

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION Y ESCAPE DEL MOTOR DEL TUNEL DE VIENTO DE UN LABORATORIO ACADEMICO

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:

Gonzalez F. Andrés E.

Hernández M. Javier J.

Para optar al Título de

Ingeniero Mecánico

Caracas, Junio 2014

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION Y ESCAPE DEL MOTOR DEL TUNEL DE VIENTO DE UN LABORATORIO ACADEMICO

Tutor Académico: Prof. José Manuel Gómez Alonso

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Bachilleres:
Gonzalez F. Andrés E.
Hernández M. Javier J.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, Junio 2014



Facultad de Ingeniería
INGENIERIA MECÁNICA
Universidad Central de Venezuela
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA

Caracas, 05 de junio de 2014

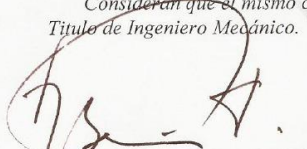
ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el (los) bachiller (es):

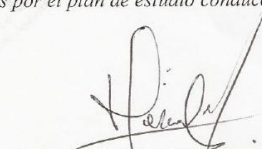
Gonzales, Andrés E. y Hernández, Javier J.

Titulado: “*Diseño y Construcción del Sistema de Refrigeración y Escape del Motor del Túnel de Viento de un Laboratorio Académico*”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. *Rodolfo Berrios*
Jurado




Prof. *José Di Marco*
Jurado


Prof. *José Manuel Gómez*
Tutor

“50 años de la creación de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica y del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales”

DEDICATORIA

A mi familia por siempre apoyarme incondicionalmente en todos mis proyectos durante toda mi carrera universitaria y ayudarme cada vez que los necesitaba.

Andres E. Gonzalez F.

A mis padres por todo el apoyo que me han dado a lo largo de mis estudios.

Javier J. Hernández M.

AGRADECIMIENTOS

A la Familia Gonzalez Franchi: Madre Laura, Padre Gustavo, Hermanos Gustavo-Jaime y María Laura, Tío Emilio

A la Familia Hernández Molina: Padre Carmelo, Madre Nury, Hermano Carmelo

A nuestros compañeros de estudio: Ana, Andrea, Basinger, Juan, Reinaldo, Gustavo, Juan Carlos, Niño, Francisco, Angelo y Orlando.

A todos los Magníficos, Increíbles y Casos Especiales de CADIVI del equipo de Formula SAE-UCV.

Al chiquitito Bam Bam, Profesor Dr. Ing. Faculty Científico y Patrocinante José Manuelito Mondongo Cuervo Gómez.

Andres E. Gonzalez F.

Javier J. Hernández M.

RESUMEN

Gonzalez F. Andres E., Hernández M. Javier J.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE REFRIGERACION Y ESCAPE DEL MOTOR DEL TUNEL DE VIENTO DE UN LABORATORIO ACADEMICO

Tutor académico Prof. José Manuel Gómez Alonso. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Mecánica. 2013, 117 páginas.

Palabras Claves: Sistema de Refrigeración, Sistema de Escape, Túnel de Viento, Motor de combustión interna.

El presente trabajo constituye una de las etapas del proyecto FONACIT N° CFF 1519. “Diseño y construcción del sistema de refrigeración y escape del motor del túnel de viento de un laboratorio académico”, el cual tiene por objeto la incorporación de dichos sistemas al actual motor del túnel de viento de la escuela de mecánica, de manera que pueda funcionar correctamente durante el tiempo requerido por las practicas didácticas de fluidos y máquinas de desplazamiento volumétrico. Para lograr esto se estudió y rediseñó el prototipo propuesto por los ingenieros Koenke y Grases (1969) en su trabajo especial de grado “Calculo diseño y construcción de un túnel de viento subsónico”. Posteriormente, se realizaron 3 diferentes configuraciones de cada sistema de manera de encontrar la solución al problema.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1 Motivación	2
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.1 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Alcances y Limitaciones	4
1.3.1 Alcances	4
1.3.2 Limitaciones	5
1.4 Antecedentes	5
CAPITULO II.....	8
Marco Teórico.....	8
2.1 Definiciones	8
CAPITULO III.....	13
Diseño de los sistemas de refrigeración y escape	13
3.1 Especificaciones de los sistemas originales	14
3.1.1 Especificaciones del funcionamiento original del túnel de viento.....	14
3.1.1.1 Características del motor GM 427 Big block	14
3.1.1.2 Configuración de la simulación numérica del motor GM 427 Big Block ..	15
3.1.1.3 Resultados de la simulación numérica del motor	17

3.1.2 Especificaciones del funcionamiento original del sistema de refrigeración	18
3.1.3 Especificaciones del funcionamiento original del sistema de escape	19
3.2 Herramienta de simulación a utilizar	20
3.3 Levantamiento del plano del cuarto del motor del túnel de viento	22
3.4 Diseño del sistema de refrigeración.	24
3.4.1 Requerimientos del diseño del sistema de refrigeración	24
3.4.2 Limitaciones del sistema de refrigeración	24
3.4.3 Propuestas de diseño para el sistema de refrigeración	25
3.4.3.1 Propuesta N°1	26
3.4.3.2 Propuesta N°2	27
3.4.3.3 Propuesta N°3	28
3.4.4 Flujo de aire en el cuarto del motor del túnel de viento	29
3.4.5 Selección de ubicación ganadora	33
3.4.6 Determinación del volumen del radiador	34
3.5 Diseño del sistema de escape	36
3.5.1 Requerimientos del diseño del sistema de escape.....	37
3.5.2 Limitaciones del sistema de escape	37
3.5.3 Propuestas de diseño para el sistema de escape.....	38
3.5.3.1 Propuesta N° 1: Tuberías Independientes	39
3.5.3.2 Propuesta N° 2: Tuberías configuración 2-1	41
3.5.3.3 Propuesta N° 3: Tuberías configuración 2-1 hacia al suelo	42
3.5.4 Selección del diseño de la estructura del sistema de escape.....	45
3.5.5 Detalles y estructura de cada elemento de la propuesta ganadora.	46
3.5.6 Simulaciones de la propuesta ganadora en un escenario de trabajo.	47
CAPITULO IV	49
Análisis y resultados.....	49
CAPITULO V.....	50
Construcción del sistema de escape y refrigeración.	50
5.1 Tubería de escape.	50
5.2 Instalación del silenciador y tarima.	51
5.3 Instalación del radiador.	52

5.4 Electroventilador y su escafandra	53
5.5 Instalación del cardan de la transmisión.	54
CAPITULO VI	55
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
APENDICES	58
APENDICE A. CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE ESCAPE Y REFRIGERACION	59
APENDICE B. SIMULACIONES ADICIONALES	68

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 “Orden de encendido”	15
Figura 3.2 “Solape de válvulas”	15
Figura 3.3 “Configuración de la simulación”	16
Figura 3.4 “Grafica de orden de encendido y solape de válvulas”	17
Figura 3.5 Valores de temperatura de escape	18
Figura 3.6 “Ensamble para simulaciones”	23
Figura 3.7 “Ensamble de cuarto de motor”	23
Figura 3.8 “Propuesta de instalación N° 1”	26
Figura 3.9 “Propuesta de instalación N° 2”	27
Figura 3.10 “Propuesta de instalación N° 3”	28
Figura 3.11 “Condiciones iniciales de estudio a 10 m/s”	30
Figura 3.12 “Líneas de velocidad a 10 m/s”	30
Figura 3.13 “Distribución de flujo a 10 m/s, vista lateral”	31
Figura 3.14 “Distribución de flujo a 10 m/s, vista superior”	31
Figura 3.15 “Líneas de velocidad a 45 m/s”	32
Figura 3.16 “Distribución de flujo a 45 m/s, vista lateral”	32
Figura 3.17 “Distribución de flujo a 45 m/s, vista superior”	33
Figura 3.18 “Geometrías de radiador a evaluar”	35
Figura 3.19 “Geometría para simulación”	35
Figura 3.20 “Resultados de simulación para 50 cm”	36
Figura 3.21 “Resultados de simulación para 80 cm”	36
Figura 3.22 “Ensamblaje de la propuesta #1 del sistema de escape”	39
Figura 3.23 “Simulación de las líneas de flujo de escape de la propuesta #1”	40

Figura 3.24 “Ensamblaje de la propuesta #2 del sistema de escape”	41
Figura 3.25 “Simulación de las líneas de flujo de escape de la propuesta #2”	41
Figura 3.26 “Ensamblaje de la propuesta #3 del sistema de escape”	43
Figura 3.27 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del fluido en el sistema de escape”	43
Figura 3.28 “Ensamblaje completo de la propuesta #3 del sistema de escape”	44
Figura 3.29 “Base pivotante”	47
Figura 3.30 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del aire alrededor del sistema de escape con una velocidad igual a 10m/s”	47
Figura 3.31 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del fluido en el sistema de escape con la velocidad del aire externo igual a 10m/s”	48
Figura 3.32 “Simulación de valores de temperatura en la superficie de la tubería del sistema de escape con la velocidad del aire externo igual a 10m/s”	48
Figura 5.1 “Tubería de escape”	50
Figura 5.2 “Silenciador”	51
Figura 5.3 “Base pivotante”	52
Figura 5.4 “Radiador”	53
Figura 5.5 “Electroventilador”	53
Figura 5.6 “Cardan”	54
Figura A.1 “Instalación del radiador”	59
Figura A.2 “Medición de las tuberías de escape”	59
Figura A.3 “Soldadura TIG de las tuberías de escape”	59
Figura A.4 “Instalación del silenciador”	60
Figura A.5 “Silenciador con tarima”	60
Figura A.6 “Silenciador en posición más baja de la base pivotante”	61

Figura A.7 “Silenciador en posición más alta de la base pivotante”	61
Figura A.8 “Switch de encendido y apagado del electroventilador”	62
Figura A.9 “Conectores de fácil remoción del electroventilador”	62
Figura A.10 “Estudiante utilizando la tarima para llenado de radiadores”	63
Figura A.11 “Proceso de cortado de los perfiles de la tarima”	63
Figura A.12 “Soldadura por arco de la tarima”	64
Figura A.13 “Instalación de las mangueras del radiador”	64
Figura A.14 “Llenado del radiador”	65
Figura A.15 “Medición de la longitud del cardan”	65
Figura A.16 “Medición de la altura del cardan”	66
Figura A.17 “Instalación del cardan”	66
Figura A.18 “Aspas del túnel de viento”	67
Figura B.1 “Líneas de flujo dentro del radiador”	68
Figura B.2 “Gradiente de temperaturas al final del radiador”	68
Figura B.3 “Gradiente de temperaturas de la sección sólida”	69
Figura B.4 “Organograma de trabajo”	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 "Metodología de trabajo"	13
Tabla 3.2 "Datos del motor"	14
Tabla 3.3 "Resultados de simulación a 6400 RPM"	17
Tabla 3.4 "Metodología de diseño del sistema de refrigeración"	24
Tabla 3.5 "Matriz de selección"	25
Tabla 3.6 "Condiciones de contorno para análisis de radiador"	26
Tabla 3.8 "Matriz diseño del sistema de refrigeración"	34
Tabla 3.9 "Metodología de diseño del sistema de escape"	37
Tabla 3.10 "Criterios de selección del diseño del sistema de escape"	38
Tabla 3.11 "Condiciones de contorno para análisis de la tubería de escape para la propuestas de estudio"	39
Tabla 3.12 "Matriz diseño del sistema de escape"	45

INTRODUCCIÓN

Un Túnel de Viento es una instalación en la que se obtiene un flujo de aire rectilíneo y uniforme a una velocidad determinada en la cámara de ensayos. Para usos aeronáuticos ese flujo ha de tener una calidad que viene determinada por su uniformidad y nivel de turbulencia. En la cámara de ensayos del Túnel de viento, se sitúan objetos reales o maquetas de los mismos para observar el efecto real que el viento ejerce sobre ellos, de manera que puedan evaluarse o diseñarse soluciones que puedan ser necesarias.

El túnel es un instrumento clave en el estudio de las acciones del aire o el viento sobre un objeto, ya sea éste un avión, una estructura o la propia superficie terrestre. Su objetivo es proporcionar una corriente con las características deseadas, satisfaciendo unos determinados niveles de calidad, de manera que en su cámara de ensayos pueden realizarse pruebas al hacer incidir esta corriente sobre objetos reales, si sus dimensiones lo permiten, o sobre maquetas a escala de los mismos, con lo que se pueden extrapolar los resultados amparados en las leyes de semejanza dinámica.

De esta forma puede predecirse el efecto real que el viento ejerce sobre el objeto de estudio, pudiendo asimismo diseñarse y evaluarse soluciones, en caso necesario, bien para reducir ese efecto o para minimizar los considerados perniciosos.

Por lo que, en el capítulo I, se planteará el problema de estudio con los objetivos a trabajar y los alcances. En el capítulo II, se establecerá el marco teórico para proceder al capítulo III, en el cual se realizan los diseños de refrigeración y escape, para en el capítulo IV ser analizados y presentar sus resultados, detallando su construcción en el capítulo V. Finalmente, en el capítulo VI, se realizan las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Motivación

El túnel de viento es una herramienta de investigación utilizada para estudiar el comportamiento y los efectos del flujo del aire alrededor de objetos sólidos, dichos objetos en el mayor de los casos son a escalas y son sometidos a condiciones a las que cuales estarán en una situación real. La importancia del Túnel de Viento reside en la capacidad que ofrecen para evaluar los modelos de estudio los efectos de aerodinámica, dichos objetos pueden ser automóviles, aviones, naves espaciales, edificios, estructuras entre otros. En este caso el Túnel de Viento es impulsado por un motor de 4 tiempos de ciclo Otto naturalmente aspirado, en el cual se enfocan los problemas de estudio de este trabajo de investigación.

Los sistemas de refrigeración, son los encargados de mantener la temperatura de operación en un rango estable que permita el funcionamiento adecuado del motor, estos sistemas funcionan haciendo pasar algún líquido refrigerante por zonas críticas del motor, el ciclo de circulación del refrigerante funciona haciendo pasar el líquido por un radiador, el cual posee un diseño optimizado para lograr una transferencia de calor optima entre un fluido frio (generalmente aire) y uno caliente (refrigerante), extrayendo calor del fluido caliente que previamente estuvo circulando dentro del motor, luego este fluido pasa del radiador al ruteado interno del motor, que lo hará circular por sus zonas críticas, para finalmente volver al radiador.

