



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autor: Gino Isrrael Suárez Banchón

Tutor: Ing. Edgar Vera Puebla

**Análisis del Comportamiento de Temperatura y
Trayectoria de Fluidos en un Intercambiador de Calor con
Aplicación de Simulación Térmica y Mecánica**

Certificación de Autoría

Yo, Gino Isrrael Suárez Banchón, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Gino Isrrael Suárez Banchón

C.I: 0916239825

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla

Director del Proyecto

Dedicatoria

Tengo a bien dedicar la presente tesis:

A Dios, quien me ha prestado vida para poder llegar hasta esta etapa de mis estudios.

A mis padres, Mauricio A. Suárez y a Olivia R. Banchón, quienes han sido un pilar fundamental de apoyo, perseverancia y resiliencia para lograr de mí una mejor persona tanto en el ámbito espiritual y profesional, que sin sus consejos no sería lo que soy ahora y lo que podré lograr en los años próximos.

A mi esposa e hijos, Marilyn Torres, Ammón y Russell, quienes han sido el motor de impulso frente los retos y desafíos presentados durante este proceso de aprendizaje y siempre mantenerme de pie, quienes me han motivado a dar más de lo que mis fuerzas pueden dar.

Finalmente quiero dedicar este trabajo académico a mis hermanos, Ivonne, Andrea y David, quienes siempre creyeron en mí, me apoyaron y nunca dudaron que lo lograría.

Gino Isrrael Suárez Banchón

Agradecimientos

Mis profundos agradecimientos a la colaboración y asistencia académica de mis tutores, entre otros docentes que a lo largo de mi carrera universitaria me inspiraron y me heredaron los conocimientos impartidos en clases.

También deseo expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Internacional del Ecuador, a mis compañeros y demás personas quienes me ayudaron a crecer en conocimientos día a día para llegar a ser un profesional de éxito.

Finalmente quiero agradecer a todos los autores de artículos investigativos, de los cuales me sentí inspirado, por el acceso a recursos, material e información académica, clave para mi investigación.

Gino Isrrael Suárez Banchón

Índice General

Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice General	vii
Índice de Figuras	xii
Índice de Ecuaciones	xiv
Índice de Tablas	xvi
Resumen	xvii
Abstract	xviii
Capítulo I	1
Problema de la Investigación	1
1.1. Tema de Investigación	1
1.2. Planteamiento del Problema	1
1.3. Formulación del Problema	3
1.4. Sistematización del Problema	3
1.5. Objetivos de la Investigación	4
1.5.1. Objetivo General	4
1.5.2. Objetivos Específicos	4

1.6. Justificación e Importancia de la Investigación.....	5
1.6.1. Justificación Teórica.....	5
1.6.2. Justificación Metodológica.....	7
1.6.3. Justificación Práctica	8
1.6.4. Delimitación Temporal.....	9
1.6.5. Delimitación Geográfica.....	9
1.6.6. Delimitación del Contenido.....	9
1.7. Alcance	10
Capítulo II.....	12
Marco de Referencia.....	12
2.1. Mecanismos de Transferencia de Calor	12
2.1.1. Transferencia de Energía por Conducción	13
2.1.2. Transferencia de Energía por Radiación.....	14
2.1.3. Transferencia de Energía por Convección.....	14
2.2. Dinámica de Fluido	16
2.3. Dinámica de Fluido Computacional (CFD)	16
2.3.1. Código de Dinámica de Fluidos Computacionales.....	19
2.4. Generación de Mallado.....	21
2.5. Intercambiador de Calor	22
2.5.1. Intercambiador de Calor Directo	22

2.5.2. Intercambiador de Calor Indirecto.....	22
2.6. El Sistema de Refrigeración de un Motor de Combustión Interna.....	23
2.7. Radiador	25
2.8. Tipos de Radiadores	28
2.8.1. Radiador Tubular	29
2.8.2. Radiador de Panal	30
2.8.3. Radiador de Láminas de Agua o de Cascada.....	31
2.9. Características y Aplicaciones.....	33
2.10. Relaciones de Diseño y Cálculo para Radiadores	33
2.10.1. Área de Transferencia de Calor	34
2.10.2. Flujo Másico	35
2.10.3. Delta de Temperatura	35
2.10.4. Velocidad de Transferencia Neta de Calor	36
2.10.5. Diferencia de Temperatura Media Logarítmica	37
2.10.6. Temperatura de Promedio de los Tubos	38
2.10.7. Calor Latente de Vaporización	38
2.10.8. Número de Nusselt	39
2.10.9. Cálculo del Coeficiente del Vapor hacia el Agua.....	40
2.10.10. Número de Prandtl.....	40
2.10.11. Número de Reynolds	42

2.10.12. Cálculo del Coeficiente de Agua en los Tubos.....	43
2.10.13. Coeficiente Global de Transferencia de Calor.....	43
2.10.14. Longitud para Un solo Tubo.....	44
2.10.15. Coeficientes Corregidos.....	44
2.10.16. Diseño Hidráulico Aplicado a los Radiadores.....	46
2.11. Selección del Programa de Aplicación a CFD.....	47
Capítulo III.....	50
Método de Modelado.....	50
3.1. Método.....	50
3.2. Sistema Físico del Modelado.....	53
3.3. Cálculos Dimensionales Equivalentes.....	53
3.3.1. Volumen de Fluido Contenido en un Tubo del Radiador.....	54
3.3.2. Cálculo Tentativo de Temperaturas por Medio de Modelos Matemáticos.....	55
3.4. Modelado Físico de Radiador por medio de Diseño Asistido por Ordenador.....	56
3.4.1. Datos de la Geometría de Radiador para la Elaboración de Modelado.....	56
3.5. Modelado Físico a través de Procesos CAD.....	57
3.5.1. Construcción de Geometría de Radiador.....	57
3.5.2. Simulación 3D de Radiador a través de Ansys.....	60
Capítulo IV.....	69
Análisis de Resultados.....	69

4.1. Análisis Transitorio	69
4.2. Resultados del Monitoreo de la Simulación.....	70
4.2.1. Análisis de Transferencia de Calor del Fluido	71
4.3. Análisis del Comportamiento de Transferencia de Calor con el Medio Externo.....	73
4.4. Análisis del Comportamiento del Factor de Velocidad del Fluido	76
Conclusiones	77
Recomendaciones	79
Bibliografía	80
Anexos	83

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Dinámica de Fluidos Aplicado a un Intercambiador de Calor</i>	17
Figura 2 <i>Aplicación de Herramienta CDF en el Desempeño de un Radiador</i>	20
Figura 3 <i>Mallado de Flujo y Volumen de Control</i>	22
Figura 4 <i>Sección de Sistema de Refrigeración en un Motor de Combustión Interna con Refrigeración Mixta.</i>	26
Figura 5 <i>Partes que Conforman el Radiador</i>	28
Figura 6 <i>Radiador Tipo Tubular</i>	29
Figura 7 <i>Radiador Tipo Panal</i>	31
Figura 8 <i>Radiador Tipo Láminas de Agua o de Cascada</i>	32
Figura 9 <i>Comportamiento de flujos a través de Tipos de Radiadores</i>	32
Figura 10 <i>Diagrama Metodológico General</i>	51
Figura 11 <i>Radiador del Vehículo Dodge RAM Pick Up Modelo 2002</i>	52
Figura 12 <i>Tipos de Tubos Utilizados en Radiadores</i>	54
Figura 13 <i>Inicio de la Fase de Construcción de Tuberías</i>	58
Figura 14 <i>Construcción de Sección de Tubería</i>	58
Figura 15 <i>Extrusión de la Sección para Generar las Tuberías en 3D</i>	59
Figura 16 <i>Construcción en 3D de Filamentos de Enfriamiento</i>	60
Figura 17 <i>Importación del Radiador Modelado a Ansys Discovery</i>	62
Figura 18 <i>Preparación del Elemento en Estudio</i>	62
Figura 19 <i>Extracción de Volumen Interno del Radiador</i>	63
Figura 20 <i>Extracción de Volumen Interno del Radiador</i>	64
Figura 21 <i>Configuración de Parámetros del Fluido</i>	65

Figura 22 <i>Determinación de Condiciones de Entrada del Fluido</i>	65
Figura 23 <i>Determinación de Condiciones de Salida del Fluido</i>	66
Figura 24 <i>Determinación de Condiciones del Fluido</i>	67
Figura 25 <i>Obtención de Resultado de la Simulación</i>	68
Figura 26 <i>Intercambio de Calor por Convección del Fluido</i>	71
Figura 27 <i>Monitoreo Particulado del Comportamiento del Flujo dentro del Radiador</i>	72
Figura 28 <i>Monitoreo Líneas de Desplazamiento y Generación de Gráfica de Resultados</i>	73
Figura 29 <i>Monitoreo de Transferencia de Calor del Intercambiador de Calor</i>	74
Figura 30 <i>Monitoreo de Transferencia de Calor del Intercambiador de Calor con un Flujo Forzado</i>	75
Figura 31 <i>Monitoreo del Comportamiento del Flujo según el Factor de Velocidad</i>	76

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Modelo Matemático para Determinar Flujo Másico.....	35
Ecuación 2 Modelo Matemático para Determinar el Delta de Temperatura	36
Ecuación 3 Modelo Matemático para Determinar la Velocidad de Transferencia Neta de Calor	36
Ecuación 4 Modelo Matemático para Determinar la Temperatura Media Logarítmica LMTD...	37
Ecuación 5 Modelo Matemático para Determinar la Temperatura Promedio de los Tubos.....	38
Ecuación 6 Modelo Matemático para Determinar el Calor Latente de Vaporización	39
Ecuación 7 Modelo Matemático para Determinar el Número de Nusselt	39
Ecuación 7 Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente del Vapor hacia el Agua.....	40
Ecuación 9 Modelo Matemático para Determinar el Número de Prandtl.....	41
Ecuación 10 Modelo Matemático para Determinar el Número de Reynolds	42
Ecuación 11 Modelo Matemático para Determinar el Cálculo del Coeficiente de Agua en los Tubos.....	43
Ecuación 12 Modelo Matemático para Determinar el Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor	44
Ecuación 13 Modelo Matemático para Determinar la Longitud para un solo Tubo	44
Ecuación 14 Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente Corregido	45
Ecuación 14 Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente Global de Transferencia de Calor Corregido	45
Ecuación 14 Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente de Corrección del Área Superficial.....	45
Ecuación 14 Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente de Corrección de Longitud de los Tubos.....	46

Ecuación 18 Modelo Matemático para Determinar el Volumen del Fluido Contenido en un Tubo con Perfil Circular.....	54
---	----

Índice de Tablas

Tabla 1 Propiedades del Fluido Análisis	69
Tabla 2 Condiciones del Flujo a la Entrada al Radiador	70
Tabla 3 Condiciones del Flujo a la Salida del Radiador	70
Tabla 4 Resultado del Monitoreo Interno del Flujo	71

Resumen

El presente estudio investigativo se basa en la utilización de los programas computacionales de diseño e ingeniería asistida por ordenador Inventor Pro de Autodesk y Ansys Discovery, los cuales de manera conjunta permiten la elaboración de un modelado, renderizado y simulación de un intercambiador de calor como lo es un radiador por el que fluye internamente líquido refrigerante que ingresa a una temperatura alta inicial de 80.6 °C y al desplazarse por el sistema de intercambio de calor registra un descenso de temperatura de 18 °C a una velocidad promedio de 2.17 m/s, teniendo en cuenta que se registra una transferencia de calor a través de un proceso de convección con las paredes de tubería del radiador y de manera exterior la consideración del flujo de aire que circula a través de las aletas conductoras. También por medio de simulación se logra observar el comportamiento mecánico del fluido a través de sus partículas que se encuentran en desplazamiento, así como líneas de flujo generadas de manera cualitativa y cuantitativa que indican el proceso de transferencia de calor y el tipo de flujo según la sección por donde el refrigerante se desplaza.

Palabras Clave: Motor de combustión interna, radiador, termodinámica, intercambiador de calor.

Abstract

This research study is based on the use of computer aided design and engineering programs Autodesk Inventor Pro and Ansys Discovery, those programs allow the development of a modeling, rendering and the simulation of a heat exchanger such as a radiator filled with coolant which flows at a high initial temperature, for the present test it is 80.6 °C after moving through the system it registered a drop in temperature to 18 °C at an average speed of 2.17 m/s, taking into account that a heat transfer is recorded through a convection process with the pipe walls of the radiator and externally the consideration of the flow of air that circulates through the conductive fins. Also through this simulation it is possible to observe the mechanical behavior of the fluid through its particles which are in displacement, as well as flow lines generated in a qualitative and quantitative way that indicate the heat transfer process and the type of flow according to the section where the coolant flows.

Keywords: Structural failure, crankshaft, automotive, finite elements.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica.

1.2. Planteamiento del Problema

En el campo de los motores de combustión interna refrigerados por un sistema de líquido o mixto, es decir líquido y aire, existe un elemento fundamental como lo es el radiador que en definitiva no es más que un intercambiador de calor que su función es la de variar la temperatura del refrigerante del sistema a través de un proceso de convección y de esta manera disminuir la temperatura de los componentes del motor cuando se encuentra en funcionamiento.

Para poder entender cuál es el funcionamiento de un radiador se debe determinar su definición y entre la bibliografía técnica se lo establece como un dispositivo que logra de manera significativa intercambiar energía entre dos medios, que por lo general para motores de combustión interna lo es con el aire del medio ambiente, logrando así disipar el calor de un objeto o sistema, evitando su sobrecalentamiento o en ciertos casos redireccionarlo y aprovecharlo calentando un objeto o un espacio.

Por este motivo el presente trabajo investigativo trata de analizar el comportamiento del flujo del líquido refrigerante y su comportamiento al pasar por un radiador o intercambiador de calor a través de la aplicación de sistemas modernos de simulación térmica y mecánica que ayudan a entender y comprender el correspondiente funcionamiento, para de esta manera observar y desarrollar un criterio investigativo que mejore este tipo de sistema en beneficio del comportamiento del control de temperatura en un sistema de refrigeración de un motor de combustión interna.

Hay que tomar en cuenta que el presente estudio investigativo se basa en un modelo de radiador ya que en el mundo de los motores de combustión interna existen muchos modelos de intercambiadores de calor.

Uno de los factores importantes dentro de la eficiencia del rendimiento en un motor de combustión interna es el sistema de refrigeración que esta cuenta, el mismo que cumple una función fundamental como lo es el de alcanzar en el menor tiempo posible la temperatura de funcionamiento y de mantener la tempera de funcionamiento dentro del rango establecido por el fabricante.

Bajo este principio el presente trabajo investigativo pretende poder simular y analizar el comportamiento del flujo de líquido refrigerante en el proceso de intercambio de calor y así dar solución a un problema que se presenta en el aspecto técnico como lo es el poder determinar cómo a través de un análisis de flujo por medio de simulación se genera el proceso de convección y variación de la temperatura en la parte interior de un radiador para un motor de combustión interna, así mismo el poder dar un mayor impulso del uso de programas computacionales que permiten en la actualidad generar cálculos que resuelven este tipo de problemas, pero tomando en cuenta que estos programas proyectan soluciones casi que reales reduciendo de esta manera muchos recursos para la obtención de este proceso dentro del campo de la industria automotriz y por ende de la termodinámica.

También se debe tener en cuenta en este tipo de investigación, pueden presentarse algunos procedimientos que por lo general son utilizados de forma manual, absorbiendo de esta manera una cantidad infinita de recursos de distintos aspectos, por lo que en esta investigación se trata de utilizar de manera correcta cada uno de los procesos metodológicos y así preservar recursos que pueden repercutir de manera significativa en la obtención de los resultados en la simulación concerniente a la temperatura de operación y capacidad térmica

del radiador dentro del motor de combustión térmica, de acuerdo a las especificaciones emitidas por el fabricante.

Otro problema que se pretende solucionar por medio del presente estudio es el de dar una solución en menor tiempo de desarrollo ya que a través de utilización de modelos matemáticos complejos y por medio de una realización manual se puede llegar con un objetivo, pero esto incrementa significativamente el uso de recursos sobre todo en tiempo de obtención de resultados, pero con la aplicación de programas computacionales de ingeniería asistida por ordenador estos procesos se pretenden reducir significativamente así como el poder visualizar su comportamiento en cada espacio del modelado que para el presente estudio lo es el radiador del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna.

Para luego obtener las soluciones parametrizadas de la simulación del comportamiento térmico y mecánico, llegando a generar un análisis y conclusiones a través de una interpretación de cada una de estas soluciones para así poder generar un informe minucioso de este tipo de fenómeno físico.

1.3. Formulación del Problema

¿Por medio de un programa computacional de ingeniería asistida por ordenador se puede llegar a realizar un análisis y observar el comportamiento de flujo de refrigerante y su proceso de intercambio de calor en un radiador en un motor de combustión interna refrigerados de manera mixta es decir aire y líquido?

1.4. Sistematización del Problema

- ¿Qué ventajas brinda el uso de programas computacionales para poder analizar el comportamiento de flujo del líquido utilizado por el sistema de refrigeración de un motor de combustión interna al desplazarse a través del radiador o intercambiador de calor?

- ¿Cuáles son los factores que influyen en el comportamiento de intercambio de calor de un fluido líquido al pasar por un radiador o intercambiador de calor en un motor de combustión interna?
- ¿De qué manera influye el uso de programas computacionales en el desarrollo de soluciones complejas del comportamiento térmico y mecánico sobre un fluido líquido al pasar por un intercambiador de calor o radiador de motor de combustión interna?
- ¿Cómo se comportan físicamente las moléculas de un fluido líquidos al desplazarse a través de un intercambiador de calor el que posee en su trayectoria distintas formas en su geometría?
- ¿Qué ventajas brinda el uso de programas computacionales de ingeniería asistida por ordenador en la generación e interpretación de soluciones?

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

- Determinar el comportamiento de flujo del líquido refrigerante de manera térmica y mecánica al pasar por la geometría interna de un radiador con la ayuda de un programa computacional aplicada a la ingeniería asistida por ordenador.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Investigar los parámetros fundamentales que se involucran en el funcionamiento del área de intercambio de calor del sistema de refrigeración en un motor de combustión interna de cuatro tiempos.
- Modelar a través de un programa computacional de ingeniería asistida por ordenador un radiador respetando las dimensiones y geometría de diseño determinadas por el fabricante.

- Realizar el análisis térmico y mecánico de acuerdo con los resultados obtenidos en el proceso de simulación del comportamiento del flujo líquido que pasa por un radiador en un motor de combustión interna.

1.6. Justificación e Importancia de la Investigación

El presente estudio investigativo con su título de: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica, determina objetivos a través de un conjunto de fuentes investigativas las mismas que exponen soluciones a la perspectiva teórica, metodológica y práctica como se puede ver a continuación:

1.6.1. Justificación Teórica

Desde la aparición de los motores de combustión interna, uno de los factores relevantes lo han sido la termodinámica que es parte de una de las ciencias fundamentales como lo es la física que estudia cada una de las acciones mecánicas del calor, así como las distintas formas de energías.

Con el avance del desarrollo tecnológico en los motores la solución que se logró fue la aplicación de intercambiadores de calor, los mismos que permitieron controlar el rango de temperatura de funcionamiento sin que este se sobrepase y provoque de esa manera un gripado de los motores.

Por este motivo algunos investigadores han realizado muchos estudios importantes que han mejorado significativamente la vida útil de los motores de combustión interna que cuentan con un sistema de refrigeración mixta es decir entre aire y líquido, entre estos estudios se presentan los siguientes:

Según (Gavilema, 2014) se enfoca en: “Un estudio teórico y experimental de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna variando la concentración de agua y refrigerante, para observar cuál evacua mejor el calor en condiciones reales de

operación”, este trabajo se lo realizó a través de la recopilación de valores así como información técnica y adquisición de componentes que permiten el monitoreo de los datos de temperatura del refrigerante de motor, también se realizó una comparativa con modelos matemáticos así como solución de parámetros de funcionamiento por medio de programas computacionales de diseño.

Para el estudio de (Burbano, 2014) se establece: “Un diseño de un módulo didáctico de intercambiador de calor de coraza y tubos, en los cuales los fluidos empleados son el vapor de la carcasa y agua por dentro de los tubos”, el cual se lo fue realizando en etapas las mismas que se respetaron la secuencia de diseño y obtención de valores de calor al aumentar la temperatura del líquido refrigerante.

Otro estudio lo llevó a cabo (Verdesoto, 2006) en el que: “Diseña un intercambiador de calor dirigido a un motor de un automóvil, así como el análisis térmico y los métodos correspondientes para así calcular el área de transferencia de calor en función de la longitud de los conductos del radiador” adicionalmente se diseñó un programa computacional que permiten el diseño y monitoreo del funcionamiento del intercambiador de calor, sin dejar a un lado el proceso de mantenimiento preventivo del radiador para que este no varíe su operación y rendimiento de enfriamiento en el sistema de refrigeración del intercambiador de calor de manera interna y externa.

