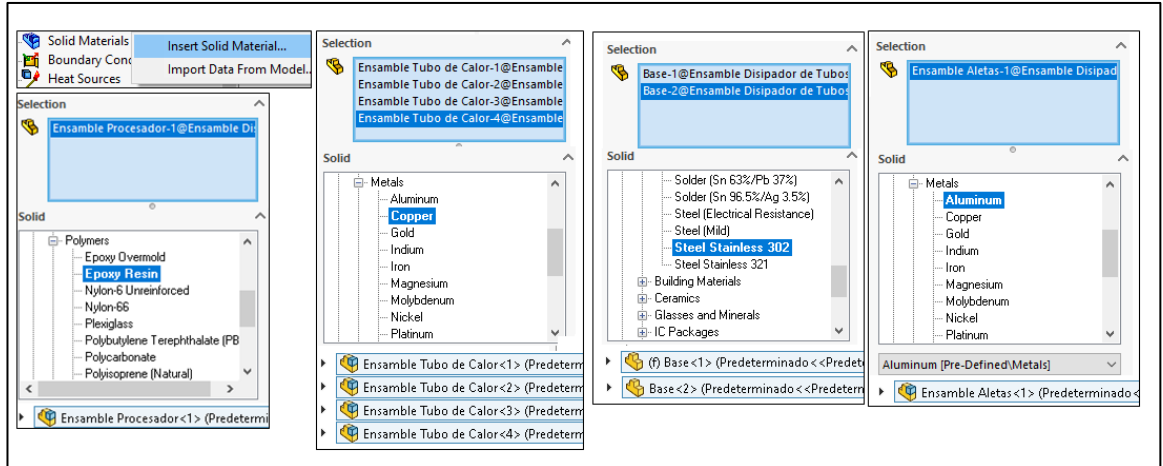


Figura 34. Selección de materiales

Fuente: [Autor]

Paso 4 Agregar una fuente de calor a la base

Para el análisis por conducción en estado transitorio ponemos la fuente de calor en “Heat Sources” que se genera en el procesador con una temperatura de 45°C la cual se dirige hacia a los demás componentes.

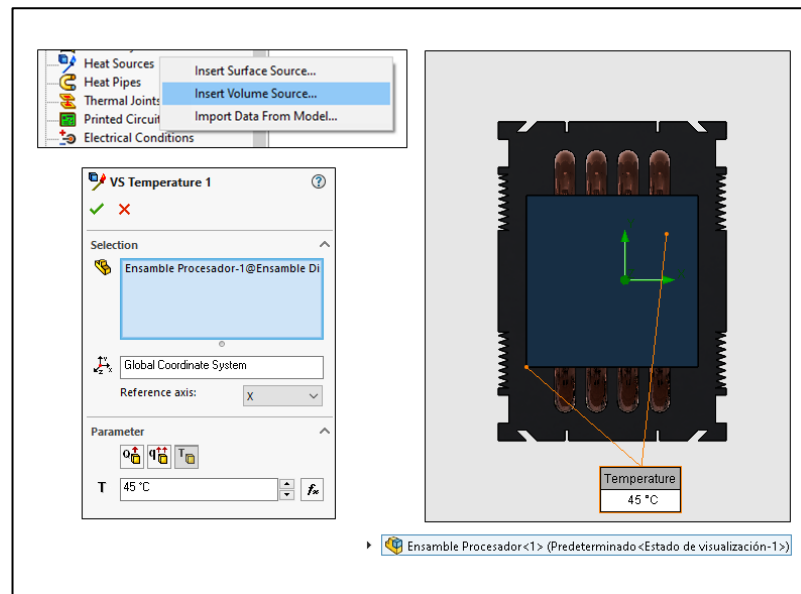


Figura 35. Fuente de calor en la base

Fuente: [Autor]

Paso 5. Condiciones de temperatura en las aletas

Colocamos las condiciones de temperaturas iniciales en las aletas de acuerdo a la velocidad del ventilador con un valor inicial de 20 °C.

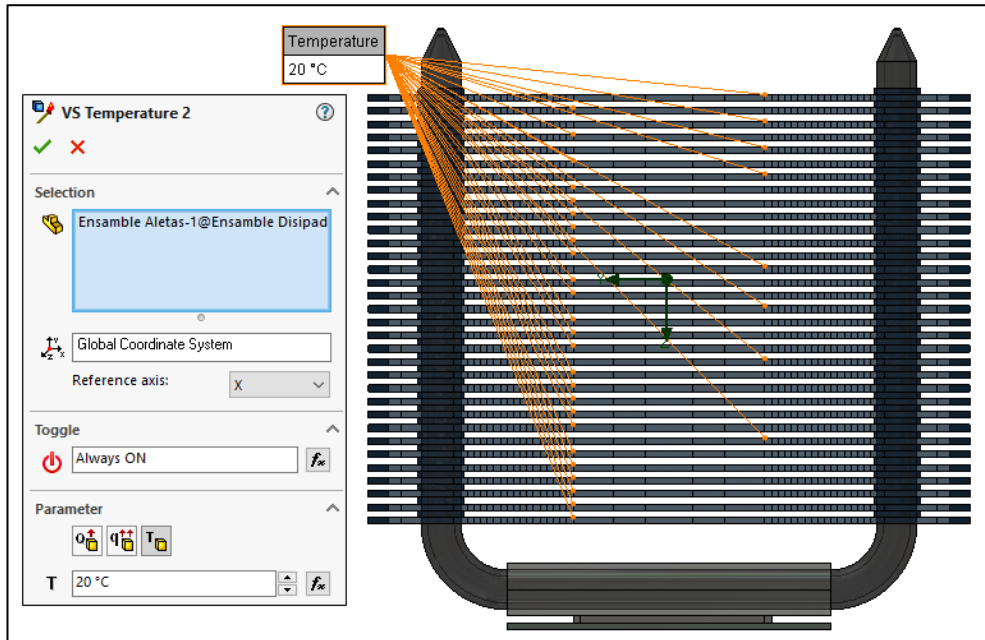


Figura 36. Temperaturas en las aletas

Fuente [Autor]

Paso 6. Asignar tiempos

Seleccionar “Physical Time” Poner el tiempo que se quiera simular, en este caso 60s, se puede jugar con los tiempos para observar el transcurso de la temperatura a medida que pasa el tiempo.

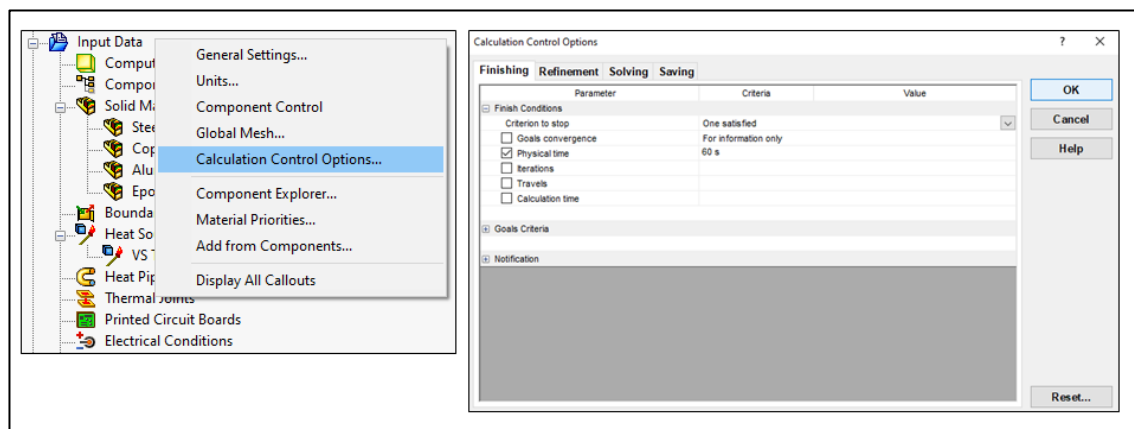


Figura 37. Tiempo de Simulación

Fuente: [Autor]

Paso 7. Captura de fotos del fenómeno

Poner en “solving” seleccionar la opción manual y asignar un tiempo, cada cuanto se quiere que tome una foto del fenómeno, en este caso 10 s.

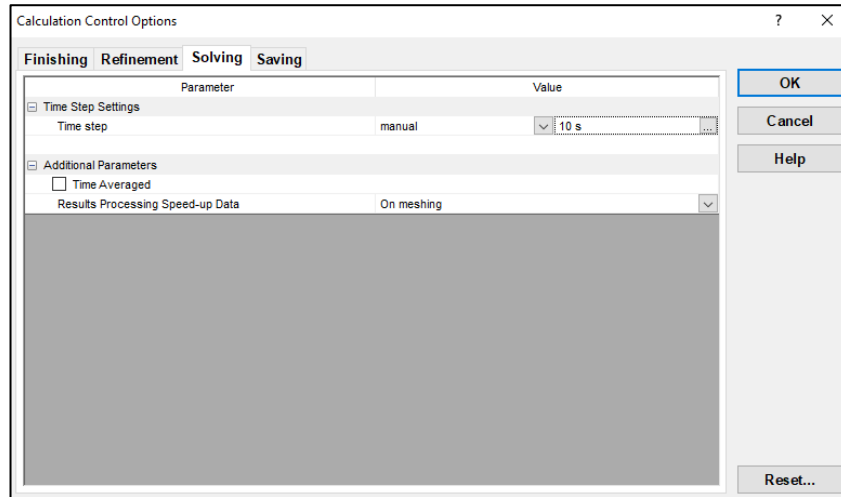


Figura 38. Solving fotos del fenómeno

Fuente: [Autor]

2.6.1.3 Condiciones del aire de ventilación

Paso 1. Fluido de ventilación

El ventilador donde ingresa el aire se encuentra en la parte inferior y el ventilador de la parte superior expulsa el aire, el aire se encuentra en condiciones normales.

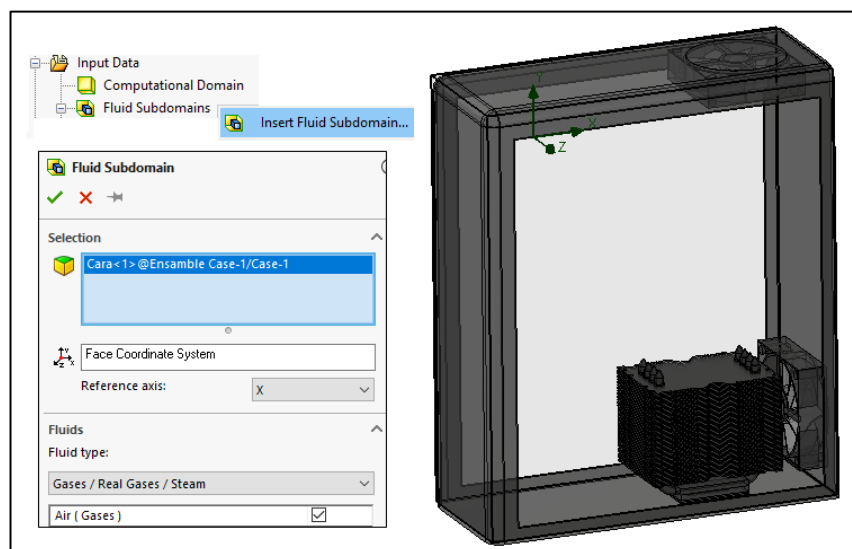


Figura 39. Fluido de ventilación

Fuente: [Autor]

Paso 2. Condiciones para el ingreso del aire

En “Inlet Volume Floww” configuramos la trayectoria del fluido del aire a condiciones normales para el primer ventilador donde va ingresar el aire.

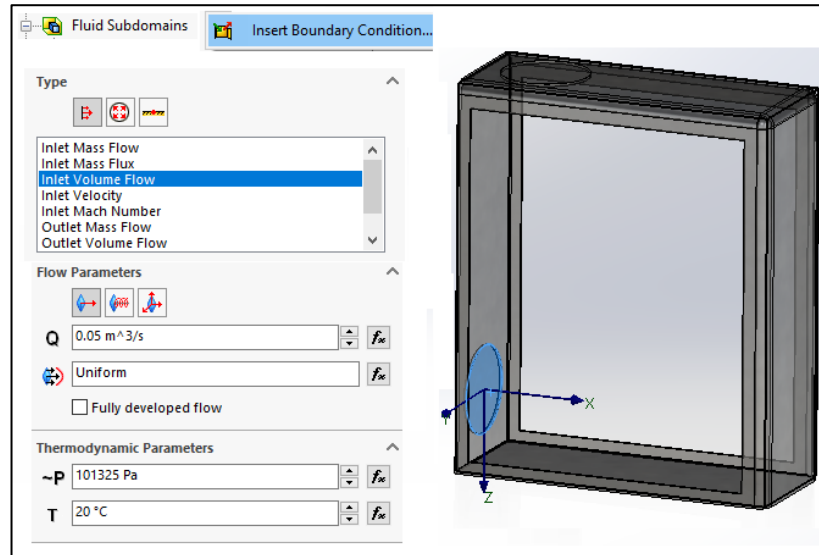


Figura 40. Ingreso del Aire

Fuente: [Autor]

Paso 3. Condiciones para la salida del aire

Las condiciones de frontera para la salida del aire configuramos en “Static Pressure” con una presión normal.

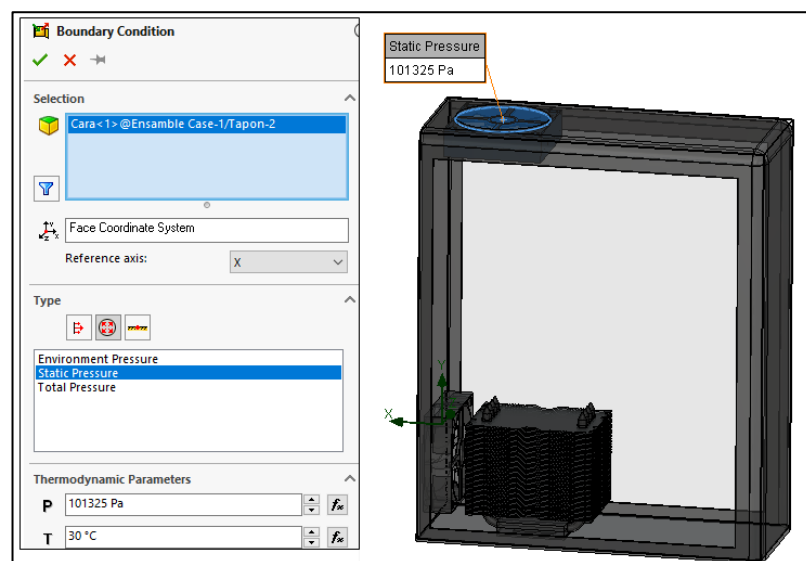


Figura 41. Salida del aire

Fuente: [Autor]

Paso 4. Condiciones para los resultados de ventilación

Seleccionar la parte de la salida del aire en condiciones de frontera para obtener los resultados de la trayectoria y habilitar “Volume Flow Rate” para visualizar la trayectoria del aire.

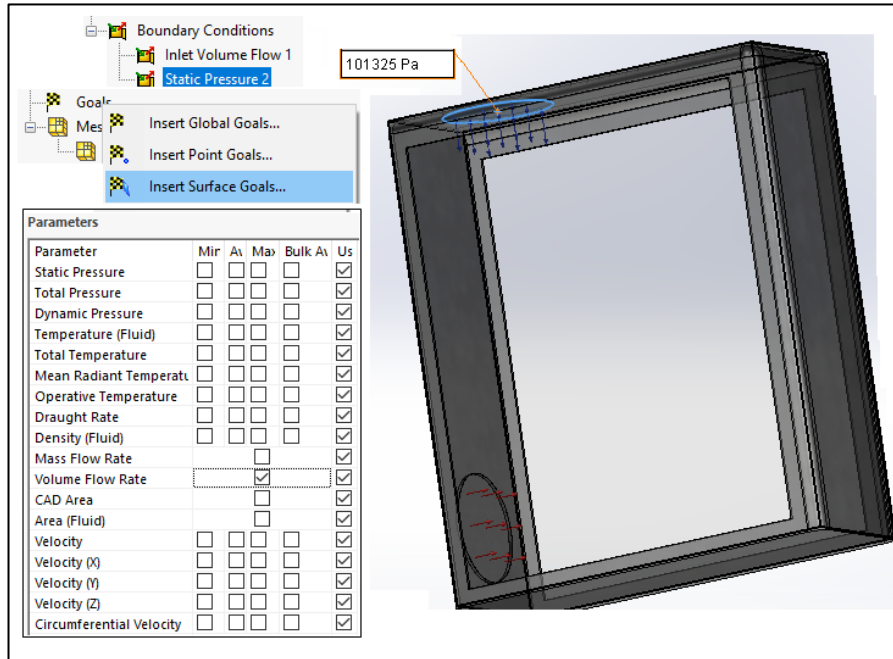


Figura 42. Condiciones para los resultados de ventilación

Fuente: [Autor]

Paso 5. Correr el análisis

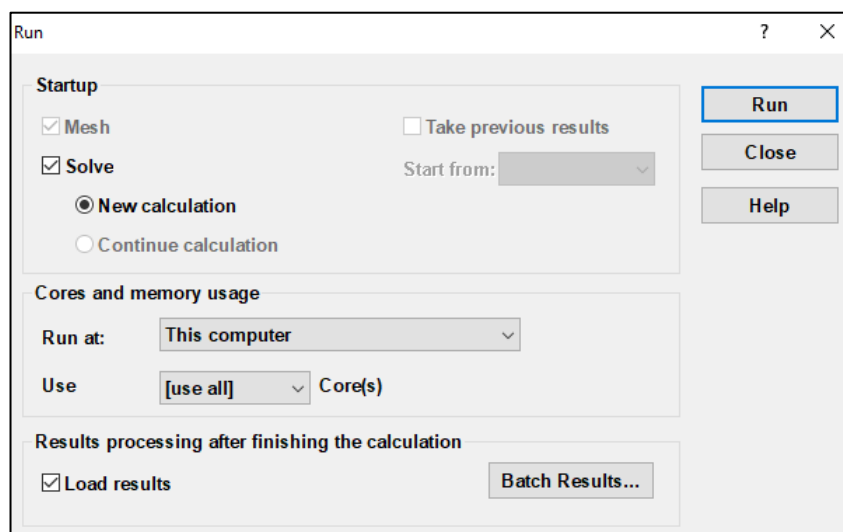


Figura 43. Correr el programa

Fuente: [Autor]

2.6.1.4 Resultados del análisis por conducción y convección en estado transitorio

Paso 1. Visualización de resultados

En “Transient Explorer” para visualizar con mejor calidad los gráficos, seguidamente en vista de sección y transparencia para ver lo que sucede internamente, donde ya es visible el fluido de trabajo.