Por otra parte los sistemas de escape en un motor, tiene la finalidad de guiar los gases lejos de donde ocurre la combustión controlada, dichos sistemas pueden poseer varias características adicionales con fines de reducir la contaminación generada por el motor, como lo son por ejemplo, convertidores catalíticos para reducir la concentración de contaminantes en los gases de combustión, silenciadores a fin de reducir la contaminación sonora y turbocargadores para aumentar el

rendimiento de los motores de combustión interna naturalmente aspirados y convertirlos a inducción forzada.

El fenómeno de transferencia de calor es el que rige el estudio del sistema de refrigeración así como la selección de materiales y geometrías son los que rigen el sistema de escape, por lo tanto en la actualidad se dispone de programas computacionales como: Lotus Engine Simulation, SolidWorks Simulation, STAR-CCM+, ANSYS y Autodesk Simulation CFD, los cuales nos pueden ofrecer información muy detallada para modelar las condiciones de contorno y analizar las posibles soluciones de los sistemas de estudio.

La crisis presupuestaria en la educación ha afectado directamente a las universidades y centros de investigaciones, lo que se ve reflejado en la desactualización de sus laboratorios e infraestructura, como es el caso de los Laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela y en particular uno de los laboratorios del Departamento de energética, el cual se encuentra inactivo, lo que ocasiona que no se realicen prácticas didácticas como es el caso Mecánica de Fluidos, Maquinas de Desplazamiento, Turbo máquinas y Termodinámica.

Actualmente uno de los problemas principales que impiden el desarrollo de las prácticas en el túnel de viento es que dicho túnel no posee los Sistemas de Refrigeración y Escape los cuales son indispensables para el funcionamiento del motor de ciclo Otto que impulsa el Túnel de Viento, se debe realizar el diseño y construcción de dichos sistemas, los cuales podrán ser desarrollados mediante una tesis de grado, que permitirá la realización de las diferentes practicas del Departamento de Energética, así como cualquier otro departamento que requiera realizar pruebas experimentales en dicho equipo.

Para llevar a cabo esta investigación se plantean las siguientes interrogantes:

1) ¿Cuáles serán las condiciones de flujo interno dentro del sistema de escape?

- 2) ¿Cuáles serán las condiciones de flujo interno y externo del sistema de refrigeración?
- 3) ¿De qué manera se debe modelar la geometría del sistema de escape y el volumen del sistema de refrigeración?
- 4) ¿Los valores obtenidos en las simulaciones asistidas por computadora son coherentes con los valores esperados?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Realizar los trabajos de diseño y construcción de los sistemas de refrigeración y escape del motor de ciclo Otto que impulsan el Túnel de Viento.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Revisión de la bibliografía referente al estudio del sistema de escape y refrigeración del motor.
- Establecer la cantidad de radiadores a utilizar y sus dimensiones.
- Definir la posición de los radiadores para el motor.
- Definir la geometría del sistema de escape del motor.
- Análisis y diseño de la tubería de escape.
- Realizar las simulaciones para las condiciones establecidas.
- Validación de los análisis numéricos con los resultados obtenidos en las simulaciones.

1.3 Alcances y Limitaciones

1.3.1 Alcances

- Establecimiento de las condiciones de contorno de los Sistemas de Escape y Refrigeración.

- Se analizaran tres (3) configuraciones para cada Sistema de Escape y Refrigeración respectivamente.

- Validación de los resultados obtenidos.

- Recomendaciones para futuras investigaciones referentes a los Sistemas de Escape y Refrigeración.

1.3.2 Limitaciones

En el siguiente trabajo teórico-práctico, se plantea el diseño y construcción de los sistemas de refrigeración y escape del motor de ciclo Otto que impulsan el Túnel de Viento, Sin embargo es importante aclarar que no está contemplado la realización de análisis fluido-dinámicos a sólidos dentro del túnel en funcionamiento, y de igual forma no está contemplado la colocación de la instrumentación general del Túnel de Viento.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta:

- Disponibilidad del manual de taller del motor del túnel de Viento.

- Complejidad en el manejo de los programas a utilizar.

- El tiempo de cálculo para la convergencia de los resultados de las simulaciones, lo que limita el número de pruebas a realizar.

- Capacidad de realizar las simulaciones del equipo de computación disponible.

- Dependencia de la funcionalidad de los demás sistemas del motor para la verificación práctica de los resultados.

1.4 Antecedentes

- Koeneké y Grases (1969) diseñaron y construyeron un túnel de viento subsónico para desarrollar análisis del estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos simulando una situación real.

-Tonye y Mohammed (2013) determinaron un método para el cálculo de los parámetros del sistema de refrigeración para la disipación eficaz de calor de un motor. Les permitió concluir que se pierde más calor en el motor y radiador cuando se usa agua pura como refrigerante, que cuando se usa la mezcla de agua/etileno-glicol.

-Kandylas y Stamatelos (1999) Sintetizaron los fenómenos de transferencia de calor en los sistemas de escapes de automóviles, y luego analizando datos experimentales en estado estacionario y transitorio de tasas de transferencia de calor en sistemas de escapes, analizaron varias configuraciones de tuberías de escapes. Lo cual les permitió concluir cuáles son los parámetros de diseño que influyen en la eficiencia de cada sistema analizado, dentro de las cuales definieron las dimensiones y materiales de la tubería de escape, así como también la geometría de la tubería de escape, posición del catalizador en los motores a gasolina y diferentes tipos de aislamientos para la tubería de escape, a su vez afirman que el modelo de transferencia de calor del sistema de escape presentado en su trabajo sirve para una completa y eficiente metodología de diseño y optimización de sistemas de escapes.

-Won y Park (2000) describen el modelo teórico desarrollado para el análisis de transferencia de calor en sistemas de refrigeración en automóviles, el modelo posee una estructura modular que entrelaza varios submodelos de los sistemas de refrigeración. Del modelo se puede determinar la tasa de transferencia de calor de un sistema de refrigeración en las incluso las primeras etapas de diseño y durante el desarrollo.

-Węzik (2000) Analiza el sistema de refrigeración de un vehículo para proveer una solución numérica para determinar a qué temperatura mínima y velocidad de aire circundante, deberá encenderse el sistema de refrigeración, con la finalidad de conocer la tasa de transferencia de calor para distintas velocidades del aire y ver su influencia en el rendimiento del sistema de refrigeración.

-Davies (1995) Provee varios ejemplos prácticos sobre la aplicación de las nuevas metodologías usadas en el diseño de sistemas de escape, además de dar una demostraciones de los procesos de diseño teniendo en cuenta el control de la transferencia de energía acústica y reduciendo al mínimo la pérdida de rendimiento en el motor.

-Palacios y Rigio (2006) Con la teoría recolectada se define la configuración óptima para los conductos de escape para el prototipo SAE-UCV y además se predefinen las características idóneas que deben tener un silenciador empleando ecuaciones diferenciales lineales y teniendo en cuenta lo factores de impedancia y reflexión se obtiene un comportamiento previo y teórico de 3 modelos de silenciadores de flujo directo de gases seleccionados de acuerdo a sus diferentes características de funcionamiento.

CAPITULO II

Marco Teórico

2.1 Definiciones

Antes de describir las características de los diseños, es importante destacar los fundamentos teóricos de un sistema de escape y refrigeración

-Sistema de escape: tiene la finalidad de guiar los gases lejos de donde ocurre la combustión controlada y lejos de la admisión o sala de máquinas, dichos sistemas pueden poseer varias características adicionales con fines de reducir la contaminación generada por el motor, como lo son por ejemplo, convertidores catalíticos para reducir la concentración de contaminantes en los gases de combustión, silenciadores a fin de reducir la contaminación sonora y turbocargadores para aumentar el rendimiento de los motores de combustión interna naturalmente aspirados y convertirlos a inducción forzada.

-Túnel de viento: Un túnel de viento o túnel aerodinámico es una herramienta experimental para estudiar los efectos del flujo de aire sobre objetos o cuerpos sólidos. Con él se simulan las condiciones experimentales por el objeto en la situación real. El túnel de viento es el sistema de simulación por excelencia, y aunque su funcionamiento es más complejo de lo que parece, se basa en conceptos bastante simples que se explican a continuación. En un túnel de viento, el objeto permanece estacionario mientras se fuerza el paso de aire o gas alrededor de él. El aire se sopla o aspira por medio de una turbina o ventilador a través de un conducto equipado con una ventana y otros aparatos en los que los modelos o formas geométricas se montan para el estudio. Después se utilizan varias técnicas para estudiar el flujo de aire real alrededor de la geometría y se comparan con los resultados teóricos, que también deben tener en cuenta el número de Reynolds y el número de Mach para su régimen de funcionamiento.

-Silenciadores: Los silenciadores son diseñados para suprimir el pulso acústico generado por el proceso de combustión del motor. Una onda de presión de alta

intensidad generada por la combustión en los cilindros del motor se propaga a lo largo de la tubería de escape. Este pulso se repite a la frecuencia de explosión del motor. Existen 2 tipos de silenciadores, los de disipación y los de reactivación.

-Silenciador de disipación: Usan material de absorción de sonido para quitar energía de la onda acústica, a medida que se propaga por el silenciador.

-Silenciador de reactivación: son los más usados en las aplicaciones automotrices, estos reflejan el sonido de las ondas acústicas devuelta a la fuente previniendo que el sonido sea transmitido a través de la tubería, utilizando cámaras de expansión que varían de tamaños para cada tipo de onda.

-Número de Reynolds: El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido. Este número recibe su nombre en honor de Osborne Reynodls (1842-1912), quien lo describió en 1883.

El número de Reynolds relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo, en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos. Dicho número o combinación adimensional aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar (número de Reynolds pequeño) o turbulento (número de Reynolds grande).

-Un vórtice: Es un flujo turbulento en rotación espiral con trayectorias de corriente cerradas. Como vórtice puede considerarse cualquier tipo de flujo circular o rotatorio que posee vorticidad. La vorticidad es un concepto matemático usado en dinámica de fluidos que se puede relacionar con la cantidad de circulación o rotación de un fluido. La vorticidad se define como la circulación por unidad de área en un punto del flujo.

-Flujo Laminar: Se llama flujo laminar o corriente laminar, al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse. Se dice que este flujo es

aerodinámico, es decir, cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.

La pérdida de energía es proporcional a la velocidad media. El perfil de velocidades tiene forma de una parábola, donde la velocidad máxima se encuentra en el eje del tubo y la velocidad es igual a cero en la pared del tubo. Existe flujo laminar en fluidos con velocidades bajas o viscosidades altas, cuando se cumple que el número de Reynolds es inferior a 2300. Más allá de este número, será un flujo turbulento.

-Flujo Turbulento: El flujo turbulento es más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia. Este tipo de flujo se caracteriza por trayectorias circulares erráticas, semejantes a remolinos. El flujo turbulento ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas. La turbulencia puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades. Además, un flujo turbulento puede desarrollarse bien sea en un conducto liso o en conducto rugoso. Se define como flujo turbulento al fluido que presenta un número de Reynolds mayor a 4000.

-Motores de combustión interna: Para el proceso de generación de trabajo mecánico, se requiere la conversión de energía de una forma a una forma mecánica de energía, para el caso de un motor de combustión interna, el sistema transforma energía química en energía mecánica, todo eso realizado a través de un proceso de compresión y expansión en una cámara con medidas geométricas definidas, el proceso de compresión y expansión mueve un pistón que funciona como medio de transformación de la energía química en mecánica.

El proceso de transformación de energía, sucede en una secuencia de cuatro procesos elementales que son, admisión, compresión, combustión escape, la secuencia en la que ocurren esos procesos es la misma para todo tipo de motores

siendo diferenciados por los tiempos en los que ocurren, dependiendo en los tiempos se pueden clasificar los motores en motores de dos tiempos (dos procesos por tiempo) motores de cuatro tiempos (un proceso por tiempo).

-Distribuidor de escape: Consiste en una matriz conectiva en la cual convergen las tuberías de escape a la salida del pistón, en caso de un motor multicilíndrico, a una única tubería de escape, generalmente dirigida a un silenciador, la principal razón del uso de ese elemento es la reducción de elementos finales que compondrán al sistema de escape.

-Radiador: el radiador es un intercambiador de calor que funciona transfiriendo energía térmica de un medio a otro con el propósito de refrigerar o calentar.

-Termostato: el termostato es un elemento de control que censa la temperatura para mantener un equipo o cuarto a temperatura cercana a un valor promedio, este elemento trabaja encendiendo o apagando los equipos de refrigeración o calefacción, en otros casos, el termostato sirve de elemento de control directo de apertura o cierre de flujo para un fluido de trabajo.

-Refrigerante: un refrigerante es un fluido líquido o gaseoso que se mueve a través o alrededor de un equipo para prevenir sobrecalentamiento, transfiriendo el calor producido por el equipo a otro elemento aproveche este calor o lo disipe. Un refrigerante ideal posee alta capacidad térmica, baja viscosidad, químicamente inerte y que no cause corrosión y en algunas aplicaciones se requiere un fluido dieléctrico.

-Transferencia de calor: describe el intercambio de energía térmica entre sistemas físicos dependiendo de la temperatura y presión, por disipación de calor del sistema caliente al sistema frío, hasta alcanzar el equilibrio entre ambos sistemas.

-Funcionamiento de un sistema de refrigeración: se tiene un fluido refrigerante dentro del sistema de refrigeración, dicho fluido llena en su totalidad el sistema de refrigeración, esto para evitar cambios de fase dentro del ruteado de refrigeración al aumentar la temperatura. Para la circulación del fluido se utiliza una bomba que movilizará el líquido en el bloque del motor, el fluido circula a través de pasajes en el

motor alrededor de los cilindros. Luego se vuelve al radiador a través de la cabeza del cilindro del motor.

El termostato se encuentra a la salida de la línea de líquido que se encuentran en la parte superior del motor. La instalación de las tuberías alrededor del termostato envía el fluido del de vuelta a la bomba directamente si el termostato está cerrado. Si está abierto, el fluido pasa a través del radiador primero y luego de vuelta a la bomba.

-Aislantes térmicos para tubería de escape: A fin de mantener la temperatura dentro del compartimiento del motor manejable, se requiere reducir los efectos de los fenómenos de convección y radiación, lo que es posible con el uso de aislantes a lo largo del sistema de escape, el cual es uno de los elementos que se encuentra a mayor temperatura en el compartimiento del motor. El material comúnmente usado es fibra de vidrio gruesa. Los beneficios termodinámicos de estos aislantes son:

- Mantiene la temperatura de los gases de escape a lo largo de la tubería de escape, por lo que los gases mantienen una mayor velocidad a lo largo del recorrido del escape, debido a que los gases mantienen una menor densidad.