En el caso de (Abugaber, 2003) se basa en: “Una metodología para realizar pruebas térmicas a radiadores automotrices, determinando curvas de comportamiento en disipación de calor, caída de presión al lado del aire y agua, simulando un enfriamiento de un túnel de viento y empleando agua como líquido refrigerante”, pero de manera adicional aplica una adaptación con tecnología actualizada al tiempo de la realización del su estudio que permite actualizar su instalación experimental, con instrumentos de medición electrónicos que permiten determinar la fuerza, control y sin duda alguna la adquisición de valores, entre otros

valores como lo son la presión estática, factor de descarga de Venturi, temperaturas de ingreso y salida de agua como de refrigerante, al pasar por el radiador en estudio.

En la investigación de (Hernández, 2017) establece que: “Por medio del estudio numérico se puede predecir y evaluar el rendimiento térmico de un sistema de refrigeración por convección natural con una variación entre el ingreso y la salida del 2% a una velocidad del flujo de 0.00195 m/s”

Con el aporte de los antecedentes expuestos de otras investigaciones se permite que el presente estudio es viable de manera teórica bajo un sustento fundamentado y de manera científica y lo proyecta para alcances los objetivos planteados.

1.6.2. Justificación Metodológica

En lo concerniente a la justificación metodológica para el presente trabajo investigativo denominado: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica, este se fundamenta en la creación de una simulación de un intercambiador de calor como lo es un radiador perteneciente a un sistema de refrigeración de un motor de combustión interna que cuenta con un sistema de refrigeración mixta esto quiere decir refrigerado por líquido y aire, en el que la transferencia de calor se lo realiza por medio de un proceso de convección, requiriendo de información técnica y científica del elemento en estudio y así lograr la determinación de sus propiedades, características y especificaciones dimensionales físicas como técnicas, para posteriormente obtener un tipo de normativa que limite cada uno de los procesos a ser utilizados para el presente estudio.

Así mismo la fundamentación metodológica se basa en la aplicación de modelos matemáticos físicos como termodinámicos predeterminados en estudios anteriores para de esta manera ser aplicados en este estudio para así lograr obtener valores o soluciones y de esta manera realizar la comparación con la solución emitida por el programa de ingeniería

asistida por un ordenador en cuanto al análisis de flujo térmico y mecánico que generen el comportamiento del flujo líquido.

La ayuda del programa de simulación permite el uso de una metodología denominada de adaptabilidad de procesos la misma que permite la creación y obtención del modelado, así como la simulación del sistema, de manera adicional genera un informe completo del estudio realizado con cada uno de los parámetros generados y soluciones obtenidas por la simulación generada.

Por lo expuesto anteriormente el presente estudio se fundamenta en la presentación de todo el proceso de creación, modelado, simulación y obtención de resultados o soluciones de condiciones de comportamiento del flujo del refrigerante y su comportamiento al desplazarse a través de la geometría interna del intercambiador de calor así como la generación de la variación de temperatura del fluido, todo esto con la aplicación de una metodología descriptiva, teórica y experimental para de esta manera lograr obtener los objetivos establecidos consolidando de esta manera una investigación científica de alto impacto.

1.6.3. Justificación Práctica

De acuerdo a cada uno de los objetivos planteados en el presente estudio investigativo concerniente al análisis del comportamiento del flujo del líquido refrigerante de un sistema de refrigeración de un motor de combustión interna al pasar por un intercambiador de calor, su desarrollo se encuentra fundamentado bajo un proceso cronológico de etapas prácticas desde la fase inicial hasta llegar a su finalización en la que la mayoría del proceso se lo realiza con la ayuda del programa Ansys, el cual cuenta con herramientas que ayudan al desarrollo de las fases planteadas y la ventaja que brindan es que se pueden enlazar en cada uno de los procesos como lo son la generación del elemento o bocetado, modelado en dos y tres dimensiones, simulación y creación de informe final del proyecto.

1.6.4. Delimitación Temporal

En lo concerniente al desarrollo del presente estudio investigativo y de acuerdo con una planificación preestablecida para su avance y obtención de los objetivos planteados desde la fase de aprobación del proyecto, desarrollo de cada uno de los avances de las etapas teóricas y prácticas el presente estudio se lo ha establecido en llevar a cabo desde el mes de octubre de 2022 y de manera tentativa se pretende que su finalización o defensa de proyecto se llevará a cabo en el mes de abril de 2023.

1.6.5. Delimitación Geográfica

Para el presente estudio investigativo se lo ha planificado para su desarrollo llevar a cabo en el país de Ecuador, provincia del Guayas, cantón Guayaquil, preestablecido como lugar estratégico, toando como referencia local a los laboratorios y talleres de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil con su dirección en la avenida Raúl Gómez Lince y calle 15.

1.6.6. Delimitación del Contenido

La consideración tomada para el presente trabajo investigativo denominado: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica, dentro de la limitación de su contenido teórico posee un desarrollo a través de procesos minuciosos de investigación, los cuales se basan fundamentalmente en investigaciones de elementos como lo son textos de fuentes bibliográficas técnicas, científicas, entrevistas, revistas, páginas web, blogs, artículos científicos, proyectos investigativos, entre otros, que permiten fundamentar cada uno de los aspectos de conceptualización y desarrollo práctico de forma correcta para lograr el alcance planteado dentro de los objetivos del proyecto investigativo.

Para el presente estudio investigativo, dentro de su cuerpo teórico se lo ha dividido en cuatro capítulos bien definidos para su desarrollo y alcance.

1.7. Alcance

A través del presente proyecto investigativo con el tema: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica, se proyecta a la generación de la simulación del comportamiento del fluido líquido que se transporta por medio del interior de un radiador produciéndose en si una variación de temperatura del refrigerante y a su vez presenta las características externas del sistema del radiador.

Por lo tanto, el presente enfoque del trabajo investigativo referente a la simulación por medio de la dinámica de fluido computacional con sus siglas CFD, del radiador puede ser llevada a cabo por medio de una serie de características y simplificaciones de procesos que tratan en su contexto generar una aproximación a la realidad, con la particularidad reducción de recursos.

Pero se debe tener claro la conceptualización de lo que es un intercambiador de calor o radiador en la que la transferencia del calor se da por el paso de dos tipos de fluidos que circulan a temperaturas distintas a través de un sistema y dicha transferencia se da por convección.

En definitiva, el alcance que presente el presente estudio es el de llegar a la simulación a través un proceso de ingeniería asistida por ordenador a través de la metodología de elementos finitos los cuales realizan los respectivos cálculos del comportamiento mecánico que experimenta el flujo refrigerante al pasar por la parte interna de un radiador de un motor utilizado en un vehículo, así como el comportamiento de variación de temperatura que este experimenta.

Un factor importante para el desarrollo de este proyecto es conocer cada uno de los valores técnicos con los que trabaja el sistema de refrigeración de un motor de combustión interna del tipo de refrigeración por líquido o mixto, para de esta manera determinar en el

programa computacional las condiciones de frontera que se requieren para que el proceso sea el correcto y así obtener los respectivos resultados.

Capítulo II

Marco de Referencia

Con el motivo de crear un proyecto que se fundamente de manera correcta en lo concerniente a la conceptualización de cada uno de los principios a tomar en cuenta con cada uno de los elementos investigativos, así como su correcto y fácil entendimiento para el lector el presente estudio se presentan los conceptos fundamentales como:

- Transferencia de calor
- Dinámica de fluidos
- Elementos de enfriamiento
- Sistemas de refrigeración aplicado al automóvil
- Rangos óptimos de temperatura para una adecuada operación
- Funcionamiento de los radiadores, entre otros

2.1. Mecanismos de Transferencia de Calor

Según (Sendiña & Pérez, 2006) establece que: “El calor, transferencia de energía entre dos cuerpos debido a su diferencia de temperatura, puede transferirse a la atmósfera mediante tres mecanismos básicos como: conducción, convección y radiación”.

Bajo este principio expuesto, permite que se fundamente un análisis termodinámico en lo concerniente a la cantidad de energía transferida de acuerdo con un sistema cuando por él se transfiere un proceso. De acuerdo con uno de los principios de la termodinámica y considerando que la energía es el calor, para que se genere esta transferencia se necesita de una variación de temperatura y esta se da entre sistemas en la dirección del que se encuentra a mayor temperatura hacia el que se encuentra a menor temperatura, así como logrando que esta transferencia se detenga cuando se alcanza un punto de equilibrio termodinámico esto quiere decir que se igualan sus temperaturas.

Cabe aclarar que dentro de este principio de transferencia de calor y para que se lleve a cabo la única forma para alcanzarlo es que exista una variación de temperatura que para el caso del sistema de refrigeración del motor de combustión interna esta variación de temperatura del refrigerante al pasar por el intercambiador de calor o radiador es mayor al ingreso y menor a la salida de este.

2.1.1. Transferencia de Energía por Conducción

De acuerdo con lo establecido por (Incropera & De Witt, 1999) dice que: “La conducción o transferencia de calor por difusión se refiere al transporte de energía en un medio debido a un gradiente de temperatura y el mecanismo físico es el de la actividad aleatoria atómica o molecular”.

Este modo de transferencia de calor o energía puede darse en los distintos estados de la materia como sólidos, gases o líquidos, con la aclaración que en los sólidos este proceso se basa en las vibraciones de las moléculas en una red, la misma que su transportación en lo referente a energía se establece de acuerdo con los electrones libres.

En el caso que exista un elemento aislante en el proceso y este sea de mayor espesor, la pérdida de calor será menor.

Por medio de experimentos físicos como termodinámicos en el transcurso del tiempo se ha determinado que la relación que se genera por la transferencia de calor se encuentra estrechamente relacionada con la variación de temperatura, el espesor de sus paredes y el área perpendicular a la dirección de su trayectoria en cuanto a la transferencia de calor, esto indica que la transferencia posee dirección y de acuerdo a esto en los modelos matemáticos se interpreta de acuerdo al signo del valor del gradiente obtenido, pudiendo ser este positivo o negativo.

2.1.2. Transferencia de Energía por Radiación

Este tipo de transferencia de calor se refiere al paso del calor o energía por medio de una transportación de ondas electromagnéticas las cuales se propagan a una velocidad igual a la de la luz, a este tipo de transferencia de calor se la denomina dentro del campo de la termodinámica como radiación térmica.

Al momento que se toma en cuenta la radiación térmica y a esta se la compara con los otros tipos de transferencia de calor como lo es por convección o conducción, esta posee una característica única y es que este tipo de transferencia no requiere de ningún medio por la que se transporte, así mismo se debe tomar muy en cuenta que a nivel de investigación microscópica, el estudio de la radiación térmica se encuentra fundamentada por la ley establecida por Stefan Boltzman, tomándolo en cuenta al estudiar la radiación térmica ya que proyecta el flujo de energía radiante ideal o conocido como cuerpo negro. Por lo tanto, la máxima razón de la radiación que puede ser emitida tomando en cuenta o como referencia desde una superficie a temperatura termodinámica.

2.1.3. Transferencia de Energía por Convección

La definición del proceso de Convección como transmisión de calor lo establece (Monte, 2015) diciendo: “Es el mecanismo de transferencia de calor que tiene lugar en el seno de un fluido, debido a la difusión de energía, tanto por el movimiento molecular aleatorio, como sobre todo por el movimiento global de masa del fluido”.

Las características que presenta el tipo de transmisión de calor por convección son las siguientes:

- Normalmente un proceso de transmisión de energía es realizado por conducción, pero tomando en cuenta que la energía es transporta de un punto a otro por el desplazamiento macroscópico del mismo fluido.

- Radica en un transporte compartido de masa y de energía que de manera estricta requiere de la existencia de un fluido como medio de transportación. Por lo tanto, no puede existir convección de un elemento sólido, solo puede realizarse con elementos que se encuentren en estado gaseoso y líquido.
- Si se toma en cuenta dentro del estudio que cada uno de los procesos de transmisión de calor o energía por convección, normalmente se basan a través de correlaciones empíricas.

Tomando en cuenta la rapidez con la que se transmite el calor a través de un proceso de convección este es proporcional a la variación de temperatura y es expresado por medio de la Ley de Newton conocida como la de enfriamiento, en la que establece la cantidad de pérdida de calor que contiene un cuerpo, es proporcional a la variación de temperatura entre su sistema (cuerpo) y sus alrededores.

Uno de los aspectos a considerar al momento de trabajar con transferencia de calor por convección es que se debe tomar muy en cuenta es que esta depende de las siguientes propiedades:

- Velocidad del fluido
- Calor específico del fluido
- Densidad del fluido
- Conductividad térmica
- Viscosidad dinámica
- Configuración geométrica
- Rugosidad de la superficie
- Tipo de flujo que puede ser turbulento o laminar

2.2. Dinámica de Fluido

Al considerar que la dinámica de fluido es parte de la ciencia que se encarga del estudio de los fluidos que se encuentran en movimiento y además al considerar que es una de las ramas con mayor complejidad dentro de la mecánica, esto quiere decir que la complejidad se basa en sus procesos como en sus modelos matemáticos, se puede considerar que para hallar soluciones se requiere de mucho consumo de recurso por ende lo que se trata es de utilizar herramientas que permitan disminuir de manera eficiente sobre todo en tiempo la obtención de soluciones con rangos mínimos de error.

Dentro de los estudios que se han realizado en distintos campos de la ciencia el uso de la dinámica de fluidos han servido en la generación y solución de cálculo de fuerzas, hidrodinámica, aerodinámica y determinación de diámetros exactos.

También la consideración que se tiene es que la dinámica de fluidos es fundamental para el perfeccionamiento en la mayoría de los procesos de mecánica industrial, sobre todo con la elaboración de análisis exhaustivos en procesos vitales como lo son: refrigeración de equipos, extracciones de aire, transferencia de calor, entre otros.

Otro campo muy delicado de la mecánica que se ha aplicado los principios de la dinámica de fluidos es en los reactores nucleares por el motivo que cada uno de los cálculos que se lleva a cabo debe ser muy cuidadoso, para lograr la correcta eliminación de calos que se produce en el núcleo, a través de refrigerantes de fluidos gaseosos o líquidos.

2.3. Dinámica de Fluido Computacional (CFD)

Un área para el estudio de la dinámica de fluidos corresponde a la dinámica de fluidos computacional, que en el campo de la investigación permite generar una simulación numérica para obtener predicciones de flujo en distintos fluidos, así como acciones secundarias que se generan como en el caso de las reacciones químicas, transferencias de calor, tipos de combustión, entre otros.

La dinámica de fluidos computacional se creó a partir de dos disciplinas que son complementarias, como lo es el cálculo numérico y la mecánica de fluido, los modelos matemáticos que se aplican para predecir el comportamiento de los fluidos pueden ser solucionadas por medio de los diferentes métodos numéricos.

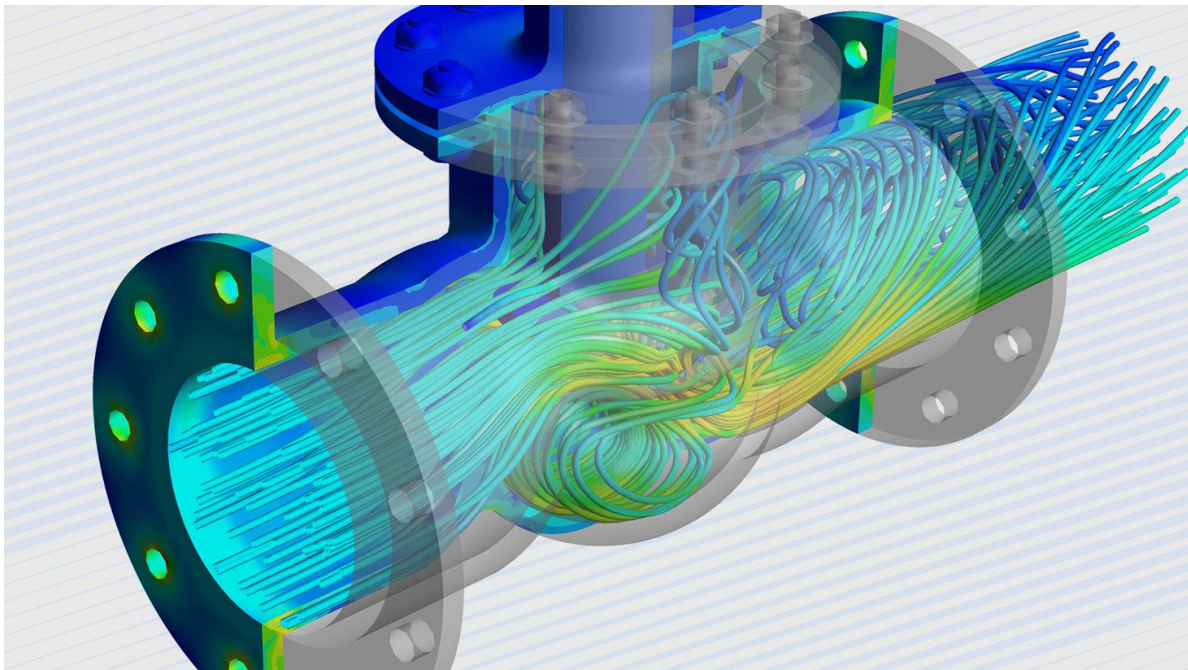
Cada una de las soluciones analíticas que los programas computacionales de dinámica de fluidos que se resuelven se componen de cuatro términos detallados como:

- Tiempo
- Advección
- Difusión
- Fuente

Por lo que de esta manera es la estructura para hallar soluciones predictivas con cada uno de los comportamientos del flujo, como por ejemplo de este criterio se puede apreciar en la figura 1.

Figura 1

Dinámica de Fluidos Aplicado a un Intercambiador de Calor



(ESSS, 2016)

En lo concerniente a los tipos de aplicaciones que se apoyan en la dinámica de fluidos computacionales de manera analítica, esta se emplea en procesos investigativos en algunos campos de proyectos, que pueden ser desde un análisis de riesgo en el caso de procesos industriales, hasta en la realización de soportes investigativos para la fabricación de maquinarias industriales como equipamiento de minería, automóviles, aviones, entre otras aplicaciones.

Definitivamente la mecánica de fluidos es concluyente en la validación de cada una de sus fases conceptuales en algunos proyectos, debido a que permite generar una simulación de viabilidad para de esta manera obtener la mejor alternativa de solución, al poder predecir cada uno de sus comportamientos, para cada uno de los escenarios generados.

Por ejemplo, entre las principales aplicaciones que presume la dinámica de fluidos computacionales se presentan las siguientes:

- Soporte en investigaciones reflejados en proyectos de urbanismo y arquitectura
- Soluciones para industrias petroquímicas, agricultura, acuicultoras, mineras
- Planificación en diversos proyectos de fuentes de generación de energías
- Simulaciones de predicción del ambiental
- Análisis en proyectos aerodinámicos
- Análisis en proyectos hidrodinámicos
- Gestión y planificación de recursos hídricos
- Control de procesos industriales
- Análisis de los riesgos en los procesos industriales
- Simulación del comportamiento de los fluidos en diferentes tipos de entornos
- Los aportes de la dinámica de fluidos computacional en procesos industriales se reflejan en los siguientes:
 - Diseño y optimización de las maquinarias rotativas

- Refrigeración de equipos electrónicos
- Extracción de aire contaminante
- Transferencia de calor

De esta manera conceptualmente se puede llegar a la conclusión que la dinámica de fluidos computacionales desde sus principios ha permitido proporcionar una ayuda en la determinación de la capacidad que posee el desarrollo de la producción humana; también el poseer la capacidad de predecir el comportamiento de los diferentes entornos, ayudando de esta manera a usar herramientas de toma de control en situaciones complejas cuando se aplican procesos.