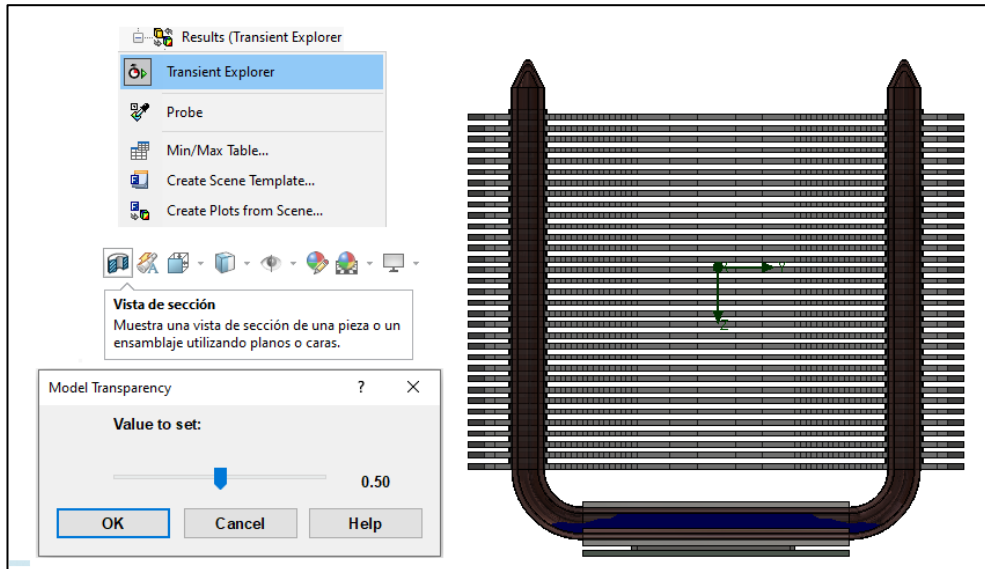


Figura 44. Visualización de resultados

Fuente: [Autor]

Paso 2. Proceso de evaporación y condensado del fluido de trabajo

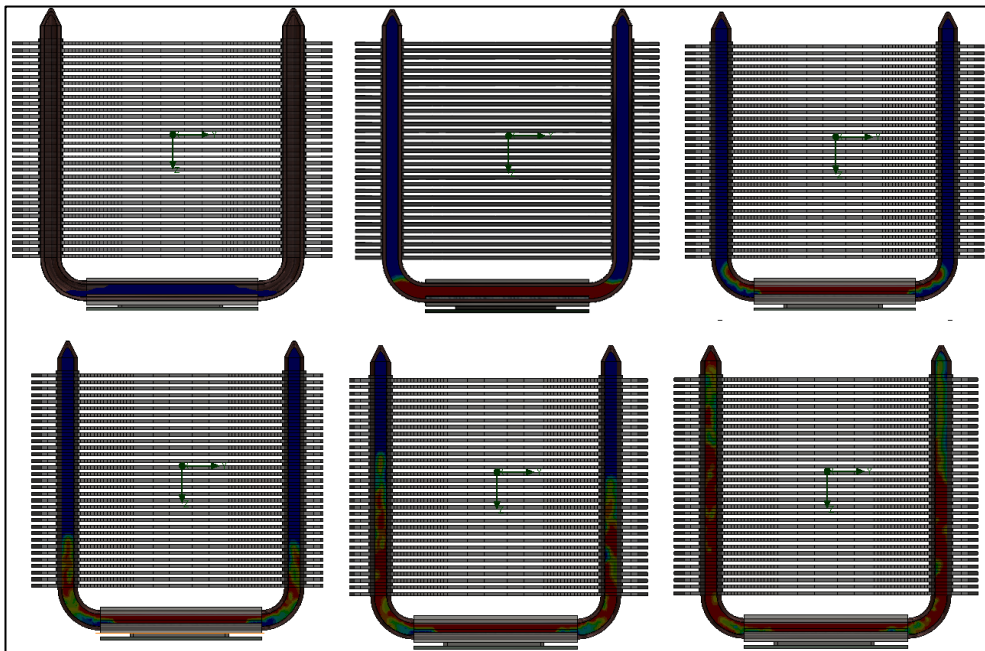


Figura 45. Proceso de evaporación y condensado

Fuente: [Autor]

Paso 3. Trayectoria del vapor y condensado

Las partículas rojas con dirección a los extremos del tubo es el vapor, las flechas azules que se dirigen hacia abajo es el condensado, que cumplen un ciclo térmico, en el momento que se calienta se evapora y al recibir el aire frío en las aletas se condensa.

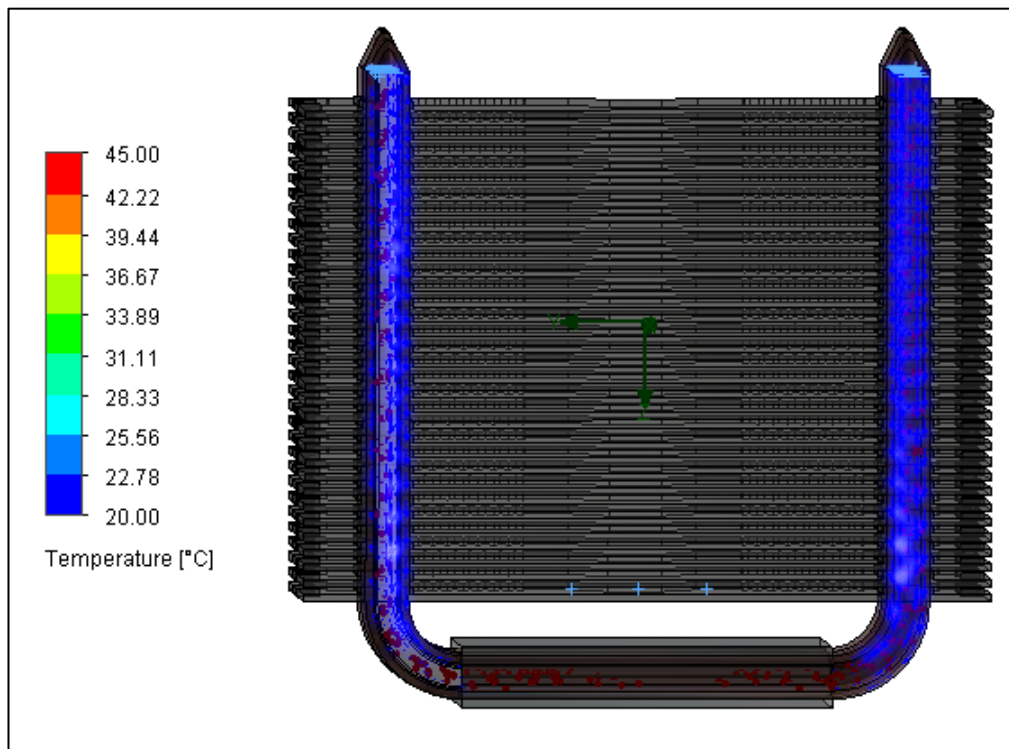


Figura 46. Trayectoria del vapor y condensado

Fuente: [Autor]

Paso 4. Temperaturas en el dissipador de tubos de calor

La temperatura comienza en el procesador dependiendo el tiempo de funcionamiento en este caso con 45 °C con un funcionamiento moderado, y la temperatura del ventilador a 20 °C para las aletas con una temperatura ambiente, se ha optado en tiempos de 10 s, 30 s, 1 min, 10 min, 30 min, 1 h, 5 h y 12 h, a medida que el tiempo ha transcurrido con las diferencias de temperaturas llega a un equilibrio térmico a los 30 min, cuando llega a ese tiempo las temperaturas ya no suben.

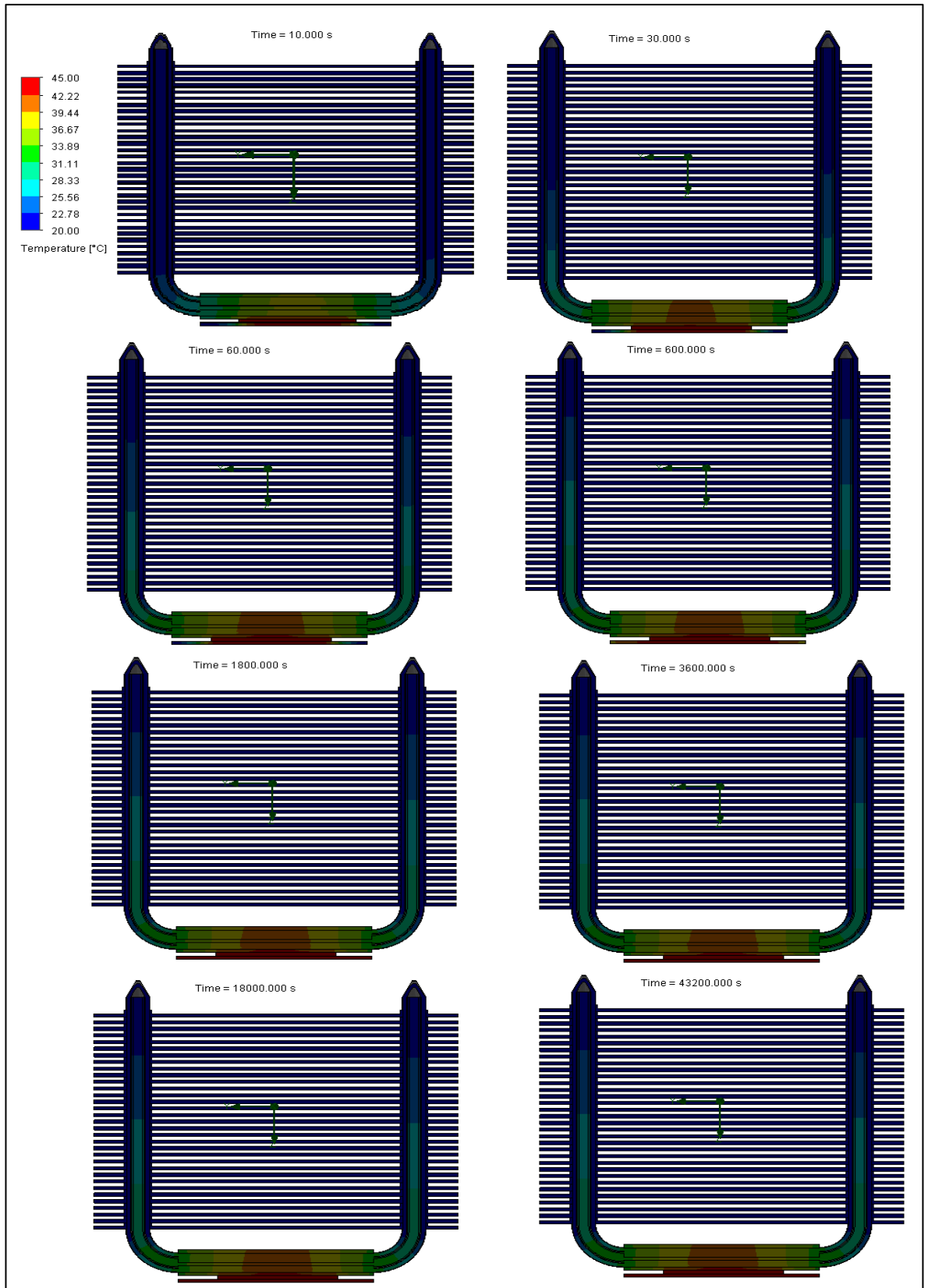


Figura 47. Temperaturas en el dissipador de tubos de calor

Fuente: [Autor]

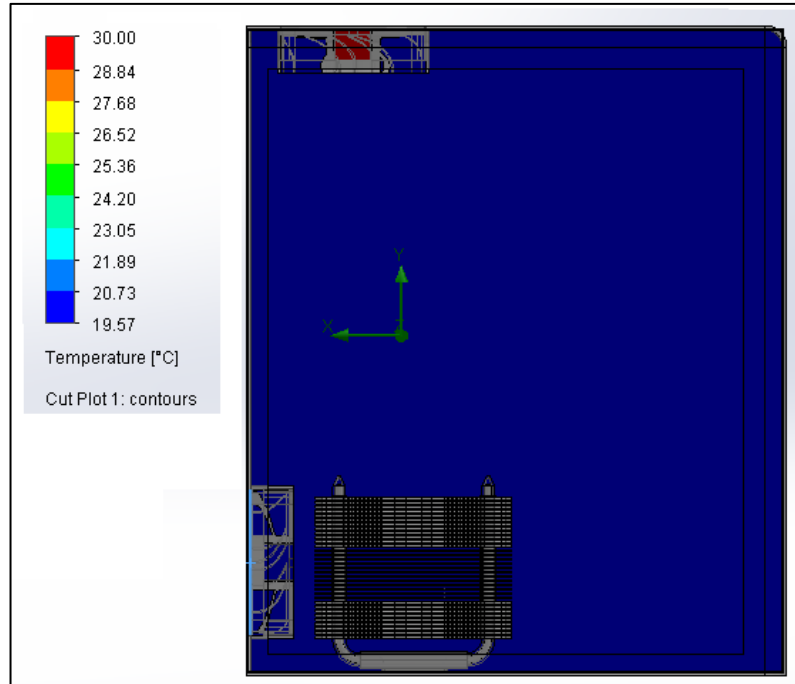


Figura 48. Temperaturas en el exterior del disipador de tubos de calor

Fuente: [Autor]

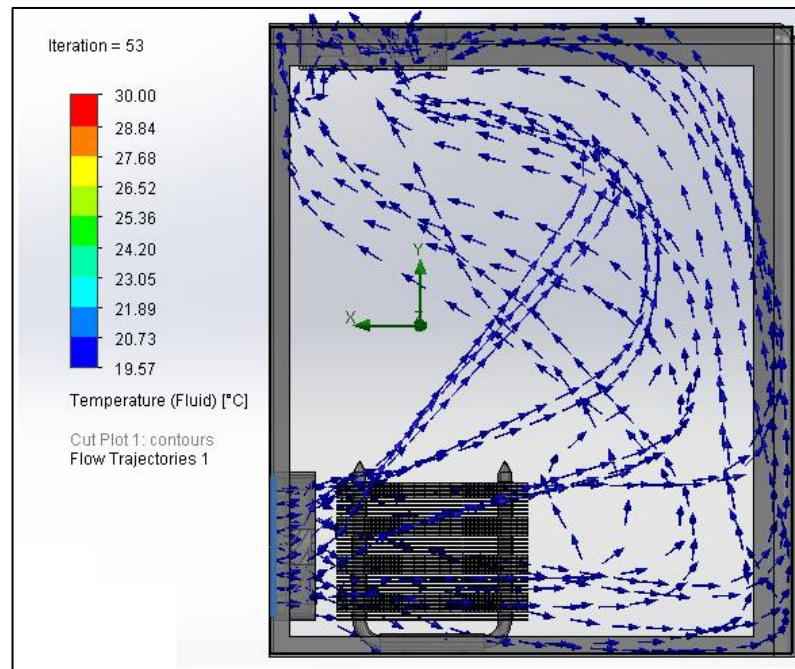


Figura 49. Trayectoria del aire

Fuente: [Auto]

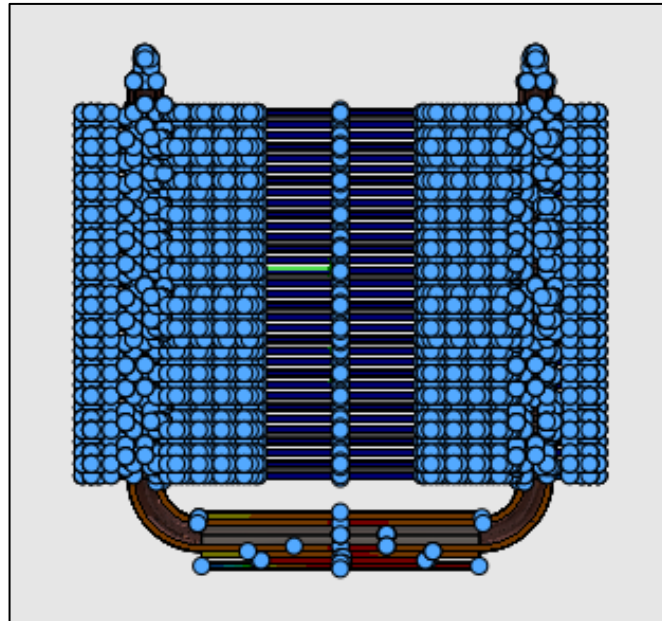


Figura 50. Puntos de temperatura

Fuente: [Autor]

Tabla 43. Valores en los Puntos de temperatura

Procesador			
X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperatura (Solid) [°C]
-0,00362	-0,00036	0,052	45
-0,00312	-0,00086	0,051	45
-0,00312	-0,00086	0,052	45
Base			
X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperatura (Solid) [°C]
-0,02412	-0,00036	0,047	28,0
-0,01262	-0,00036	0,047	37,3
0,00538	-0,00036	0,047	38,2
Tubos			
X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperatura (Solid) [°C]
-0,01764	0,03707	-0,02133	15,9
-0,00753	-0,0167	0,049911	30,0
-0,0076	0,03707	0,025333	25,5
Aletas			
X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperatura (Solid) [°C]
0,000733	0,03116	0,023667	19,32
-0,00827	0,03116	0,023667	19,29
-0,01727	0,03116	0,023667	19,09

Fuente: Autor

2.7 Simulación del disipador de calor con aletas

2.7.1 Análisis externo por conducción en estado estable en el disipador de calor con aletas

Paso 1. Verificar Volumen Externo

Verificar la geometría para que el programa pueda resolver, caso contrario si existen aberturas la simulación no llega a darse.