- Dependiendo de la relación de gasolina y aire utilizada, el aislamiento térmico puede ayudar a aumentar el rendimiento del motor.

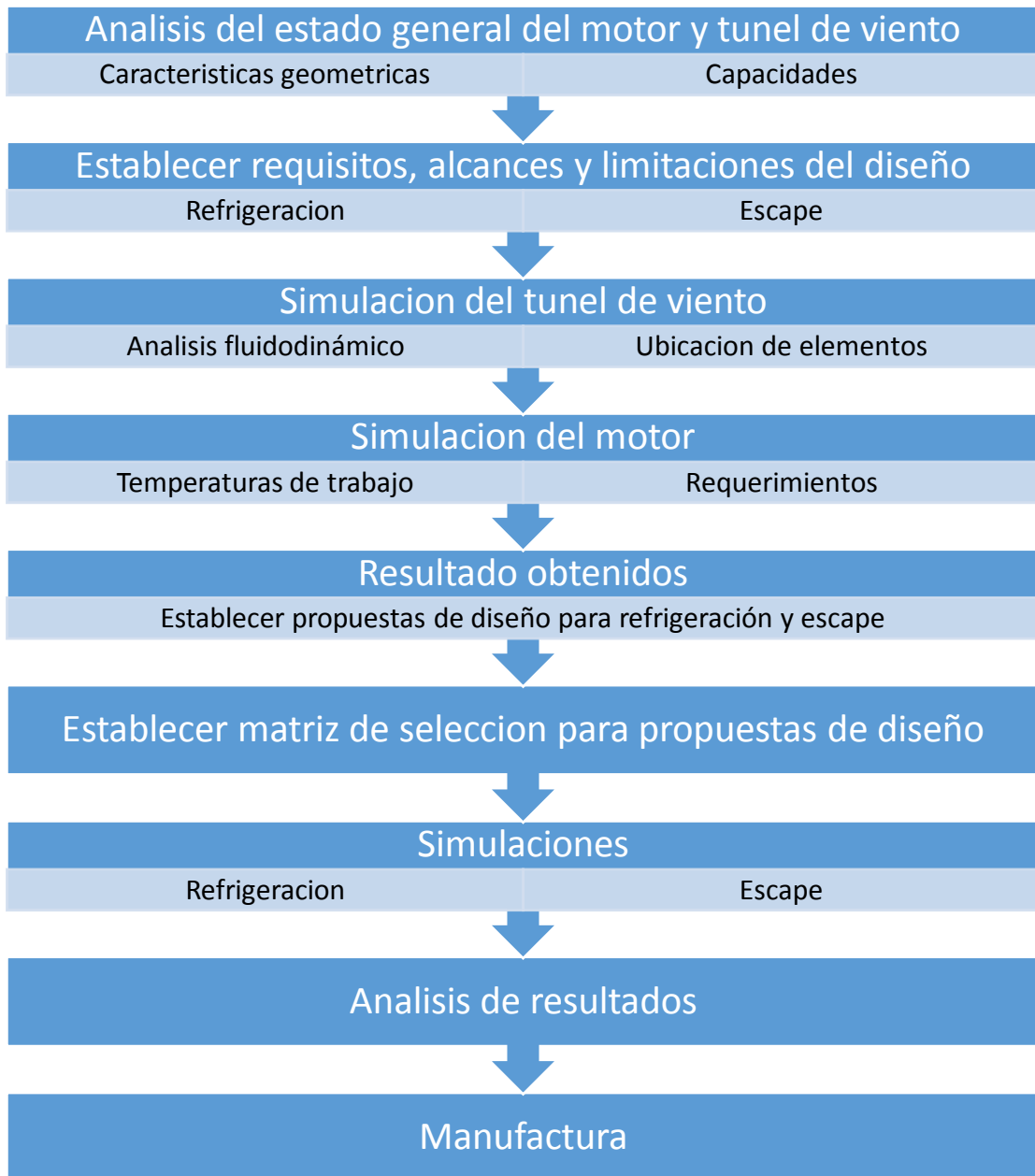
- Mejor control en las temperaturas del motor al tener una reducción en las contribuciones convectivas y radiativas.

CAPITULO III

Diseño de los sistemas de refrigeración y escape

Para el proceso de diseño de los elementos de refrigeración y escape, se realiza la siguiente metodología de trabajo:

Tabla 3.1 "Metodología de trabajo"



3.1 Especificaciones de los sistemas originales

3.1.1 Especificaciones del funcionamiento original del túnel de viento

El funcionamiento original del sistema de refrigeración y escape del túnel de viento fue establecido Koencke y Grases (1969)

3.1.1.1 Características del motor GM 427 Big block

Para determinar las condiciones de trabajo del motor, se requiere conocer las características térmicas del mismo, en la Tabla 3.2 se presentan los datos del motor GM 427 L68 Big Block.

Tabla 3.2“Datos del motor”

Numero de cilindros y disposición	V8
Volumen total	426.4 Pulgadas cubicas (7.0 L)
Diámetro de pistón	4.312 Pulgadas (108 mm)
Desplazamiento	3.65 Pulgadas (93 mm)
Relación de compresión	10.25:1
Potencia neta	400 hp (300 kW)
Torque nominal	460 lb.ft (620 N.m)

De igual manera es necesario conocer el orden de encendido de cada pistón, a fin de tener una simulación fiable, dicho orden se puede observar en la Figura 3.1

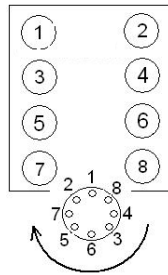


Figura 3.1 “Orden de encendido”

3.1.1.2 Configuración de la simulación numérica del motor GM 427 Big Block

Debido a la falta de documentación ingenieril sobre el motor GM 427, se realizó una simulación mediante el software Lotus Engine para conocer las temperaturas y datos de funcionamiento del mismo, de manera de que los parámetros que utilizamos de estudio que provienen de antecedentes, sean respaldados por una simulación específica para este motor.

Los primeros pasos para configurar dicha simulación en Lotus Engine, es establecer los tiempos de apertura de válvula, para el GM 427 Big Block la configuración se puede observar en la Figura 3.2.

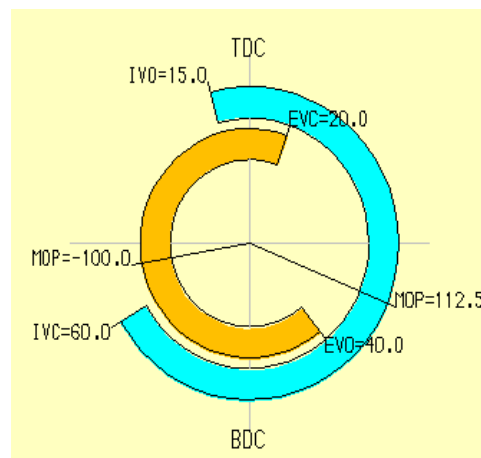


Figura 3.2 “Solape de válvulas”

De la misma manera se debe configurar el orden de todos los elementos que forman parte del proceso de combustión del motor. En Lotus Engine la simulación necesita que se establezca las posiciones para la entrada de aire, las tuberías y

válvulas de admisión, el pistón y las tuberías y válvulas de escape, este orden se puede observar en la Figura 3.3 que detalle el orden y la distribución de dichos elementos.

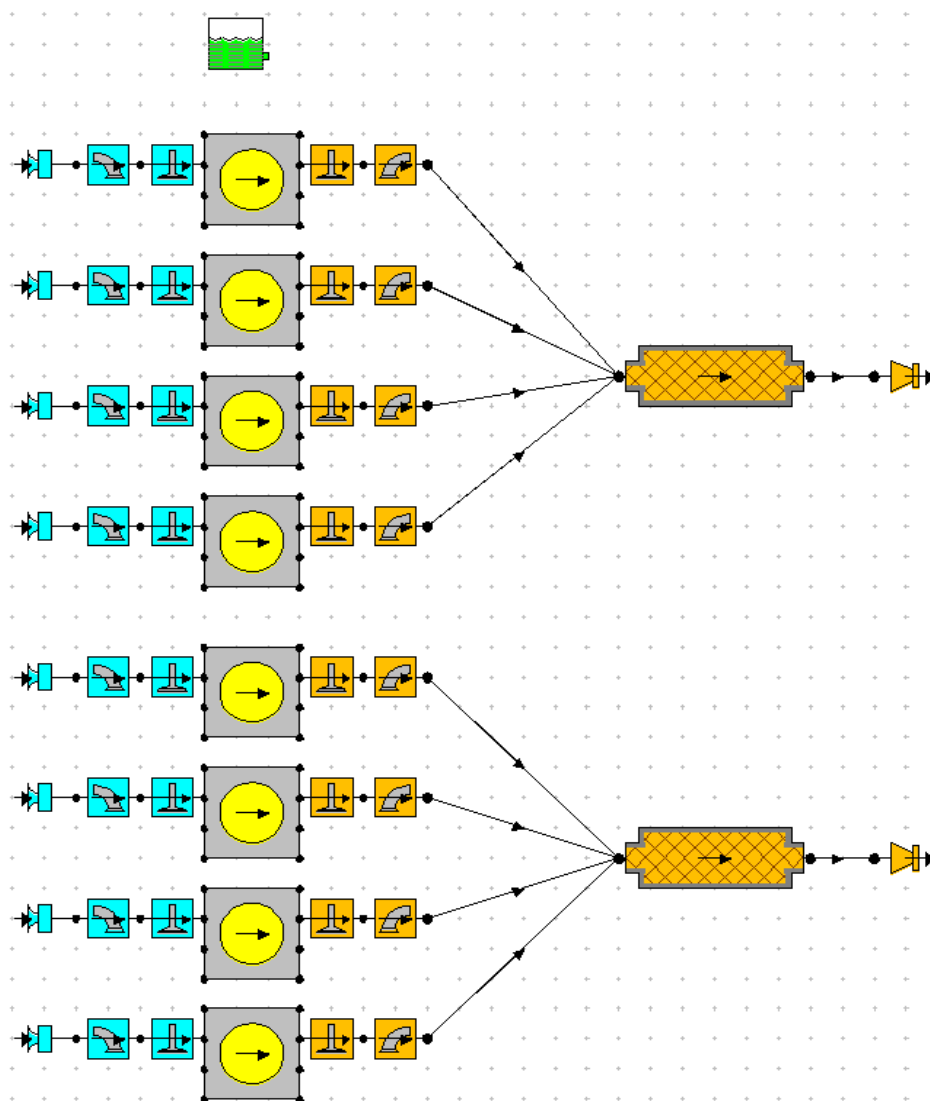


Figura 3.3 “Configuración de la simulación”

El último paso en la configuración de la simulación, es suministrar al programa el orden de encendido de los pistones como se observa en la Figura 3.4, dicho orden se obtiene de la Figura 3.1

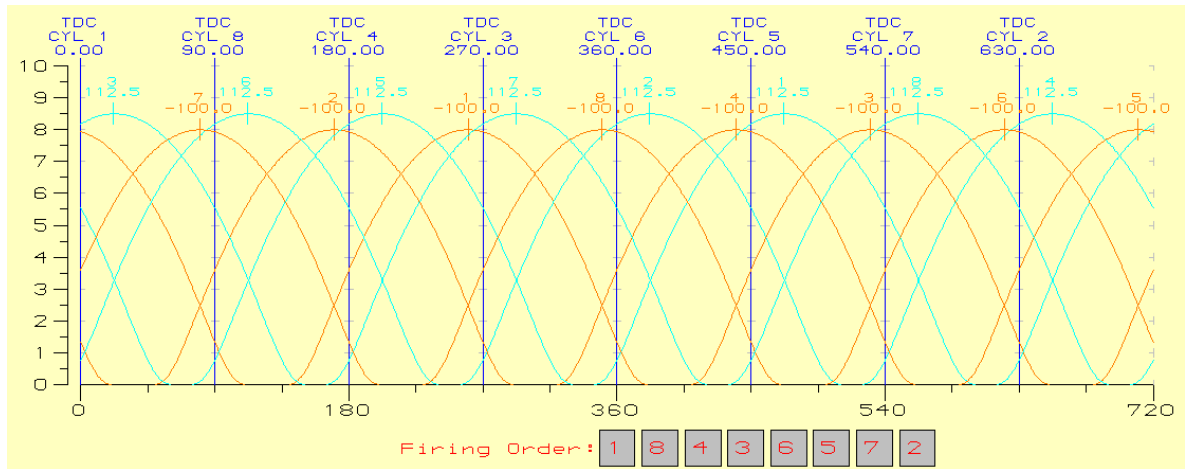


Figura 3.4 “Grafica de orden de encendido y solape de válvulas”

3.1.1.3 Resultados de la simulación numérica del motor

De la simulación numérica, se obtuvieron los valores de temperatura de los gases de entrada en el colector de escape, siendo el promedio de las temperaturas de aproximadamente 913 °C como se observa en la Tabla 3.3, lo cual se relaciona con los valores obtenidos por (Kandylas y Stamatelos) de 850 °C como muestra la Figura 3.5, pero debido a que éste último fue de un motor de menor cilindrada tomaremos el valor de temperatura a la entrada del sistema de escape de 900 ° para facilitar los cálculos.