2.3.1. Código de Dinámica de Fluidos Computacionales

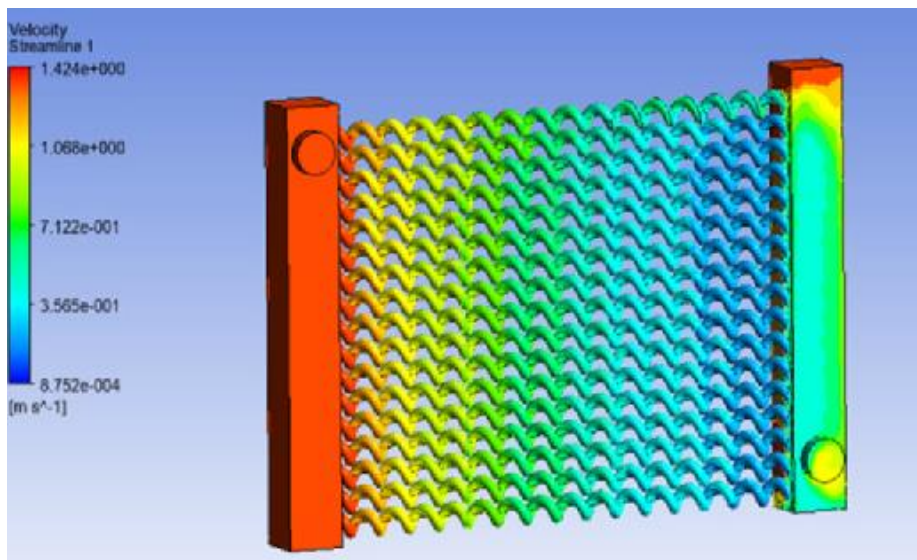
Esta es una estructura de acuerdo con los algoritmos numéricos que pueden dar solución a problemas en lo concerniente a flujo de fluidos y estos códigos poseen tres elementos principales como lo son:

- Procesador. – Este genera un preprocesamiento que no es más que la entrada de un problema relacionado a un flujo por medio de un programa de CFD, a través de una interfaz y de sus condiciones para luego a esto transformar en un conjunto de datos de entrada y luego ingresara a un solucionador.
- Solucionador. – Existen tres corrientes diferentes en cuanto a técnicas de solución numérica, como lo son: elementos finitos, diferencias finitas, métodos espectrales y una formulación especial como lo es el método de volumen finito que en definitiva generan los códigos CFD los mismos que constan de los siguientes pasos: integración de ecuaciones, discretización y solución de ecuaciones a través del método conocido como iterativo.
- Pos-Proceso. – Muy similar a las acciones que realiza el preprocesamiento, esta fase acumula gran cantidad de trabajo de desarrollo sobre todo en las estaciones de

trabajo de ingeniería, en las cuales posee las capacidades gráficas sobresalientes. Actualmente los principales programas de CFD cuentan con herramientas de visualización de datos muy versátiles en las que incluyen visualización de cuadrículas, geometría de dominio, Campos vectoriales, líneas de contornos sombreados, seguimientos de partículas, campos superficiales en dos y tres dimensiones, manipulación de traducción, escalonado, rotación, entre otras y animación en la obtención de resultados con animación visual de manera dinámica, un ejemplo gráfico de esto se puede observar en la figura 2, donde se observa el comportamiento y los resultados del problema generado por un flujo que pasa por un radiador en el que su flujo de refrigerantes varía su temperatura desde el ingreso hasta su salida, generándose de esta manera una variación en la que teóricamente el ingreso es mayor y la salida decrece la misma en el porcentaje que dependerá del tipo y área del radiador.

Figura 2

Aplicación de Herramienta CDF en el Desempeño de un Radiador



(Pandey, 2018)

2.4. Generación de Mallado

Una de las condiciones a tomar muy en cuenta lo es la generación del mallado, así como la importancia que este tiene al momento de realizar un estudio de simulación en dinámica de fluidos de forma computacional ya que esta es una fase crucial en parte de la metodología del análisis de diseño.

Teniendo en cuenta que el programa computacional genera automáticamente una malla del tipo combinado de elementos con vacíos, sólidos, así como de vigas.

Cuando se trabaja con modelos complejos en 3D o con elementos voluminosos se debe aplicar la malla de tipo sólida.

Ahora para poder entender el termino mallado corresponde a un proceso utilizado en ingeniería asistida por ordenador en el que consiste en la subdivisión del modelo en estudio en pequeñas partes y los programas que se encargan del análisis de elementos finitos lo consideran al modelo como una red o malla de elementos que se encuentran interconectados, este un paso fundamental en el análisis de diseño.

Generalmente se toma en cuenta las especificaciones de los puntos de la malla en una superficie que se encuentra delimitada para luego proceder desde esos puntos hacia el centro del dominio.

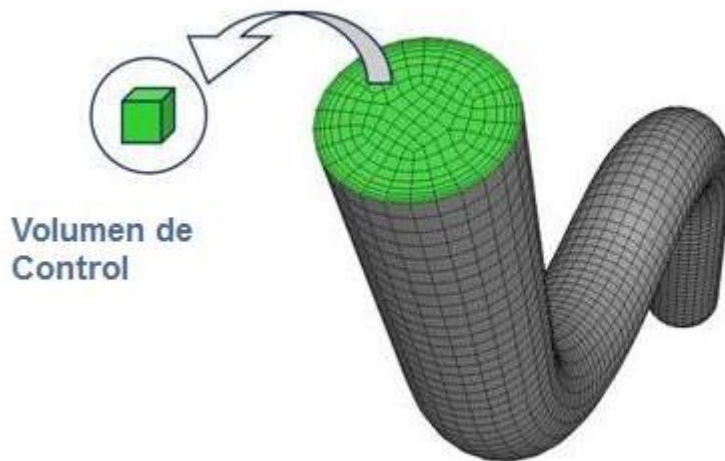
El mallado está consolidado por la geometría del elemento en estudio y principalmente de sus aristas, pero con la consideración que mientras más compleja es la geometría también más compleja es la malla. Para el caso del estudio en flujos se debe tener en cuenta que el mallado no se basa en su comportamiento.

Para la denominación del mallado se debe tener en consideración a la discretización en la que su conectividad persigue un patrón reticular. Normalmente utiliza elementos cuadrangulares para el caso de un estudio en dos dimensiones y hexaédricos para el caso de tres dimensiones, pero a partir de estos se pueden generar tetraédricos y triangulares. Si las

células en las interfaces del elemento poseen caras de forma irregular estas deberán ser trabajadas con un mallado de poliedros, como se puede observar en la figura 3.

Figura 3

Mallado de Flujo y Volumen de Control



(ESSS, 2016)

2.5. Intercambiador de Calor

Al referirse a un intercambiador de calor se establece que no es más que un equipo que cumple la función de transferir de manera continua el calor de un medio a otro. Existen dos tipos de intercambiadores de calor como lo son:

2.5.1. Intercambiador de Calor Directo

En este tipo de intercambiador de calor, ambos medios por donde se trasladan los flujos se encuentran conectados directamente entre sí, pero con la condición de que los medios no llegan a mezclarse, por ejemplo, en el caso de una torre de enfriamiento industrial en donde su principio es que el fluido en forma líquida se llega a enfriar por el contacto directo con el flujo de aire.

2.5.2. Intercambiador de Calor Indirecto

Para esos tipos de intercambiadores de calor corresponde el principio de que ambos medios se encuentran separados por una o varias paredes en las que se llega a realizar la

transferencia de calor y estos se encuentran disponibles en algunos tipos y entre los principales se tienen los siguientes: carcasa y tubo, placa, espiral, serpentín, entre otros. Cabe tomar en cuenta que de todos los tipos mencionados el que brinda mayor eficiencia lo es el intercambiador indirecto de color del tipo placas, por lo que ofrece una mayor solución a los inconvenientes térmicos, obteniendo de esta manera límites con un mayor rango de presión y la temperatura con que trabaja se encuentra dentro de los parámetros de restricción del equipo utilizado en ese momento.

2.6. El Sistema de Refrigeración de un Motor de Combustión Interna

Básicamente un motor alternativo de combustión interna cumple la función de transformar el poder calorífico que posee un combustible en energía mecánica.

Esta transformación de energía se produce a través de la inflamación de la mezcla de combustible y el aire provocando de esta manera una combustión de dicha mezcla sobre cada uno de los cilindros del motor.

La combustión que se produce genera un fenómeno físico y químico que provoca directamente una cantidad muy alta de calor, pero de toda esa energía transformada no es aprovechada en su totalidad, sino que la mayoría de esta energía se pierde por uno u otro factor o es liberado al medio ambiente, siendo afectado el motor por cada una de estas pérdidas ya sea por radiación, rozamiento, etc.

Con este criterio se establece que un motor de combustión interna se requiere que sea adiabático de manera teórica ya que de manera real su comportamiento normal no permite que lo sea por el motivo que en el instante de la combustión su temperatura es demasiado grande con los elementos que se encuentran directamente relacionados con la cámara de combustión por lo que con ese tipo de temperatura en la realidad no se soportaría dicha elevación de temperatura.

Según (Rojas & Estremera, 2012) brinda un ejemplo en el que “En el cilindro se alcanzan temperaturas de unos 200 °C, en la culata unos 300 °C y en la cabeza del pistón unos 350 °C y en la cabeza de las válvulas de escape de manera instantánea la temperatura se eleva a unos 700 °C”.

Este es el motivo fundamental por el que un sistema de refrigeración debe ser eficiente para poder controlar la temperatura de funcionamiento del motor con el bloqueo o eliminación de calor de manera controlada, para lo cual a este rango de temperatura de funcionamiento se lo denomina temperatura óptima de funcionamiento del motor de combustión interna.

Los tipos de sistemas de refrigeración utilizados en motores de combustión interna son los siguientes:

- Refrigeración por aire
- Refrigeración por líquido
- Refrigeración mixta

En lo concerniente a que elementos conforman básicamente un sistema de refrigeración de un motor de combustión interna se tiene los siguientes:

- Ventilador o electroventilador
- Termostato
- Radiador
- Bomba de líquido refrigerante
- Cámaras de refrigerante
- Cámaras o camisas de refrigerante
- Sensor de temperatura
- Vaso de expansión
- Radiador de calefacción

- Mangueras o conductos de conexión
- Líquido refrigerante

2.7. Radiador

Dentro de la industria automotriz se considera a un radiador como un dispositivo de intercambio de calor entre dos medios que para este caso de estudio es el medio ambiente uno de ellos. También sirve para poder disipar el calor de un aparato u objeto para de esta forma lograr que no se alcance el punto de sobrecalentamiento o también para aprovechar, elevando la temperatura de un espacio físico o un objeto.

El radiador es parte fundamental del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna ya que su función principal es la que controla que no se vaya a generar un sobrecalentamiento dentro del motor y puede desarrollarse de forma óptima a distintos niveles y que se obtenga el máximo rendimiento, esto se puede apreciar en la figura 4.

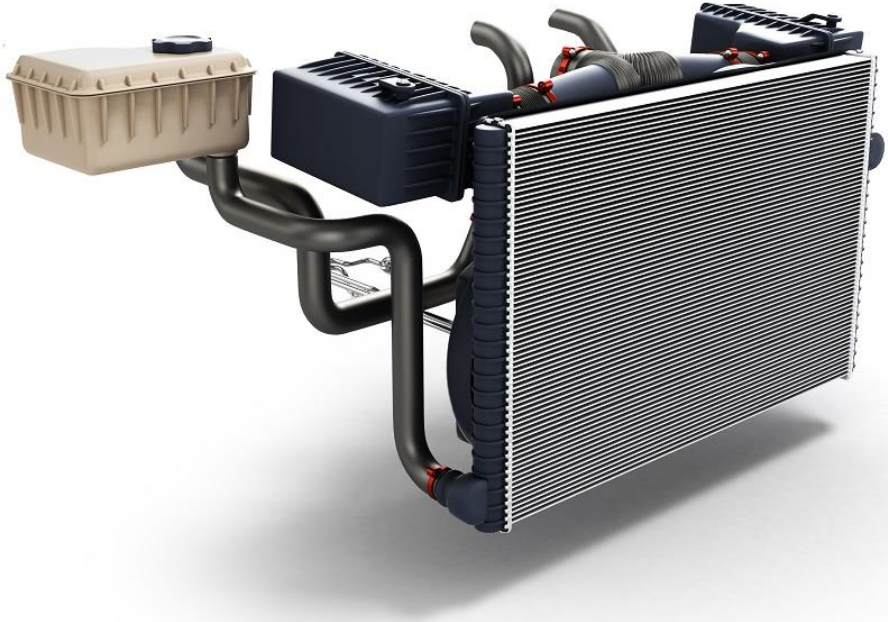
Por lo general el radiador cumple su función a través del paso del líquido refrigerante por medio de aletas metálicas muy delgadas, logrando de esta manera que el calor fluya al medio ambiente con mucha facilidad, pero la secuencia es que el radiador se encargó de enfriar el refrigerante y luego se produce el enfriamiento del motor.

Antes de determinar los tipos de radiadores que se utilizan en el sistema de refrigeración de un motor de combustión interna se debe tener en cuenta la finalidad de por qué este elemento se lo aplica y sin duda alguna la generación de calor que se genera en un mecanismo es debido a la fricción que se generan por el movimiento de las piezas móviles y otra fuente de generación de calor es la propia combustión del combustible en la zona denominada cámara de combustión y para poder controlar este nivel de temperatura dentro del rango óptimo de funcionamiento se instala un radiador el cual cumple la función de disipar el calor interno y por ende disminuir la temperatura del flujo líquido que se desplaza por la parte interna cuando por la parte exterior para un flujo gaseoso generando así un

intercambio de calor y de esta manera se logra que el motor no llegue a alcanzar temperaturas que malogren sus componentes internos.

Figura 4

Sección de Sistema de Refrigeración en un Motor de Combustión Interna con Refrigeración Mixta.



(EuroTaller, 2021)

El tipo de conexión que posee un radiador con el motor es en paralelo en la que la sección de ingreso se da por la parte superior la cual se proyecta desde la base del termostato del motor de combustión interna a través de manguitos y la sección de salida se conecta a la bomba de agua ubicada en el bloque de motor y de igual manera esta es conectada a través de manguitos.

La ubicación del radiador en un motor de combustión interna por lo general se encuentra posicionada en la parte frontal del vehículo para de esta manera facilitar la incidencia del flujo de aire desde la parte exterior del vehículo con dirección a la parte interna del habitáculo del motor, tomando en cuenta que en la mayoría de los vehículos se incorpora un ventilador el cual aumente el flujo de aire al sistema y así mejorar la eficiencia del sistema de refrigeración.

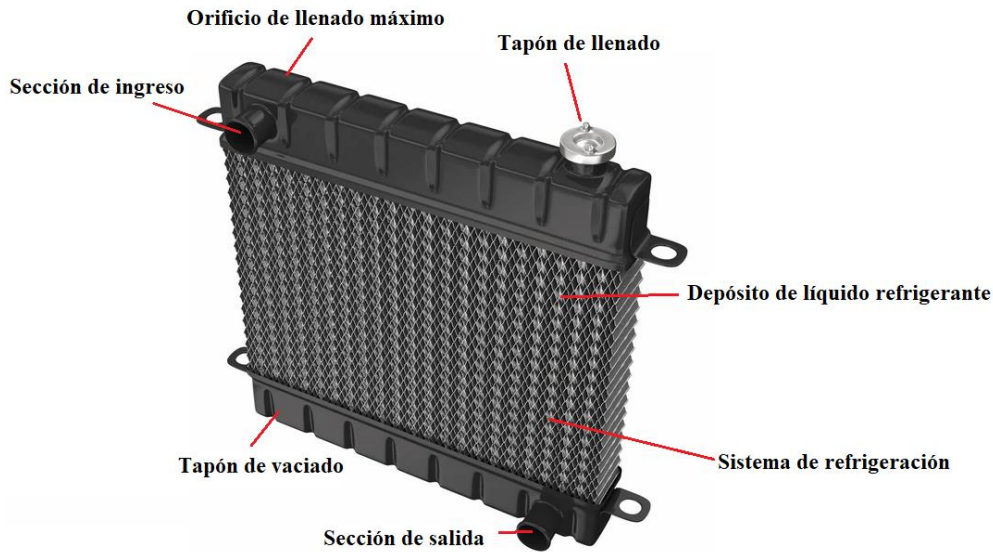
La mayoría de los radiadores están constituidos por dos cámaras, ubicada una en la parte superior que consta de una toma de llenado la cual está cerrada a través de una tapa de seguridad y otra en la parte inferior en donde se encuentra la sección de salida y en algunos casos el tornillo de drenaje del sistema o conocido como grifo de evacuación del líquido refrigerante o anticongelante.

Estas dos cámaras se encuentran conectadas a través de un conjunto de tuberías las mismas que son seccionadas por las que internamente circula el líquido refrigerante del motor y por la parte externa posee un conjunto de aletas finas las mismas que por medio de un diseño óptimo logran un óptimo intercambio de calor.

En definitiva, las partes que conforman un radiador utilizado en un motor de combustión interna son las siguientes:

- Depósito de agua
- Tapón de vaciado
- Tapón de llenado
- Sección de ingreso
- Sección de salida
- Orificio de llenado máximo
- Depósito de líquido refrigerante
- Sistema de refrigeración

Cada uno de los componentes que conforman un radiador utilizado en motores de combustión interna de un vehículo se puede apreciar en la figura 5, teniendo en cuenta que ciertas partes pueden variar de acuerdo tipo de radiador a ser aplicado, como por ejemplo actualmente la mayoría de los radiadores no poseen tapón de vaciado ni tapón de llenado de refrigerante.

Figura 5*Partes que Conforman el Radiador*

2.8. Tipos de Radiadores

Considerando que los radiadores cumplen la función principal como lo es la disipación del calor y esto depende significativamente de su tamaño y forma.

Para poder clasificar los tipos de radiadores estos se dan de acuerdo con varios criterios como lo puede ser por su material, tamaño, aplicación, funcionamiento, forma interna y externa, entre otros.

Si esta clasificación se diera por el tipo de material que se utiliza en su construcción se tiene los siguientes:

- Panel de acero
- Aluminio
- Hierro fundido
- Mixtos (polímero y metal)

Otra manera de clasificar a los tipos de radiadores lo es por la forma con que están construido o distribuidos los conductos por donde se transporta el líquido refrigerante los cuales influyen directamente en la eficiencia de la variación de temperatura y el tipo de flujo que este experimenta.

Entre los tipos más conocidos en el campo de la industria automotriz se encuentran los siguientes:

- Tubular
- Panal
- Láminas de agua

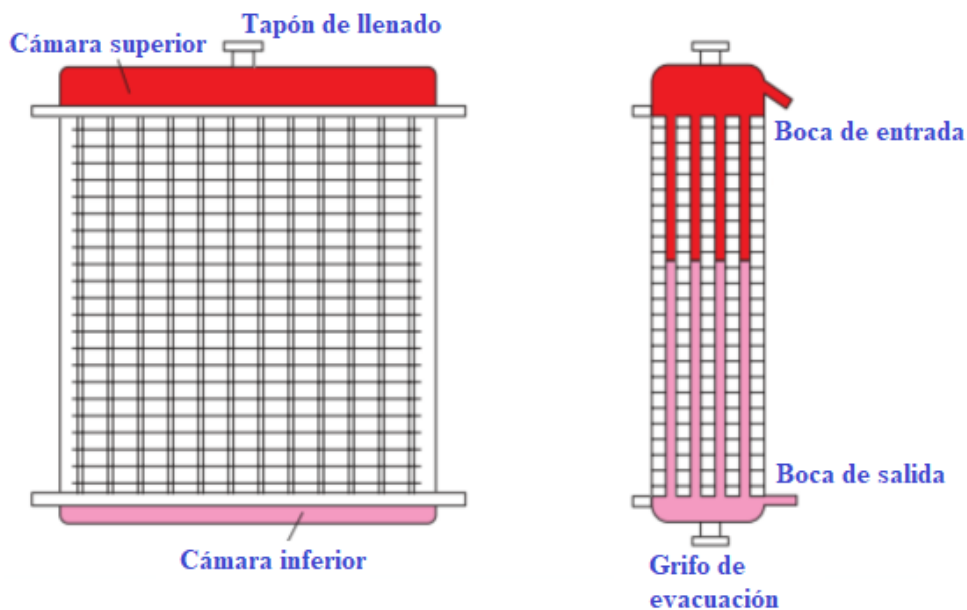
2.8.1. Radiador Tubular

Este tipo de radiador se encuentra construido por múltiples tubos planos provistos por finas aletas horizontales soldadas que permiten una óptima disipación del calor. Normalmente son de chapa de latón como material y unen a los dos tanques por donde posee el ingreso y la salida del fluido, este tipo de radiador se lo puede observar en la figura 6.

Entre las ventajas que brinda este tipo de radiador es que la disposición de los tubos que lo conforman es que son rectos lo que permite que no se generen normalmente obstrucciones y también existe poca probabilidad que se agrieten en caso de que el radiador se llegue a congelar ya que puede llegar a experimentar deformación dentro de ciertos límites.

Figura 6

Radiador Tipo Tubular



Nota: Radiador tubular de doble cámara tomado de (Federico, 2018)

2.8.2. Radiador de Panal

Este es un tipo de radiador utilizado en la industria automotriz e industrial en sistemas de refrigeración por líquido refrigerante, también se lo suele denominar radiador de tipo nido o panal de abeja, celular o tubos de aire.

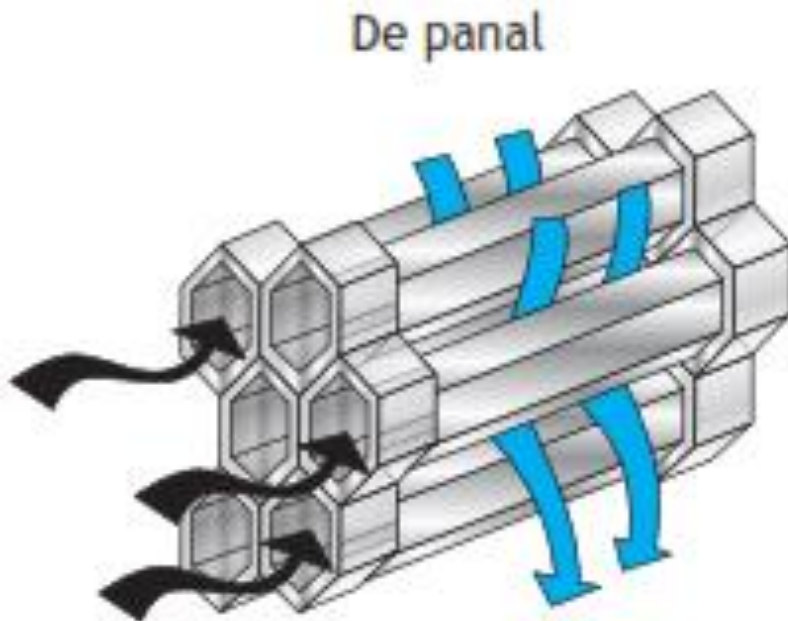
Consiste básicamente en un conjunto de pequeños tubos del tipo hexagonal en su forma seccional, por los cuales circula un flujo de aire, estos tubos se encuentran unidos entre sí y dejan un espacio con un reducido espesor y es por este medio en donde se genera la circulación del líquido refrigerante del motor.