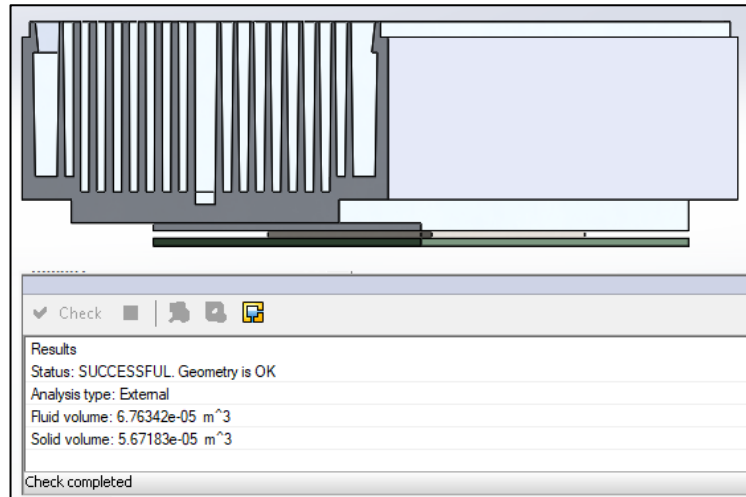


Figura 51. Volumen externo

Fuente: [Autor]

Paso 2. Asignar Unidades

Las unidades se recomiendan en sistema internacional para evitar la confusión durante el ingreso de datos y los resultados, la temperatura en grados Celsius

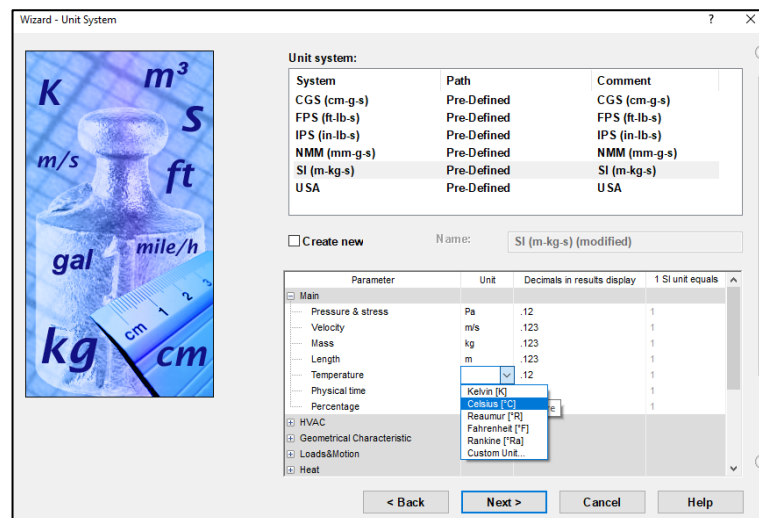


Figura 52. Unidades

Fuente: [Autor]

Paso 3. Seleccionar el tipo de análisis

Para un análisis por conducción seleccionamos “Heat conduction in solid only” y para que sea estable quitamos la dependencia del tiempo.

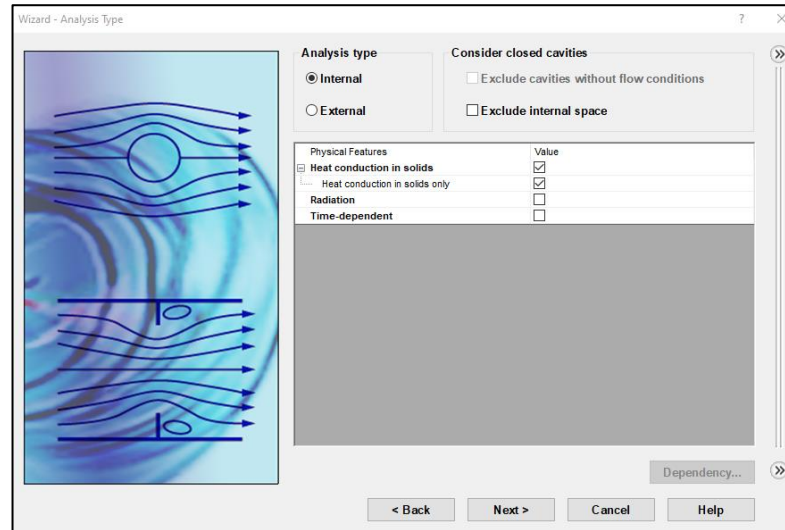


Figura 53. Tipo de análisis

Fuente: [Autor]

Paso 4. Asignar un material por defecto

Seleccionar el tipo de material que va estar analizándose, en este caso las aletas son de aluminio.

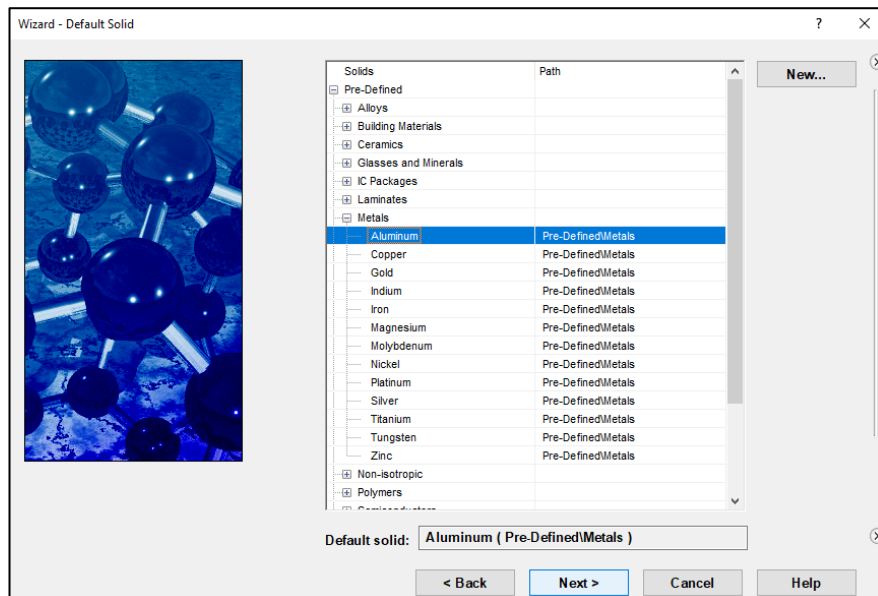


Figura 54. Material por defecto

Fuente: [Autor]

Paso 5. Ingresar una temperatura inicial

Para ingresar la temperatura se estableció un valor promedio de 45 °C que va permanecer en un rango normal de funcionamiento, para conceptos de estudio este valor se va ir cambiando para observar los cambios y fenómenos que se presenten.

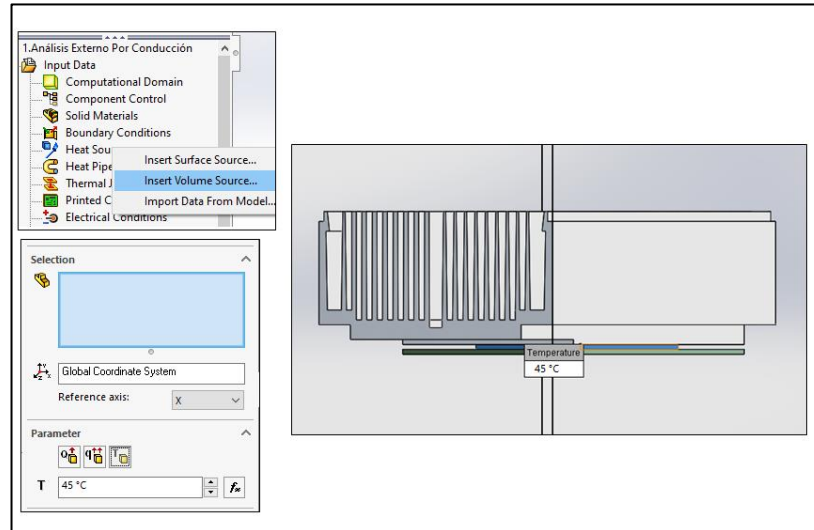


Figura 55. Temperatura inicial

Fuente: [Autor]

Paso 6. Asignar materiales

Seleccionar los materiales que van estar interviniendo en el análisis y el estudio, en este caso el aluminio para las aletas el acero y la resina epoxi para el procesador.

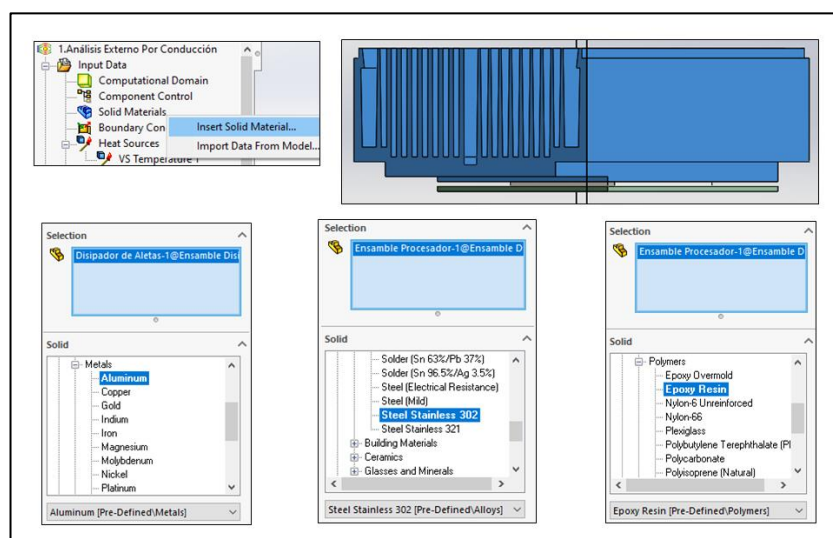


Figura 56. Materiales del disipador con aletas

Fuente: [Autores]

Paso 7. Ejecutar Análisis

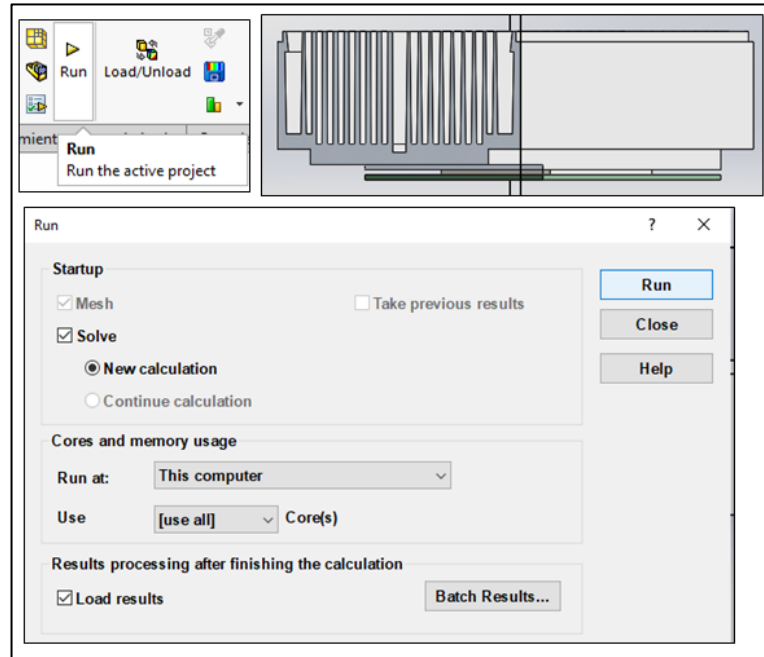


Figura 57. Análisis del programa

Fuente: [Autor]

Paso 8. Vistas para resultados

Asignar una vista plana y Aplicar Transparencia para observar lo que sucede internamente.

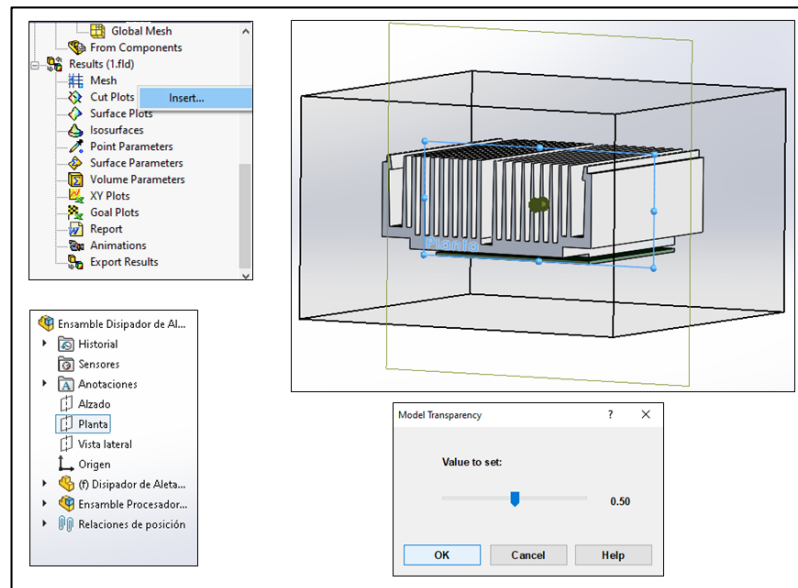


Figura 58. Vista plana

Fuente: [Autor]

Paso 9. Resultados del análisis del disipador con aletas por conducción en estado estable

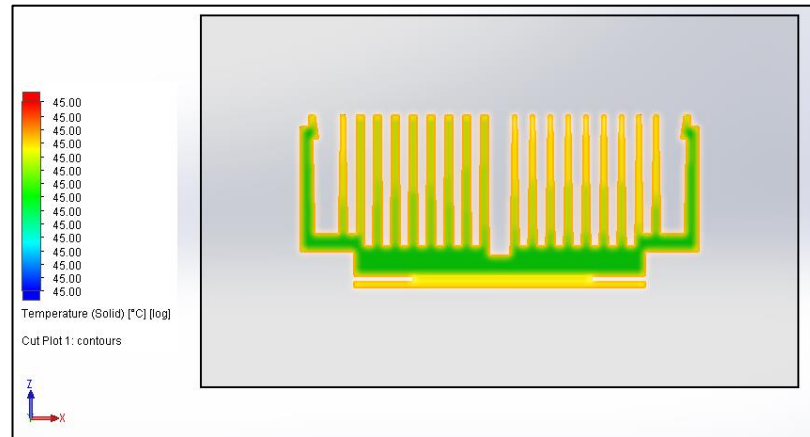


Figura 59. Resultados por conducción estable

Fuente. [Autor]

2.7.2 Análisis externo por conducción en estado transitorio en el disipador de calor con aletas

Paso 1. Cambiar el estudio ha estado transitorio

Cambiar el tipo de estudio para observar durante el tiempo que ocurre con la temperatura, en este caso habilitamos la dependencia del tiempo.