Tabla 3.3 “Resultados de simulación a 6400 RPM”

Head :	Temp.	1726.7 C	Area	.1099E-01 m2	Area Factor	1.20	
Mean Gas.Temp.	1135.3 C	HTC.	761.68 w/m2.K	HT.Rate	-4.9501 kw		
Piston:	Temp.	1726.7 C	Area	.1008E-01 m2	Area Factor	1.10	
Mean Gas.Temp.	1135.3 C	HTC.	761.68 w/m2.K	HT.Rate	-4.5375 kw		
Liner :	Temp.	205.8 C	TDC.	.3155E-02 m2	BDC.	.3155E-01 m2	outer Temp. 145.0 C
Mean Gas.Temp.	1114.3 C	HTC.	740.52 w/m2.K	HT.Rate	7.3705 kw		
Seg. No	Dist. to top	M.Gas.T. (C)	HT.Coeff(w/m2.K)	HT.Rate(kw)	In.w.Temp(C)		
1	0.0000	1114.	740.5	0.000	205.80		
2	0.0000	1114.	737.9	0.8057	205.80		
3	0.0047	1021.	530.8	0.6016	205.80		
4	0.0093	942.7	465.3	0.4910	205.80		
5	0.0140	886.9	422.2	0.4186	205.80		
6	0.0186	843.1	387.5	0.3662	205.80		
7	0.0233	811.4	360.9	0.3259	205.80		
8	0.0279	786.3	338.7	0.2932	205.80		
9	0.0326	764.3	318.1	0.2656	205.80		
10	0.0372	745.0	298.9	0.2418	205.80		
11	0.0419	727.8	280.9	0.2206	205.80		
12	0.0465	712.4	263.7	0.2013	205.80		

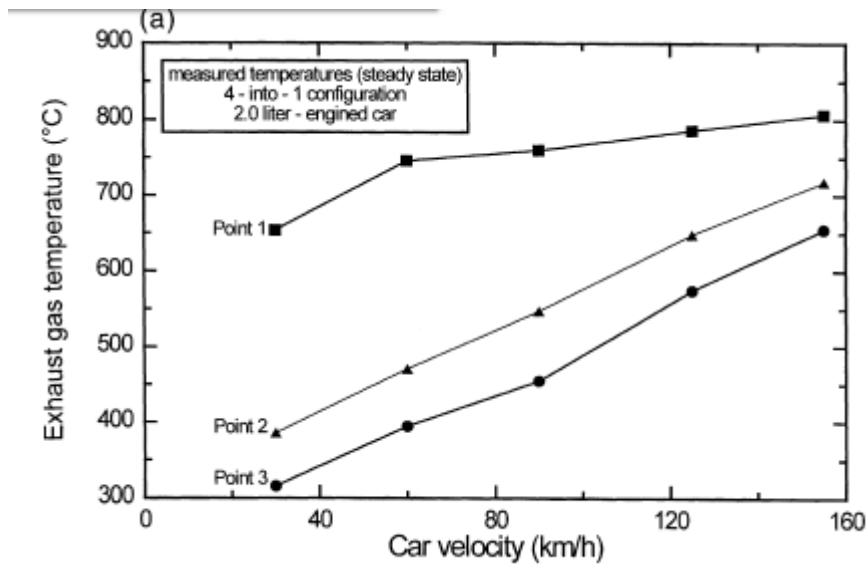


Figura 3.5 Valores de temperatura de escape

Nota: Tomados de (Kandylas y Stamatelos)

Gracias a los valores obtenidos por la simulación del motor en Lotus Engine y los valores provistos por Kandylas y Stamatelos, podemos proceder a la etapa de diseño de los sistemas de refrigeración y escape.

3.1.2 Especificaciones del funcionamiento original del sistema de refrigeración

Originalmente el motor funcionaba con un radiador de 50 cm por 30 cm de área frontal de disipación con un espesor de 5 cm según describe Grases y Koeneke. Las capacidades térmicas del sistema de radiador que originalmente se utilizaron en el túnel de viento, no fueron evaluadas.

En la disposición original del radiador, no se tenía contemplada la instalación de un electroventilador ya que el motor estaba designado para solo trabajar en prácticas aerodinámicas, lo que según Grases y Koeneke aseguraba un flujo de aire de 10 m/s alrededor del motor.

3.1.3 Especificaciones del funcionamiento original del sistema de escape

Distribuidor

-Tubería de acero de 4 entradas con diámetros de 55 mm de diámetro int con un recorrido en promedio de 350 mm, y una salida de 67 mm de diámetro int.

-Configuración de 4-1

-Cada Header se encuentra a un costado del motor, el del lado izquierdo posee las entradas a 164 cm del suelo, y la salida a 143 cm, el del lado derecho posee las entradas a 160 cm del suelo y la salida a 133 cm.

Ductos

-Tubería de acero de 56 mm de diámetro int. Y 2 mm de espesor de pared, con un recorrido total de 13,14 m.

-Configuración 2-1

-Cada tubería que sale de los Header se encuentra a 1.25 cm del suelo, se mantienen a esa altura por un tramo de 0.94 m, luego se conectan entre ellas formando una sola y se direccionan hacia el suelo, en el poseen un tramo de 4.4 m hasta alcanzar el extremo derecho del cuarto del motor, donde finalmente se eleva hasta el techo en un tramo de 4.32 m.

Silenciador

-Posee 1 silenciador de reactivación de doble tubería interna, con un área total de 360 cm² y una longitud de 0.65 m.

-Ubicado en el último tramo de la tubería de escape, a 0.92 m del suelo.

3.2 Herramienta de simulación a utilizar

En este caso utilizaremos SolidWorks Flow Simulation para todos los análisis relacionados con transferencia de calor, flujo de aire y obtención de los parámetros de salida como temperatura, presión y coeficientes de calor para cada configuración de estudio, generando los resultados mediante planos de corte, trayectorias de flujo y gráficos de superficies para una mejor y más interactiva visualización de los mismos.

El procedimiento que utiliza Solidworks para la resolución de simulaciones de fluidos, es mediante el método de volúmenes finitos para analizar geometrías tridimensionales, dividiendo en volúmenes pequeños una malla tridimensional de elementos llamados células, mientras más pequeñas sean las células, más preciso será el resultado que se obtendrá. En este método, los volúmenes se integran en una ecuación diferencial parcial que contiene un término de divergencia, estos son convertidos en integrales de superficie usando el teorema de la divergencia, lo que permite la evaluación de flujos en las superficies de cada volumen finito. La ecuación 1 presenta la forma diferencial de volúmenes finitos.

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint Q dV + \iint F d\mathbf{A} = 0, \quad (1)$$

Donde Q es el vector de variables conservadas

F es el flujo

V es el volumen de control

A es la superficie del volumen de control

Para modelar flujo y turbulencia, SolidWorks utiliza el método de ecuaciones de Navier-Stokes con Reynolds promedio, presentada en la ecuación 2.

$$\rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = \rho \bar{f}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-\bar{p} \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right]. \quad (2)$$

El lado izquierdo de esta ecuación, representa el cambio en la media de momento de un elemento de fluido debido a la inestabilidad y la convección en el medio de flujo. Del lado derecho esta ecuación es balanceada por la fuerza del cuerpo media, el estrés isotrópico debido a la al campo de presión media, el estrés viscoso y el estrés aparente debido a las fluctuaciones del campo de velocidades normalmente conocidos como estrés de Reynolds.

SolidWorks utiliza la hipótesis de Boussinesq para resolver el estrés de Reynolds a partir del modelo de turbulencia K-épsilon, el cual trabaja utilizando dos términos, uno es la energía cinética turbulenta y el otro es la disipación cinética turbulenta.

La forma diferencial de la energía cinética turbulenta K, se presenta en la ecuación 3.

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - \rho \epsilon \quad (3)$$

Para disipación ϵ , la forma diferencial se muestra en la ecuación 4.

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \epsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_t E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

Los términos presentes en ambas ecuaciones representan los siguientes datos:

Rata de cambio de k ó ϵ + Transporte de k ó ϵ por convección = Transporte de k ó ϵ por difusión + Rata de producción of k ó ϵ – Rata de destrucción de k ó ϵ

Donde:

u_i Representa la velocidad de la componente en la dirección analizada

E_{ij} Representa la componente de la rata de deformación

μ_t Representa la viscosidad de Eddy que se muestra en la ecuación 5(El cual analiza verticidades a pequeñas escalas).

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (5)$$

3.3 Levantamiento del plano del cuarto del motor del túnel de viento

Para poder realizar los diseños del sistema de refrigeración y escape, y a su vez realizarle las simulaciones de estudios, fue necesario construir una estructura que representara todos los componentes básicos que posee el cuarto del motor del túnel de viento como se observa en las Figuras 3.6 y 3.7, los cuales son:

- El final del cilindro del túnel de viento
- El eje de transmisión de potencia
- La bancada del eje de transmisión de potencia
- El motor
- La base del motor
- El brazo de medición de torque del motor
- El cuarto del motor



Figura 3.6 ‘‘Ensamble para simulaciones’’

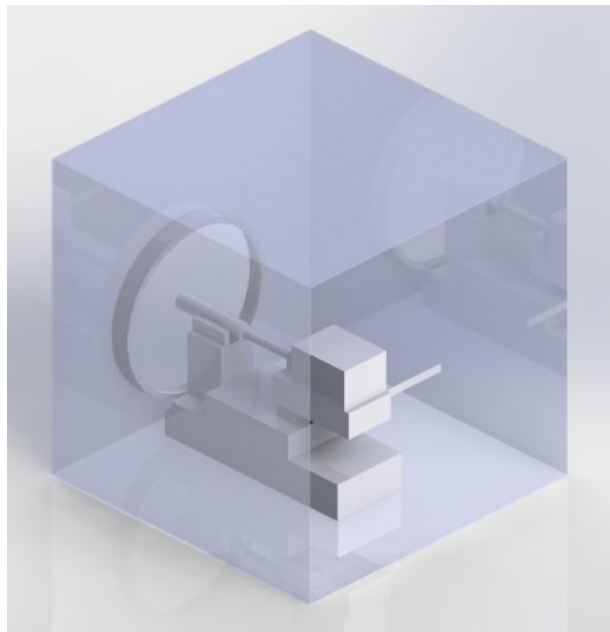
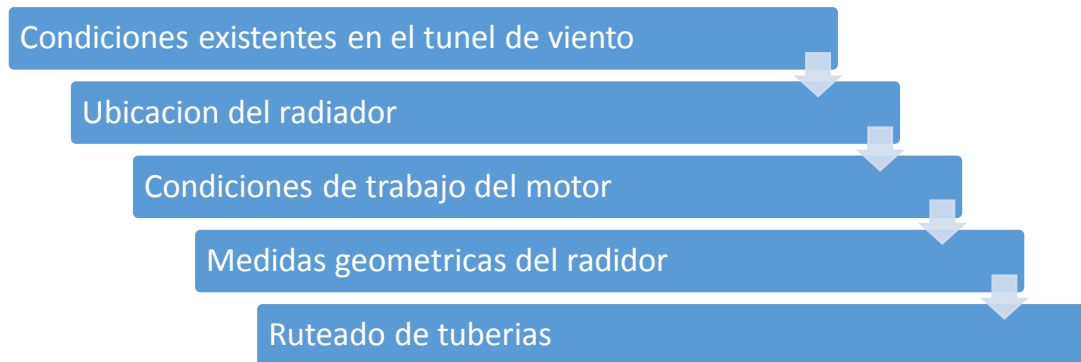


Figura 3.7 ‘‘Ensamble de cuarto de motor’’

3.4 Diseño del sistema de refrigeración.

Con la finalidad de mantener la temperatura de trabajo del motor en un rango sostenible, se requiere construir un nuevo sistema de refrigeración, debido a que la falta de dicho sistema hace imposible el encendido del motor.

Tabla 3.4 "Metodología de diseño del sistema de refrigeración"



3.4.1 Requerimientos del diseño del sistema de refrigeración

- Permita el flujo ininterrumpido de líquido refrigerante a través del sistema
- Posibilidad de utilizar como fluido de trabajo agua o refrigerante comercial
- Que permita el giro del motor para las mediciones de torque en las prácticas de MDV
- Que los elementos calientes se encuentre en ubicaciones seguras, a fin de evitar lesiones en los asistentes a las prácticas de MDV, permitiendo el paso en el cuarto del motor
- Ruteado de tuberías deberá ser lo más corto posible
- Posibilidad de adaptar un electroventilador para las prácticas de MDV

3.4.2 Limitaciones del sistema de refrigeración

- Utilizar materiales disponibles a nivel nacional

- Ubicación de radiador y tuberías que se ajusten al área del cuarto del motor
- Los procesos de manufactura deben estar disponibles a nivel nacional
- Diseño con capacidad de soportar las presiones y temperaturas de trabajo

3.4.3 Propuestas de diseño para el sistema de refrigeración

De manera de conseguir la configuración del sistema de refrigeración más adecuada para el funcionamiento del túnel de viento, se realizaron 3 propuestas diferentes las cuales serán evaluadas posteriormente según una matriz de criterios de diseño como se observa en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 “Matriz de selección”

Costo	Compra de materiales, costo de manufactura, construcción de bases
Manufactura	Dificultad de manufactura, disposición de piezas y elementos necesarios para la construcción
Ubicación	Seguridad de la posición, recorrido del ruteado, ventajas de llenado y purga del sistema de refrigeración
Flujo de aire del túnel de viento	Flujo de aire alrededor del motor por efecto del flujo generado por el túnel de viento en funcionamiento

La propuesta ganadora se le realizará una serie de simulaciones para optimizar la geometría de diseño, y a su vez conocer su comportamiento teórico en una situación real de trabajo.

Dichas simulaciones tendrán las condiciones de contorno que se presentan en la Tabla 3.6

Tabla 3.6 “Condiciones de contorno para análisis de radiador”

Velocidad de entrada de agua	0.5 m/s
Temperatura de entrada de agua	110 °C
Velocidad de aire circundante	10 m/s
Temperatura ambiente	25 °C
Presión ambiental	1 Atm
Material de radiador	Aluminio 6061

3.4.3.1 Propuesta N°1

Se propone ubicar un solo radiador en la parte superior del motor, a una altura de 1.9 m con respecto al suelo, alineado con el eje de transmisión de potencia, perpendicular a la dirección del flujo de salida del aire aspirado por las aspas del túnel de viento, como se observa en la Figura 3.8.

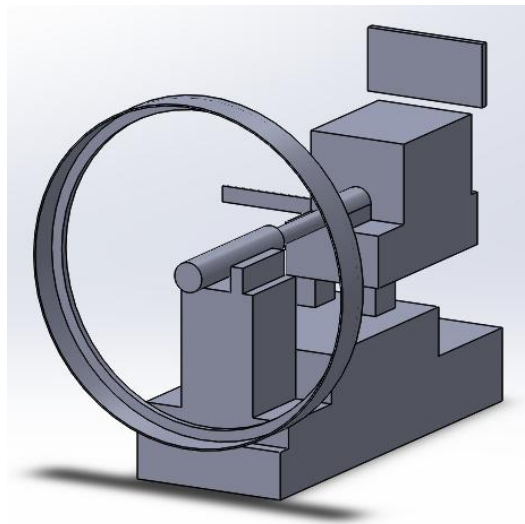


Figura 3.8 “Propuesta de instalación N° 1”

Ventajas de la propuesta N°1

-Se estima un mejor flujo de aire para las ocasiones en las que el túnel de viento se encuentre trabajando.

-Ubicación cercana a la salida de la bomba de agua del motor, por lo que se requiere un ruteado de tuberías corto, lo que reduce el costo de la misma.

-Radiador ubicado a una altura segura para evitar quemaduras en los asistentes a las prácticas de MDV.

Desventajas de la propuesta N°1

-Radiador por encima del nivel de la bomba de agua lo que requiere un mayor trabajo para la bomba.