Entre las ventajas que se obtienen al utilizar este tipo de radiador es que se posee una buena relación entre el volumen de fluido líquido se procederá a refrigerar y la superficie que se encuentra expuesta al flujo de aire que circula por el exterior, lo que genera como una consecuencia la necesidad de una menor cantidad de fluido líquido requerido para la instalación de refrigeración del motor de combustión interna.

Por estos motivos es que las ventajas que se obtienen con su aplicación es traducida en un ahorro significativo en peso y en una reducción del tiempo en conseguir la temperatura deseada por el líquido refrigerante para el rango de funcionamiento del motor de combustión interna.

También se presentan ciertas desventajas como lo son las de ser muy propensa para una obstrucción por el motivo que sus secciones por las que se traslada el fluido refrigerante son reducidas y también presenta mayor fragilidad debido a la gran cantidad de soldaduras, así como un elevado costo en comparación a los radiadores de tubos con aletas.

Este tipo de radiador denominado de panal de abejas o nido se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7*Radiador Tipo Panal*

Nota: Radiador tipo panal tomado de (Saavedra, 2008)

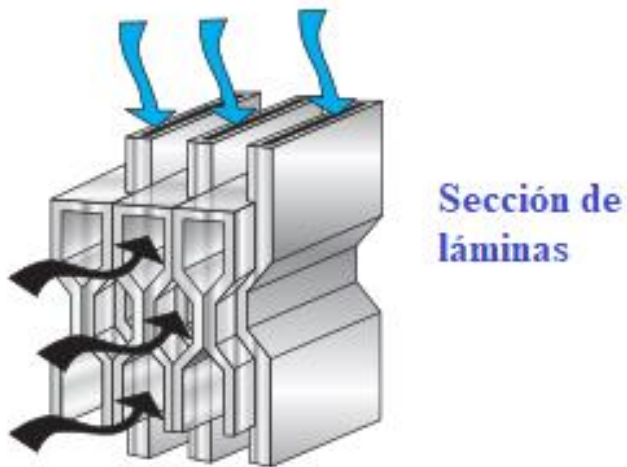
2.8.3. Radiador de Láminas de Agua o de Cascada

Este tipo de radiador no es más que un dispositivo diseñado para la disipación de calor del líquido refrigerante de un motor de combustión interna mediante el flujo de líquido por medio de una estructura tubular conectada por láminas disipadoras de calor, normalmente finas y construidas con un material disipador de calor.

La característica que posee el diseño de este tipo de radiador es que son tubos achatados y anchos por donde circula el líquido refrigerante, los cuales se encuentran soldados entre sí y con una forma generada de ondulaciones o también pueden estar colocadas de manera separada y son sostenidos por finas chapas de latón, las mismas que brindan mayor rigidez a cada uno de los pasos hexagonales por los que circula el aire con lo que se forma un falso panal, como se puede apreciar en la figura 8, pero teniendo en cuenta que el flujo del líquido refrigerante se desplaza desde el tanque superior al tanque inferior y el fluido de aire circula por la sección frontal del radiador.

Figura 8

Radiador Tipo Láminas de Agua o de Cascada

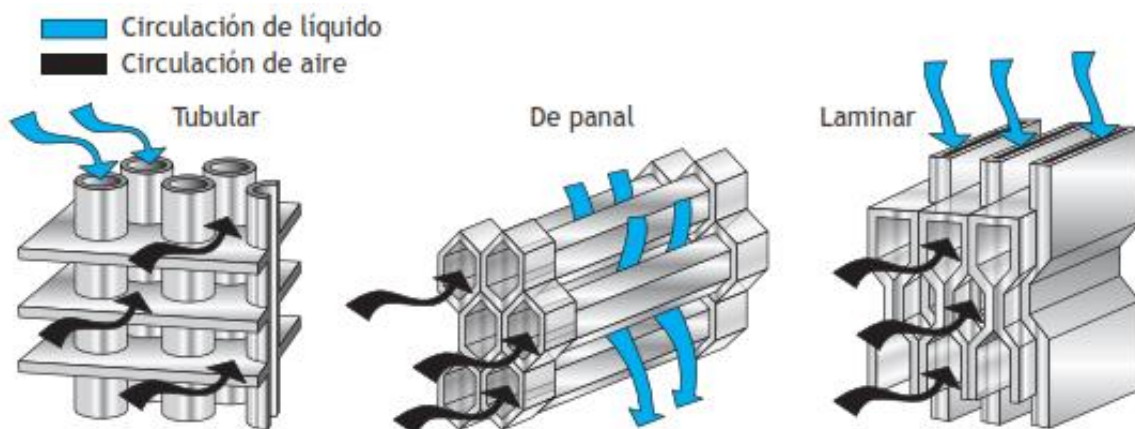


Nota: Radiador tipo panel tomado de (Federico, 2018)

Para tener en cuenta el comportamiento del flujo de aire y refrigerante del motor de combustión interna se puede observar claramente en la figura 9 como interactúan de acuerdo con los tres tipos de radiadores referenciados, así mismo se debe tener en cuenta el material con que se fabrican estos radiadores ya que deben ser resistentes a la corrosión y buenos conductores de calor, como latón, cobre, aluminio, etc., y las cámaras laterales pueden ser de materiales plásticos con propiedades que resistan ataques químicos, impactos y temperaturas.

Figura 9

Comportamiento de flujos a través de Tipos de Radiadores



(Federico, 2018)

2.9. Características y Aplicaciones

Los radiadores de tubos y carcasa utilizados en la industria automotriz son parte de los diseños que funcionan correctamente para el control de temperatura de motores de combustión interna con enfriamiento mixto, sobre todo por que poseen una buena relación de costo eficiencia, estos radiadores o intercambiadores pueden ser elaborados de distintos tamaños y formas dependiendo de la aplicación a la que serán sometidos y su capacidad de funcionamiento como de rendimiento, así mismo dentro de su elaboración estos varían de acuerdo al material utilizado, su flexibilidad que debe presentar, su forma de instalación la cual puede ser horizontal o vertical, otra de sus características es que debe brindar facilidades para su mantenimiento y reparabilidad y por último su diseño debe ser de muy fácil instalación dentro del habitáculo en donde funcionará según las necesidades requeridas.

Los radiadores o intercambiadores de calor poseen una amplia gama de aplicación, como se enlista a continuación:

- Condensadores
- Enfriadores de flujos hidráulicos
- Transformadores eléctricos
- Enfriadores de aire
- Calefactores
- Inter enfriadores
- Post enfriadores, entre otros

2.10. Relaciones de Diseño y Cálculo para Radiadores

Para generar un diseño de un radiador de calor de coraza y tubos, es de suma importancia tener fundamentados los conceptos diseño térmico y de transferencia de calor, para de esta manera lograr realizar un correcto análisis termodinámico del sistema conociendo o determinando la tasa de transferencia de calor, adicionalmente se selecciona el

método con el que se procede a realizar el respectivo diseño de diferencia de temperatura logarítmica o conocido por sus siglas LMTD, en lo que se requiere como valores principales es saber el valor de temperatura de ingreso y salida del sistema del radiador, también se requiere el valor de flujo másico del fluido en análisis para poder determinar el área de transferencia de calor, otro valor a conocer es el coeficiente global de transferencia de calor, cabe recalcar que el valor de este coeficiente es definido en términos de resistencia térmica sumatoria a la transferencia de calor entre los fluidos en análisis.

También se presentan otros factores que influyen directamente en el análisis del flujo o combinación de flujos y dimensiones de cada uno de los conductos, entre otros.

Para el caso de diseños hidráulicos se procede a establecer algunas variables como lo son:

- Caída de presión sufrida por los fluidos, tomando en cuenta que estos estén dentro de un rango de funcionabilidad para que funcione correctamente el equipo.
- Para el diseño mecánico cada uno de los componentes que conforman el radiador debe ser analizado de forma independiente, pero en función a cada una de las tensiones que actúan sobre él, las fuerzas que se presentan y de las deformaciones a las que se encuentran sometidos.
- Finalmente se debe calcular cada uno de los espesores los componentes que influyen en el funcionamiento del radiador.

A continuación, se presentan la conceptualización de cada una de las ecuaciones que se emplean en el desarrollo del estudio y diseño de radiadores de coraza y tubos con aplicación en la industria automotriz.

2.10.1. Área de Transferencia de Calor

Esta sección se conoce como el área total disponible para la transferencia de calor entre dos fluidos. En un radiador de calor de coraza y tubos su área superficial es calculada

por medio de la extracción del área superficial de la sección del tubo y esta es multiplicada por número de tubos que cuente el radiador, así como el número de pasos por cada carcasa que este posee.

2.10.2. Flujo Másico

Termodinámicamente hablando (Roldán, 2014) establece que: “El gasto másico o flujo de masa por unidad de tiempo, se define como la variación de la masa con respecto del tiempo”.

También se lo puede definir como la cantidad de masa que pasa por medio de la sección transversal de un elemento de flujo, por la unidad de tiempo. Teniendo en cuenta que el flujo masico que ingresa y sale del sistema trabaja como un mecanismo adicional de transferencia de calor o energía. Hay que tener presente que al momento que en un sistema ingresa una cantidad de masa también está ingresando energía ya que la masa posee energía propia y del mismo modo cuando el sistema pierde masa también con ello disminuye la energía del sistema.

Ecuación 1

Modelo Matemático para Determinar Flujo Másico

$$\dot{m}_i = \rho * V * A$$

Donde:

\dot{m}_i = Flujo másico del agua

ρ = Densidad de flujo

V = Velocidad de entrada de agua a los tubos, velocidad máxima

A = Área del tubo

2.10.3. Delta de Temperatura

El delta de temperatura es definido básicamente por la variación entre las temperaturas del sistema entre la salida y la entrada del radiador, siendo esta diferencia la fuerza motriz, a

través de la cual la energía o calor se transfiere desde la fuente hacia el receptor que para este caso es el motor de combustión interna.

Esta diferencia de temperatura que se producen en el radiador es la que interesa al momento de realizar el análisis o al momento de diseñar un radiador.

Ecuación 2

Modelo Matemático para Determinar el Delta de Temperatura

$$\Delta T_i = T_{i \text{ salida}} - T_{i \text{ entrada}}$$

Donde:

ΔT_i = Delta de temperatura o diferencia de temperatura

$T_{i \text{ salida}}$ = Temperatura de salida

$T_{i \text{ entrada}}$ = Temperatura de entrada

2.10.4. Velocidad de Transferencia Neta de Calor

Para poder entender el término termodinámico conocido como velocidad de transferencia neta de calor este se lo define como el producto entre el calor específico del agua, el flujo másico del fluido y la variación de temperatura de salida con la de entrada del radiador.

Esta transferencia de energía o calor direccionado la sección de ganancia de energía, se genera el incremento de energía molecular debido a la agitación molecular y por consecuente también del sistema.

Hay que tomar en cuenta que la transferencia de calor en un determinado sistema se convierte también en una pérdida de energía o disminución de esta, debido a que la energía transferida como calor proviene directamente de la energía de las moléculas que conforman el sistema.

Ecuación 3

Modelo Matemático para Determinar la Velocidad de Transferencia Neta de Calor

$$q_i = \dot{m}_i * C_p * \Delta T_i$$

Donde:

q_i = Velocidad de transferencia neta de calor

\dot{m}_i = Flujo másico del agua

C_p = Color específico del agua

ΔT_i = Delta de temperatura o diferencia de temperatura

2.10.5. Diferencia de Temperatura Media Logarítmica

El termino de diferencia de temperatura logarítmica con sus siglas LMDT, no es más que un método de diseño, en el que básicamente es necesario el conocer las temperaturas de entrada y salida del radiador para poder realizar su aplicación en el estudio, adicionalmente del flujo másico de los fluidos se puede llegar a determinar el área de transferencia de energía o calor a través de un procedimiento adecuado y lógico.

Teniendo en cuenta que LMDT es igual al ΔT_{in} , se tiene el siguiente modelo matemático.

Ecuación 4

Modelo Matemático para Determinar la Temperatura Media Logarítmica LMTD

$$LTDM = \frac{(T_2 - T_{i\text{ salida}}) - (T_3 - T_{i\text{ entrada}})}{\ln \frac{(T_2 - T_{i\text{ salida}})}{(T_3 - T_{i\text{ entrada}})}} \quad \square$$

Donde:

$LTDM$ = Delta de temperatura media logarítmica

T_2 = Temperatura de entrada de flujo caliente

T_3 = Temperatura de salida de flujo caliente

$T_{i\text{ salida}}$ = Temperatura de salida

$T_{i\text{ entrada}}$ = Temperatura de entrada

2.10.6. Temperatura de Promedio de los Tubos

El promedio de la temperatura de los conductos o tubos por donde ingresa, así como por donde sale el fluido del líquido refrigerante en el radiador se lo determina a través del siguiente modelo matemático.

Ecuación 5

Modelo Matemático para Determinar la Temperatura Promedio de los Tubos

$$T_{s \text{ promedio}} = \frac{T_{i \text{ entrada}} + T_{i \text{ salida}}}{2}$$

Donde:

T_s = Temperatura promedio de los tubos

$T_{i \text{ salida}}$ = Temperatura de salida

$T_{i \text{ entrada}}$ = Temperatura de entrada

2.10.7. Calor Latente de Vaporización

En esta sección se debe en primer lugar tener claro el concepto termodinámico de calor latente en el que se define como la energía requerida por una determinada porción de sustancia para que esta pueda cambiar de estado, para luego establecer que esta suma de calor latente y la multiplicación entre el coeficiente dado por el modelo matemático, el calor específico del agua y la diferencia de temperatura de saturación y de la respectiva superficie en análisis.

Se tiene en cuenta que el calor latente de vaporización h_{fg} luego de que se produce una condensación una unidad de masa este se evapora, generando de esta forma una transferencia de calor por unidad de masa. Con este proceso se debe tener en cuenta que en la realidad lo que se provoca un enfriamiento el cual se debe extraer su diferencia entre la temperatura de salida y la de entrada ya que de esta forma se libera calor, por lo que la transferencia de calor en la realidad es mayor.

Ecuación 6

Modelo Matemático para Determinar el Calor Latente de Vaporización

$$\dot{h}_{fg} = h_{fg} + 0,68 C_p (T_{sat} - T_s)$$

Donde:

\dot{h}_{fg} = Calor latente de vaporización

h_{fg} = Calor latente

C_p = Calor específico del agua

T_{sat} = Temperatura de saturación

2.10.8. Número de Nusselt

Se debe considerar que este es un número adimensional el cual se encarga de la medición del aumento de transmisión de calor desde una superficie en la que un determinado fluido circula a través del proceso de convección y es comparada con la transferencia de calor en el caso de que esta se transfiera por un proceso de conducción.

Cuanto mayor es el resultado obtenido del número de Nusselt el sistema posee mayor eficacia la convección generada.

Las siglas con que se manejan cada uno de los parámetros son las siguientes:

Transferencia de calor por convección: hLc

Transferencia de calor por conducción: k

Ecuación 7

Modelo Matemático para Determinar el Número de Nusselt

$$NU = \frac{h * Lc}{K}$$

Donde:

NU = Número de Nusselt

h = Coeficiente corregido

Lc = Longitud de la coraza

K = Conductividad térmica de los tubos

2.10.9. Cálculo del Coeficiente del Vapor hacia el Agua

Este coeficiente puede ser expresado en relación del número de Nusselt, pero en condensación sobre tubos horizontales, placas verticales y esferas de un radiador de motor de combustión interna.

Para el caso de determinación del coeficiente de vapor hacia el líquido refrigerante sobre superficies exteriores de un tubo horizontal se consigue a través del siguiente modelo matemático:

Ecuación 8

Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente del Vapor hacia el Agua

$$h_o = 0.729 \left[\frac{g * \rho_l * (\rho_l - \rho_v) * h_{fg} * Kl^3}{\mu l * (T_{sat} - T_s) * de} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Donde:

h_o = Coeficiente del vapor hacia el agua

g = Gravedad

ρ_l = Densidad de líquido a la temperatura de película

ρ_v = Densidad de vapor

h_{fg} = Calor latente

Kl = Conductividad térmica del líquido, a temperatura de película

μl = Viscosidad dinámica del líquido

T_{sat} = Temperatura de saturación

T_s = Temperatura promedio de los tubos

de = Diámetro exterior del tubo de cobre

2.10.10. Número de Prandtl

Según (Costa, 2005) define al “número de Prandtl como un parámetro adimensional para el cálculo de transferencia de calor”.

Los rangos que se manejan con la aplicación del número de Prandtl en estudios, análisis y diseños según (Coulson & Richardson, 1979) establece que “este número para fluidos en el caso de los metales líquidos va desde menos de 0.7 y 160” esto dependerá de tipo de fluido y su estado de materia en el que se encuentre, por lo que se debe considerar con la velocidad a la que el calor se difunde según el medio el cual va desde los metales líquidos de manera rápida y despacio en fluidos aceitosos de acuerdo con la relación de cantidad de movimiento.

La capa límite térmica en el caso de los metales líquidos es más gruesa y en el caso de los fluidos aceitosos es más delgada, dependiendo este comportamiento de la relación que se presenta con el límite de la velocidad. Se debe interpretar que mientras más pequeño es el número de Prandtl es pequeño indica que el calor se difunde de manera muy rápida en comparación con la velocidad.

Su modelo matemático es expresado por la división entre la difusividad molecular de la cantidad de movimiento y la difusividad molecular del calor.

Ecuación 9

Modelo Matemático para Determinar el Número de Prandtl

$$Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu l C_p}{k}$$

Donde:

Pr = Número Prandtl

v = Difusividad molecular de la cantidad de movimiento

α = Difusividad molecular del calor

μl = Viscosidad dinámica del líquido

C_p = Calor específico del agua

k = Conductividad térmica del gas

2.10.11. *Número de Reynolds*

El número de Reynolds no es más que un número adimensional usado fundamentalmente en estudios de mecánica de fluidos, diseño de reactores, así como en fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de fluidos. El valor que se obtenga con este parámetro indica si es un flujo que sigue un modelo turbulento o laminar.

El número de Reynolds fundamentalmente relaciona la velocidad, densidad, fuerzas y dimensión de flujo.

Para su análisis se deben tener las siguientes consideraciones:

Si el número de Reynolds es alto esto indica que hay proporcionalidad entre la velocidad del flujo y su densidad, logrando disminuir las fluctuaciones aleatorias y rápidas de dicho fluido, esto permite mantener un flujo turbulento.

Si el número de Reynolds es bajo, indica que las fuerzas viscosas son muy elevadas y capaces de sobrellevar las fuerzas de inercia generadas en el sistema, permitiendo mantener de esta manera un flujo laminar.

Ecuación 10

Modelo Matemático para Determinar el Número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho_l V_{max} D}{\mu l} = \frac{V_{max} D}{\nu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

ρ_l = Densidad de líquido a la temperatura de película

V_{max} = Velocidad de entrada de agua a los tubos o velocidad máxima

D = Diámetro de tubería de cobre

μl = Viscosidad dinámica del líquido

ν = Viscosidad cinemática

2.10.12. Cálculo del Coeficiente de Agua en los Tubos

Para el cálculo del coeficiente de agua en los tubos se toma en cuenta la conceptualización de flujo anular, en el que se relacionan el número de Nusselt sobre la superficie interior del tubo y el número de Nusselt sobre la superficie exterior, generándose de esta manera el análisis de transferencia de calor en dicho sistema.

Dicho coeficiente se logra a través del producto entre el número de Nusselt y la conductividad térmica del material y todo esto dividido para el diámetro de la tubería en estudio.

Ecuación 11

Modelo Matemático para Determinar el Cálculo del Coeficiente de Agua en los Tubos

$$h_i = \frac{K * NU}{D}$$

Donde:

h_i = Coeficiente de agua en los tubos

K = Conductividad térmica de los tubos

NU = Número de Nusselt

D = Diámetro de la tubería de cobre

2.10.13. Coeficiente Global de Transferencia de Calor

El coeficiente global de transferencia de calor es definido por (Burbano, 2014) como “la cantidad de calor total transferido por unidad de superficie ante una variación de un grado Celsius”, teniendo en cuenta que este valor se obtiene de manera experimental y puede variar según las características del radiador. Este coeficiente es de suma importancia para el análisis térmico del radiador por el motivo que infiere en los dos flujos de corriente, como lo son las características del comportamiento del radiador utilizado en el enfriamiento del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna.