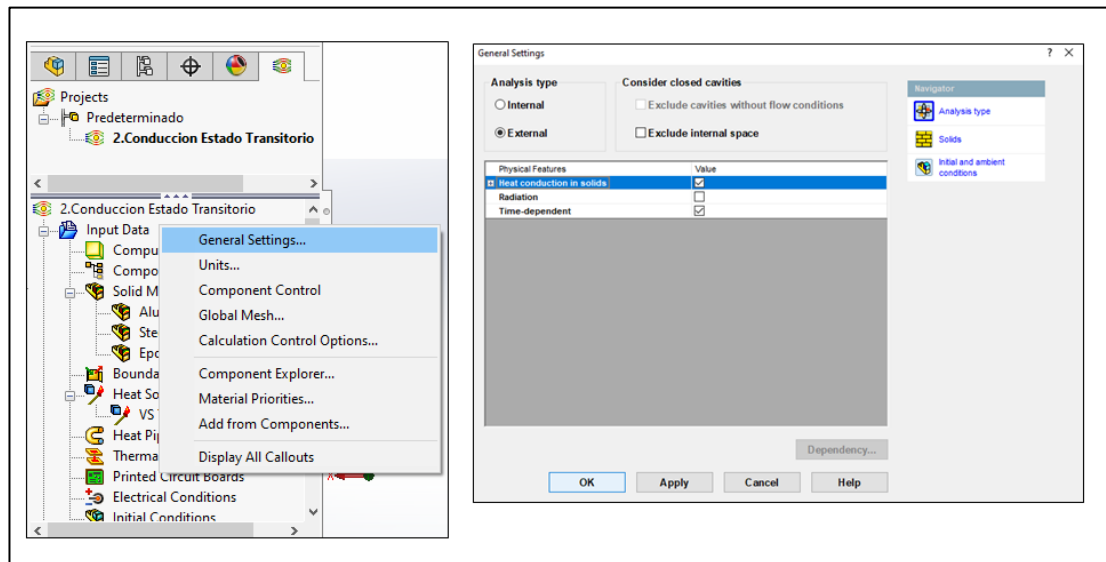


Figura 60. Estudio transitorio

Fuente: [Autor]

Paso 2. Asignar un tiempo

Asignar un tiempo para este estudio comenzamos con 60 s, podemos ir cambiando hasta que llegue a la convergencia a un equilibrio térmico en un tiempo estimado.

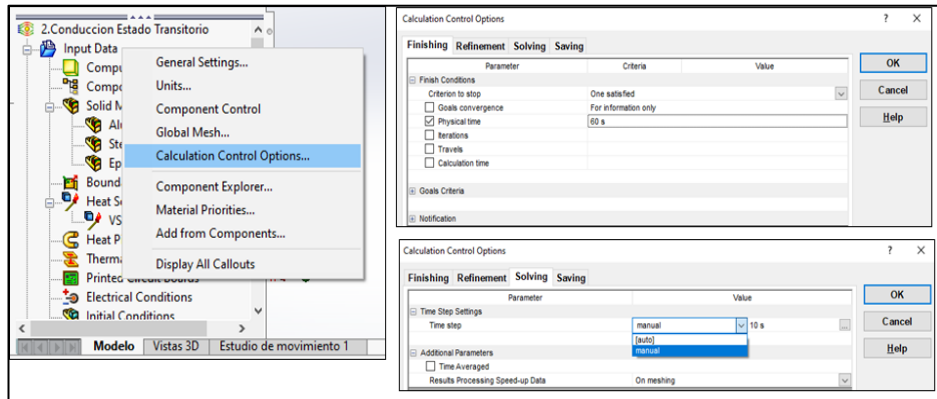


Figura 61. Tiempos para el estado transitorio

Fuente: [Autor]

Paso 3. Resultados

Ejecutar el proyecto para el estudio, aplicar una vista plana y aplicar transparencia facilitando la observación del fenómeno.

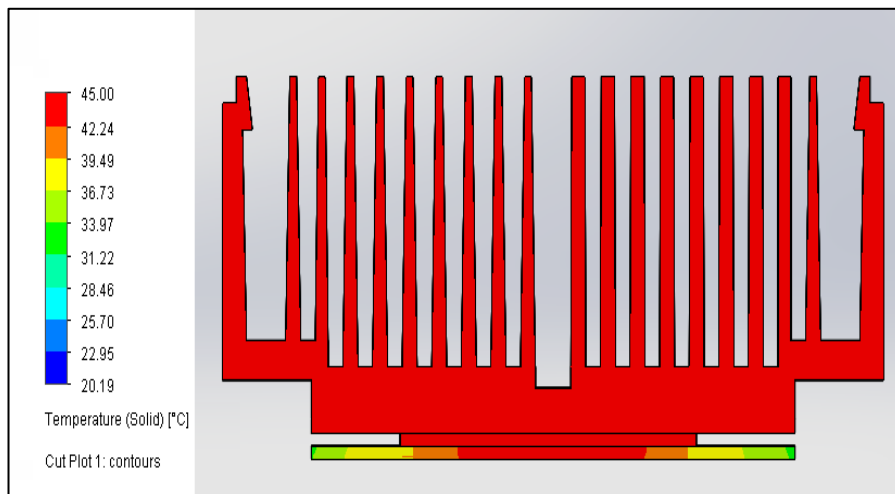


Figura 62. Resultados de análisis por convección en estado transitorio

Fuente: [Autor]

2.7.3 Análisis por conducción y convección en estado transitorio en el disipador de calor con aletas

Paso 1. Cambiar el estudio a análisis externo y asignar gravedad

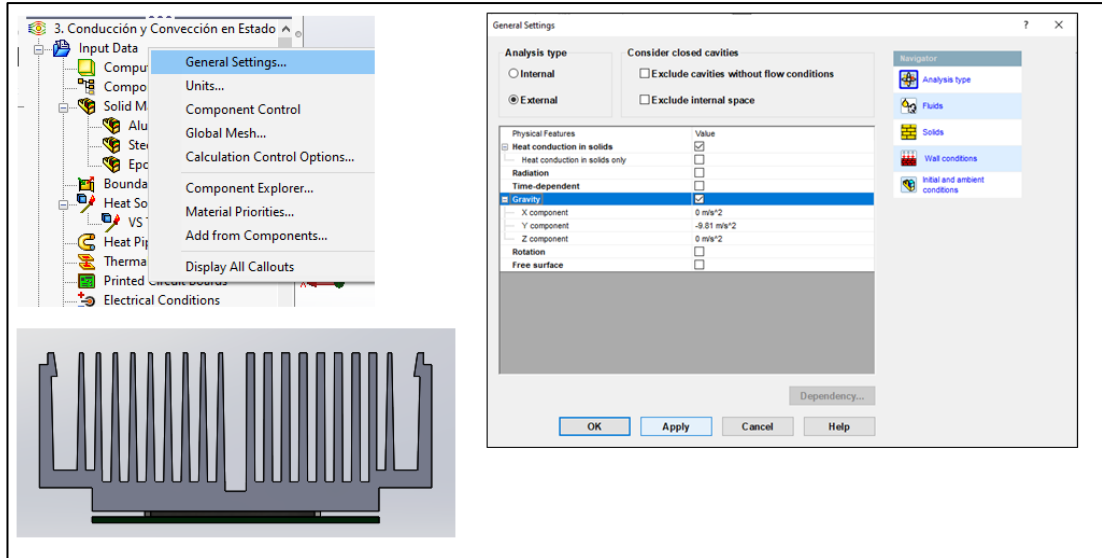


Figura 63. Análisis externo

Fuente: [Autor]

Paso 2. Asignar un fluido para el exterior, en este caso aire

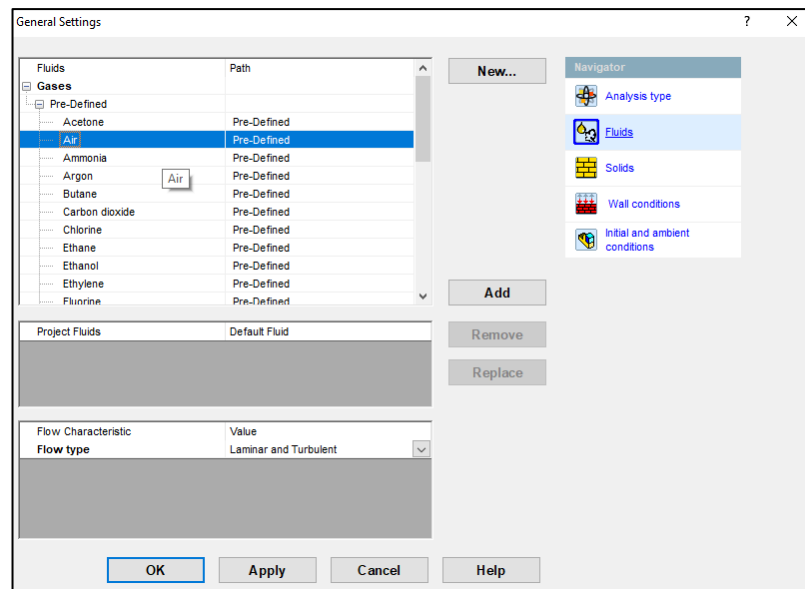


Figura 64. Flujo de aire en el exterior

Fuente: [Autor]

Paso 3. Asignar aire al exterior del disipador

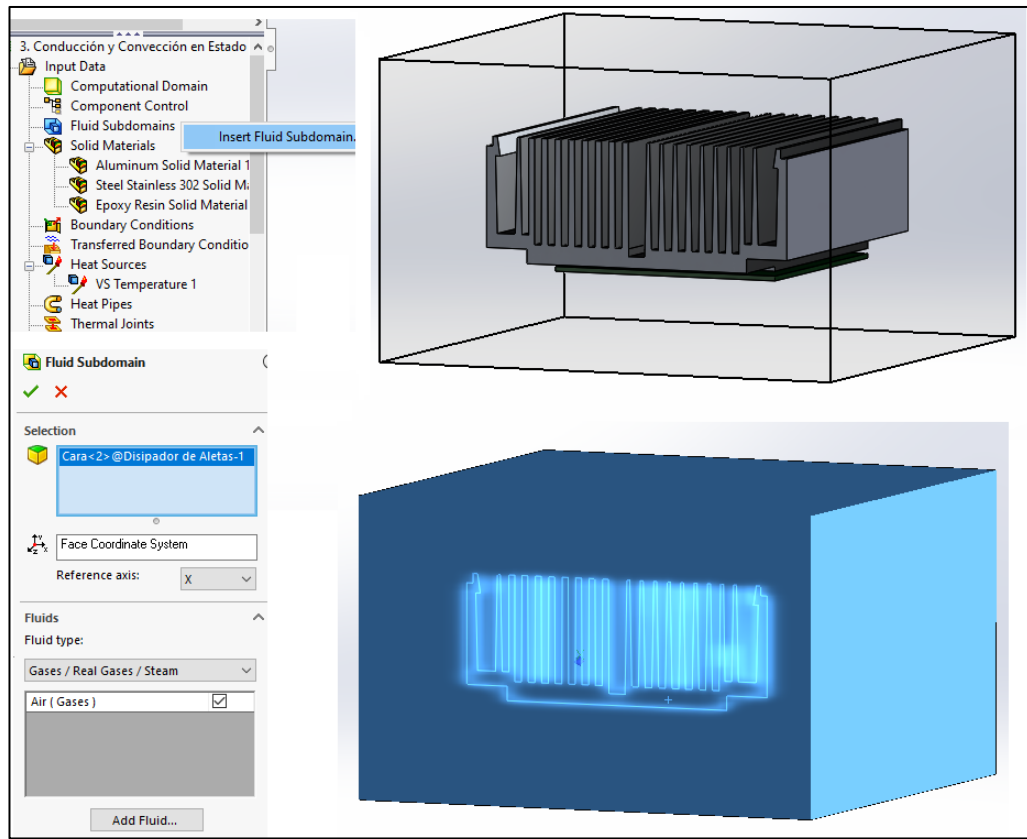


Figura 65. Aire en el exterior del disipador

Fuente: [Autor]

Paso 4. Ejecutar el estudio con los nuevos parámetros para el análisis externo por conducción y convección en estado transitorio

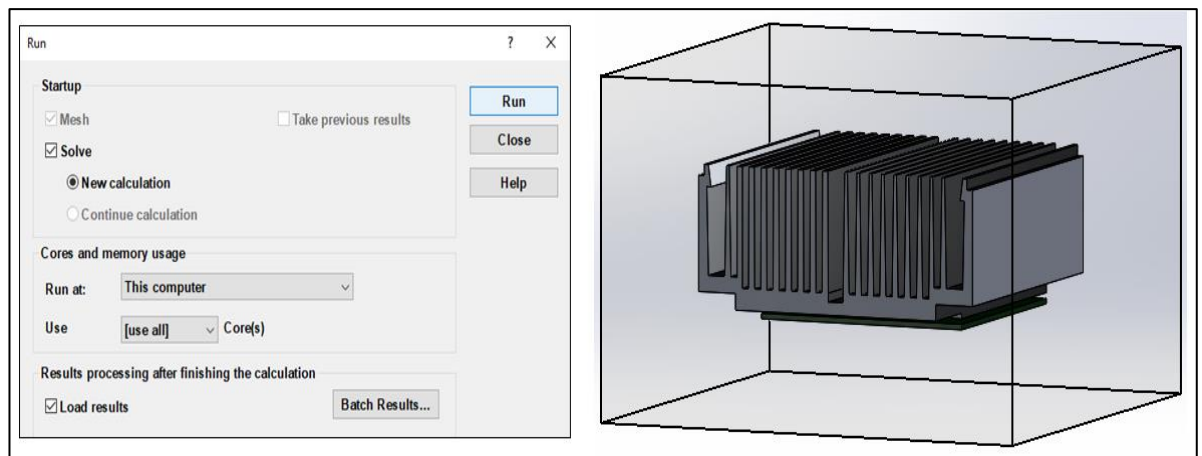


Figura 66. Nuevo estudio por conducción y convección

Fuente: [Autor]

Paso 5. Insertar una vista plana y una transparencia para observar el fenómeno

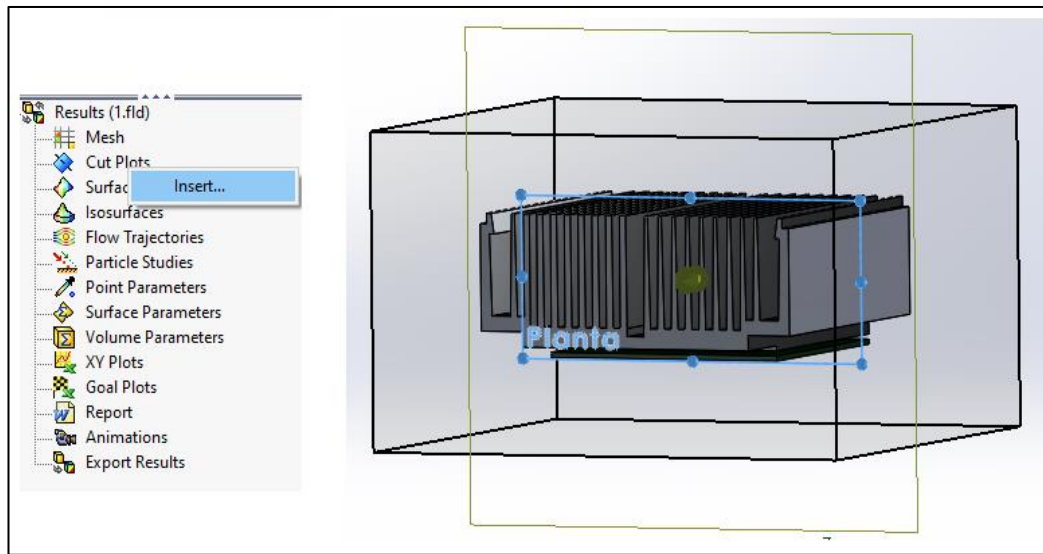


Figura 67. Vista y transparencia

Fuente: [Autor]

Paso 6. Resultados del análisis por conducción y convección en estado transitorio

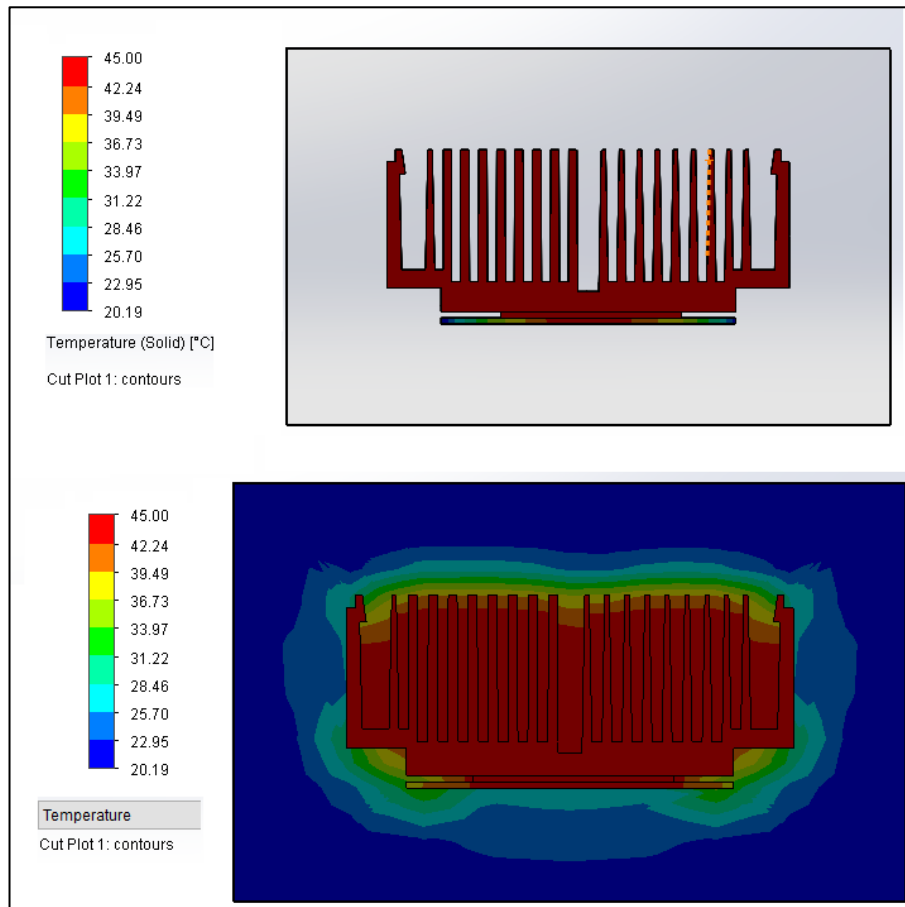


Figura 68. Resultados análisis por conducción y convección

Fuente: [Autor]