-Altura de la ubicación dificulta el llenado y purga del radiador.

3.4.3.2 Propuesta N°2

Se propone ubicar un solo radiador en el lateral izquierdo del motor, contrario a la ubicación del brazo de medición de torque, a una altura de 1.4 m con respecto al suelo y a una distancia de 0.8 m del centro del motor, perpendicular a la dirección del flujo de salida del aire aspirado por las aspas del túnel de viento, como se observa en la Figura 3.9.

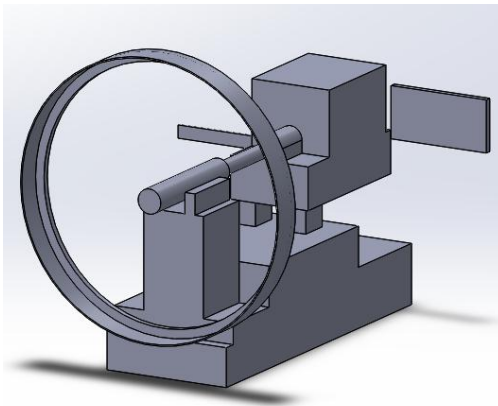


Figura 3.9 “Propuesta de instalación N° 2”

Ventajas de la propuesta N°2

-Ubicación de fácil acceso para llenado y purga del radiador

-Por su ubicación cercana a la bomba de agua, el ruteado deberá ser corto del lado de la salida del radiador

-Se estima un buen flujo de aire para cuando el túnel de viento se encuentre trabajando

-Radiador al nivel de la bomba de agua

Desventajas de la propuesta N°2

-Posibilidad de lesiones debido a la altura a la que se encontrara el radiador

-La tubería de entrada al radiador necesita mayor longitud de tuberías, lo que aumenta su costo

-Movilidad alrededor del motor, reducida por la ubicación del radiador

3.4.3.3 Propuesta N°3

Se propone ubicar un solo radiador en la parte frontal del motor, a una altura de 1.5 m con respecto al suelo y alineado con el eje de transmisión de potencia, perpendicular a la dirección del flujo de salida del aire aspirado por las aspas del túnel de viento, como se observa en la Figura 3.10.

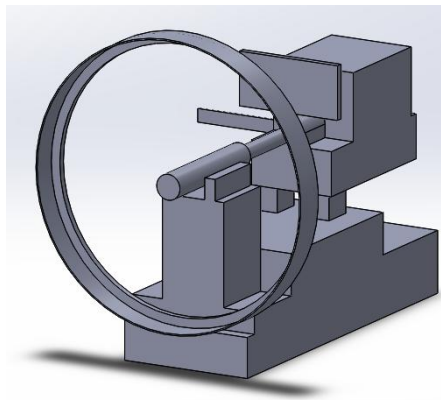


Figura 3.10 “Propuesta de instalación N° 3”

Ventajas de la propuesta N°3

- Se estima buen flujo de aire en ocasiones en las que se encuentre trabajando el túnel de viento.
- Ubicación del radiador es segura, lo que ayuda a evitar posibles lesiones en los asistentes al laboratorio de MDV.

Desventajas de la propuesta N°3

- Se requerirá una mayor longitud de tubería lo que aumentara las pérdidas a la salida de la bomba de agua y su costo final
- Por su ubicación se dificulta el llenado y purga del radiador.

3.4.4 Flujo de aire en el cuarto del motor del túnel de viento

A fin de conocer la mejor ubicación para los radiadores, se realizara un análisis fluidodinámico para conocer la tendencia de las líneas de flujo de aire alrededor del motor, cuando el túnel de viento se encuentra en funcionamiento.

Se evaluó el comportamiento del flujo de aire en dos condiciones de velocidad, una a 10 m/s y la otra a 45 m/s, velocidades provistas por (Grases y Koencke). Se empezará realizando una simulación con una entrada de aire al final del cilindro del túnel de viento, se asume flujo laminar, desarrollado con una presión total de 1 atm y 25°C. Para la salida del flujo de aire se le asignó a la cara posterior del túnel una presión ambiental de 1 atm y una temperatura ambiente de 25°C como se observa en la Figura 3.11. A pesar de que a la entrada y a la salida en la realidad no se tienen presiones iguales, se realiza tal consideración para reducir el tiempo de cómputo.

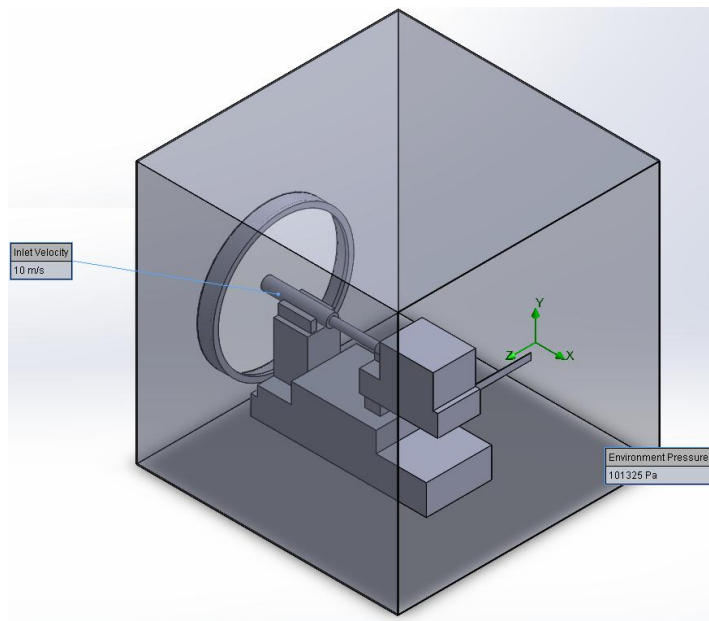


Figura 3.11 “Condiciones iniciales de estudio a 10 m/s”

Se comenzara con la simulación que posee una velocidad de aire de 10 m/s, en la cual se busca las zonas donde exista mayor flujo de aire con la mayor velocidad. Los resultados obtenidos de estas simulaciones se pueden observar fácilmente en las Figuras 3.12 y 3.13.

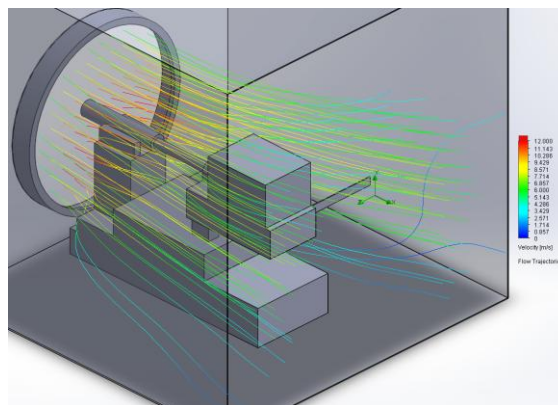


Figura 3.12 “Líneas de velocidad a 10 m/s”

En la Figura 3.12 se muestra los gradientes de velocidad de las líneas de flujo del aire a la salida del cilindro del túnel de viento, a través del cuarto del motor.

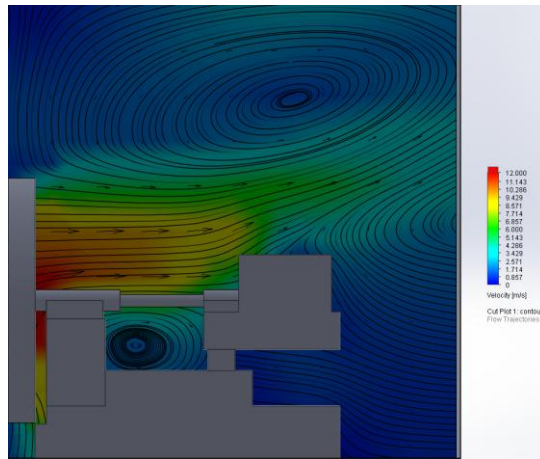


Figura 3.13 “Distribución de flujo a 10 m/s, vista lateral”

La Figura 3.13 presenta la distribución de los campos de velocidad del flujo del aire en una vista lateral de un plano transversal que corta el eje central del motor.

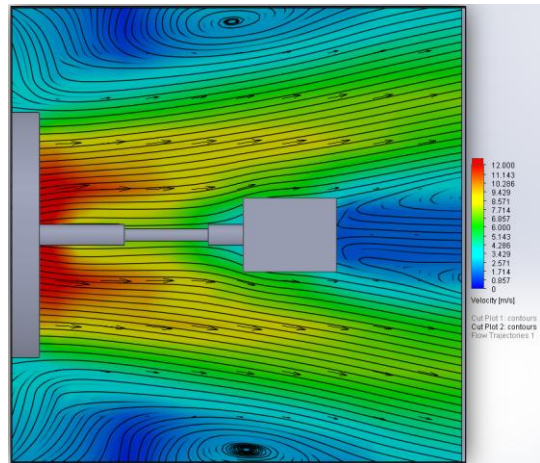


Figura 3.14 “Distribución de flujo a 10 m/s, vista superior”

La Figura 3.14, muestra una vista superior a lo largo de un plano transversal que pasa a través del centro del eje del motor.

Ahora se realizara el estudio para los 45 m/s a la salida del cilindro de túnel de viento, utilizando las mismas condiciones de temperatura y presión usadas en el caso anterior.

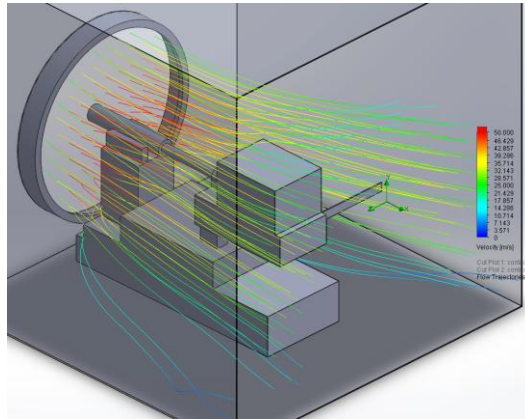


Figura 3.15“Líneas de velocidad a 45 m/s”

En la Figura 3.15 representan los gradientes de velocidad de las líneas de flujo del aire a la salida del cilindro del túnel de viento, a través del cuarto del motor.

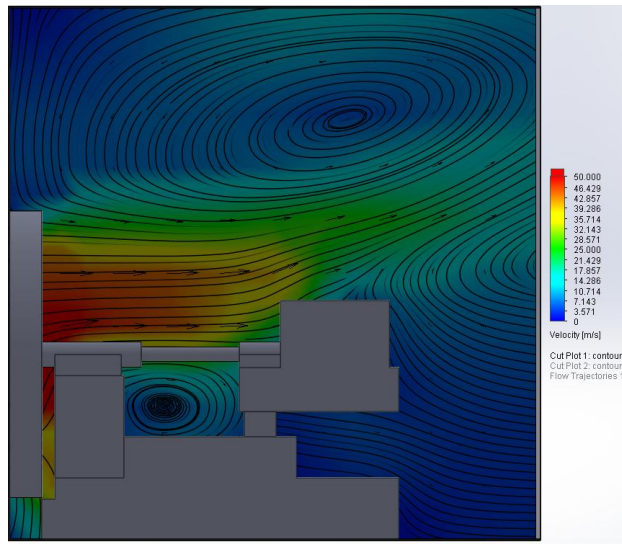


Figura 3.16 “Distribución de flujo a 45 m/s, vista lateral”

La Figura 3.16, en esta los campos de velocidad del flujo del aire se ven en una vista lateral de un plano transversal que corta el eje central del motor

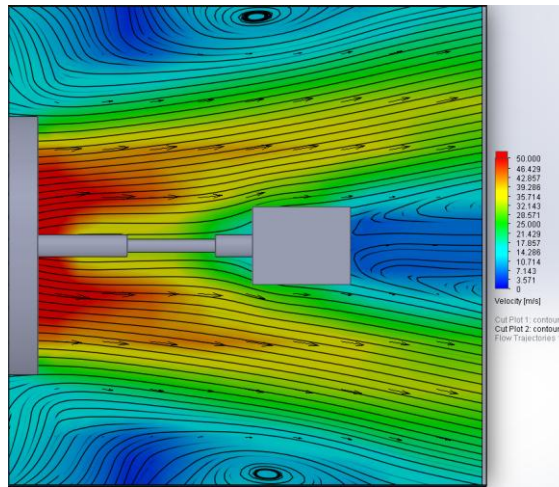


Figura 3.17 “Distribución de flujo a 45 m/s, vista superior”

La Figura 3.17, muestra una vista superior a lo largo de un plano transversal que pasa a través del centro del eje del motor.

De las simulaciones a ambas velocidades se puede observar que las zonas donde existe el mayor flujo de aire a mayor velocidad, son en las áreas ubicadas sobre el motor y a ambos lados del mismo.

3.4.5 Selección de ubicación ganadora

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

- Deficiente: 1
- Aceptable: 2
- Bueno: 3
- Muy Bueno: 4
- Excelente: 5

Luego, para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada solución por el asignado en porcentaje y se suman todos los resultados para así obtener el total al comparar entre los tres diseños

Tabla 3.8 “Matriz diseño del sistema de refrigeración”

Diseño del sistema de refrigeración	%	1	2	3
Costo	20	5	4	3
Manufactura	10	4	5	3
Ubicación	20	4	4	3
Flujo de aire	50	5	3	3
TOTAL	100	94	72	60

Como se observa en la Tabla 3.8, la propuesta #1 resultó ser la que cumple con la mayoría de los criterios de diseño planteados en la Tabla 3.5.

3.4.6 Determinación del volumen del radiador

Para determinar la generación de calor de motor, se trabajó considerando la apertura del termostato, a fin de evitar un ciclo de apertura y cierre en el termostato, el rango de temperaturas de refrigerante a la entrada del motor se recomienda que se encuentra en un rango de 345°K (72°C) y 360°K (87°C).

El objetivo será asegurar un área de disipación que asegure una temperatura de salida del radiador que se encuentre en el rango recomendando, se utilizaran dos configuraciones para la simulación, ya que será una simulación de transferencia de calor en sólidos con fluido externo e interno, dicha simulación es muy intensiva y consumen mucho tiempo.

Las configuraciones geométricas a evaluar son 50 cm y 80 cm largo de serpentín y ambas configuraciones poseen un ancho de 5 cm y 5 mm de espesor con una sección interna de 4 mm con 4,8 cm, con aletas de 5 mm de largo, 5 cm de ancho

y 1 mm de espesor, separadas 5 mm una de la otra como se observa en las Figuras 5.18 y 5.19.