Ecuación 12

Modelo Matemático para Determinar el Cálculo del Coeficiente Global de Transferencia de Calor

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor

h_i = Coeficiente del agua en los tubos

h_o = Coeficiente del vapor hacia el agua

2.10.14. Longitud para Un solo Tubo

La definición de longitud en el caso del tubo utilizado en la construcción del radiador es dada por la velocidad de transferencia de calor dividido para π , la diferencia de temperatura logarítmica, el coeficiente global de transferencia de calor y el diámetro de la tubería utilizada.

Ecuación 13

Modelo Matemático para Determinar la Longitud para un solo Tubo

$$L = \frac{q_i}{\pi * D * U * LTDM}$$

Donde:

L = Longitud para un solo tubo

q_i = Calor

D = Diámetro de la tubería de cobre

U = Coeficiente global de transferencia de calor

$LTDM$ = Delta de temperatura media logarítmica

2.10.15. Coeficientes Corregidos

En lo concerniente a la corrección de coeficientes aquí se aplica algunos modelos matemáticos que permites encausar los cálculos generados en el proceso al momento de

realizar el estudio, análisis o diseño de radiadores aplicados en sistemas de refrigeración de motores de combustión interna con refrigeración mixta y entre los que se encuentran los siguientes:

- Coeficiente corregido

Ecuación 14

Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente Corregido

$$h = \frac{1}{n^4} * h_0$$

Donde:

h = Coeficiente corregido

h_0 = Coeficiente del vapor hacia el agua

n = Número de filas

- Coeficiente global de transferencia de calor corregido

Ecuación 15

Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente Global de Transferencia de Calor Corregido

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h}}$$

Donde:

U_n = Coeficiente Global de transferencia de calor corregido

h_i = Coeficiente del agua en los tubos

h = Coeficiente corregido

- Área superficial

Ecuación 16

Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente de Corrección del Área Superficial

$$A_s = \frac{q_i}{U_n * LTDM}$$

Donde:

A_s = Área superficial

q_i = Velocidad de transferencia neta de calor

U_n = Coeficiente Global de transferencia de calor corregido

$LTDM$ = Delta de temperatura media logarítmica

- Longitud de los Tubos

Ecuación 17

Modelo Matemático para Determinar el Coeficiente de Corrección de Longitud de los Tubos

$$L_t = \frac{A_s}{\pi * D * n}$$

Donde:

L_t = Corrección de longitud de los tubos

A_s = Área superficial

D = Diámetro de la tubería de cobre

n = Número de filas

2.10.16. Diseño Hidráulico Aplicado a los Radiadores

En esta sección referente al diseño hidráulico que se aplica en radiadores se establecen variables como lo es la caída de presión que suelen experimentar los fluidos dentro de un sistema, para lo cual es de suma importancia realizar los cálculos correspondientes que aseguren que las siguientes variables cumplan su correcto desempeño, para lo cual (Burbano, 2014) establece que la “velocidad de entrada del fluido se encuentre dentro del rango permitido igual 10,5m/s, así como la caída de presión máxima que debe estar al 10%, de esta manera se garantiza el cumplimiento de los parámetros requeridos y su correcto funcionamiento”.

En un radiador la caída de presión puede estar relacionado a causa de los siguientes factores:

- Expansión y contracción de las tomas de ingreso y salida en boquillas y tubos
- Cambios de dirección del flujo
- Fricción provocada por el mismo flujo

2.11. Selección del Programa de Aplicación a CFD

En los relacionado a los programas computacionales en el análisis de la dinámica de fluidos computacionales, estos permiten que los especialistas puedan probar, visualizar y analizar los distintos diseños de cada uno de sus productos que se encuentran en busca de problemas que se relacionan con los materiales no newtonianos, la turbulencia, la transferencia de calor, flujo de fluidos, entre otros.

Con la ayuda de la tecnología se ha brindado a los investigadores el poder calcular de manera virtual la eficiencia de un sinnúmero de diseños en cualquier momento, así como en cualquier condición. Teniendo como resultado el mejoramiento del uso de recursos como lo es el ahorro económico, disminución de esfuerzo y sobre todo el ahorro del tiempo en solución de problemas.

Para la selección de un programa de CFD primero se debe tener en cuenta el cómo funcionan los procesos del análisis de la dinámica de fluidos computacional ya que esta implica de tres fases fundamentales como lo son:

- Procesamiento
- Resolución
- Post procesamiento

Así mismo se debe tener en cuenta cada uno de los beneficios de la utilización de programas computacionales de CFD que permitirán una correcta selección para así ser utilizado en el desarrollo del proyecto investigativo referente al análisis del comportamiento mecánico como térmico del refrigerante al momento de pasar por un intercambiador de calor o radiador y entre estos beneficios se tiene los siguientes:

- Eficiencia
- Más flexibilidad
- Comentarios prácticos
- Experiencia del mundo real

A la actualidad del presente estudio investigativo se cuenta con los siguientes programas computacionales de dinámica de fluidos computacional con mejores herramientas y obtención de resultados:

- Autodesk CFD
- SimScale
- Ansys
- OpenFOAM
- CFD Module
- Simcenter
- Flowsquare
- ParaView
- Altair
- SolidWork

Para el presente proyecto investigativo se utilizará los programas computacionales de AutoDesk como lo son los siguientes:

- Inventor Pro
- CFD
- Fusión 360

En el caso de Ansys este programa permite la realización del diseño y modelado en dos y tres dimensiones, así como el ensamble de las partes que conforman un radiador de uso automotriz.

Para el caso de los programas CFD y Fusión 360, estos permiten realizar la simulación del comportamiento mecánico y térmico del flujo líquido que transita internamente por el radiador y poder determinar su análisis del comportamiento.

Capítulo III

Método de Modelado

3.1. Método

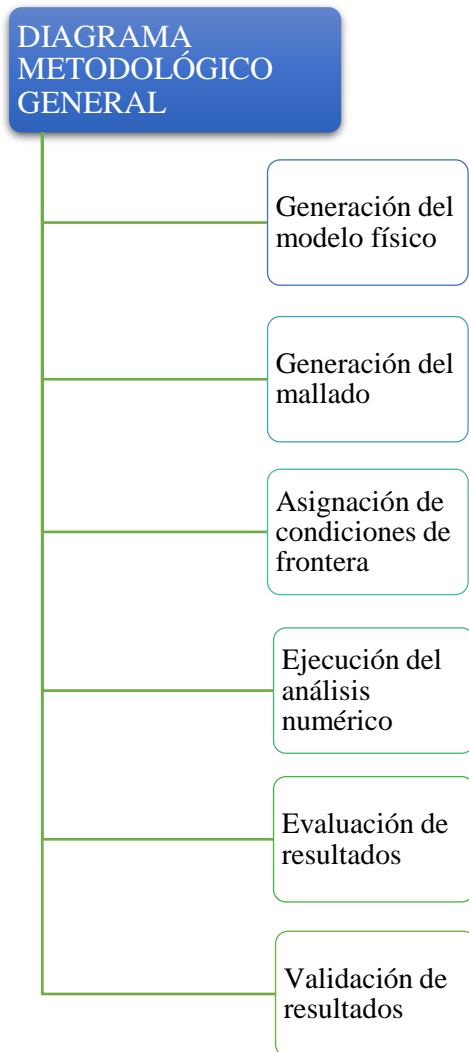
Para el desarrollo del presente trabajo investigativo titulado: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica, se encuentra estructurado por etapas las cuales se presentan en este capítulo y en las que se establecen como la selección del modelo a estudiar y sobre eso la generación del diseño del radiador por medio de programas computacionales de diseño asistido por ordenador para de esta manera crear el modelo en 2D y 3D del radiador, la generación del mallado bajo las características y conceptualizaciones expuestas en el capítulo anterior teniendo en cuenta que esta investigación posee un enfoque de manera cualitativamente y cuantitativamente por el motivo que poder discretizar el comportamiento de la simulación y a su vez el análisis comparativo del estudio a través de modelos matemáticos que establecen las condiciones del comportamiento térmico y mecánico del estudio.

También una fase importante es el monitoreo de cada uno de los parámetros involucrados de calidad, para de esta manera establecer las condiciones de frontera en las que se lleva a cabo la simulación computacional de manera inicial y de operación. Siendo esta fase una de las de mayor influencia sobre el estudio tanto por la búsqueda de la solución del problema planteado y por la constitución de la estructura del procedimiento empleado para la resolución de la simulación numérica para de esta manera obtener cada uno de los valores o resultados los mismos que son de manera aproximada los comparados con los generados en la realidad.

A continuación, se presenta un diagrama secuencial en el que se expone de manera general la estructura secuencial de la metodología que se aplica en el desarrollo de las fases de la investigación, presentándose de la siguiente manera en la figura 10.

Figura 10

Diagrama Metodológico General



En la industria automotriz cada grupo de investigación de las marcas de motores automotrices trabajan en la investigación del diseño, funcionamiento y comportamiento de los radiadores a través de procesos que involucran de manera final la generación de un test del desempeño de cada uno de los parámetros de temperatura en cada uno de los componentes que se involucran con el elemento en análisis sobre todo en el desempeño de la temperatura con la que trabaja el radiador, para de esta manera garantizar que cada uno de estos elementos

se encuentren funcionando de la mejor forma lo que garantiza que los equipos estén operativos y dentro de los valores seguros y normados.

Para el presente trabajo investigativo se toma como ejemplo de estudio a un radiador del vehículo de marca Dodge RAM Pick Up 8.0 L modelo 2002 como se puede apreciar en la figura 11.

Figura 11

Radiador del Vehículo Dodge RAM Pick Up Modelo 2002



En lo correspondientes a sus dimensiones generales este radiador posee las siguientes:

Ancho: 915 mm

- Alto: 471 mm
- Profundidad: 56 mm
- Diámetro orificio de ingreso de refrigerante: 38 mm
- Diámetro orificio de salida de refrigerante: 45 mm
- Diámetro de la cañería interna: 4 mm

Con los valores que se obtienen por medio de los equipos de medición en temperaturas y dimensiones generales, estos son de mucha importancia para el desarrollo de la primera fase de diseño y simulación, para posteriormente poder validar cada uno de los resultados que son conseguidos por el programa computacional y finalizar con la realización

del análisis de temperatura, así también del comportamiento mecánico del refrigerante que circula por el radiador en estudio.

3.2. Sistema Físico del Modelado

En la fase de creación del modelado en tres dimensiones del radiador de la camioneta Dodge RAM Pick Up 1.8 L se utilizó las medidas indicadas por el fabricante de radiadores en el que se obtuvieron de las especificaciones técnica y comprobadas de manera física, también se tiene en cuenta ciertas características y parámetros de funcionamiento de todo el sistema de refrigeración lo cual permite elaborar de mejor manera el modelado del radiador lo más próximo a la realidad a través del programa computacional Ansys.

También se aclara que ciertos detalles externos o geometrías originales del radiador no se procede a generarlos ya que no intervienen en el proceso normal para la simulación como lo es por ejemplo los anclajes de sujeción.

En la parte física de la generación del modelado y con la supresión de algunas formas externas que lo conforman al radiador se procede a generar la geometría por medio de las secciones transversales del tubo interno, así mismo se toman en cuenta cada una de las aletas de refrigeración que es de un material de alta conductividad térmica y su espesor también es de 0.2 mm, por lo expuestos en los párrafos de esta sección se lo realiza con un fin, que es el de garantizar que la simulación sea lo más cercano a la realidad tanto en estructura como en el volumen del fluido y comportamiento de la temperatura.

3.3. Cálculos Dimensionales Equivalentes

En esta etapa se procede a generar algunos cálculos que se requieren para el proceso de modelado, simulación y para poder analizar cada uno de los resultados que se obtengan en el proceso con la aplicación de modelos matemáticos descritos anteriormente, entre los cálculos se consideran los siguientes:

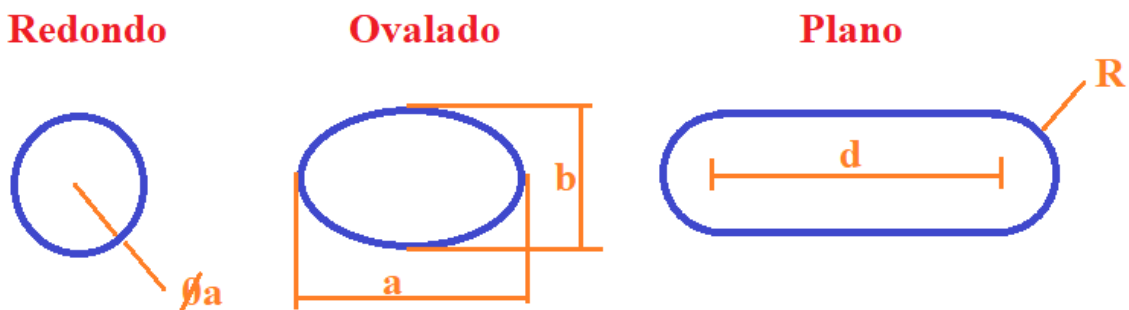
3.3.1. Volumen de Fluido Contenido en un Tubo del Radiador

Existen algunos tipos de tubos utilizados radiadores en los que difieren su forma de sección los cuales pueden ser redondos, ovalados y los conocidos como planos los cuales se pueden apreciar en la figura 12 y estos conforman el panel del radiador en conjunto con las aletas.

Hay que tener en cuenta que las alturas máximas del tubo son de 4 mm a 7 mm.

Figura 12

Tipos de Tubos Utilizados en Radiadores



Para el caso del radiador en estudio este posee un perfil redondo de 4 mm para lo cual se procede a determinar su volumen que contiene el fluido o refrigerante de la siguiente manera:

Ecuación 18

Modelo Matemático para Determinar el Volumen del Fluido Contenido en un Tubo con Perfil Circular

$$V_t = \frac{\pi D^2 * L_t}{4}$$

Donde:

V_t = Volumen del fluido contenido en el tubo

D = Diámetro del tubo

L_t = Longitud del tubo

Datos:

$$D = 4 \text{ mm}$$

$$L_t = 471 \text{ mm}$$

$$V_t = \frac{\pi 4^2 * 471}{4}$$

$$V_t = 5918.76 \text{ mm}^3 = 591.8 \text{ cm}^3$$

3.3.2. Cálculo Tentativo de Temperaturas por Medio de Modelos Matemáticos

Utilizando los modelos matemáticos presentados en el capítulo II, dentro de la metodología se presenta los cálculos de forma teórica para posteriormente realizar la comparación y análisis con los generados por el programa de simulación computacional.

Entre los cálculos de temperatura se presentan los siguientes:

Delta de temperatura:

$$\Delta T_i = T_{i \text{ salida}} - T_{i \text{ entrada}}$$

$$\Delta T_i = 79 \text{ }^\circ\text{C} - 88 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_i = -9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con este valor se puede apreciar que el descenso de temperatura es de 9 °C, correspondiente a un 10.22 % de variación de temperatura.

A continuación, se realiza el cálculo de temperatura promedio entre los tubos del radiador y esta se da de la siguiente manera:

$$T_{s \text{ promedio}} = \frac{T_{i \text{ entrada}} + T_{i \text{ salida}}}{2}$$

$$T_{s \text{ promedio}} = \frac{88 \text{ }^\circ\text{C} + 79 \text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_{s \text{ promedio}} = 83.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Con estos valores de cálculos iniciales se tiene en cuenta dentro de la metodología que se aplica para el presente proyecto investigativo, los cuales sirven de base en la parte de ingreso de datos para la fase de simulación.

3.4. Modelado Físico de Radiador por medio de Diseño Asistido por Ordenador

Uno de los parámetros fundamentales de este proyecto de investigación lo es la geometría con la que se trabaja según el modelo del radiador la cual es equivalente la cual actúa como punto de partida y poder alcanzar la fase de modelado a través del programa Ansys.

En esta parte de la investigación se procede a describir el método utilizado y alcanzar los resultados que se presenten luego de la simulación.

3.4.1. Datos de la Geometría de Radiador para la Elaboración de Modelado

Los datos por utilizar para el modelado y que corresponden al modelo utilizado en el sistema de refrigeración del radiador de la camioneta Dodge RAM Pick Up 1.8 L, según el fabricante son los siguientes:

- Altura de radiador = 497 mm
- Ancho de radiador = 915 mm
- Profundidad de radiador = 56 mm
- Diámetro de ingreso de refrigerante = 38 mm
- Diámetro de salida de refrigerante = 45 mm
- Diámetro interno de tubos de conducto interno = 4.5 mm
- Diámetro externo de tubos de conducto interno = 4 mm
- Espesor de láminas de refrigeración = 0.3 mm
- Espacio entre láminas = 3 mm
- Atura de tanques = 60 mm
- Número de tubos = 552

3.5. Modelado Físico a través de Procesos CAD

En esta fase se realiza la construcción del elemento en estudio como lo es el caso del radiador, el cual se empieza con el modelado en dos dimensiones en el que se conservan cada una de sus dimensiones y luego se lo transforma en un elemento renderizado de tres dimensiones, como se detalla a continuación:

3.5.1. Construcción de Geometría de Radiador

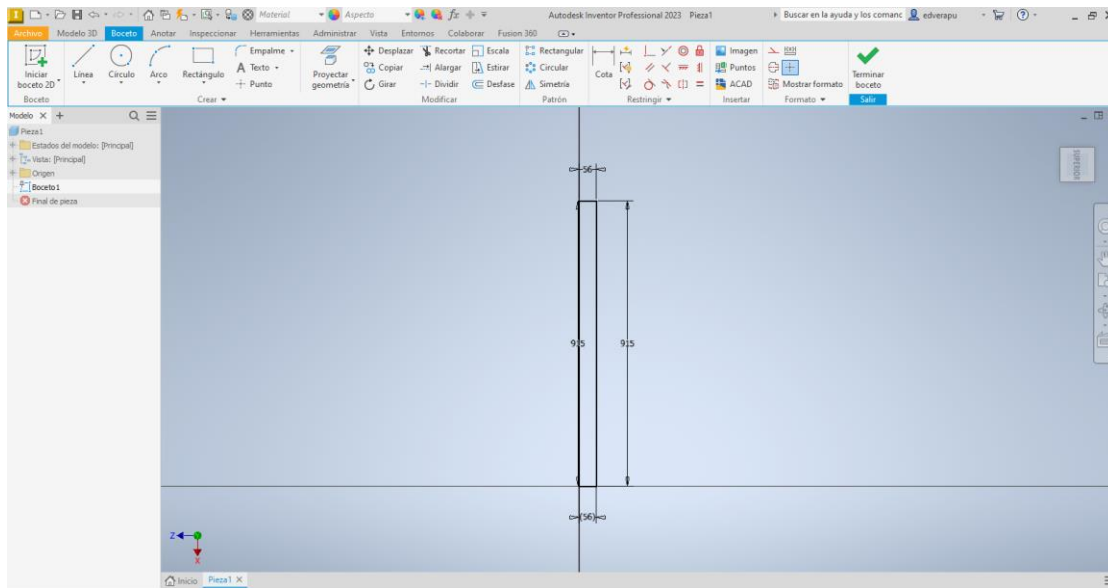
Para el presente proyecto en lo concerniente a la fase de diseño se lo realiza con la ayuda del programa computacional de Autodesk Inventor que posee las herramientas adecuadas para la iniciación del dibujo y construcción del modelo, para luego realizar la respectiva exportación al programa Ansys para su respectiva simulación térmica y de su mecánica del fluido interno.

Inicialmente se procede a generar un proyecto nuevo en el cual se almacenarán cada uno de los elementos que se construirán en esta etapa y el cual se lo debe colocar un nombre que lo relacione con el proyecto.

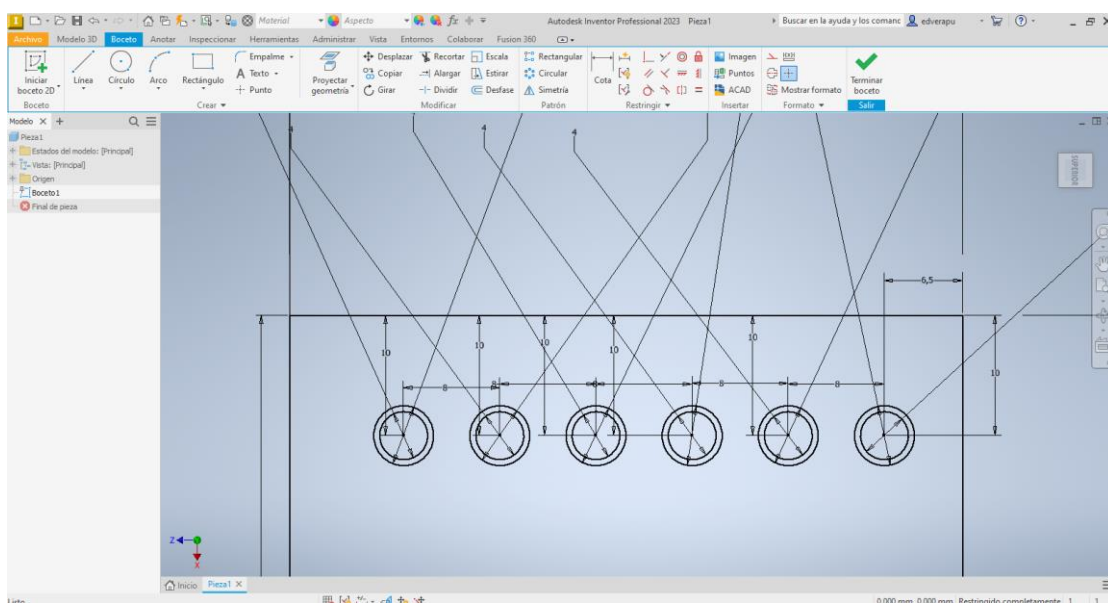
Una vez creado el proyecto se inicia la fase de dibujo con la selección del plano sobre el que se inicia ya sea en coordenadas XY, XZ o YZ.