2.7.4 Análisis por conducción y convección con el ventilador en el disipador de calor con aletas

Paso 1. Ensamblar el ventilador con el disipador de aletas para el nuevo estudio

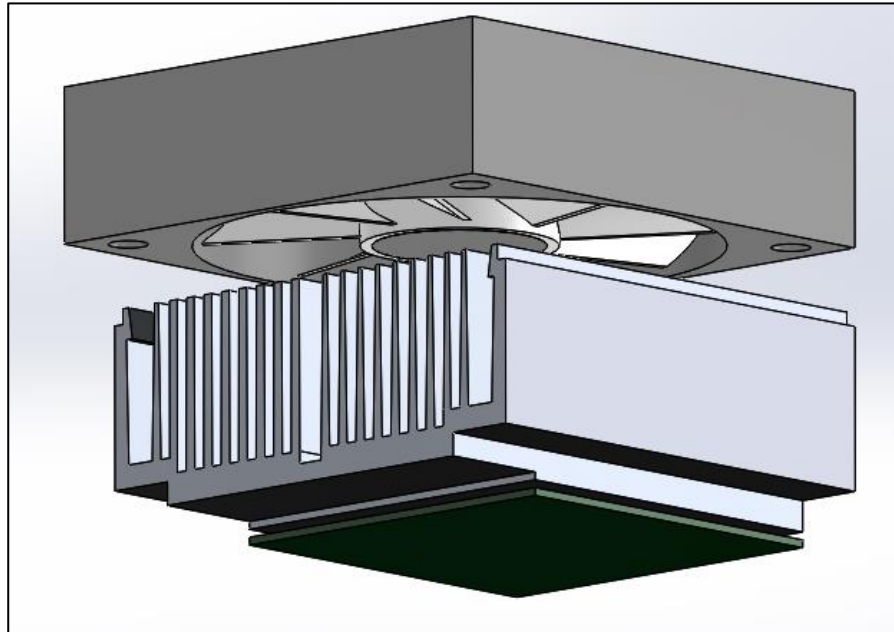


Figura 69. Ensamble con el ventilador

Fuente: [Autor]

Paso 2. Asignar un nuevo dominio computacional

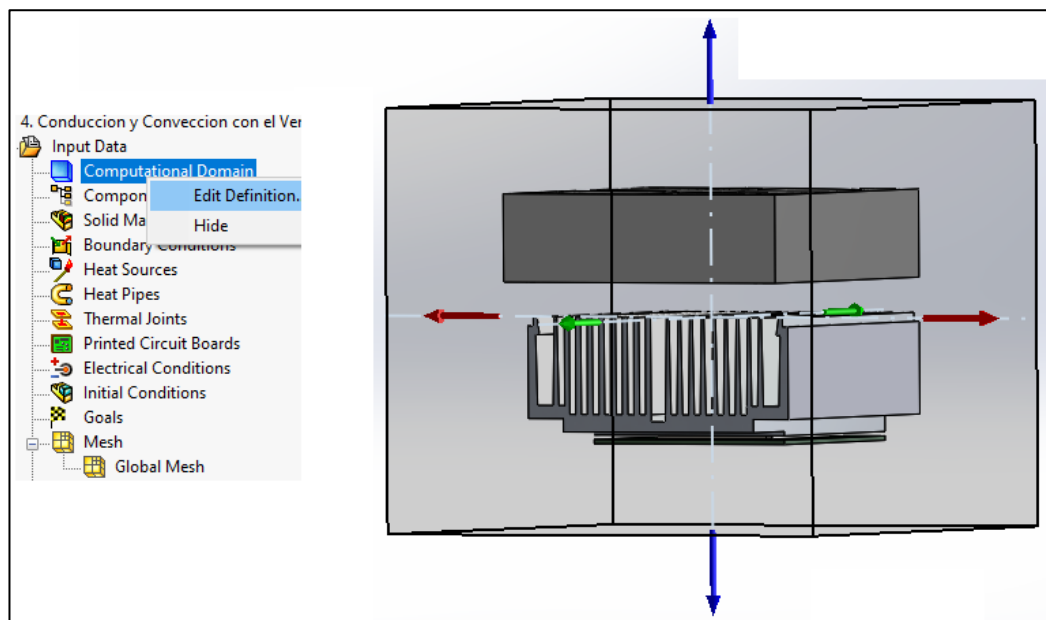


Figura 70. Nuevo dominio computacional

Fuente: [Autor]

Paso 3. Asignar el tipo de análisis externo para este estudio que es el análisis por conducción y convección en el dissipador con aletas con el ventilador

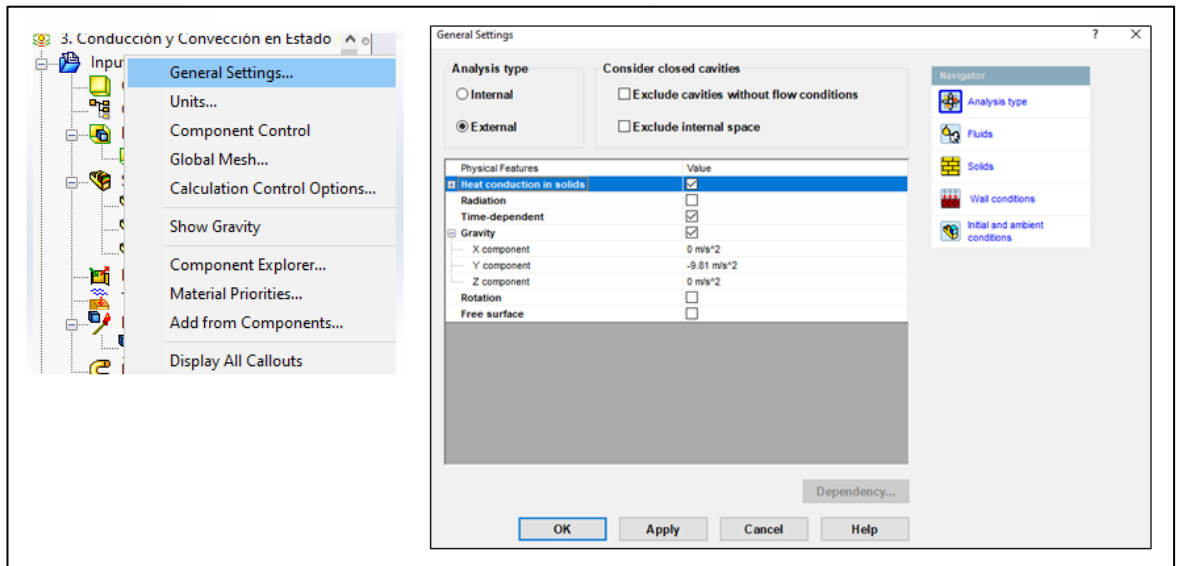


Figura 71. Análisis por conducción y convección con el ventilador

Fuente: [Autor]

Paso 4. Asignar las condiciones para el ventilador

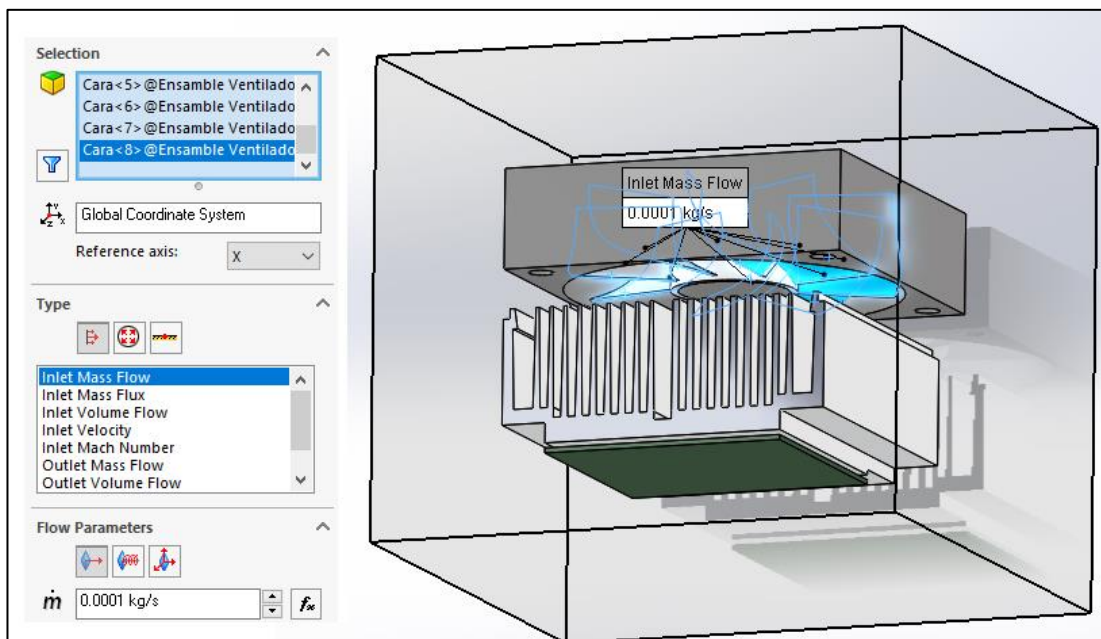


Figura 72. Condiciones para el ventilador

Fuente: [Autor]

Paso 5. Colocar las revoluciones del ventilador en este caso 1800 r.p.m y velocidad del aire 0.5 m/s

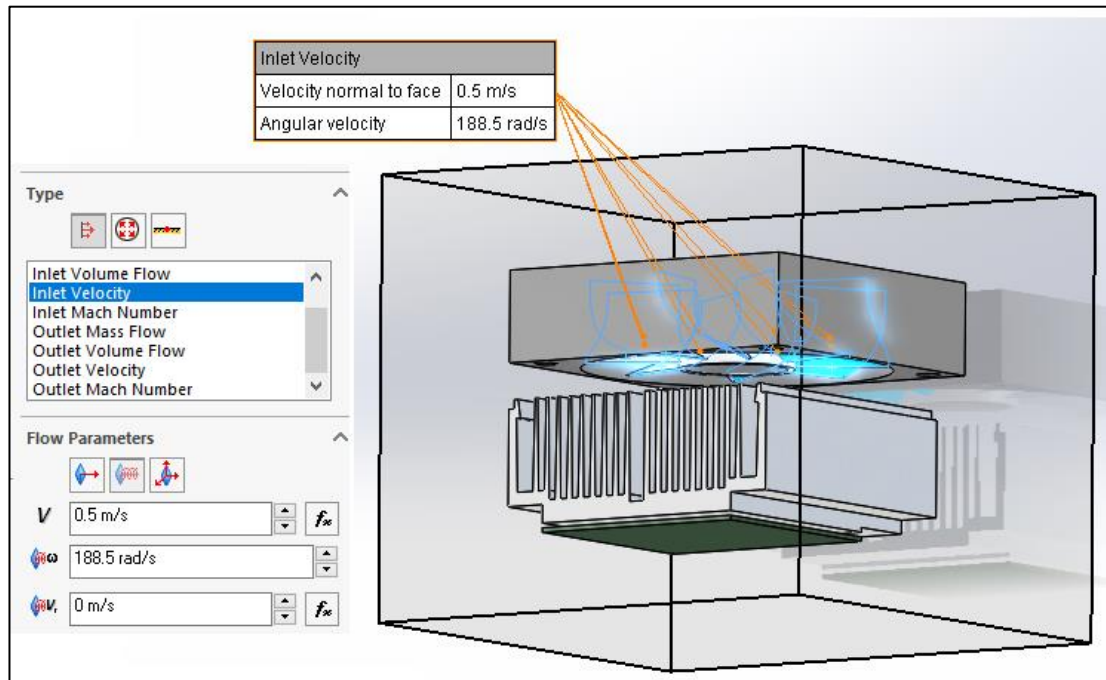


Figura 73. Revoluciones del ventilador

Fuente: [Autor]

Paso 6. Ejecutar y aplicar la dirección del flujo del aire, se puede observar la trayectoria del aire hacia el dissipador de calor con aletas que va cumplir la función de disipar el calor de las aletas.

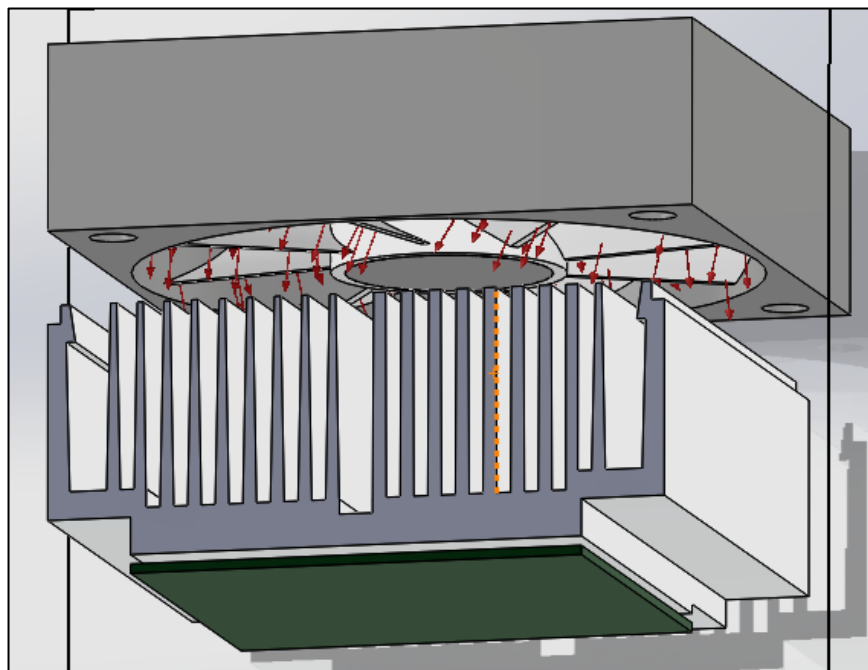


Figura 74. Dirección del aire

Fuente: [Autor]

Paso 12. Resultados, se puede apreciar las temperaturas que siguen ascendiendo durante el pasar del tiempo en su momento inicial hasta llegar a la convergencia, los tiempos son desde el inicio con intervalos de 1 min, 5 min y hora, después de una hora llegan al equilibrio térmico

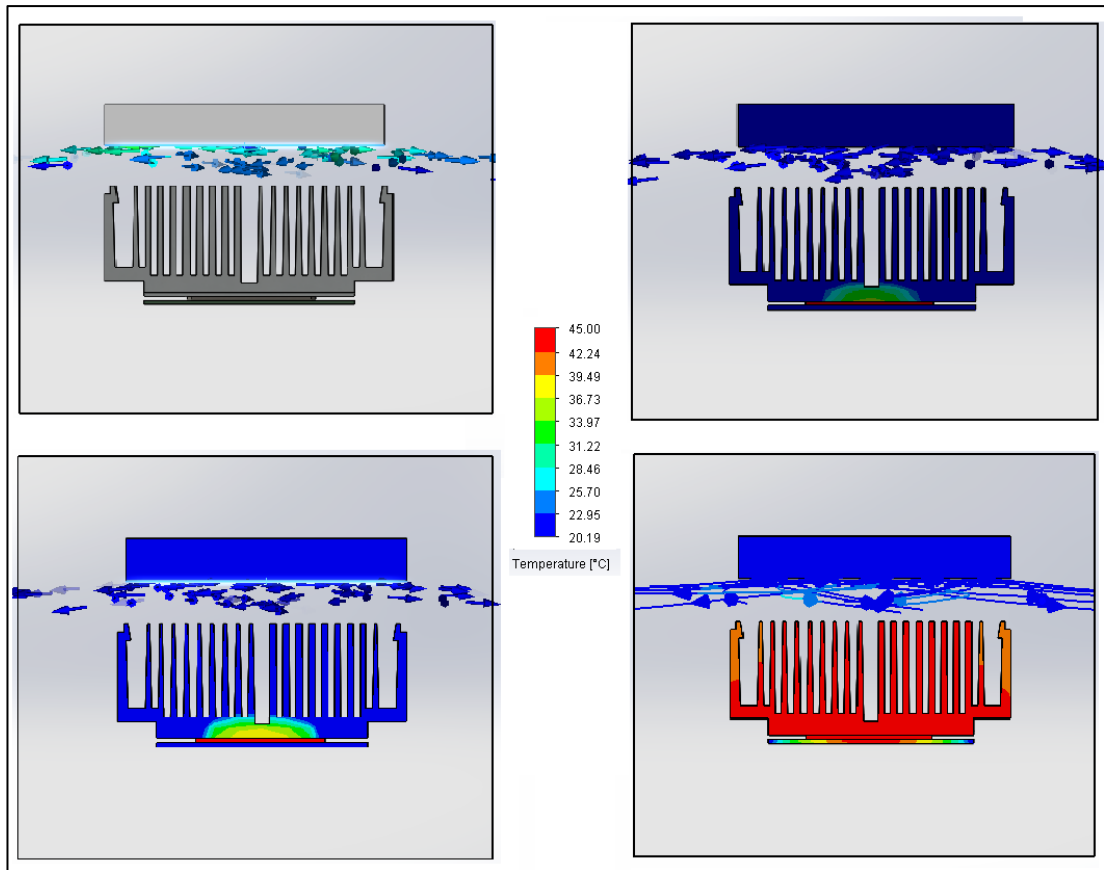


Figura 75. Resultados obtenidos en una hora

Fuente: [Autor]