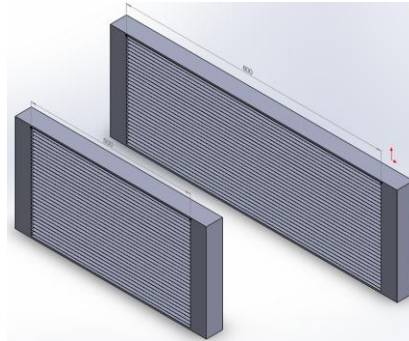


Figura 3.18 “Geometrías de radiador a evaluar”

Las condiciones que se simularan serán para la transferencia de calor de un solo serpentín del radiador para reducir la complejidad geométrica de la misma. El estudio supone flujo de agua desarrollado dentro del serpentín que se encuentra a circulando a una velocidad constante de 0,5 m/s que entra con una temperatura de 110 °C, el aire circundante se encuentra a 10 m/s y a condiciones estándar, 1 atm y 25 °C, flujo laminar. El material del radiador es aluminio 6061.

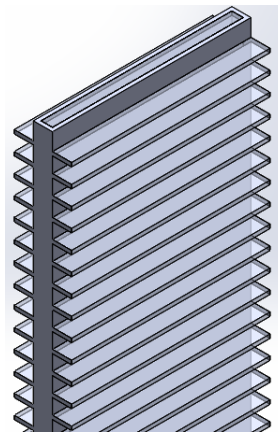


Figura 3.19 “Geometría para simulación”

Los resultados arrojan que la disipación de calor se da en el serpentín de 50 cm de largo, logra reducir la temperatura de entrada de hasta 91,3 °C, en el modelo de 80 cm de largo se logra reducir a 85,7 °C en total, estos resultados se pueden ver figuras 3.20 y 3.21.

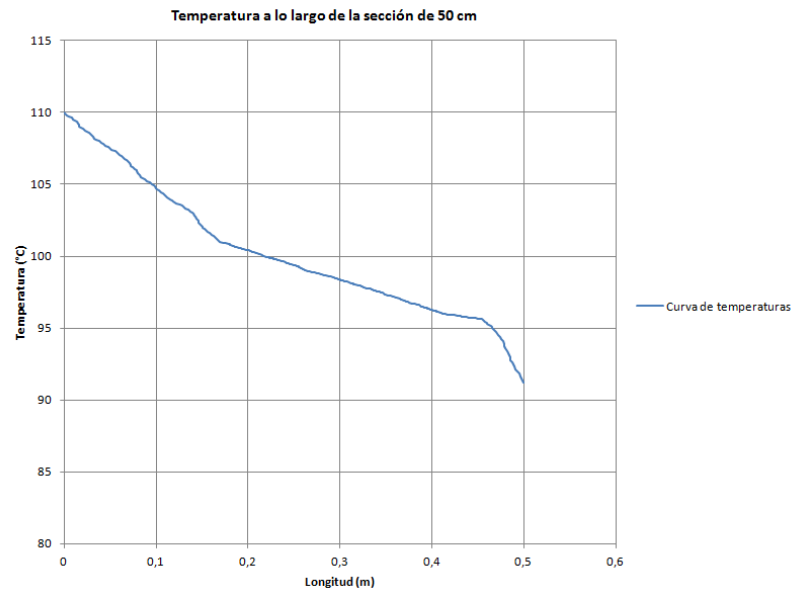


Figura 3.20 “Resultados de simulación para 50 cm”

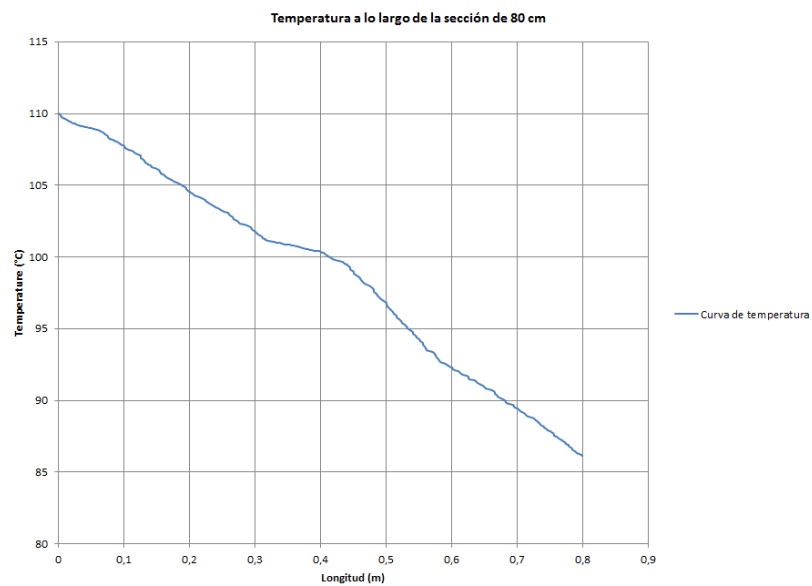


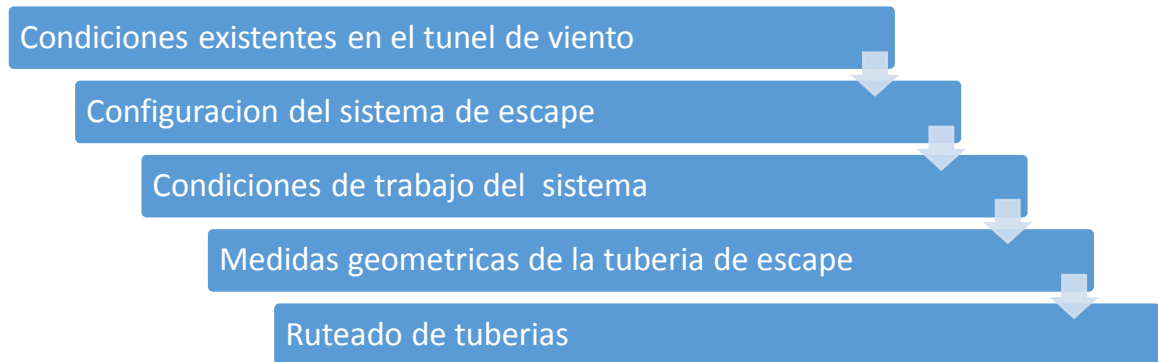
Figura 3.21 “Resultados de simulación para 80 cm”

3.5 Diseño del sistema de escape

De manera de lograr que el laboratorio de mecánica se encuentre operativo se debe diseñar un sistema de escape, no solo debido a que el original se encuentra

completamente deteriorado e inoperativo, sino a su vez corrigiéndoles las fallas pasadas y mejorándole los aspectos que sean posibles.

Tabla 3.9 "Metodología de diseño del sistema de escape"



3.5.1 Requerimientos del diseño del sistema de escape

- Que permita el fácil flujo de los gases de escape a través de la tubería
- Que expulse los gases de escape fuera del laboratorio de mecánica
- Que permita el giro del motor cada vez que pivote para las mediciones de torque del mismo en las prácticas de MDV
- Que permita el paso de estudiantes a través del cuarto del motor sin ocasionarles accidentes o lesiones.
- El diseño debe ser ergonómico.
- El diseño debe ser de fácil construcción.
- Debe estar constituido de materiales resistentes al calor y a la corrosión
- El ruteado deber ser lo más corto posible

3.5.2 Limitaciones del sistema de escape

- Deben ser materiales que se encuentren a nivel nacional
- El ruteado debe poseer dimensiones que se ajusten al área del cuarto del motor

-Los procesos de fabricación deben estar disponibles a nivel nacional

-El material debe soportar las temperaturas solicitadas por el motor

3.5.3 Propuestas de diseño para el sistema de escape

De manera de conseguir la configuración del sistema de escape más adecuada para el funcionamiento del túnel de viento, se realizaron 3 propuestas diferentes las cuales serán evaluadas posteriormente según una matriz de criterios de diseño como se observa en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 “Criterios de selección del diseño del sistema de escape”

Costo	Se tomará en cuenta el costo de adquisición del material, transporte y ensamblaje del equipo de acuerdo al presupuesto asignado. Recibirá mayor puntaje mientras más económico sea y se conserve la calidad
Ergonomía	Se tomara en cuenta que el diseño permita la realización adecuada de las prácticas de MDV cumpliendo las condiciones de seguridad para los estudiantes.
Espacio ocupado	El espacio ocupado se refiere al tamaño del equipo y la zona disponible dentro del laboratorio para su instalación. Se otorgará un mayor puntaje a aquel que ocupe un menor espacio y cumpla con los requerimientos exigidos
Calidad	Se evaluara que diseño ofrece mayor grado de duración para las solicitudes que serán sometidos.
Funcionabilidad	Se evaluara la funcionabilidad que ofrece el equipo para expulsar los gases de escape.

La propuesta ganadora se le realizará una serie de simulaciones para optimizar la geometría de diseño, y a su vez conocer su comportamiento teórico en una situación real de trabajo.

Las 3 propuestas tendrán las condiciones de contorno que se presentan en la Tabla 3.11, al momento de realizar las simulaciones.

Tabla 3.11 ‘‘Condiciones de contorno para análisis de la tubería de escape para la propuestas de estudio’’

Presión de entrada de los gases	3 atm
Presión de ambiente	1 atm
Temperatura de entrada	900 °C – 1173.15 K
Temperatura de ambiente	22°C – 295.15 K
Flujo másico a la entrada	0.2925 m ³ /s

3.5.3.1 Propuesta N° 1: Tuberías Independientes

Consta de salidas independientes de cada lado del motor, empezando por el Header en configuración 4-1, seguido por una tubería direccionada hacia la parte posterior del cuarto del motor, que finalmente termina en un silenciador que expulsa los gases fuera del laboratorio, a una altura de 1m del suelo, cada lado del motor posee tubería y silenciador independiente que no se conecta con el otro lado como se observa en la Figura 3.22.

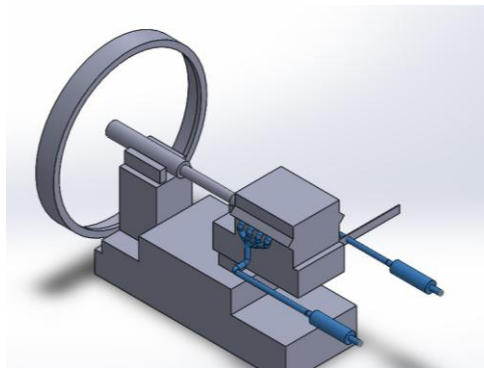


Figura 3.22 ‘‘Ensamblaje de la propuesta #1 del sistema de escape’’

Se comenzara con las simulaciones de temperatura del flujo de escape del motor a través de la tubería de la propuesta #1, específicamente en la salida de las mismas.

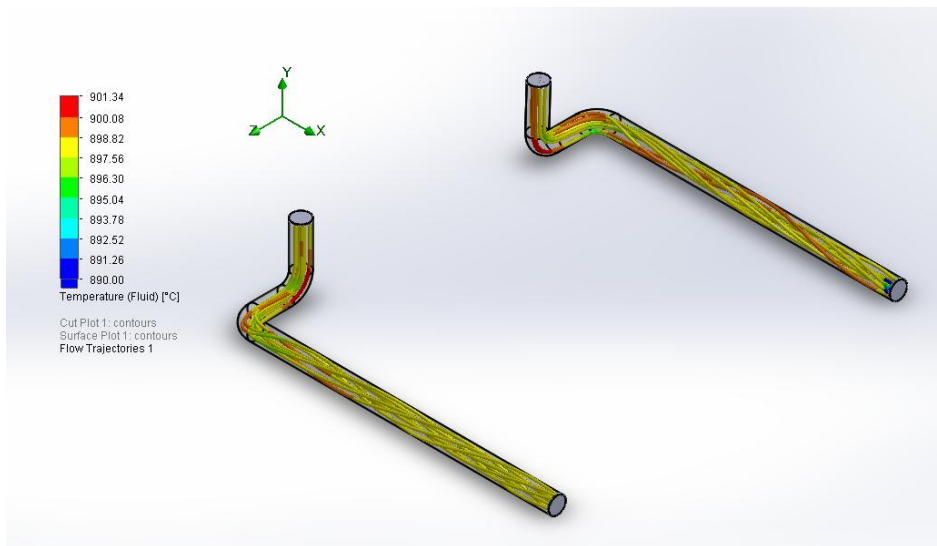


Figura 3.23 “Simulación de las líneas de flujo de escape de la propuesta #1”

En la Figura 3.23 se muestra los gradientes de temperaturas de las líneas de flujo de los aires de escape a través de la tubería.

Ventajas de la propuesta N°1:

- Sencillez en el ruteado de la tubería
- Permite un excelente flujo de los gases de escape al no tener alta cantidad de curvas en el ruteado

Desventajas de la propuesta N°1:

- Posee gran cantidad de material de tubería por ser independiente de cada lado.
- Al estar a la altura del centro de rotación del motor impide el paso de los estudiantes de las prácticas de MDV, lo cual cancelaría la realización de las mismas.
- Altos valores de temperatura en la salida de la tubería como se observa en la Figura 3.19
- El costo es elevado debido a que posee dos silenciadores.

3.5.3.2 Propuesta N° 2: Tuberías configuración 2-1

Consta de salidas independientes de cada lado del motor, empezando por el Header en configuración 4-1, seguidos por una tubería independiente de cada lado del motor a la altura del centro de rotación de las bases, y se conectan entre ellas justo al pasar el perímetro del motor, a una altura de en 1 m sobre el suelo, con una configuración 2-1 que finalmente termina en una sola tubería con un silenciador que expulsa los gases fuera del laboratorio de mecánica como se observa en la Figura 3.24.