Luego con las dimensiones obtenidas se procede al inicio del dibujo como se muestra en la figura 13, teniendo en cuenta aspectos importantes como lo es la forma de cada uno de los elementos, así como las restricciones que se deben de respetar en cada una de las líneas dibujadas.

Otra de las precauciones que se debe de tener muy en cuenta es que sus líneas se encuentren unidas caso contrario no se podrá realizar el modelado en 3D, por lo que el programa emitirá un mensaje de error el mismo que debe ser corregido inmediatamente para continuar con el proceso.

Figura 13*Inicio de la Fase de Construcción de Tuberías*

Una vez generada la sección interna y externa de la tubería se procede aplicar una herramienta que por medio de matriz rectangular multiplicar el boceto conservando las características del diseño y sus dimensiones como se puede apreciar en la figura 14, para el caso de la tubería se tiene un diámetro interno de 4 mm y externo de 4.6 mm, con una separación entre sección de 8 mm.

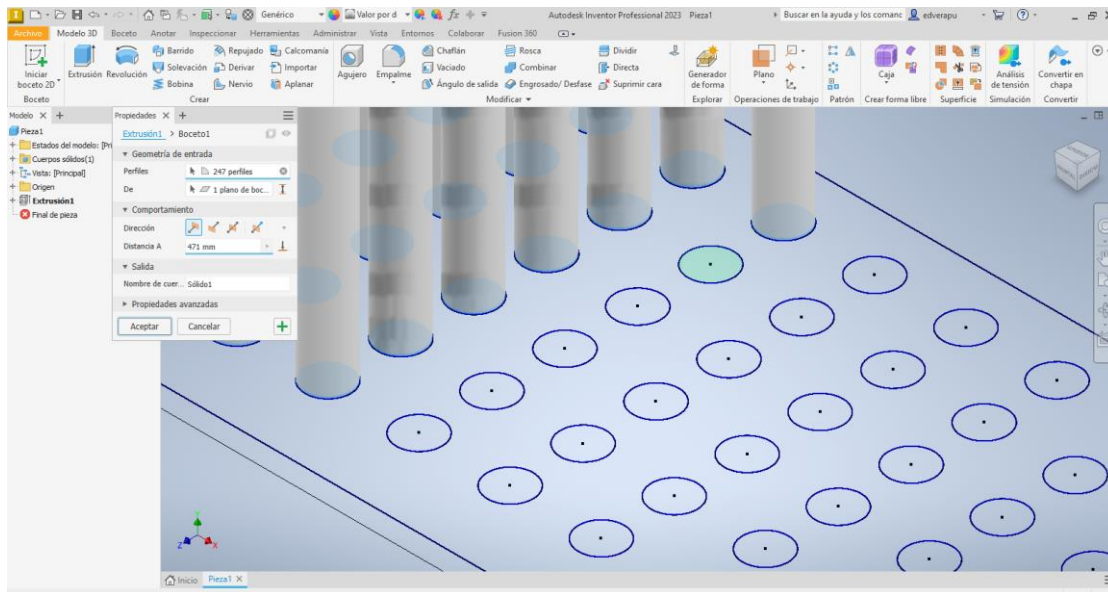
Figura 14*Construcción de Sección de Tubería*

Una vez que se obtiene la sección de los dibujos de las tuberías se procede a la finalización del boceto y se inicia la fase de 3D.

En esta etapa se selecciona la herramienta de extrusión la misma que genera el volumen del elemento y esto se puede apreciar en la figura 15.

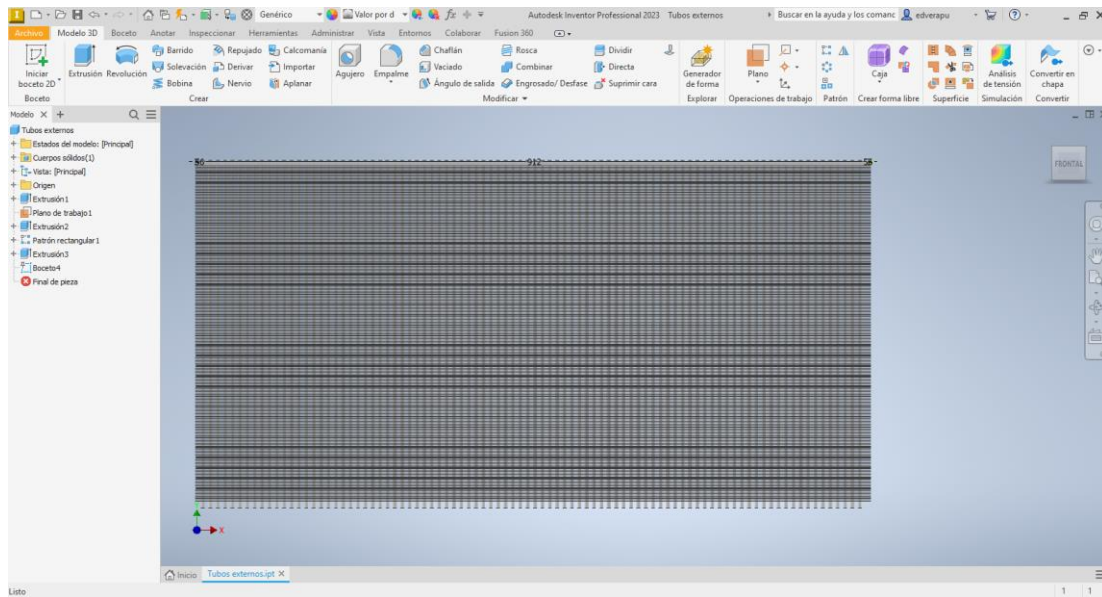
Figura 15

Extrusión de la Sección para Generar las Tuberías en 3D



Juntamente con este proceso se realiza el vaciado de cada uno de los tubos y así mismo bajo el mismo procedimiento se realiza la construcción de los filamentos de enfriamiento transversales los mismos que poseen un espesor de 1.6 mm como se puede apreciar en la figura 16.

En esta etapa y dependiendo del diseño del radiador lo que se realiza en la unión de las tuberías las mismas que se debe dar la forma de serpentín el cual se refiere a que es una tubería continua la cual conduce el líquido refrigerante con la parte interna de la tubería siendo este el medio de desplazamiento del líquido refrigerante y por ende de la transferencia de calor por medio de un sistema de transferencias de calor denominado de convección el mismo que se mostrará y analizará en la fase de simulación a través del programa computacional Ansys.

Figura 16***Construcción en 3D de Filamentos de Enfriamiento***

Una vez finalizado el modelado en 3D con la ayuda del programa de Autodesk Inventor, se procede a generar un archivo que se lo guarda con formato de extensión (.stl) el mismo que se lo puede exportar al programa Ansys, para de esta forma realizar la preparación del modelado en 3D y continuar con la creación del mallado del fluido con el que se trabaja para la simulación del comportamiento del fluido en lo correspondiente a temperatura y la mecánica del fluido que se genere.

3.5.2. Simulación 3D de Radiador a través de Ansys

Para la realización de la fase de simulación y de acuerdo con lo requerido en el presente proyecto investigativo se utiliza el programa de diseño asistido por computador como lo es Ansys el cual es un programa computacional líder en este campo de la ingeniería asistida por ordenador multifísico para simulación por elementos finitos y sus respectivos análisis, el cual incluye las siguientes fases:

- Preproceso
- Resolución
- Post proceso

Así mismo cuenta con una gama amplia de herramientas que permiten resolver un sinnúmero de simulaciones en la mayoría de las ramas de la ciencia, por lo que para la realización del presente estudio se utiliza la sección Ansys Discovery 2023 R1, esta herramienta en definitiva es un programa computacional de diseño 3D que posee herramientas para la realización de simulaciones que combinan al modelado interactivo con múltiples capacidades que abordan desafíos de diseño crítico en una fase más temprana dentro del proceso de diseño de producto.

Lo que permite realizar esta herramienta de Ansys son simulaciones con flujo de trabajos guiados, recursos integrales de física y optimización para la exploración de problemas o proyectos en fase inicial y final de la dinámica de fluidos computacionales.

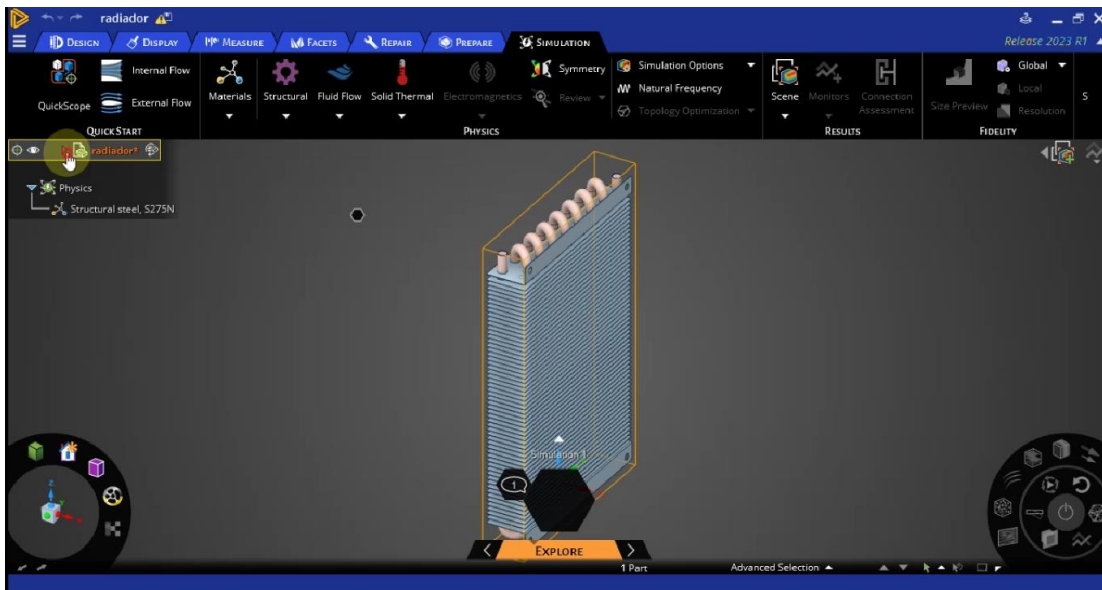
Cabe aclarar que el estudio que se va a realizar se refiere exclusivamente del flujo que circula por el radiador debido que en esta fase de simulación lo que se realiza es la discretización del volumen y forma por donde circula el flujo en relación con el elemento prediseñado como en este caso lo es el radiador.

Para iniciar con esta fase se procede a la exportación del archivo modelado anteriormente como lo es el radiador o también conocido como intercambiador de calor, como se puede apreciar en la figura 17.

Al momento que se importa el elemento o ensamble del radiador se procede a realizar un corto análisis o identificación del sistema que se pretende simular. Dentro de las identificaciones que se realizan están los conductos por donde va a circular el refrigerante, las aletas de transferencia de calor que se encuentran en el contorno del conducto y lo más importante es la determinación de la sección de ingreso y de salida del refrigerante ya que estas limitarán el volumen de circulación el mismo que con las herramientas de programa Ansys permite extraerla para llevar a cabo la simulación esperada en el presente proyecto investigativo.

Figura 17

Importación del Radiador Modelado a Ansys Discovery

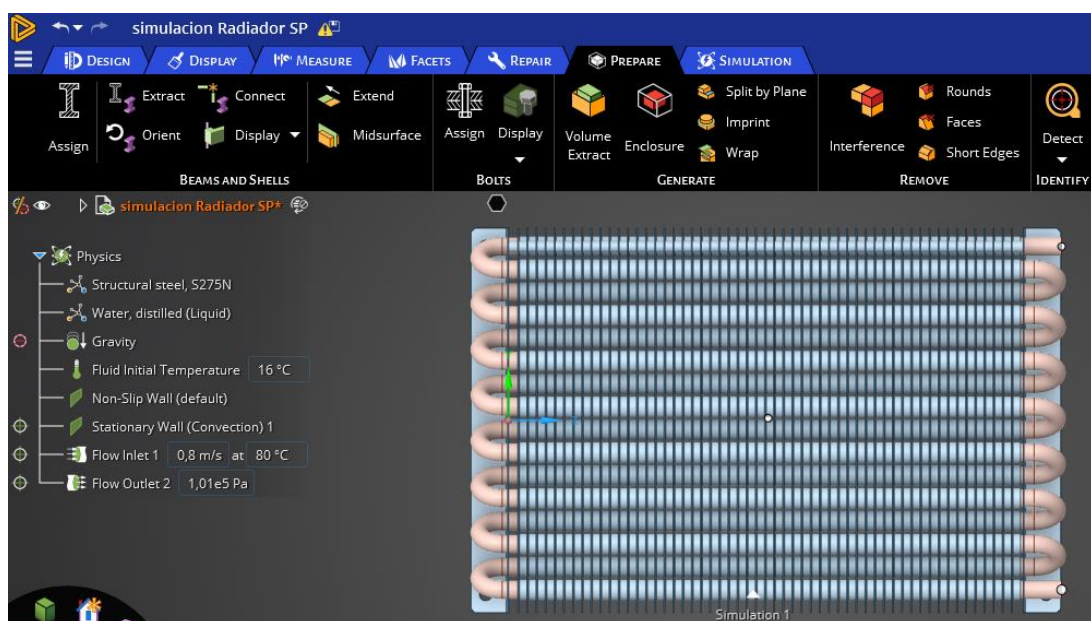


Para la realización del ensayo de la dinámica de fluidos computacionales estrictamente es el volumen del fluido encerrado que circula por dentro de las tuberías y es sobre este elemento que se realiza el análisis de variación de temperatura.

Para lo cual se esta etapa se la realiza con las herramientas del programa denominadas como diseño y preparación como se puede apreciar en la figura 18.

Figura 18

Preparación del Elemento en Estudio

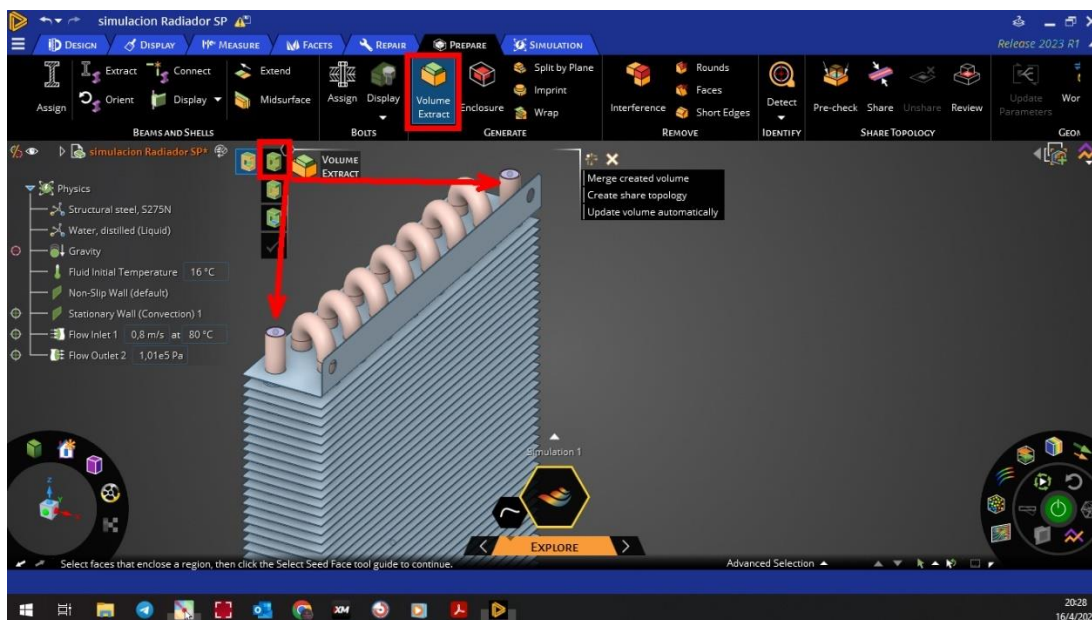


Con la herramienta de extracción de volumen esta lo que realiza es generar un volumen separado del elemento externo y conservando su forma, esto se da a través de un barrido y al mismo tiempo del llenado del conducto.

En la figura 19 se aprecia claramente el procedimiento, cabe recalcar que se debe identificar claramente la sección de ingreso y salida del líquido refrigerante por medio del radiador. Cabe aclarar que este volumen debe estar completamente cerrado, caso contrario no se podrá realizar esta etapa que es de relación de simulación.

Figura 19

Extracción de Volumen Interno del Radiador



Una vez ya generado por parte del programa el volumen por donde circula el líquido refrigerante se procede a ocultar la geometría externa del radiador como se puede apreciar claramente en la figura 20.

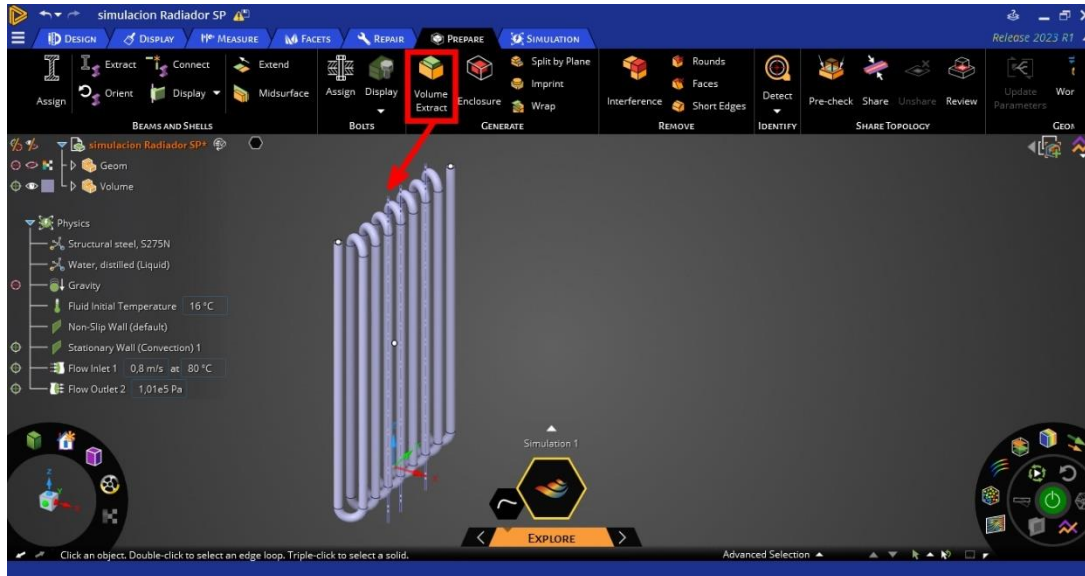
Sobre este volumen es donde se procede a trabajar con la simulación teniendo en cuenta lo siguiente:

Dentro de un análisis térmico existe tres mecanismos que permiten la transferencia de calor como lo es la conducción, convección y radiación. En un análisis térmico se calcula la distribución de las temperaturas en cada parte del cuerpo que se encuentra en estudio, para lo

cual en el caso del radiador el que mayor influencia presenta es el mecanismo por convección ya que se propaga a través del fluido refrigerante.