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Volumen del fluido de trabajo

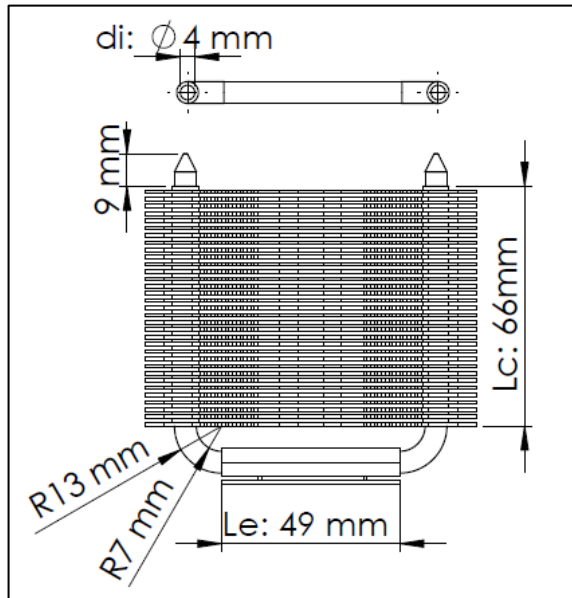


Figura 76. Medidas del disipador

Fuente: [Autor]

Tabla 44. Dimensiones de la mecha

Dimensiones de la mecha	Símbolo	Valor
Tamaño de la malla	N	80
Número de capas	-	1
Espesor de la mecha	t_w	0.0012 (m)
Diámetro del alambre de la malla	d_w	0.00012 (m)
Diámetro de vapor	d_v	0.0111 (m)
Área de vapor	A_v	9.5×10^{-5} (m ²)
Área de sección de la mecha	A_w	4.6×10^{-5} (m ²)

Fuente: [14]

d_i : 4 mm

L_a : 10 mm

L_c : 66 mm

L_e : 49 mm

A_w : 46 mm²

ε : 0.68

$$V_l > 0.001d_i^2(L_a + L_c) + (A_wL_e\varepsilon) \quad \text{Ecuación (3. 1)}$$

$$V_l > 0.001 * (4mm)^2(10mm + 66mm) + (46mm^2 * 49mm * 0.68)$$

$$V_l > 1533.936 \text{ mm}^3$$

$$V_l > (1533.936 \text{ mm}^3 * 20\%) + 1533.936 \text{ mm}^3$$

$$V_l = 1840.7232 \text{ mm}^3$$

$$V_l = 1.84 \text{ cm}^3$$

$$V_l = \mathbf{1.84 \text{ ml}}$$

Cuando:

V_l : Volumen del fluido de trabajo (m³)

d_i : Diámetro interno del tubo (m)

L_a : Longitud adiabática (m)

L_c : Longitud del condensador (m)

L_e : Longitud del evaporador (m)

A_w : Área transversal de la mecha (m²)

ε : Porosidad de la mecha (adimensional)

3.2 Porosidad de la mecha

N: 80/3150 m⁻¹

d_w : 0.00012 m

$$\varepsilon = 1 - \frac{1.05\pi N d_w}{4} \quad \text{Ecuación (3. 2)}$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1.05\pi * 3150 * 0.00012m}{4m}$$

$$\varepsilon = \mathbf{0.68}$$

Cuando:

ε : Porosidad de la mecha (adimensional)

N : Número de malla

A_w : Área transversal de la mecha (m^2)

3.3 Permeabilidad de la mecha

d_w : 0.00012 m

ε : 0.68

$$K = \frac{d_w^2 \varepsilon^3}{122 - (1 - \varepsilon)^2} \quad \text{Ecuación (3. 3)}$$

$$K = \frac{(0.00012m)^2 0.68^3}{122 - (1 - 0.68)^2}$$

$$K = \mathbf{3.714 \times 10^{-11} m^2}$$

3.4 Radio capilar

$N = 80/3150 m^{-1}$

$$r_{c,e} = \frac{1}{2N} \quad \text{Ecuación (3. 4)}$$

$$r_{c,e} = \frac{1}{2 * 3150m^{-1}}$$

$$r_{c,e} = \mathbf{1.587 \times 10^{-4} m}$$

3.5 Longitud efectiva

$$L_e: 0.049 \text{ m}$$

$$L_a: 0.01 \text{ m}$$

$$L_c: 0.066 \text{ m}$$

$$L_{eff} = \frac{L_e}{2} + L_a + \frac{L_c}{2}$$

Ecuación (3. 5)

$$L_{eff} = \frac{0.049 \text{ m}}{2} + 0.01 \text{ m} + \frac{0.066 \text{ m}}{2}$$

$$L_{eff} = \mathbf{0.0675 \text{ m}}$$

3.6 Constante de vapor

$$\tilde{R}: 8.314 \times 10^3 \text{ J/kg mol } ^\circ\text{K}$$

$$M: 18 \text{ mol}$$

$$R_v = \frac{\tilde{R}}{M}$$

Ecuación (3. 6)

$$R_v = \frac{8.314 \times 10^3 \text{ J/kg mol } ^\circ\text{K}}{18 \text{ mol}}$$

$$R_v = \mathbf{461.889 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}}$$

Cuando:

R_v : Constante de vapor (J/Kg °K)

\tilde{R} : Constante universal de gas (J/kg mol °K)

M : Peso molecular del vapor (mol)

3.7 Diámetro hidráulico

$$A_w: 4.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$d_i: 0.004 \text{ m}$$

$$d_v: 0.0111 \text{ m}$$

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4A_w}{\pi (d_i + d_v)}$$

Ecuación (3. 7)

$$D_h = \frac{4(4.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2)}{\pi (0.004 \text{ m} + 0.0111 \text{ m})}$$

$$D_h = 3.7944 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Cuando:

D_h : Diámetro hidráulico (m)

A : Área del flujo cruzado (m^2)

P : Perímetro mojado (m)

d_i : Diámetro interno del tubo (m)

d_v : Diámetro de vapor (m)

3.8 Radio hidráulico

$$D_h = 3.7944 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ecuación (3. 8)

$$r_{h,w} = \frac{D_h}{2}$$

$$r_{h,w} = \frac{3.7944 \times 10^{-3} \text{ m}}{2}$$

$$r_{h,w} = 1.89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Cuando:

$r_{h,w}$: Radio hidráulico

D_h : Diámetro hidráulico

3.9 Conductividad térmica efectiva

Tabla 45. Conductividad térmica efectiva

Conductividad térmica efectiva para mechas K_{eff} saturadas de líquido	
Estructura de mecha	K_{eff}
Mecha y líquido en serie	$K_{eff} = \frac{k_l k_w}{\varepsilon k_w + k_l(1 - \varepsilon)}$
Mecha y líquido en paralelo	$K_{eff} = \varepsilon k_l + (1 - \varepsilon)k_w$
Pantalla envuelta	$K_{eff} = \frac{k_l[(k_l + k_w) - (1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]}{[(k_l + k_w) + (1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]}$
Esfera empaquetada	$K_{eff} = \frac{k_l[(2k_l + k_w) - 2(1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]}{[(2k_l + k_w) + (1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]}$
Ranuras rectangulares	$K_{eff} = \frac{(w_f k_l k_w \delta) + (w k_l)(0.185 w_f k_w + \delta k_l)}{(w + w_f)(0.185 w_f k_w + \delta k_l)}$

Fuente: [2]

K_w : 390 W/m.°K

K_l : 0.58 W/m.°K

ε : 0.68

$$K_{eff} = \frac{k_l[(k_l + k_w) - (1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]}{[(k_l + k_w) + (1 - \varepsilon)(k_l - k_w)]} \quad \text{Ecuación (3.9)}$$

$$K_{eff} = \frac{0.58[(0.58 + 390) - (1 - 0.68)(0.58 - 390)]}{[(0.58 + 390) + (1 - 0.68)(0.58 - 390)]}$$

$$K_{eff} = 1.1235 \text{ W/m.°K}$$

Cuando:

K_{eff} : Conductividad térmica efectiva (W/m.°K)

k_w : Conductividad térmica del material (W/m.°K)

k_l : Conductividad térmica líquida (W/m.°K)

ε : Porosidad de la pantalla

3.10 Límites de operación

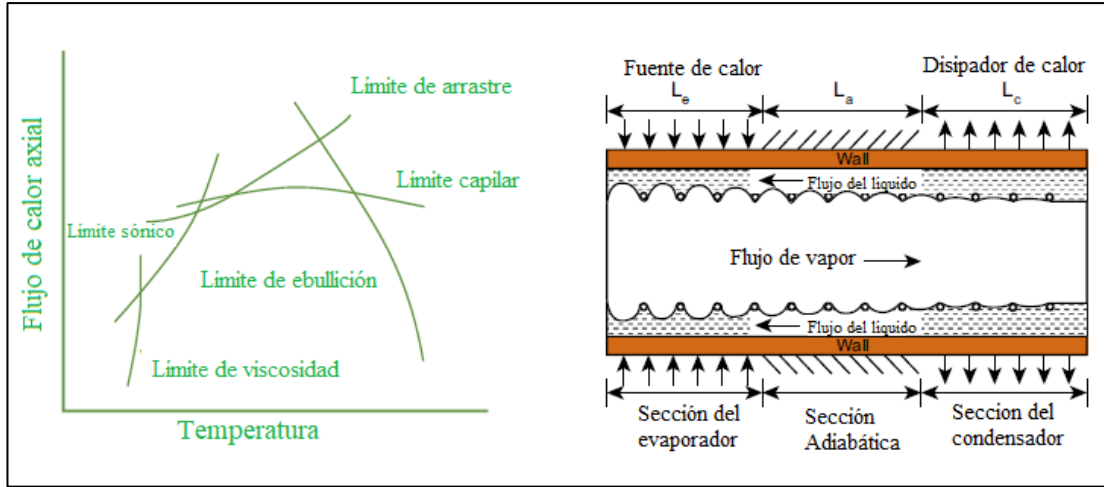


Figura 77. Límites de operación

Fuente: [28]

3.10.1 Límite capilar

Tabla 46. Tensión superficial

Tensión superficial en líquidos a 20° C	
Líquidos	σ (N/m)
Aceite de oliva	0.033
Agua	0.072
Alcohol etílico	0.022
Benceno	0.029
Glicerina	0.059
Petróleo	0.026
Mercurio	0.465

Fuente: [29]

σ : 0.072 N/m (Kg/s²) [Tabla 25]

ρ_l : 998 kg/m³ [Anexo B]

h_{lv} : 2256.5 KJ/kg [Anexo C]

μ_l : 1.02x10⁻³ Pa.s (Kg/m-s) [Anexo B]

K : 3.714x10⁻¹¹ m²

$$r_{c,e}: 0.066 \text{ m}$$

$$r_v: 0.00555 \text{ m}$$

$$t_w: 0.0012 \text{ m}$$

$$L_e: 0.049 \text{ m}$$

$$L_a: 0.01 \text{ m}$$

$$L_c: 0.066 \text{ m}$$

$$Q_{c, \max} = \frac{2 \left(\frac{(\sigma \rho_l h_{lv})}{\mu_l} \right) \left(\frac{K}{r_{c,e}} \right) (2\pi r_v t_w)}{0.5L_e + L_a + 0.5L_c} \quad \text{Ecuación (3. 10)}$$

$$Q_{c, \max} = \frac{2 \left(\frac{(0.072 \text{ kg/s}^2 * 998 \text{ kg/m}^3 * 2256.5 \text{ KJ/kg})}{1.02 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} \right) \left(\frac{3.714 \times 10^{-11} \text{ m}^2}{0.066 \text{ m}} \right) (2\pi * 0.00555 \text{ m} * 0.0012 \text{ m})}{0.5 * 0.049 \text{ m} + 0.01 \text{ m} + 0.5 * 0.066 \text{ m}}$$

$$Q_{c, \max} = \frac{2(158963788.2 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{S})(5.6272 \times 10^{-10} \text{ m})(4.184601415 \times 10^{-5} \text{ m}^2)}{0.0675 \text{ m}}$$

$$Q_{c, \max} = \frac{7.486427927 \times 10^{-6} \text{ kJ} \cdot \text{m/s}}{0.0675 \text{ m}}$$

$$Q_{c, \max} = 1.109 \times 10^{-4} \text{ kJ/s}$$

$$Q_{c, \max} = 0.109 \text{ W}$$

3.10.2 Límite sónico

Tabla 47. Relación de calor específico del vapor

Relación de calor específica del vapor		
Vapor monoatómico	Vapor diatómico	Vapor poliatómico
1.666	1.4	1.33

Fuente: [2]

$$A_v: 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\rho_v: 0.5978 \text{ kg/m}^3 \text{ [Anexo D]}$$

$$h_{lv}: 2256.5 \text{ KJ/kg}$$

$$\gamma_v: 1.67$$

$$T_v: 373.15 \text{ °K [Anexo E]}$$

$$R_v: 361 \text{ J/kg °K}$$

$$Q_{s, max} = A_v \rho_v h_{lv} \left[\frac{\gamma_v T_v R_v}{2(\gamma_v + 1)} \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación (3. 11)}$$

$$Q_{s, max} = 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 * 0.5978 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2256.5 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}} \left[\frac{1.67 * 373.15 \text{ °K} * 361 \text{ J/Kg °K}}{2(1.67 + 1)} \right]^{1/2}$$

$$Q_{s, max} = 128.14889 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{m}} * \left[42127.51695 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]^{1/2}$$

$$Q_{s, max} = 128.14889 \times 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{m}} * 205.2498889 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_{s, max} = 26.3025 \frac{\text{KJ}}{\text{S}}$$

$$Q_{s, max} = 26.3025 \times 10^3 \text{ W}$$

3.10.3 Límite de arrastre

$$A_v: 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$h_{lv}: 2256.5 \text{ KJ/kg [Anexo C]}$$

$$\rho_v: 0.5978 \text{ kg/m}^3 \text{ [Anexo D]}$$

$$\sigma: 0.072 \text{ N/m (Kg/s}^2) \text{ [Tabla 25]}$$

$$r_{h,w}: 1.89 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Ecuación (3. 12)

$$Q_{e, max} = A_v h_{lv} \left(\frac{\sigma \rho_v}{2 r_{h,s}} \right)^{1/2}$$

$$Q_{e, max} = 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 * 2256.5 \text{ KJ/kg} * \left(\frac{0.072 \text{ Kg/s}^2 * 0.5978 \text{ kg/m}^3}{2 * 1.89 \times 10^{-3} \text{ m}} \right)^{1/2}$$

$$Q_{e,max} = 214.3675 \text{ m}^2 \cdot \text{J/kg} * \left(11.38667 \frac{\text{kg}^2}{\text{m}^4 \cdot \text{s}^2} \right)^{1/2}$$

$$Q_{e,max} = 723.3646 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\mathbf{Q_{e,max} = 723.3646 \text{ W}}$$

3.10.4 Límite de ebullición

$$L_e: 0.049 \text{ m}$$

$$K_{eff}: 1.1235 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$$

$$T_v: 373.15 \text{ °K [Anexo E]}$$

$$\sigma: 0.072 \text{ Kg/s}^2 \text{ [Tabla 25]}$$

$$\rho_v: 0.5978 \text{ kg/m}^3 \text{ [Anexo D]}$$

$$h_{lv}: 2256.5 \text{ KJ/kg [Anexo C]}$$

$$r_i: 0.002 \text{ m}$$

$$r_v: 0.00555 \text{ m}$$

$$r_n: 2.54 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$Q_{b,max} = \frac{2\pi L_e K_{eff} T_v}{h_{lv} \rho_v \text{Ln}\left(\frac{r_i}{r_v}\right)} \left(\frac{2\sigma}{r_n} - P_c \right) \quad \text{Ecuación (3. 13)}$$

$$Q_{b,max} = \frac{2\pi * 0.049 \text{ m} * 1.1235 \text{ W/m} \cdot \text{°K} * 373.15 \text{ °K}}{2256.5 \text{ KJ/kg} * 0.5978 \text{ kg/m}^3 * \text{Ln}\left(\frac{0.002 \text{ m}}{0.00555 \text{ m}}\right)} \left(\frac{2 * 0.072 \text{ Kg/s}^2}{2.54 \times 10^{-5} \text{ m}} \right)$$

$$Q_{b,max} = \frac{129.0721 \text{ W}}{1348935.7 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \cdot \text{m}^3 * \text{Ln}\left(\frac{0.002}{0.00555}\right)} \left(5669.2913 \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \right)$$

$$\mathbf{Q_{b,max} = 0.5314 \text{ W}}$$

3.10.5 Límite viscoso

$$A_v: 9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

r_v : 0.00555 m

h_{lv} : 2256.5 KJ/kg [Anexo C]

ρ_v : 0.5978 kg/m³ [Anexo D]

P_v : 101.33 Kpa [Anexo D]

μ_v : 1.227x10⁻⁵kg/m.s [Anexo D]