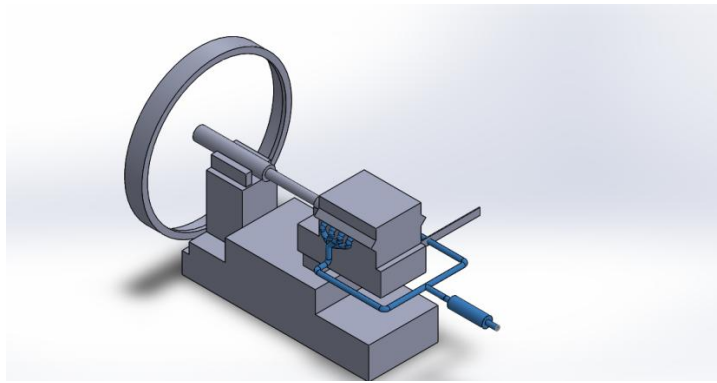


Figura 3.24 “Ensamblaje de la propuesta #2 del sistema de escape”

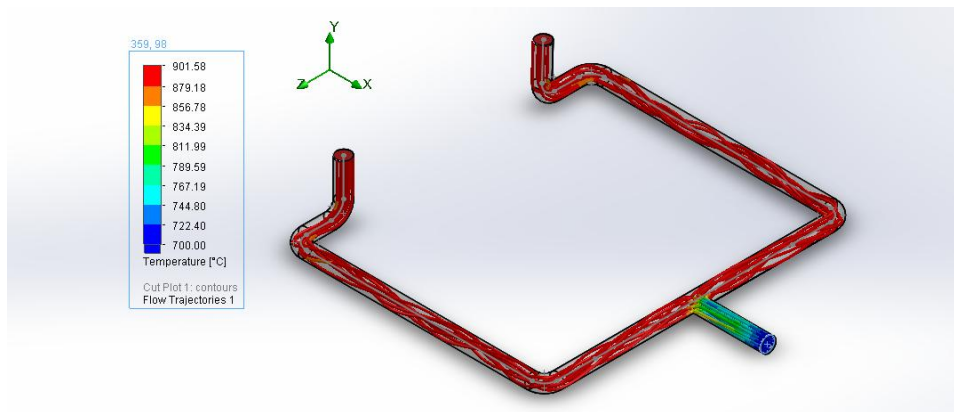


Figura 3.25 “Simulación de las líneas de flujo de escape de la propuesta #2”

En la Figura 3.25 se muestra los gradientes de temperaturas de las líneas de flujo de los aires de escape a través de la tubería de la propuesta #2.

Ventajas de la propuesta N°2:

- Permite un excelente flujo de los gases de escape al no tener alta cantidad de curvas en el ruteado.
- Reduce los valores de temperatura en la salida de la tubería como se observa en las Figuras 3.25
- El costo de construcción es bajo debido a la poca cantidad de tubería y al tener un solo silenciador

Desventajas de la propuesta N°2:

- Al estar a la altura del centro de rotación del motor impide el paso de los estudiantes de las prácticas de MDV, lo cual cancelaría la realización de las mismas.

3.5.3.3 Propuesta N° 3: Tuberías configuración 2-1 hacia al suelo

Consta de salidas independientes de cada lado del motor, empezando por el Header en configuración 4-1, seguidos por una tubería independiente a la altura del centro de rotación de las bases, y se conectan entre ellas justo al pasar el perímetro del motor a 1 m del suelo, en una configuración 2-1 que es direccionada hacia el piso del cuarto del motor y finalmente termina en una sola tubería a 0.21m del suelo con un silenciador que expulsa los gases fuera del laboratorio de mecánica como se observa en la Figura 3.26.

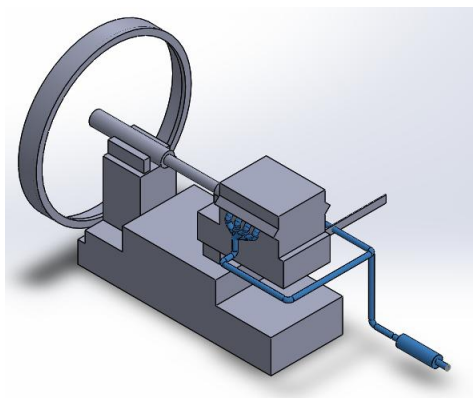


Figura 3.26 “Ensamblaje de la propuesta #3 del sistema de escape”

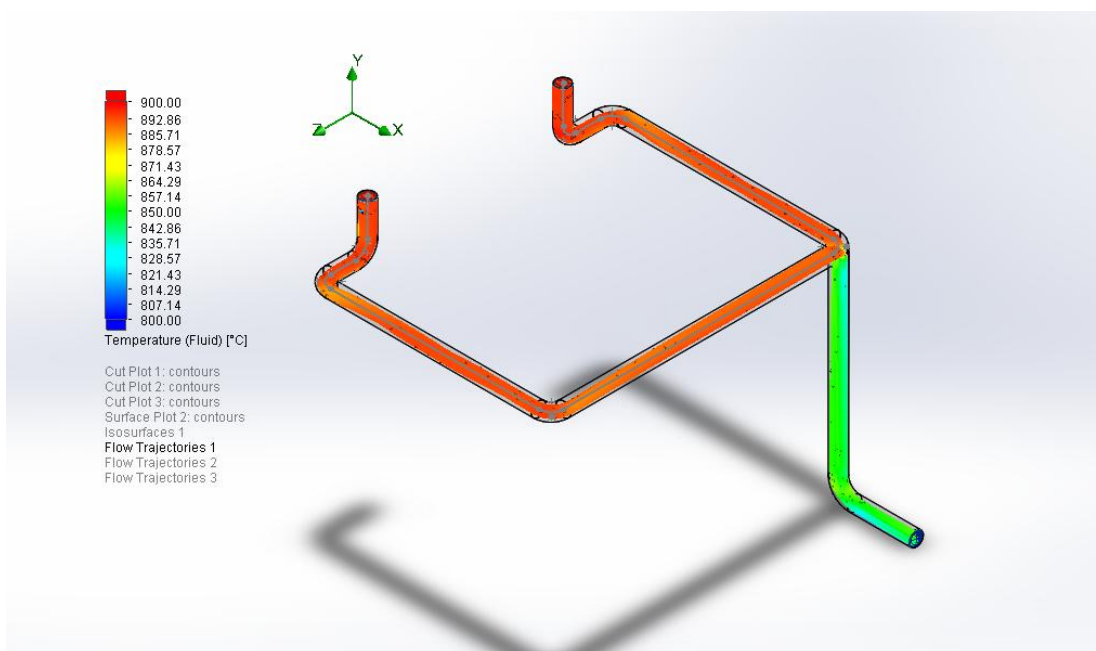


Figura 3.27 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del fluido en el sistema de escape”

En la Figura 3.27 se muestra los gradientes de temperaturas de las líneas de flujo de los aires de escape a través de la tubería de la propuesta #3.

Adicionalmente a la propuesta # 3, se le integró una tarima como se muestra en la Figura 3.28, de esta manera se facilita y garantiza el paso de los estudiantes de Maquinas de desplazamiento volumétrico alrededor del cuarto del motor, y al mismo tiempo se arregla la desventaja de la propuesta #3 del sistema de refrigeración, ya que

facilita el llenado y medición del radiador, mientras permite que el motor pivote con total libertad.

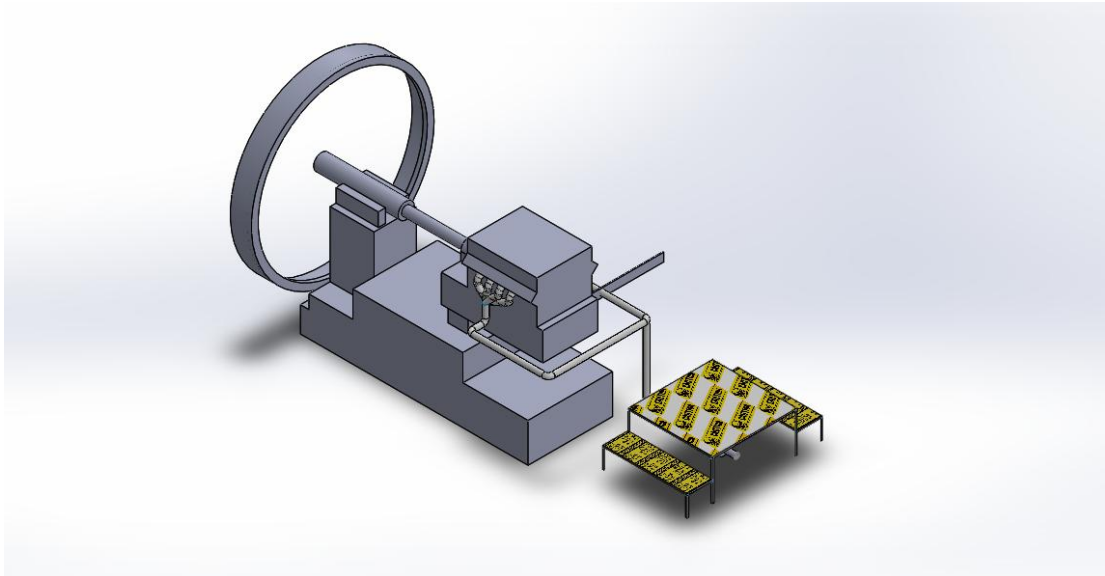


Figura 3.28 “Ensamblaje completo de la propuesta #3 del sistema de escape”

Ventajas de la propuesta N°3:

- Permite un excelente flujo de los gases de escape al no tener alta cantidad de curvas en el ruteado.
- Posee poca cantidad de material de tubería al tener una configuración 2-1.
- Facilidad para pivotar el motor en las prácticas de MDV
- Ergonomía para el paso de estudiantes en las prácticas de MDV y la operación del motor.
- La tarima que posee el diseño protege a los estudiantes que circulan en las prácticas de MDV de tropiezos y quemaduras, mientras facilita el proceso de llenado y medición del radiador del motor.
- Los costos son bajos al tener solamente un silenciador.

Desventajas de la propuesta N°3:

-Relativamente altos valores de temperatura en la salida de la tubería como se observa en las Figuras 3.23

3.5.4 Selección del diseño de la estructura del sistema de escape

Para realizar la evaluación de cada solución propuesta se toma en cuenta la siguiente escala de puntuación:

-Deficiente: 1

-Aceptable: 2

-Bueno: 3

-Muy Bueno: 4

-Excelente: 5

Luego, para obtener el valor final, se multiplica la puntuación anterior de cada solución por el asignado en porcentaje y se suman todos los resultados para así obtener el total a comparar entre los tres diseños como se muestra en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 "Matriz diseño del sistema de escape"

Diseño del sistema de escape	%	1	2	3
COSTO	20	2	3	4
ERGONOMIA	25	1	1	5
ESPACIO OCUPADO	20	3	3	4
CALIDAD	15	4	4	4
FUNCIONABILIDAD	20	4	4	4
TOTAL	100	53	57	85

Como se observa en la Tabla 3.12, la propuesta #3 resultó ser la que cumple con la mayoría de los criterios de diseño planteados en la Tabla 3.10.

3.5.5 Detalles y estructura de cada elemento de la propuesta ganadora.

El diámetro interno de la pared de la tubería es de 56 mm, con un espesor de 1 mm, con la finalidad de realizar un ruteado de escape liviano y fácil de maniobrar, pero que a su vez sea resistente a las altas temperaturas esperadas de trabajo. Se encuentra recubierto con un aislante térmico ideal para este trabajo.

En la salida del distribuidor, se une a la tubería mediante una brida de 3 tornillos sellada por una empacadura especial resistente a la presión y temperatura, seguido por un tramo de tubería de 20 cm perpendicular al motor, luego uno de 94 cm longitudinal al mismo, de nuevo perpendicular al motor otro tramo de 45 cm donde se conecta con el otro lado del motor, donde se direcciona hasta el suelo desde una altura de 110 cm del mismo, mediante un codo a 90 grados se conecta el silenciador de 63 cm de largo y 30 cm de ancho, donde finalmente son expulsados los gases de escape fuera del laboratorio.

Para permitir el paso de los estudiantes por el cuarto del motor del túnel de viento, el diseño viene integrado con una tarima de estructura perfiles de acero con piso de madera, con una longitud de 50 cm de largo y a una altura de 35cm del suelo, ubicada justo por encima de la tubería de escape, de manera de evitar los riesgos de quemaduras y tropiezos por parte de los estudiantes.

Adicionalmente el sistema de escape del motor no solo debe servir para expulsar los gases de escape fuera de las instalaciones del túnel viento, sino a su vez permitir que el motor pivote para calcular su torque en las prácticas de MDV, fue necesario la implementación de una base pivotante que permitiera dicho movimiento parabólico, como se observa en las Figuras 3.29 dicha base permite totalmente el movimiento del sistema de escape mientras sirve de apoyo al mismo tiempo para ayudar las sujeciones de la tuberías en el motor y evitar esfuerzos existentes en voladizo de dichas tuberías.



Figura 3.29 “Base pivotante”

3.5.6 Simulaciones de la propuesta ganadora en un escenario de trabajo.

Para conocer la interacción de la tubería de escape de la propuesta ganadora con el entorno, se realizaron simulaciones con el túnel de viento trabajando y con una velocidad de aire de 10 m/s pasando alrededor de la tubería de escape, de manera de conocer que tanto reduce la temperatura d escape una vez que túnel se encuentra operativo.

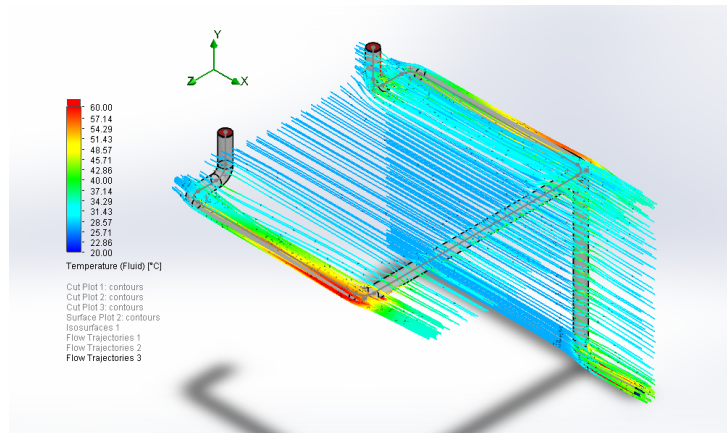


Figura 3.30 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del aire alrededor del sistema de escape con una velocidad igual a 10m/s”

Se observa en la Figura 3.30 como el aire aumenta su temperatura a medida que hace contacto con la tubería del sistema de escape, siendo los puntos de mayor transferencia de calor los tramos longitudinales a la dirección del aire.

En la Figura 3.31 y 3.32 se muestra los gradientes de temperaturas de las líneas de flujo de los aires de escape a través de la tubería, y se observa como existe una reducción de temperatura del fluido, y de la superficie de la tubería de escape gracias al incremento de la velocidad del aire que lo rodea y la transferencia de calor existente.