Figura 20

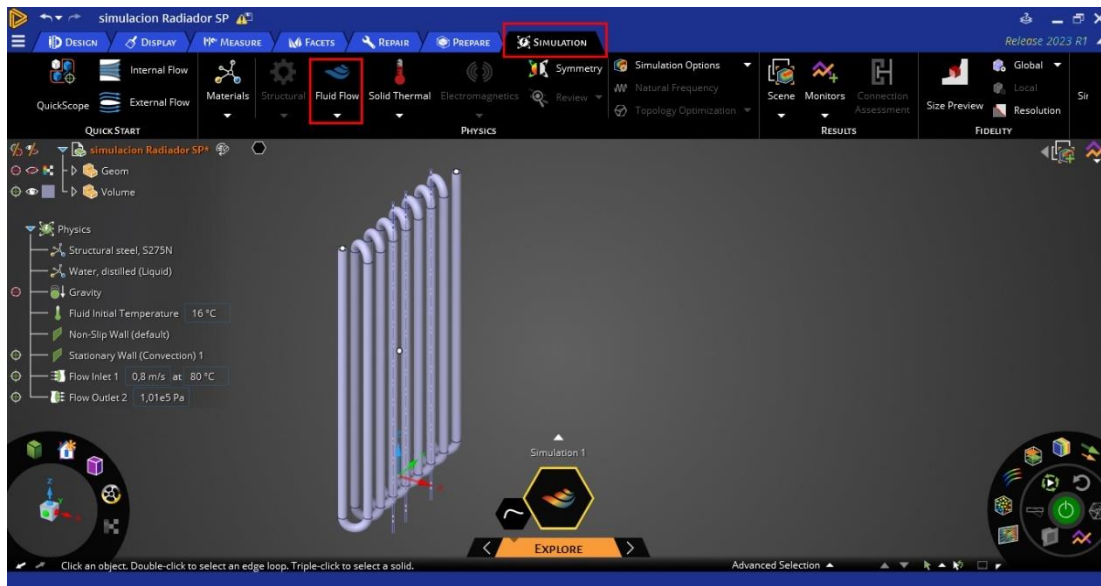
Extracción de Volumen Interno del Radiador



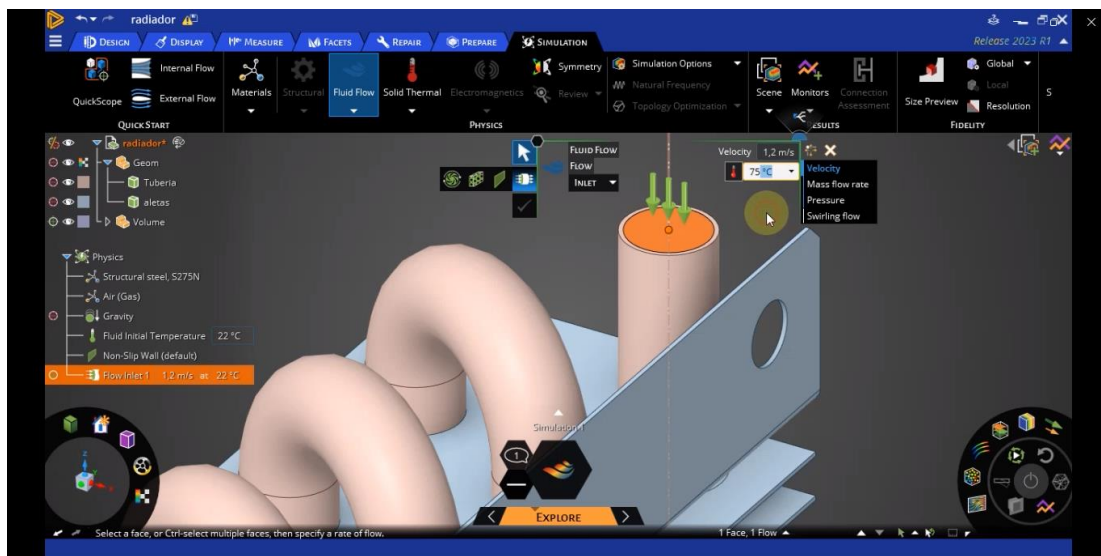
Una vez finalizada la fase de generación o extracción del volumen interno del radiador se procede a ingresar a la herramienta de simulación en la que se parametriza las condiciones del ensayo, el cual para este estudio se selecciona la herramienta de fluido el mismo que define las condiciones del flujo de manera interna y externa de una o más caras y de manera opcional también se define la temperatura del fluido al ingreso del sistema, así como de la salida, esto se puede apreciar claramente en la figura 21.

Una vez seleccionado la herramienta de flujo se procede a marcar la opción de ingreso de fluido y se desciende a configurar los siguientes valores que presenta esta sección del proceso:

- Velocidad del fluido
- Caudal másico
- Presión del fluido dentro del radiador
- Turbulencia del flujo

Figura 21*Configuración de Parámetros del Fluido*

En este punto se determina la sección en donde corresponde a la entrada del flujo y es donde se determinan algunos valores como lo son: de velocidad se plantea de 1.2 m/s y de manera importante es la definición de la temperatura por el motivo que el estudio que se realiza se basa en el radiador y se considera que el valor al ingreso será de 75 °C, esto se puede observar en la figura 22, así mismo se debe tener en cuenta la dirección de circulación del flujo a la entrada del radiador.

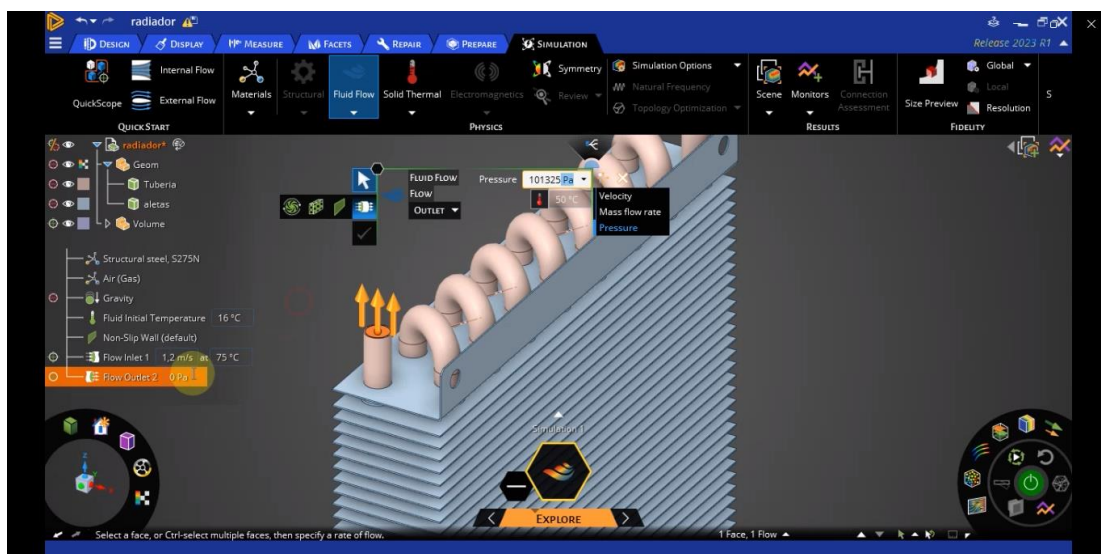
Figura 22*Determinación de Condiciones de Entrada del Fluido*

Otro de los valores a considerar es que la temperatura inicial al entrar en funcionamiento un motor de combustión interna, se tomó en cuenta los 16 °C, que no es más que la temperatura ambiental del fluido cuando el motor se encuentra frío.

Posteriormente se colocan las condiciones de salida del fluido al momento que se empieza a calentar el sistema que será de 50 °C y una presión del sistema de 101325 Pa, la misma que es la presión atmosférica, como se puede apreciar en la figura 23.

Figura 23

Determinación de Condiciones de Salida del Fluido



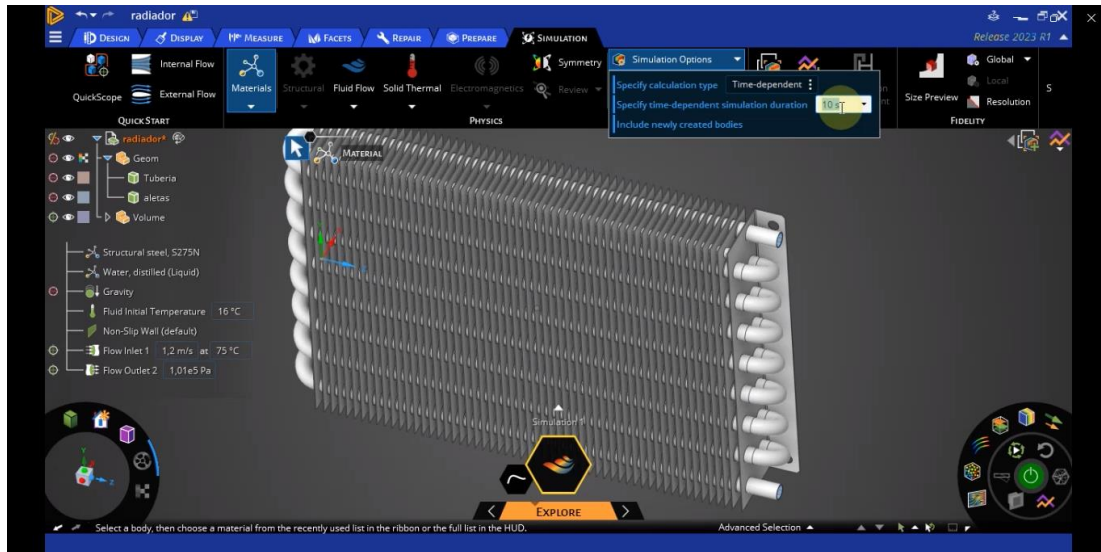
Finalmente se procede a definir las condiciones del flujo como lo es el material, el cual para este estudio se selecciona como agua destilada, la misma que cuenta con las siguientes características: densidad de 997 kg/m³, una viscosidad de 0.00089 Pa*s, coeficiente térmico de expansión de 0.000257 1/°C, conductividad térmica de 0.61 W/m*k, calor específico de 4.18 kJ/kg*C.

En este punto ya se tiene todos los parámetros definidos para proceder a la fase de simulación a través de la activación de la herramienta de generación de solución, pero teniendo en cuenta el criterio que lo que se observa cómo se va comportando la transferencia de calor del fluido al momento de circular por los conductos del radiador y su comportamiento molecular en relación del tiempo con que se desplaza para lo cual se procede

a la configuración del este parámetro al dirigirse a la herramienta de opciones de simulación, especificaciones del tipo de cálculo, dependiente del tiempo, posteriormente se procede a la especificación de este parámetro el mismo que para este estudio se lo pre definió en 10 s, como se puede observar en la figura 24.

Figura 24

Determinación de Condiciones del Fluido



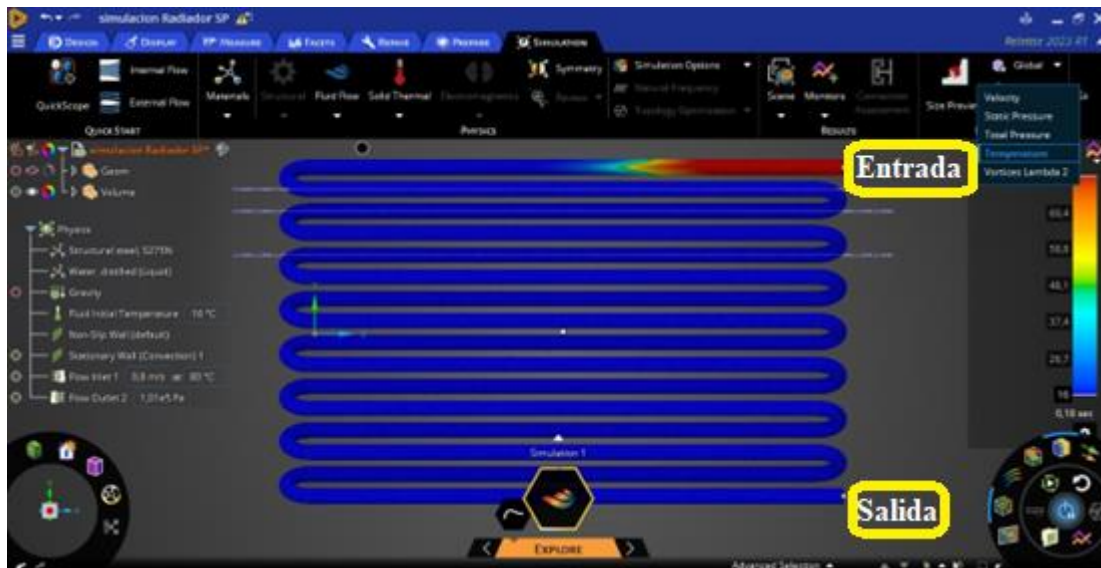
Para continuar con el proceso se vuelve a ocultar el modelado del radiador, para trabajar solo con el volumen del fluido y de esta manera observar el comportamiento esperado, pero por situaciones de procesamiento del computador se disminuye la fidelidad del ensayo, esto lo que permitirá es que la malla será mayor y el tiempo de procesamiento será menor, este criterio dependerá de las condiciones del ensayo.

Una vez definido este último parámetro se procede a enviar a solucionar al programa computacional y se selecciona el rango de temperatura aplicado en este estudio.

De esta manera se empiezan a generar los respectivos resultados como se puede apreciar en la figura 25, una vez generado las soluciones se puede ir variando parámetros de presentación del fenómeno físico como lo son los espacios de contornos y de esta manera se observa la de manera colorimétrica como va interactuando la temperatura del fluido desde la entrada del sistema hasta la salida.

Figura 25

Obtención de Resultado de la Simulación



De esta manera se finaliza la fase de generación de los resultados por parte de la simulación del comportamiento del fluido al pasar por un radiador, posteriormente se procede a extraer el informe por parte del programa computacional como se muestra en el Anexo 1.

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis Transitorio

Una vez concluida la fase de simulación referente al Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica con la ayuda del programa computacional de ingeniería asistida por ordenador como lo es Ansys Discovery se obtiene los valores que se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1

Propiedades del Fluido

Propiedades del Fluido	
Material	Agua destilada
Estado	Líquido
Densidad	997 kg/m ³
Viscosidad	0.00089 Pa*s
Coefficiente de expansión térmica	0.000257 1/°C
Conductividad térmica isotrópica	0.61 W/m*K
Calor Específico	4.18 kJ/kg*C
Descripción	Líquido, Agua (destilada) Datos compilados por Ansys Granta, incorporando varias fuentes incluyendo JAHM y MagWeb. ANSYS, Inc.
Clase	Fluido
Subclase	Líquido

En la tabla 2, se aprecia claramente el resultado de las condiciones de entrada del fluido, antes de pasar por el proceso de transferencia de calor por convección a través de un radiador o intercambiador de calor.

Tabla 2*Condiciones del Flujo a la Entrada al Radiador*

Datos del Flujo al Ingreso	
Velocidad	0.8 m/s
Temperatura	80 °C
Presión	1.01e5 Pa

Otro resultado obtenido y uno de los más importantes es el comportamiento de las paredes estructurales en el que a través de una transferencia de calor del tipo por convección se obtuvo una temperatura de convección de 18 °C.

En la tabla 3 se aprecia en cambio las condiciones de salida del fluido luego de pasar por el intercambiador de calor o radiador.

Tabla 3*Condiciones del Flujo a la Salida del Radiador*

Datos del Flujo a la Salida	
Velocidad	0.8 m/s
Temperatura	50 °C
Presión	1.01e5 Pa

4.2. Resultados del Monitoreo de la Simulación

Posterior a los datos transitorios obtenidos al ingreso y salida del radiador es muy importante interpretar el comportamiento que se genera en el interior del intercambiador de calor o radiador los cuales el programa computacional lo presenta de forma cuantitativa y cualitativa a través de una escala colorimétrica en la que se puede observar los factores principales como lo son la velocidad de desplazamiento, el comportamiento de la temperatura y la presión con la que trabaja el sistema, con la aclaración que estos se encontrarán

constantemente variando dentro del rango emitido por la simulación, estos rangos de factores se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4

Resultado del Monitoreo Interno del Flujo

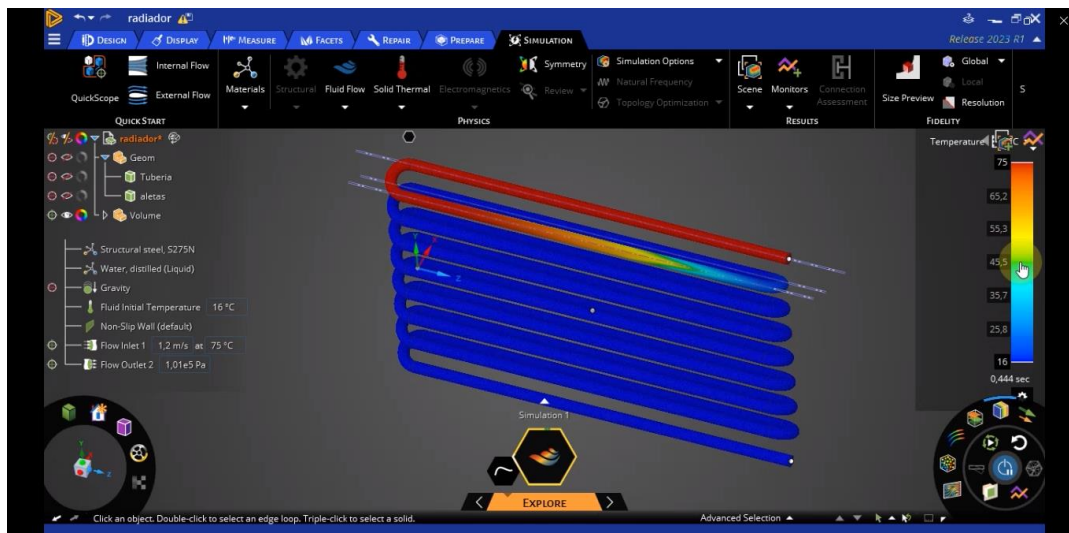
Datos de Monitoreo Interno		
Factor	Valor Máximo	Valor Mínimo
Máxima Velocidad	2.17 m/s	1.06 m/s
Máxima Temperatura	80.6 °C	80 °C
Caída de Presión	10600 Pa	5290 Pa

4.2.1. Análisis de Transferencia de Calor del Fluido

En esta fase de análisis del comportamiento de la temperatura del fluido que se da por convección se presenta de forma visual en la figura 26, el comportamiento del fluido con una temperatura del ambiente al momento que se abre el termostato en el sistema de refrigeración del motor, el fluido ingresa al radiador con una temperatura mayor y cada vez que fluye se va generando el intercambio de temperatura y esta empieza a variar en el proceso así mismo se observa la variación del intercambio de acuerdo al tiempo del proceso.

Figura 26

Intercambio de Calor por Convección del Fluido

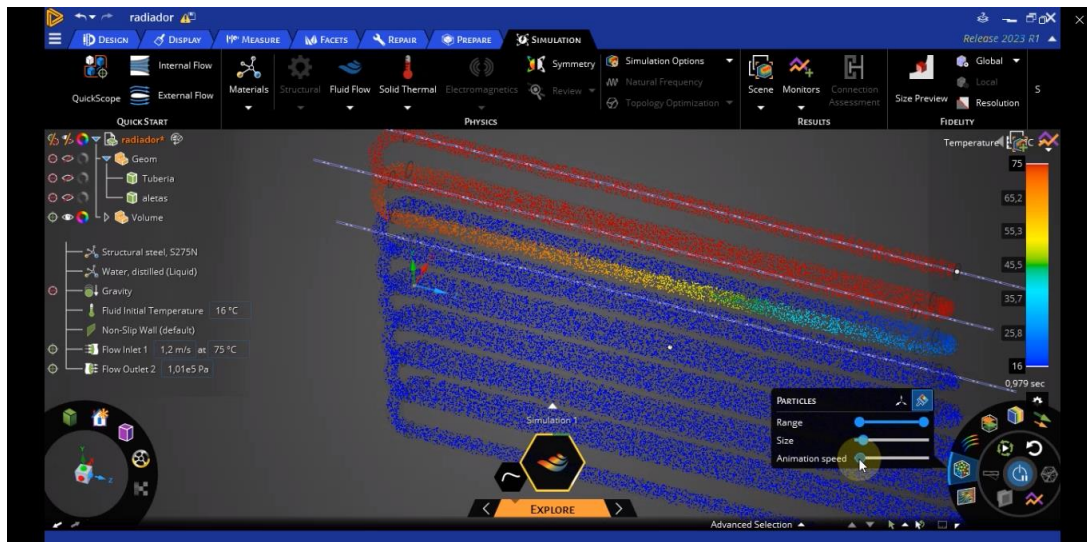


Cabe recalcar que los valores no serán constantes si no que cada instante estarán variando en el proceso, para el caso de la sección o zona de intercambio de calor la temperatura oscila entre 31 °C y 35 °C.

Una ventaja que se tiene con este tipo de simulación es que permite ver el comportamiento del flujo por parte del monitoreo particulado con el que se puede ir observando cómo se comporta cada una de sus moléculas y saber cómo trabaja el flujo en cada zona en las que este puede ser turbulento o laminar, esto se puede apreciar de forma cualitativa en la figura 27.