L_{eff} : 0.0675 m

$$Q_v = \frac{A_v r_v^2 h_{lv} \rho_v P_v}{16 \mu_v L_{eff}} \quad \text{Ecuación (3. 14)}$$

$$Q_v = \frac{9.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2 * (0.00555 \text{ m})^2 * 2256.5 \text{ KJ/kg} * 0.5978 \text{ kg/m}^3 * 101.33 \text{ Kpa}}{16 * 1.227 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s} * 0.0675 \text{ m}}$$

$$Q_v = \frac{399.9805 \text{ J}}{1.32516 \times 10^{-5} \text{ s}}$$

$$Q_v = 30.183565 \times 10^6 \text{ W}$$

3.11 Temperaturas en el disipador de aletas

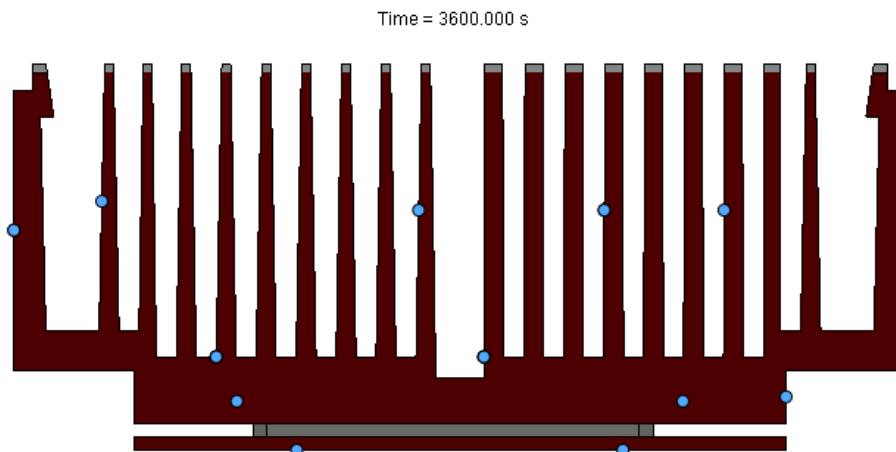


Figura 78. Puntos de temperatura

Fuente: [Autor]

Tabla 48. Temperaturas en los puntos de disipador

Aletas			
X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperatura (Solid) [°C]
0,055757109	0,108511768	0,322033644	44,99
0,055757109	0,108511768	0,307293057	44,99
0,020450712	0,09901177	0,308070589	44,99
0,020450712	0,09901177	0,329403923	44,99
0,010007109	0,092011772	0,307163358	44,91
Base			
0,034507111	0,092011772	0,307163358	44,94
0,040557108	0,09901177	0,308070589	44,99
0,040557108	0,09901177	0,329403923	44,99
0,049153753	0,11068099	0,314663351	44,99
Procesador			
0,011410611	0,11001182	0,329403923	45
-0,00224289	0,096011773	0,314663351	45
0,005507108	0,095680967	0,329403937	45
0,039007109	0,095680967	0,329403937	45

Fuente: [Autor]

3.12 Pruebas con materiales y fluidos en tubos de calor

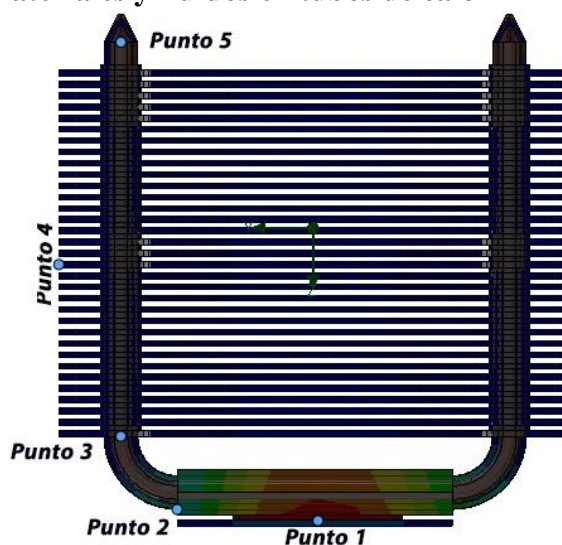


Figura 79. Puntos de temperatura

Fuente: [Autor]

Tabla 49. Prueba 1 con material de cobre

Prueba 1					
Material: Cobre		Fluido de trabajo: Agua		Temperatura procesador: 45° C	
Coordenadas					
Puntos 1	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00312002	-0,000862	0,052		
Puntos 2	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,024137998	0,05		
Puntos 3	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	0,037		
Puntos 4	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00362002	0,045137998	0,0065		
Puntos 5	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	-0,033		
Tiempos	Puntos 1	Puntos 2	Puntos 3	Puntos 4	Puntos 5
	Temperaturas °C				
1 s	45	28.92	21.13	20.05	20.05
5 s	45	40.16	25.54	20.28	20.05
10 s	45	41.47	27.52	20.83	20.11
30 s	45	42.22	30.39	23.26	21.04
60 s	45	42.72	33.34	26.34	23.58
5 min	45	44.18	40.83	38.24	37.07
30 min	45	44.73	43.61	42.80	42.34
1 h	45	44.73	43.62	42.81	42.34

Fuente: [Autor]

Tabla 50. Prueba 2 con material de aluminio

Prueba 2					
Material: Aluminio		Fluido de trabajo: Agua		Temperatura procesador: 45° C	
Coordenadas					
Puntos 1	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00312002	-0,000862	0,052		
Puntos 2	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,024137998	0,05		
Puntos 3	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	0,037		
Puntos 4	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00362002	0,045137998	0,0065		
Puntos 5	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	-0,033		
Tiempos	Puntos 1	Puntos 2	Puntos 3	Puntos 4	Puntos 5
	Temperaturas °C				
1 s	45	27.39	20.80	20.03	20.02
5 s	45	37.58	23.78	20.04	20.02
10 s	45	39.59	24.75	20.10	20.02
30 s	45	40.29	25.55	20.36	20.04
60 s	45	40.40	26	20.67	20.12
5 min	45	40.48	26.27	21.14	20.43
30 min	45	40.37	26.23	21.15	20.44
1 h	45	40.34	26.22	21.15	20.44

Fuente: [Autor]

Tabla 51. Prueba 3 con material de Plata

Prueba 3					
Material: Plata		Fluido de trabajo: Agua		Temperatura procesador: 45° C	
Coordenadas					
Puntos 1	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00312002	-0,000862	0,052		
Puntos 2	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,024137998	0,05		
Puntos 3	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	0,037		
Puntos 4	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00362002	0,045137998	0,0065		
Puntos 5	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	-0,033		
Tiempos	Puntos 1	Puntos 2	Puntos 3	Puntos 4	Puntos 5
	Temperaturas °C				
1 s	45	30.87	20.69	20.05	20.03
5 s	45	43.08	23.09	20.14	20.04
10 s	45	43.78	24.22	20.34	20.04
30 s	45	43.93	26.43	21.24	20.13
60 s	45	44.03	28.21	22.58	20.47
5 min	45	44.37	34.14	30.08	23.90
30 min	45	44.75	40.82	39.30	27.83
1 h	45	44.76	40.98	39.53	27.99

Fuente: [Autor]

Tabla 52. Prueba 4 con material de Acero

Prueba 4					
Material: Acero AISI 304		Fluido de trabajo: Agua		Temperatura procesador: 45° C	
Coordenadas					
Puntos 1	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00312002	-0,000862	0,052		
Puntos 2	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,024137998	0,05		
Puntos 3	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	0,037		
Puntos 4	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	-0,00362002	0,045137998	0,0065		
Puntos 5	X [m]	Y [m]	Z [m]		
	0,000879979	0,034137998	-0,033		
Tiempos	Puntos 1	Puntos 2	Puntos 3	Puntos 4	Puntos 5
	Temperaturas °C				
1 s	45	20.20	20.02	20.02	20.02
5 s	45	21.33	20.07	20.05	20.05
10 s	45	23.08	20.17	20.05	20.05
30 s	45	29.44	20.99	20.06	20.05
60 s	45	34.99	22.21	20.13	20.05
5 min	45	40.66	25.38	21.68	20.74
30 min	45	41.73	30.34	27.50	26.49
1 h	45	42.76	28.71	27.92	26.78

Fuente: [Autor]

3.13 Verificación de hipótesis

La simulación entre los dos modelos permitirá ver cuál de ellos tendrá mejor rendimiento, durante una hora de prueba de funcionamiento, las temperaturas mínimas obtenidas fueron:

Tabla 53. Cuadro comparativo de temperaturas

Cuadro comparativo de temperaturas				
Aletas	Tubo de cobre	Tubo de aluminio	Tubo de plata	Tubo de acero
44.99	42.34	20.44	27.99	26.78

Fuente: [Autor]

Análisis Se compara y se observa que la mayor temperatura extrema en una hora fue de 44.99 °C para el dissipador de aletas convencional mientras que en el modelo de análisis con tubos de calor esta entre 20,44 °C y 42,34 °C correspondiendo la menor temperatura a la combinación con tubo de aluminio y fluido de trabajo agua, por tanto, se verifica la hipótesis de que al comparar la simulación con los diferentes modelos en este caso, el mejor rendimiento se obtiene para tubo de calor en combinación con aluminio.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La modelación del disipador de tubos de calor tipo sifón se utilizó la herramienta de Flow Simulation para obtener resultados complejos que a simple vista no se puede observar fenómenos de transferencia de calor, se aplicó en diferentes pruebas varios materiales para el tubo de calor tipo sifón como el cobre, aluminio, plata y acero; utilizando 45°C en el procesador siendo ahí donde se genera la temperatura, esta temperatura fue comprobada mediante un software y un pirómetro, los mejores resultados en la simulación siendo la plata y el cobre con una diferencia mínima, para observar esta diferencia se consideró puntos de temperatura en el disipador con varios rangos de tiempo.
- Para seleccionar materiales contenedores y fluidos de trabajo se aplicó la selección de alternativas por el método de Riba aplicando valores y pesos según las propiedades de materiales y fluidos, los resultados obtenidos para materiales contenedores con mejor conductividad térmica es la plata sin, embargo por su alto costo no es muy utilizado, de acuerdo a este análisis se consideró a la simulación el cobre por su costo accesible y su conductividad térmica, no hay mucha diferencia con la plata, para el fluido de trabajo a aplicarse la mejor opción es el agua por bajo costo, fácil acceso y no contaminante para el medio ambiente.
- El diseño del disipador de tubos de calor se realizó mediante la facilidad de un Software computacional de modelación en 3D, seleccionando materiales y modelos en catálogos de empresas que se dedican a la fabricación de componentes para disipadores, sin embargo, según el costo y beneficio se procedió como mejores alternativas a diseñar.

- Los disipadores con tubos de calor tienen más rendimiento que los disipadores de aletas, la simulación de estos dos dispositivos en un rango de tiempo de una hora, el disipador de tubos en media hora llega a un equilibrio térmico, mientras que el de aletas se demora una hora para llegar a un equilibrio térmico, en el modelo de aletas la temperatura mínima es de 44,9 °C mientras que en los tubos de calor esta entre 20 y 30 °C.

4.2 Recomendaciones

- Para adquirir datos con altos tiempos y varias temperaturas, es necesario un ordenador con una gran capacidad de procesamiento, sin embargo, aplicando varias temperaturas, tiempos altos y ensambles con modelos complejos, la simulación se extiende varias horas inclusive hasta días.
- Las propiedades para materiales y fluidos de trabajo la mejor alternativa para obtener estos datos es recomendable sacar estos valores de la librería del software de diseño, siendo los mismos valores para la simulación y la selección de alternativas.
- Para el diseño del disipador es necesario tener las medidas de todos los componentes que faciliten el proceso evitando errores de diseño durante el ensamble y seguidamente la simulación, ya que si las partes no están acorde a las medidas no se puede simular, igualmente sino se encuentra bien ensamblado es imposible simular, lo recomendable antes de simular es realizar un check geometry, esto ayudara a verificar si se encuentra en óptimas condiciones.
- Según los datos obtenidos con las temperaturas el disipador de tubos de calor es el más recomendado para disipar calor en un ordenador de escritorio, a medida que tiempo transcurre los procesadores se crean con más capacidad lo cual consumen demasiada energía y requieren de un dispositivo para extraer el calor, lo que es recomendable este tipo de disipadores con tubos de calor.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. I. Corporation, «DeedCool,» 2020. [En línea]. Available: https://deepcool.com/product/cpucooler/2018-08/7_9184.shtml. [Último acceso: 14 Diciembre 2020].
- [2] B. Zohuri, Heat Pipe Design and Technology, 2th ed., Albuquerque: Springer, 2016.
- [3] Z. Bahman, Heat Pipe Applications in Fission Driven Nuclear Power Plants, Albuquerque: Springer, 2019.
- [4] D. Reay, P. Kew y R. McGlen, Heat Pipes Theory Desing and Applications, Oxford: ELSERVIER, 2016.
- [5] N. Moraga, V. Bubnovich y M. Letelier, «Desarrollo Histórico del los Tubos de Calor y sus Aplicaciones,» *50 Contribuciones Científicas y Tecnológicas*, p. 10, 2015.
- [6] L. Vasiliev y S. Kakac, Heat Pipes and Solid Sorption Transformations Fundamentals and Practical Applications, New York: CRC Press, 2013.
- [7] Y. Zhang, Heat Pipes, Design Applications And Technology, New York: NOVA, 2018.
- [8] P. Brennan y E. Kroliczek, Heat Pipe Desing Handbook, Meryland: B & K ENGINEERING, INC., 1979.
- [9] T. Skydow, «Heat Pipes & Heat Sinks Professional Manufacturer, Your Deeply Reliable Supplier,» 2020. [En línea]. Available: skydow.com. [Último acceso: 29 Diciembre 2020].
- [10] H. Appold, K. Feiler, A. Reinhard y P. Schmidt, Tecnología de los Metales, Barcelona: REVERTE, 1985.
- [11] S. Garro Acón, L. A. Díaz Espinoza, J. Liang, F. Martínez Hernández, W. Meneses Fuentes, H. Ortega Padilla, G. Ramírez Chaves y B. Stradi Granados,

«Modelación y Simulación de Disipadores de Calor para Procesadores de Computadora,» *COMSOL*, vol. 25, n° 3, p. 11, 2012.

[12] ORBYTECH, «Soluciones Tecnológicas para PC GAMER,» 13 Agosto 2019. [En línea]. [Último acceso: 19 Enero 2021].

[13] C. M. T. inc., «Heat Pipe de contacto directo,» [En línea]. Available: coolermaster.com/la/es-la/catalog/coolers/cpu-air-coolers/hyper-tx3-with-fan-bracket/#specifications. [Último acceso: 16 Abril 2021].

[14] A. Alaban y C. Salazar Cajas , Sistema de calentamiento de agua con tubos de calor, Quito: Universidad Politécnica Salesiana , 2019.

[15] M. Quesada, «Profecional Review,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2019/06/30/partes-de-un-procesador/>. [Último acceso: 19 Enero 2021].

[16] «DMI Computer,» 2020. [En línea]. Available: https://www.dmi.es/cpu-amd-ryzen-9-3950x-am4_74083/. [Último acceso: 19 Enero 2021].

[17] N. Graphic, «Smicro,» [En línea]. Available: <https://smicro.cz/nvidia-tesla-p100-sxm2-16gb-cowos-hbm2-nvlink-gpu-nvtp100-sxm>. [Último acceso: 19 Enero 2021].

[18] I. Victoria, «Ciberpepe,» 29 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://cyberpepe.net/product/pasta-termica/>. [Último acceso: 19 Enero 2021].

[19] B. Zohuri, Functionality, Advancements And Industrial Applications of Heat Pipes, London: El sevier Inc., 2020.

[20] Okdiario, «Característcticas del Cobre,» 2016. [En línea]. Available: okdiario.com/curiosidades/caracteristicas-del-cobre. [Último acceso: 17 Enero 2021].

[21] W. D. Callister, Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Mexico: Reverte.

[22] E. O. d. Características, «Características de la Plata,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.caracteristicas.co/plata/>. [Último acceso: 17 Enero 2021].

2021].

- [23] A. SAS, «Aceros Inoxidables,» 2016. [En línea]. Available:
<https://www.ainoxsas.com/caracteristicas-y-ventajas-del-acero-inoxidable/>.
[Último acceso: 17 Enero 2021].
- [24] Á. Simón, «AQUAE Fundación,» [En línea]. Available:
<https://www.fundacionaquae.org/que-es-agua-destilada>. [Último acceso: 19
Enero 2021].
- [25] I. P. Mujlionov, Tecnología Química General, Moscú: MIR, 1985.
- [26] E. Sodio, «Elementos.org,» [En línea]. Available: elementos.org/es/sodio.
[Último acceso: 25 Enero 2021].
- [27] J. M. Uriarte, «caracteristicas.co,» 16 Marzo 2020. [En línea]. Available:
<https://www.caracteristicas.co/mercurio-metal/>. [Último acceso: 25 Enero
2021].
- [28] M. Norgués, «Propiedades Termofísicas de los fluidos,» Mayo 2001. [En línea].
[Último acceso: 25 Enero 2021].
- [29] N. I. Koshkin y M. G. Shirkévich, Manual de Física Elemental, Moscú: Mir,
1975.
- [30] Yunus A. Cengel y Afshin J. Ghajar, Transferencia de Calor y Masa
Fundamentos y Aplicaciones, México: Mc Graw Hill, 2007.