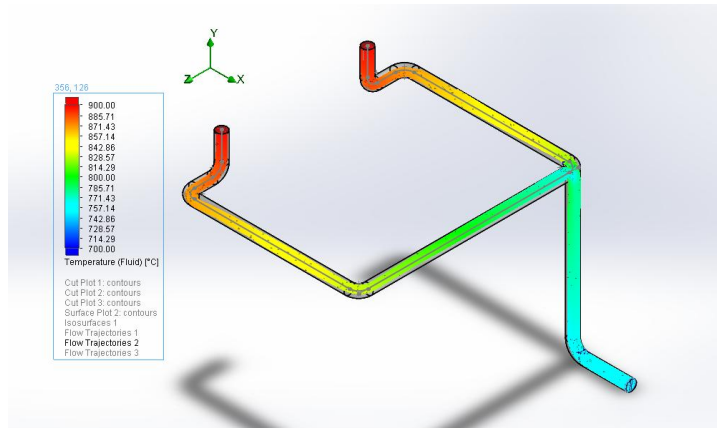


Figura 3.31 “Simulación de trayectorias de flujo de la temperatura del fluido en el sistema de escape con la velocidad del aire externo igual a 10m/s”

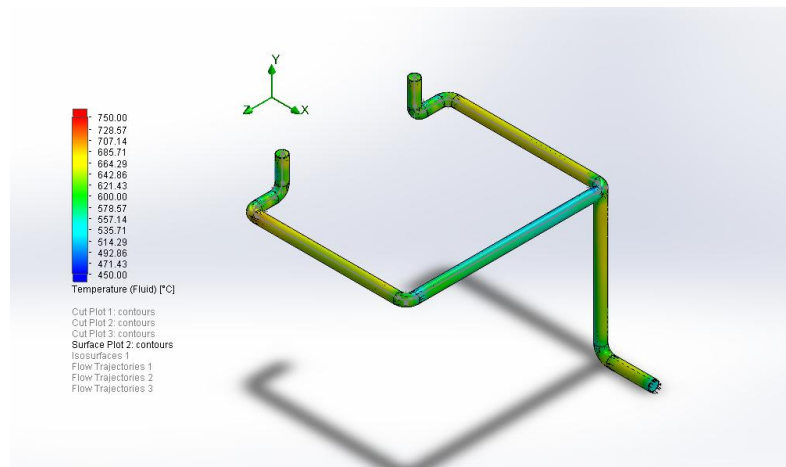


Figura 3.32 “Simulación de valores de temperatura en la superficie de la tubería del sistema de escape con la velocidad del aire externo igual a 10m/s”

CAPITULO IV

Análisis y resultados

- Se logró cumplir todos los requerimientos de diseño de los sistemas de refrigeración y escape.
- El radiador logra reducir la temperatura del agua que entra a 110 °C hasta 86 °C a la salida con un flujo de aire de 10 m/s.
- La configuración 2-1 para el sistema de escape resulto ser la más ergonómica de las 3 estudiadas para el funcionamiento del mismo dentro del laboratorio de la escuela de mecánica.
- La temperatura del fluido de escape a la salida de la tubería, posee una reducción del 10 % gracias al flujo de aire cuando las aspas del túnel de viento se encuentra en funcionamiento

CAPITULO V

Construcción del sistema de escape y refrigeración.

Para la construcción del sistema de refrigeración y escape se tuvo que dividir todo el diseño en diferentes piezas de manera de garantizar los criterios de selección del diseño, estas piezas son:

5.1 Tubería de escape.

Para la construcción de la tubería de escape se realizaron mediciones del ruteado final de la propuesta ganadora.

Mediante una soldadura tipo TIG se procedió a realizar las uniones en la tubería de escape, ya que posee un espesor muy delgado y necesita bastante precisión, además de garantizar que no tuviese fuga en ninguna de estas uniones.

Una vez cortadas y soldadas las tuberías de escape se realizó la instalación de las mismas en el motor del túnel de viento como se observa en la Figura 5.1



Figura 5.1 “Tubería de escape”

5.2 Instalación del silenciador y tarima.

Debido a que el túnel de viento ha sido víctima en distintas ocasiones de robos y hurtos es necesario que en la instalación de todos los sistemas de escape y refrigeración no se vea comprometida la seguridad del cuarto de motor del túnel de viento, y que a su vez se cumpla con los parámetros de diseño del sistema de escape, y uno de ellos es que los gases de escape del motor sean expulsados fuera del túnel de viento de manera que permita que los estudiantes de las prácticas de MDV puedan realizar sus actividades sin verse afectados directamente por dichos gases.

Es por eso que la instalación del silenciador requirió una modificación inteligente a la reja de seguridad del túnel de viento. Se puede observar en las Figuras 5.2 como se lograron los dos objetivos de diseño, expulsar los gases fuera del túnel de viento, como mantener la seguridad del mismo.



Figura 5.2 “Silenciador”

Debido a que el sistema de escape del motor no solo debe servir para expulsar los gases de escape fuera de las instalaciones del túnel viento, sino a su vez permitir que el motor pivote para calcular su torque en las prácticas de MDV, fue necesario la implementación de una base pivotante que permitiera dicho movimiento parabólico,

como se observa en las Figuras 5.3 dicha base permite totalmente el movimiento del sistema de escape mientras sirve de apoyo al mismo tiempo para ayudar las sujeciones de la tubería en el motor.



Figura 5.3 “Base pivotante”

De manera de resguardar la seguridad de los estudiantes que circulen dentro del túnel viento en las prácticas de MDV, permitir el pivote de la tubería de escape y al mismo tiempo facilitar el proceso de llenado y medición del radiador, se construyó una tarima con perfiles de acero y madera, la cual fue colocada justo por encima de la tubería de escape más baja de todo el ruteado, se puede observar en la Figura 5.2 su posición dentro del túnel de viento.

5.3 Instalación del radiador.

Debido a los resultados de las simulaciones del sistema de refrigeración, se estableció que la posición más eficiente del radiador es en la parte superior del motor donde recibe la mayor cantidad de aire producido por las aspas del túnel de viento, se observa su posición exacta en la Figura 5.4



Figura 5.4 “Radiador”

5.4 Electroventilador y su escafandra.

Existe la posibilidad que el sistema de refrigeración posea un electroventilador integrado con su escafandra para mantener la temperatura del motor en un nivel de trabajo adecuado para el mismo, en el caso de que no estén funcionando las aspas del túnel de viento, y se requiera un flujo de aire a través del radiador, en las Figuras 5.5 se observa dicho electroventilador con sus bases y escafandra, y la posición que ocupa en el sistema de refrigeración.



Figura 5.5 “Electroventilador”

A su vez dicho electroventilador posee un sistema de fácil remoción de manera que se desmonte y monte fácilmente cada vez que lo necesite, también posee

un botón de encendido donde se integra al sistema eléctrico del motor con mucha facilidad.

5.5 Instalación del cardan de la transmisión.

De manera de comprobar la funcionalidad de los dos sistemas de estudio de este trabajo como son el Sistema de Escape y Refrigeración, adicionalmente se instaló el sistema de potencia del motor, que constaba de una cardan con sus crucetas y horquillas, los cuales transmiten la potencia producida del motor hacia el eje de las aspas del túnel de viento, se observa en las Figuras 5.6.



Figura 5.6 “Cardan”

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

-El túnel de viento queda operativo con los sistemas de refrigeración y escape para las prácticas de máquinas de desplazamiento volumétrico y para las prácticas del laboratorio de aerodinámica.

-Las condiciones de contorno seleccionadas en la entrada de cada configuración fueron las adecuadas para el caso de estudio ya que los valores obtenidos a la salida de cada configuración fueron los esperados.

-Las dimensiones y materiales de la tubería de escape resultaron ser adecuados para las condiciones de trabajo a las cuales fueron sometidas, como resistencia al calor, corrosión y esfuerzos.

-La ubicación del radiador es la variable más influyente para el diseño del sistema de refrigeración de un motor de un túnel de viento académico.

RECOMENDACIONES

- Realizar un manual de operación y mantenimiento del túnel de viento para el uso regular del laboratorio.
- Automatizar los sistemas de medición y control tanto del motor como del cilindro del túnel de viento.
- Diseñar sistemas actualizados de inyección, combustible y admisión para el motor.
- Instrumentar los sistemas escape y refrigeración, para completar las prácticas de MDV.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. I.P. Kandylas, A.M. Stamatelos (1998) “*Engine exhaust system design based on heat transfer computation*”, Mechanical Engineering Department, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece.
2. Tonye. K. Jack, Mohammed M. Ojapah (2013) “*Water-Cooled Petrol Engines: A Review of Considerations in Cooling Systems Calculations with Variable Coolant Density and Specific Heat*” International Journal of Advances in Engineering & Technology.
3. Koeneke C y Grases M (1969) “*Calculo diseño y construcción de un túnel de viento subsónico*” Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
4. P.O.A.L. Davies (1996) “*Piston Engine Intake and Exhaust System Design*”, Journal of Sound and Vibration.
5. Jong Pil Won, Kyoung Suk Park (2000) “*Thermal Flow Analysis of Vehicle Engine Cooling System*” FISITA World Automotive Congress, Seoul, South Korea.
6. Robert W (2000) “*Numerical calculation of car cooling system*” Silesian University of technology, Gliwice, Poland.
7. Palacios A. Jose E, Rigio G. Ricardo J. (2006) “*Diseño, construcción y prueba de un silenciador para el prototipo Formula SAE-UCV 2006*” Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

APENDICES

APENDICE A. CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE ESCAPE Y REFRIGERACION



Figura A.1 “Instalación del radiador”



Figura A.2 “Medición de las tuberías de escape”



Figura A.3 “Soldadura TIG de las tuberías de escape”



Figura A.4 “Instalación del silenciador”



Figura A.5 “Silenciador con tarima”



Figura A.6 “Silenciador en posición más baja de la base pivotante”



Figura A.7 “Silenciador en posición más alta de la base pivotante”



Figura A.8 “Switch de encendido y apagado del electroventilador”



Figura A.9 “Conectores de fácil remoción del electroventilador”



Figura A.10 “Estudiante utilizando la tarima para llenado de radiadores”



Figura A.11 “Proceso de cortado de los perfiles de la tarima”



Figura A.12 “Soldadura por arco de la tarima”



Figura A.13 “Instalación de las mangueras del radiador”



Figura A.14 “Llenado del radiador”



Figura A.15 “Medición de la longitud del cardan”



Figura A.16 “Medición de la altura del cardan”



Figura A.17 “Instalación del cardan”



FiguraA.18 “Aspas del túnel de viento”

APENDICE B. SIMULACIONES ADICIONALES

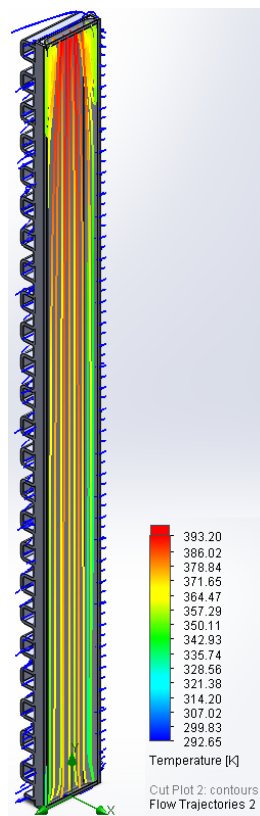


Figura B.1 “Líneas de flujo dentro del radiador”

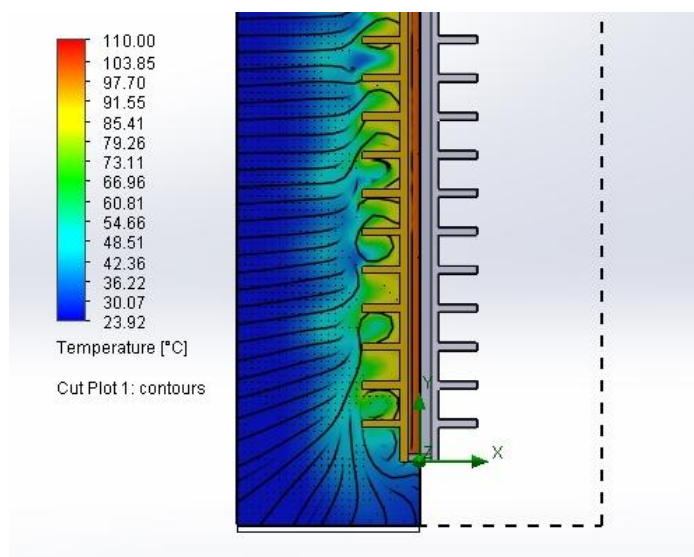


Figura B.2 “Gradiente de temperaturas al final del radiador”

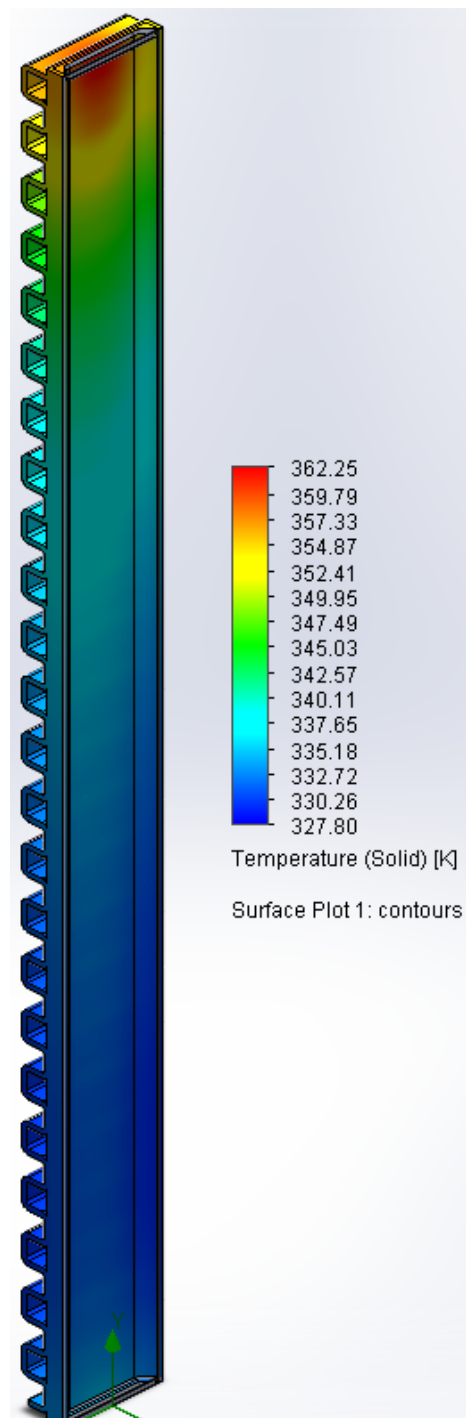


Figura B.3 “Gradiente de temperaturas de la sección sólida”