Figura 27

Monitoreo Particulado del Comportamiento del Flujo dentro del Radiador

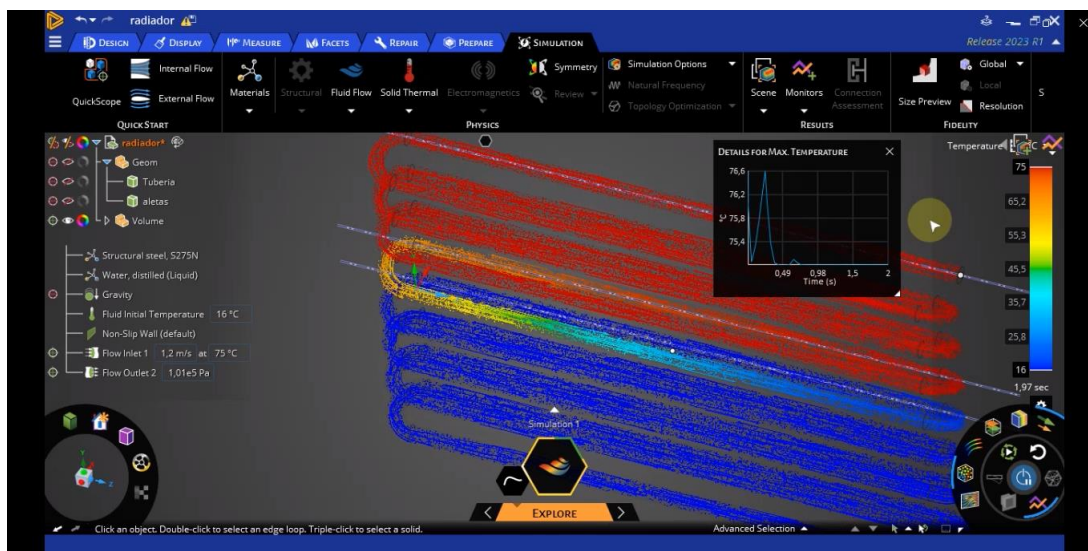


Claramente se puede observar cómo se va comportando el flujo desde que inicia y como pasa a través de la forma del conducto el mismo que genera mayor turbulencia en las áreas de curvaturas de la cañería, así mismo el programa computacional permite monitorear el rango de las partículas, su tamaño y la velocidad de desplazamiento pero con la aclaración de que esta velocidad no tiene en ningún momento relación con la velocidad del ingreso del flujo al sistema en estudio ya que lo que se está analizando es el comportamiento de partículas de forma mecánica.

Otra forma de visualización que se permite lo es las líneas de conducción o desplazamiento con las que se puede ir trabajando de igual manera para observar el comportamiento del flujo, estas líneas de flujo también se las puede ir modificando para mejorar su resolución y de esta manera poder analizarlas con mayor claridad observando los vectores de velocidad conjuntamente con las partículas, así mismo se puede generar las gráficas de comportamiento de temperatura con respecto al tiempo, como se puede apreciar en la figura 28.

Figura 28

Monitoreo Líneas de Desplazamiento y Generación de Gráfica de Resultados



4.3. Análisis del Comportamiento de Transferencia de Calor con el Medio Externo

El presente análisis es muy importante por el motivo el principio de funcionamiento de un intercambiador de calor o radiador se da entre varios elementos o que se los puede denominar como entornos el cual para el presente caso de estudio se da con el líquido refrigerante el cual circula por la parte interna del radiador y por la parte externa en cambio circula o flujo de aire el cual puede ser tomado en cuenta de forma natural o de manera forzada en cada caso que se encuentre instalado de manera paralela al radiador un electroventilador el cual proporciona un determinado flujo de aire que en definitiva lo que pretende es mejorar aún el proceso de aumento de transferencia de calor y de esa manera

ayudar al desempeño del radiador al enfriar en menor tiempo al líquido refrigerante del motor de combustión interna.

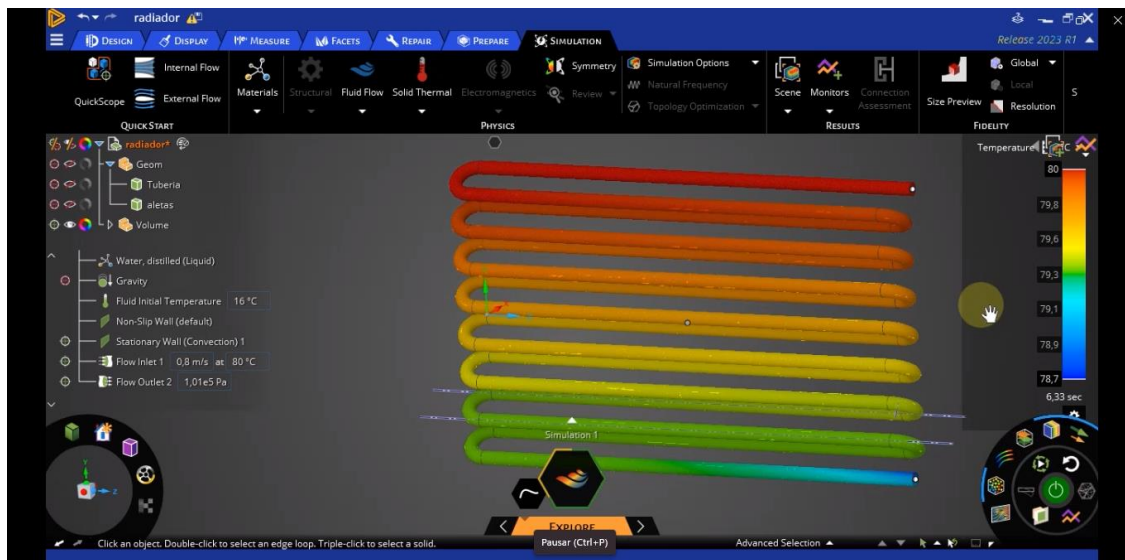
Para poder analizar en la simulación generada se procede a dar condiciones de entorno a las paredes externas del sistema en el que influye sobre el fluido interno, esto se puede apreciar en la figura 29, esta condición se procede a ser activada con la herramienta de transferencia de calor que brinda el programa Ansys y seleccionando la conducción de calor por convección, para lo cual se establece de la siguiente manera:

Temperatura por convección del aire de manera que circula por la parte externa del radiador se la configura para este ensayo de 18 °C, el coeficiente de transferencia de calor para flujo de aire forzado se lo establece en 25 W/m²*°C.

Cabe recalcar que las únicas paredes que se las consideran son las del centro del radiador por el motivo que a los extremos no influye el flujo de aire externo dentro del habitáculo del motor en el vehículo.

Figura 29

Monitoreo de Transferencia de Calor del Intercambiador de Calor



Claramente se puede observar cómo se produce el intercambio de calor con las condiciones externas, así mismo se presenta un detalle muy importante como lo es que por la forma que tiene el radiador en estudio las partículas que recorren desde la entrada al radiador

hasta llegar a la salida tarde 8.33 s en desplazarse y es en ese tiempo que también baja la temperatura.

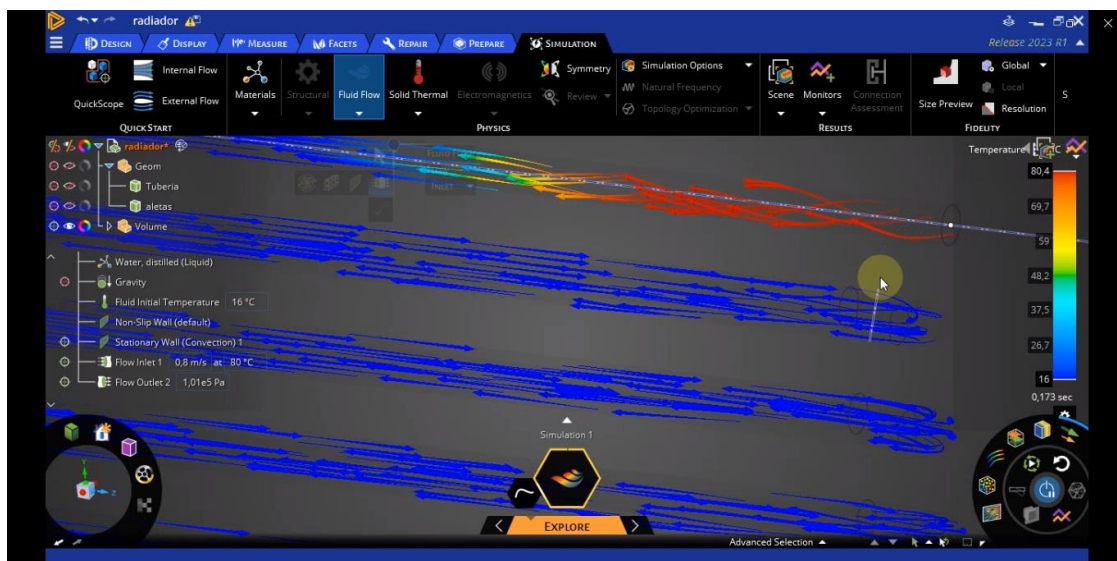
Analizando la simulación también se determina que el comportamiento del ensayo no permite la subida de temperatura al ingreso del sistema por el motivo de interpretación que esto se cumple por el funcionamiento del termostato dentro del sistema de refrigeración del motor de combustión interna.

En caso de que el funcionamiento del termostato no sea el correcto en la realidad podría generar un aumento significativo de la temperatura y presión del sistema, hasta generar un cambio de estado de la materia por lo que el fluido líquido se convertiría en gaseoso o vapor de agua, con lo que colapsaría y se podría producir un gripado del motor.

Otra condición que se considera es la presencia de una bomba de agua que permitirá generara mayor turbulencia en el comportamiento mecánico de las partículas del fluido y la consideración que se tiene es que una bomba de agua gira a 800 rpm promedio y esto genera mayor turbulencia al ingreso del refrigerante en el intercambiador de calor o radiador en el ensayo, el comportamiento de las partículas del flujo con un sistema de alimentación forzado se puede observar en la figura 30.

Figura 30

Monitoreo de Transferencia de Calor del Intercambiador de Calor con un Flujo Forzado

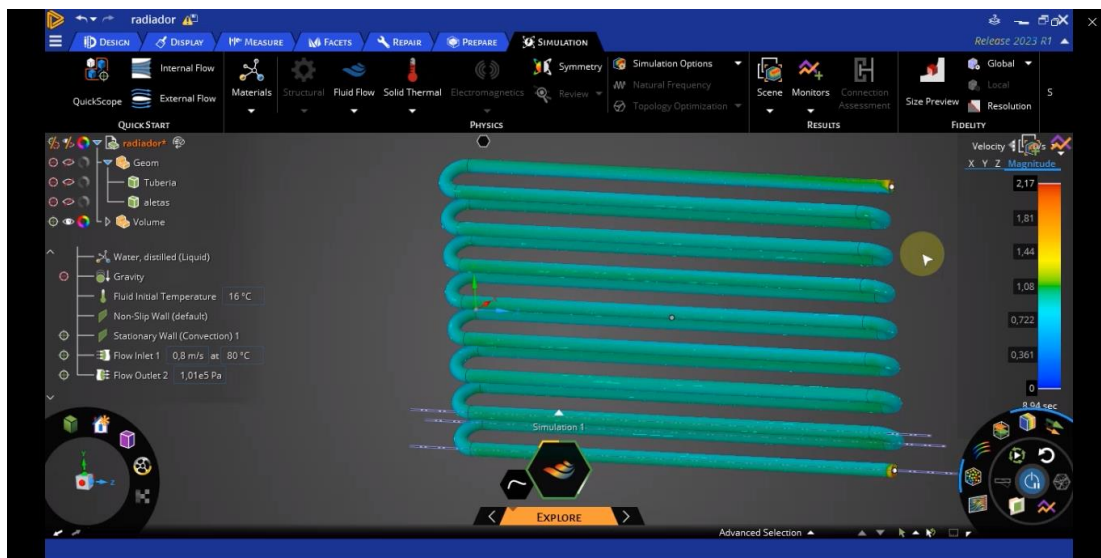


4.4. Análisis del Comportamiento del Factor de Velocidad del Fluido

Finalmente se procede a realizar el análisis del comportamiento de la velocidad del fluido que circula por la parte interna del radiador en la que por medio de la figura 31, se puede apreciar claramente que los valores máximos de velocidad del flujo se presentan en la entrada y a la salida con un valor de 2.17 m/s y en el sección continua su valor se estabiliza en el rango de 1.08 m/s y donde que posee menor velocidad del fluido se presenta en la sección de cambio de dirección o extremos del radiador alcanzando un valor promedio de 0.72 m/s, estos valores rectifican la presunción de los principios físicos de funcionamiento del ensayo.

Figura 31

Monitoreo del Comportamiento del Flujo según el Factor de Velocidad



Conclusiones

Con la ayuda de los programas computacionales de diseño e ingeniería asistida por ordenador con sus nombres Inventor Pro y Ansys Discovery, se pudo determinar claramente como se realiza el comportamiento de un flujo del flujo refrigerante al momento de circular por la parte interna de un intercambiador de calor que para el presente caso fue el radiador obteniendo resultados importantes de manera cualitativa y cuantitativa en lo concerniente al parámetro de temperatura el cual presentó una disminución de 18 °C en un tiempo de recorrido de 8.33 segundos.

Otra de las conclusiones obtenidas fue la de realizar a través de una investigación científica que los parámetros fundamentales para la realización de la simulación del presente proyecto fue la temperatura, características y propiedades del refrigerante, material de las paredes de conducción del radiador, velocidad del flujo, condiciones del entrada y salida del fluido sobre el radiador, el tipo de flujo con el que se trabaja y como es el funcionamiento del sistema de refrigeración del motor de combustión interna, todo esto permite realizar la simulación y por ende la realización de los respectivos análisis de cada resultado.

Con la obtención de los resultados por parte de la simulación del presente ensayo se realizó un análisis del comportamiento de temperatura del sistema en el que el valor de ingreso generado fue de 80.7 °C y al combinarse con el flujo tomado en cuenta con valores ambientales este llega alcanzar un punto promedio de obtención de temperatura al ingreso del motor nuevamente de 69.9 °C, tomando en cuenta que estos valores varían constantemente por las características del funcionamiento del sistema de refrigeración del motor.

Para el caso de la mecánica del flujo, se modeló y simuló el comportamiento de las partículas del flujo en las que presentan en ciertas secciones un flujo del tipo turbulento al ingreso, salida y cambios de dirección de las cañerías del radiador y trata de conseguir un

flujo del tipo laminar en las tuberías horizontales que se encuentran en la parte central del radiador, lo cual se pudo observar de manera cualitativa.

Recomendaciones

Para el presente proyecto investigativo, así como para futuras investigaciones relacionadas con este tipo de metodología se recomiendan lo siguiente:

- Investigar sobre los programas computacionales que permitan la realización de este tipo de ensayos con las herramientas adecuadas por el motivo de que no todos los poseen o a su vez el tiempo de solución consume demasiados recursos, uno de los programas que permiten una amplia gama de dichas herramientas lo es Ansys.
- Las características de software y hardware para el computador con el que se realizan estos tipos de ensayos deben de ser de alta calidad y capacidad, así como una excelente tarjeta de video, lo que permitirá obtener buenos resultados y ahorro de recursos sobre todo de tiempo de procesamiento.
- Tener el conocimiento o investigar los principios teóricos ya que de esta manera se podrá generar el análisis de cada uno de los resultados obtenidos y llegar a una correcta conclusión.

Bibliografía

- Borja, L., & Enríquez, R. (2014). Estudio para la recuperación de cigüeñales de motores Diésel. *UIDE*, 129.
- Burbano, S. (2014). *Diseño de un módulo de intercambiador de calor de coraza y tubos*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Costa, J. (2005). *Diccionario de química física*. Barcelona: Ediciones Díaz de Santos.
- Coulson, J., & Richardson, J. (1979). *Ingeniería Química*. Río de Janeiro: Reverté S.A. .
- CRG. (2022). *CRG OFFICIAL WEBSITE*. Obtenido de <https://kartcrg.com/crashtest-2/?lang=en>
- Cruz, V. (2015). *Análisis de falla del cigüeñal de un motor MWM-ACTEON 4.12 TCE*. Pachuca: SEP.
- Cuasapud, D. (2018). *Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos*. Quito: UISEK.
- Erazo, W., Quiroz, J., Salazar, B., Pallo, A., Quiroz, L., & Zambrano, V. (2017). Modelación del parámetro de identificación de diagnóstico PID's, del sensor de temperatura de refrigerante del motor ECT del sistema de control de inyección electrónica de combustible EFI, mediante regresión no lineal. *Innova Research Journal*, 112-122.
- ESSS. (24 de Junio de 2016). *ESSS.com*. Obtenido de <https://www.esss.co/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>
- EuroTaller. (23 de 12 de 2021). *EuroTaller*. Obtenido de <https://www.eurotaller.com/noticia/problemas-en-el-radiador-de-tu-coche-aprende-a-evitar-sus-averias-mas-habituales>

- Exzar, C. (2019). *Análisis comparativo del freno de tambor y freno de disco para optimizar la eficiencia del sistema de frenos en vehículo de servicio público de 800 cm³ de cilindrada*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Federico. (30 de Octubre de 2018). *Auto y técnica*. Obtenido de Autoytecnica.com: <https://autoytecnica.com/radiador-funcion-vehiculo/>
- Fryškowski, B. (2017). Electric field distribution in spark plugs insulators – modeling and computer simulation. *Diagnostyka*, 87-93.
- Gómez, S. (2018). *Análisis tensional de un cigüeñal de un motor de combustión interna alternativo mediante elementos finitos*. Cantabria: UniCan.
- Grzebieta, R., Rechnitzer, G., Simmons, K., & Hicks, D. (2017). DEVELOPMENT OF PROPOSED DYNAMIC CRASH TESTS AND PERFORMANCE CRITERIA FOR THE AUSTRALIAN CONCESSION GO-KARTS STANDARD. *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration*, 17-0157.
- Kher, C., & Dixit, S. (2016). Modal Analysis of Go - Kart's Chassis based on FEM and FFT Analyzer. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 606-611.
- Latin NCAP. (5 de Enero de 2022). *LATIN NCAP*. Obtenido de <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal>
- Ortiz, J. (2018). *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos)*. Barcelona: UPC.
- Rojas, C., & Jaramillo, J. (2012). *Mejora de eficiencia de los sistemas de dirección y frenos del vehículo Toyota 1000 año 1977*. Cuenca: Universidad del Azuay.

Rojas, D., & Estremera, V. (2012). *DISEÑO Y COMPARATIVA DE RADIADORES PARA VEHÍCULOS AUTOMÓVILES*. Pamplona: UPNA.

Roldán, J. (2014). *Termodinámica*. México: Editorial Patria.

Saavedra, J. (4 de Agosto de 2008). *Megadiesel*. Obtenido de Blogsport.com:
<http://megadiesel.blogspot.com/2008/08/tipos-de-radiadores-mangueras-de.html>

TKART. (8 de Septiembre de 2018). *TKART Staff*. Obtenido de
<https://tkart.it/es/magazine/como-hacer-para/fabricar-kart-de-carreras/#1>

Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplace, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.

Anexos

Anexo 1: Informe de Resultados: Análisis del comportamiento de temperatura y trayectoria de fluidos en un intercambiador de calor con aplicación de simulación térmica y mecánica a través del programa computacional Ansys

16/4/23, 21:21

simulacion Radiador SP.htm

Ansys Discovery



Project

Summary

Project name	simulacion Radiador SP
Report created	2023-04-16 21:06:49
Product version	Release 2023 R1

Model



Geometry

- ▽ simulacion Radiador SP
 - ▽ Geom
 - Tuberia
 - aletas
 - ▽ Volume

Volume

Simulation 1

Removed From Physics

Bodies
Tuberia
aletas

Materials

Structural steel, S275N

Material	Structural steel, S275N
State	Solid
Density	7850 kg/m ³
Viscosity	0 Pa·s
Thermal expansion coefficient	1,2e-5 1/°C
Isotropic thermal conductivity	50,4 W/m·K
Specific heat	0,479 kJ/kg·C
Description	Structural steel, S275N, normalized Data compiled by Ansys Granta, incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.
Class	Metals - ferrous
Subclass	Microalloy and high strength steels

Water, distilled (Liquid)

Material	Water, distilled
State	Liquid
Density	997 kg/m ³
Viscosity	0,00089 Pa·s

Thermal expansion coefficient	0,000257 1/°C
Isotropic thermal conductivity	0,61 W/m·K
Specific heat	4,18 kJ/kg·C
Description	Liquid, Water (distilled) Data compiled by Ansys Granta, incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.
Class	Fluids
Subclass	Liquids

Physics Conditions

Fluid Flow

Flow Inlets

Name	Velocity	Temperature	Rotational velocity
Flow Inlet 1	0,8 m/s	80 °C	800 rpm

Stationary Walls

Name	Type	Insulated	Convection coefficient	Convection temperature
Non-Slip Wall (default)	Insulated	True		
Stationary Wall (Convection) 1	Convection		300 W/m ² ·°C	18 °C

Temperatures

Name	Temperature
Fluid Initial Temperature	18 °C

Flow Outlets

Name	Pressure	Temperature
------	----------	-------------

16/4/23, 21:21

simulacion Radiador SPHim

Flow Outlet 2	1,01e5 Pa	50 °C
---------------	-----------	-------

Monitors

Max. Velocity

Design	Explore
1	2,17 m/s
2	1,06 m/s

Max. Temperature

Design	Explore
1	80 °C
2	80,6 °C

Pressure Drop

Design	Explore
1	10800 Pa
2	5290 Pa