ANEXOS

Anexo A: Mallas Metálicas

Luces cuadradas

Luz mm	Ø Alambre	Inch	Mesh/Inch	Ø Inch	Kg/m ²	Sup. Útil %	Material	Tipo Malla	Std.
0,168	0,11		91	0,004	0,56	37	Aisi 304L	AF	
0,189	0,13		80	0,005	0,68	35	Aisi 304L	AF	
0,220	0,14		71		0,70	37	Aisi 304L	AF	
0,280	0,17		56		0,82	39	Aisi 304L	AF	
0,355	0,20		46	0,008	0,92	41	Aisi 304L	AF	
0,400	0,22	1/64"	41	0,009	1,00	42	Aisi 304L	AF	
0,454	0,24		37	0,009	1,06	43	Aisi 304L	AF	
0,510	0,28		32	0,011	1,27	42	Aisi 304L	AF	
0,550	0,30		30	0,012	1,36	42	Aisi 304L	AF	
0,626	0,30		27	0,012	1,25	46	Aisi 304L	AF	
0,751	0,36	1/32"	23	0,014	1,50	46	Aisi 304L	AF	
0,830	0,24		24	0,009	0,69	60	Aisi 304L	AF	
0,870	0,40		20	0,016	1,62	47	Aisi 304L	AF	
0,989	0,40		18	0,016	1,48	51	Aisi 304L	AF	
1,000	0,50		17	0,020	2,12	44	AR	AF	
1,120	0,42		16	0,017	1,47	53	Aisi 304L	AF	
1,250	0,60		14	0,024	2,47	46	AR	AF	
1,296	0,44		15	0,017	1,43	56	Aisi 304L	AF	
1,484	0,50		13	0,020	1,62	56	Aisi 304L	AF	
1,500	1,20		9	0,047	6,84	31	Aisi 304	A	Std.
1,600	0,80	1/16"	11	0,031	3,39	44	AR	AF	
1,600	1,25	1/16"	9	0,049	6,96	32	AR	A	Std.
1,800	1,20		8	3/64"	6,16	36	Aisi 304	A	
1,814	0,50		11	0,020	1,39	61	Aisi 304L	AF	
2,000	0,80	5/64"	9	0,031	2,93	51	Aisi 304L	AF	
	1,20		8	3/64"	5,77	39	Aisi 304	A	Std.
	1,25		8	0,049	6,11	38	AR	A	
	1,50		7	0,059	8,25	33	Aisi 304	A	
	1,60		7	1/16"	9,03	31	AR	A	Std.
2,177	0,60		9	0,024	1,66	61	Aisi 304L	AF	
2,375	0,80	3/32"	8	0,031	2,59	56	Aisi 304L	AF	
2,500	1,20		7	3/64"	4,99	46	Aisi 304	A	
	1,25		7	0,049	5,29	44	AR	A	
	1,50		6	0,059	7,22	39	Aisi 304	A	
	1,60		6	1/16"	7,93	37	AR	A	Std.
2,722	0,75	7/64"	7	0,030	2,08	61	Aisi 304L	AF	
3,000	1,20		6	3/64"	4,40	51	Aisi 304	A	Std.
	1,25			0,049	4,67	50	AR	A	Std.
	1,50			0,059	6,42	44	Aisi 304	A	Std.
	1,60			1/16"	7,07	43	AR	A	Std.
3,160	0,80	1/8"	6	0,031	2,07	64	Aisi 304L	AF	
3,330	0,90		6	0,035	2,46	62	Aisi 304L	AF	

Propiedades del agua

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo C. Calor latente de vaporización

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

a) Líquidos

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{fi} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · K
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
<i>n</i> -Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230–384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204–293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante 134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

Anexo D. Propiedades del agua saturada

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P_{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h_{fg} kJ/kg	Calor específico, c_p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792×10^{-3}	0.922×10^{-5}	13.5	1.00	-0.068×10^{-3}
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519×10^{-3}	0.934×10^{-5}	11.2	1.00	0.015×10^{-3}
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 862	0.580	0.0176	1.307×10^{-3}	0.946×10^{-5}	9.45	1.00	0.733×10^{-3}
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138×10^{-3}	0.959×10^{-5}	8.09	1.00	0.138×10^{-3}
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002×10^{-3}	0.973×10^{-5}	7.01	1.00	0.195×10^{-3}
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891×10^{-3}	0.987×10^{-5}	6.14	1.00	0.247×10^{-3}
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798×10^{-3}	1.001×10^{-5}	5.42	1.00	0.294×10^{-3}
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720×10^{-3}	1.016×10^{-5}	4.83	1.00	0.337×10^{-3}
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653×10^{-3}	1.031×10^{-5}	4.32	1.00	0.377×10^{-3}
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596×10^{-3}	1.046×10^{-5}	3.91	1.00	0.415×10^{-3}
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547×10^{-3}	1.062×10^{-5}	3.55	1.00	0.451×10^{-3}
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504×10^{-3}	1.077×10^{-5}	3.25	1.00	0.484×10^{-3}
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467×10^{-3}	1.093×10^{-5}	2.99	1.00	0.517×10^{-3}
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433×10^{-3}	1.110×10^{-5}	2.75	1.00	0.548×10^{-3}
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404×10^{-3}	1.126×10^{-5}	2.55	1.00	0.578×10^{-3}
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378×10^{-3}	1.142×10^{-5}	2.38	1.00	0.607×10^{-3}
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355×10^{-3}	1.159×10^{-5}	2.22	1.00	0.653×10^{-3}
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333×10^{-3}	1.176×10^{-5}	2.08	1.00	0.670×10^{-3}
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315×10^{-3}	1.193×10^{-5}	1.96	1.00	0.702×10^{-3}
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297×10^{-3}	1.210×10^{-5}	1.85	1.00	0.716×10^{-3}
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282×10^{-3}	1.227×10^{-5}	1.75	1.00	0.750×10^{-3}
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255×10^{-3}	1.261×10^{-5}	1.58	1.00	0.798×10^{-3}
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232×10^{-3}	1.296×10^{-5}	1.44	1.00	0.858×10^{-3}
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213×10^{-3}	1.330×10^{-5}	1.33	1.01	0.913×10^{-3}
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197×10^{-3}	1.365×10^{-5}	1.24	1.02	0.970×10^{-3}
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183×10^{-3}	1.399×10^{-5}	1.16	1.02	1.025×10^{-3}
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170×10^{-3}	1.434×10^{-5}	1.09	1.05	1.145×10^{-3}
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160×10^{-3}	1.468×10^{-5}	1.03	1.05	1.178×10^{-3}
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150×10^{-3}	1.502×10^{-5}	0.983	1.07	1.210×10^{-3}
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142×10^{-3}	1.537×10^{-5}	0.947	1.09	1.280×10^{-3}
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134×10^{-3}	1.571×10^{-5}	0.910	1.11	1.350×10^{-3}
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122×10^{-3}	1.641×10^{-5}	0.865	1.15	1.520×10^{-3}
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111×10^{-3}	1.712×10^{-5}	0.836	1.24	1.720×10^{-3}
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102×10^{-3}	1.788×10^{-5}	0.832	1.35	2.000×10^{-3}
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094×10^{-3}	1.870×10^{-5}	0.854	1.49	2.380×10^{-3}
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086×10^{-3}	1.965×10^{-5}	0.902	1.69	2.950×10^{-3}
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078×10^{-3}	2.084×10^{-5}	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070×10^{-3}	2.255×10^{-5}	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060×10^{-3}	2.571×10^{-5}	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043×10^{-3}	4.313×10^{-5}	—	—	—

Anexo E. Temperaturas del vapor

PRESIÓN MANOMÉTRICA (PSIG)	PRESIÓN ABSOLUTA (PSIA)	TEMP. DEL VAPOR (°F)	CALOR DE LÍQUIDO SAT. (BTU/LB)	CALOR LATENTE (BTU/LB)	CALOR TOTAL DEL VAPOR (BTU/LB)	VOLUMEN ESPECÍFICO DE LÍQUIDO SAT. (PIES3/LB)	VOLUMEN ESPECÍFICO DE VAPOR SAT. (PIES3/LB)
29,743	0,08854	32,00	0,00	1075,8	1075,8	0,096022	3306,00
29,515	0,2	53,14	21,21	1063,8	1085,0	0,016027	1526,00
27,886	1,0	101,74	69,70	1036,3	1106,0	0,016136	333,60
19,742	5,0	162,24	130,13	1001,0	1131,1	0,016407	73,52
9,562	10,0	193,21	161,17	982,1	1143,3	0,016590	38,42
7,536	11,0	197,75	165,73	979,3	1145,0	0,016620	35,14
5,490	12,0	201,96	169,96	976,6	1146,6	0,016647	32,40
3,454	13,0	205,88	173,91	974,2	1148,1	0,016674	30,06
1,418	14,0	209,56	177,61	971,9	1149,5	0,016699	28,04
0,0	14,696	212,00	180,07	970,3	1150,4	0,016715	26,80
1,3	16,0	216,32	184,42	967,6	1152,0	0,016746	24,75
2,3	17,0	219,44	187,56	965,5	1153,1	0,016768	23,39
5,3	20,0	227,96	196,16	960,1	1156,3	0,016830	20,09
10,3	25,0	240,07	208,42	952,1	1160,6	0,016922	16,30
15,3	30,0	250,33	218,82	945,3	1164,1	0,017004	13,75
20,3	35,0	259,28	227,91	939,2	1167,1	0,017078	11,90
25,3	40,0	267,25	236,03	933,7	1169,7	0,017146	10,50
30,3	45,0	274,44	243,36	928,6	1172,0	0,017209	9,40
40,3	55,0	287,07	256,30	919,6	1175,9	0,017325	7,79
50,3	65,0	297,97	267,50	911,6	1179,1	0,017429	6,66
60,3	75,0	307,60	277,43	904,5	1181,9	0,017524	5,82
70,3	85,0	316,25	286,39	897,8	1184,2	0,017613	5,17
80,3	95,0	324,12	294,56	891,7	1186,2	0,017696	4,65
90,3	105,0	331,36	302,10	886,0	1188,1	0,017775	4,23
100,0	114,7	337,90	308,80	880,0	1188,8	0,017850	3,88
110,3	125,0	344,33	315,68	875,4	1191,1	0,017922	3,59
120,3	135,0	350,21	321,85	870,6	1192,4	0,017991	3,33
125,3	140,0	353,02	324,82	868,2	1193,0	0,018024	3,22
130,3	145,0	355,76	327,70	865,8	1193,5	0,018057	3,11
140,3	155,0	360,50	333,24	861,3	1194,6	0,018121	2,92
150,3	165,0	365,99	338,53	857,1	1195,6	0,018183	2,75
160,3	175,0	370,75	343,57	852,8	1196,5	0,018244	2,60
120,3	135,0	350,21	321,85	870,6	1192,4	0,017991	3,33
125,3	140,0	353,02	324,82	868,2	1193,0	0,018024	3,22
130,3	145,0	355,76	327,70	865,8	1193,5	0,018057	3,11
140,3	155,0	360,50	333,24	861,3	1194,6	0,018121	2,92
150,3	165,0	365,99	338,53	857,1	1195,6	0,018183	2,75
160,3	175,0	370,75	343,57	852,8	1196,5	0,018244	2,60
180,3	195,0	379,67	353,10	844,9	1198,0	0,018360	2,34
200,3	215,0	387,89	361,91	837,4	1199,3	0,018470	2,13
225,3	240,0	397,37	372,12	828,5	1200,6	0,018602	1,92
250,3	265,0	406,11	381,60	820,1	1201,7	0,018728	1,74
	300,0	417,33	393,84	809,0	1202,8	0,018896	1,54
	400,0	444,59	424,00	780,5	1204,5	0,019340	1,16
	450,0	456,28	437,20	767,4	1204,6	0,019547	1,03



E Propiedades del aire

TABLA E.1 Propiedades del aire *versus* temperatura en unidades del SI a la presión atmosférica estándar.

Temperatura T (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Peso específico γ (N/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
-40	1.514	14.85	1.51×10^{-5}	9.98×10^{-6}
-30	1.452	14.24	1.56×10^{-5}	1.08×10^{-5}
-20	1.394	13.67	1.62×10^{-5}	1.16×10^{-5}
-10	1.341	13.15	1.67×10^{-5}	1.24×10^{-5}
0	1.292	12.67	1.72×10^{-5}	1.33×10^{-5}
10	1.247	12.23	1.77×10^{-5}	1.42×10^{-5}
20	1.204	11.81	1.81×10^{-5}	1.51×10^{-5}
30	1.164	11.42	1.86×10^{-5}	1.60×10^{-5}
40	1.127	11.05	1.91×10^{-5}	1.69×10^{-5}
50	1.092	10.71	1.95×10^{-5}	1.79×10^{-5}
60	1.060	10.39	1.99×10^{-5}	1.89×10^{-5}
70	1.029	10.09	2.04×10^{-5}	1.99×10^{-5}
80	0.9995	9.802	2.09×10^{-5}	2.09×10^{-5}
90	0.9720	9.532	2.13×10^{-5}	2.19×10^{-5}
100	0.9459	9.277	2.17×10^{-5}	2.30×10^{-5}
110	0.9213	9.034	2.22×10^{-5}	2.40×10^{-5}
120	0.8978	8.805	2.26×10^{-5}	2.51×10^{-5}

Nota: Las propiedades del aire en condiciones estándar a nivel del mar son las siguientes:

Temperatura	15 °C
Presión	101.325 kPa
Densidad	1.225 kg/m ³
Peso específico	12.01 N/m ³
Viscosidad dinámica	1.789×10^{-5} Pa·s
Viscosidad cinemática	1.46×10^{-5} m ² /s

Anexo G. Eficiencia en aletas rectangulares

TABLA 3-3

Eficiencia y áreas de superficie de configuraciones comunes de aletas

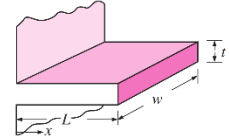
Aletas rectangulares rectas

$$m = \sqrt{2h/kt}$$

$$L_c = L + t/2$$

$$A_{\text{alseta}} = 2wL_c$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$

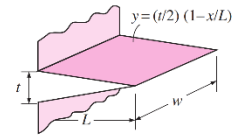


Aletas triangulares rectas

$$m = \sqrt{2h/kt}$$

$$A_{\text{alseta}} = 2w\sqrt{L^2 + (t/2)^2}$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{1}{mL} \frac{I_1(2mL)}{I_0(2mL)}$$



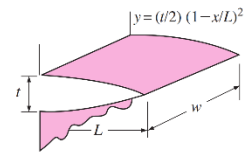
Aletas parabólicas rectas

$$m = \sqrt{2h/kt}$$

$$A_{\text{alseta}} = wL[C_1 + (L/t)\ln(t/L + C_1)]$$

$$C_1 = \sqrt{1 + (t/L)^2}$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL)^2 + 1}}$$



Aletas circulares de perfil rectangular

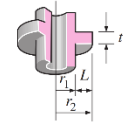
$$m = \sqrt{2h/kt}$$

$$r_{2c} = r_2 + t/2$$

$$A_{\text{alseta}} = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2)$$

$$\eta_{\text{alseta}} = C_2 \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_{2c}) - I_1(mr_1)K_1(mr_{2c})}{I_0(mr_1)K_1(mr_{2c}) + K_0(mr_1)I_1(mr_{2c})}$$

$$C_2 = \frac{2r_1/m}{r_{2c}^2 - r_1^2}$$



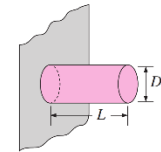
Aletas de espiga de perfil rectangular

$$m = \sqrt{4h/kD}$$

$$L_c = L + D/4$$

$$A_{\text{alseta}} = \pi DL_c$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$



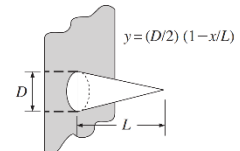
Aletas de espiga de perfil triangular

$$m = \sqrt{4h/kD}$$

$$A_{\text{alseta}} = \frac{\pi D}{2} \sqrt{L^2 + (D/2)^2}$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{2}{mL} \frac{I_2(2mL)}{I_1(2mL)}$$

$$I_2(x) = I_0(x) - (2/x)I_1(x), \text{ donde } x = 2mL$$



Aletas de espiga de perfil parabólico

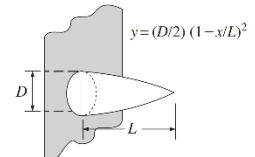
$$m = \sqrt{4h/kD}$$

$$A_{\text{alseta}} = \frac{\pi L^3}{8D} [C_3 C_4 - \frac{L}{2D} \ln(2DC_4/L + C_3)]$$

$$C_3 = 1 + \frac{2(D/L)^2}{\sqrt{1 + (D/L)^2}}$$

$$C_4 = \sqrt{1 + (D/L)^2}$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{2}{1 + \sqrt{(2mL/3)^2 + 1}}$$



Aletas de espiga de perfil parabólico (punta truncada)

$$m = \sqrt{4h/kD}$$

$$A_{\text{alseta}} = \frac{\pi D^4}{96L^2} \left\{ [16(L/D)^2 + 1]^{3/2} - 1 \right\}$$

$$\eta_{\text{alseta}} = \frac{3}{2mL} \frac{I_1(4mL/3)}{I_0(4mL/3)}$$

