



Análisis de los Parámetros de Flujo que Inciden en la Salida de los Gases del Sistema de Escape en el Motor KTM RC 250 CC para la V Competición Internacional Moto
Student

Barahona Córdova, Juan Francisco y Barros Velásquez, Josué Abraham

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Titulación, previo a la Obtención del Título de Ingeniero automotriz

Ing. Mena Navarrete, Luis Antonio

19 de Marzo de 2021

Latacunga- Ecuador



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FLUJO QUE INCIDEN EN LA SALIDA DE LOS GASES DEL SISTEMA DE ESCAPE EN EL MOTOR KTM RC 250 CC PARA LA V COMPETICIÓN INTERNACIONAL MOTO STUDENT**” fue realizado por el/los señor/señores **Barahona Córdova, Juan Francisco y Barros Velásquez, Josué Abraham**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Firma:

.....
Mena Navarrete, Luis Antonio

C. C.: 1801618644

REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE VERIFICACIÓN DE CONTENIDO “URKUND”

Document Information

Analyzed document	Tesis Barahona-Barros.pdf (D98847298)
Submitted	3/19/2021 7:45:00 AM
Submitted by	Mena Navarrete Luis Antonio
Submitter email	lamena@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	lamena.espe@analysis.arkund.com

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Antonio Mena Navarrete".

.....
Mena Navarrete, Luis Antonio

C. C.: 1801618644



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Barahona Córdova, Juan Francisco y Barros Velásquez, Josué Abraham**, con cédula/cedulas de ciudadanía n° 0603949520 y 1722818927, declaro/declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FLUJO QUE INCIDEN EN LA SALIDA DE LOS GASES DEL SISTEMA DE ESCAPE EN EL MOTOR KTM RC 250 CC PARA LA V COMPETICIÓN INTERNACIONAL MOTO STUDENT** es de mi/nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Firma

Barahona Córdova, Juan Francisco

C.C.: 0603949520

Firma

Barros Velásquez, Josué Abraham

C.C.: 1722818927



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Barahona Córdova, Juan Francisco y Barros Velásquez, Josué Abraham**, con cédula/cédulas de ciudadanía n° 0603949520 y 1722818927, autorizo/autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE FLUJO QUE INCIDEN EN LA SALIDA DE LOS GASES DEL SISTEMA DE ESCAPE EN EL MOTOR KTM RC 250 CC PARA LA V COMPETICIÓN INTERNACIONAL MOTO STUDENT** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 19 de marzo del 2021

Firma

Barahona Córdova, Juan Francisco

C.C.: 0603949520

Firma

Barros Velásquez, Josué Abraham

C.C.: 1722818927

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico a Dios, por ser mi inspirador, por darme salud y fuerza para alcanzar mis metas como persona y como profesional.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por creer en mí, por priorizar mis necesidades a las suyas, gracias a ellos he logrado cumplir mis sueños, pues me motivaron constantemente para consumir mis anhelos.

A cada uno de mis maestros por ser parte de este proceso integral y a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

Francisco Barahona

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación va dedicado a mi hija Isabela Valentina que es el pilar fundamental en mi vida, mi motivación de cada día para seguirme superando y mi inspiración para formarme como profesional.

A mi madre Giovanna Velásquez y mi padre Ramiro Barros que siempre me apoyaron y estuvieron ahí por cualquier dificultad que se presentara en el camino, siempre recordándome cuan valioso es el valor del estudio y la superación profesional.

A mi hermano André Esaú quien me acompañó en la mayoría de los momentos malos y buenos a lo largo de la vida.

A mi tío Crysthian Velásquez que es como mi segundo padre y siempre estuvo pendiente de mí, apoyándome en los momentos más difíciles de la universidad.

A mis tíos Arturo Velásquez, Cristina Barros y Paola Barros que me han enseñado varias cosas en el transcurso de mi vida y me han inculcado valiosos valores

A mi abuelita Blanqui y mi abuelito Arturo que siempre estuvieron mimándome, consintiéndome, aconsejándome y apoyándome hasta más no poder.

A mi abuelita Elenita y abuelito Papane que pasé mi etapa de niñez junto a ellos y siempre formándome como buena persona; y que a pesar de que mi abuelito Papane ya no está aquí conmigo yo sé que me ve desde lo más alto del cielo orgulloso y siempre me enseñó desde niño los grandiosos valores de humildad y perseverancia. Gracias por todo y este trabajo de titulación en especial va para ti.

Josué A. Barros V.

AGRADECIMIENTO

Es para mí un placer agradecer a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, alma mater que supuso un lugar en el que viví experiencias, momentos y vivencias que me marcaron como ser humano y que a través de sus docentes me entregó sus conocimientos para hacer posible mi preparación profesional y enfrentarme a los retos venideros sin temor, en especial al Ingeniero Luis Mena Director de Tesis por su apoyo, confianza y capacidad para guiar mis ideas y plasmarlas en el presente trabajo.

Francisco Barahona

AGRADECIMIENTO

A dios en primer lugar por haberme permitido pasar esta bonita experiencia del estudio universitario sin ninguna desgracia y por bendecirme cada día.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga por prestarme las instalaciones educativas y deportivas para mi formación personal.

Al ingeniero Luis Mena que nos propuso esta bonita e inolvidable experiencia internacional llamada Moto Student y que siempre estuvo dispuesto ayudarme en cualquier duda o inquietud académica,

A todos los profesores que a lo largo de mi carrera universitario supieron compartir sus conocimientos y guiarme por el camino de la investigación.

A mis compañeros que en la mayoría de casos siempre intentaban unir a todos para llevar un ambiente chévere a lo largo de cada semestre.

A mi compañero de tesis y amigo Francisco Barahona que siempre ha estado desde primer nivel hasta noveno nivel apoyándome de una u otra forma.

A mis amigos Steven Gallo, Michael Guerrero, Jonatan Bonifaz, Adrián Cajas, Jorge Galarza, Manuel Tipanta, Adrián Medina y Santiago Díaz por brindarme momentos inolvidables en la universidad y por apoyarme, siempre fueron incondicionales en cualquier adversidad, problema o dificultad.

A mi amiga Mary Cueva que nunca me ha negado ayuda en los momentos más complicados de mi vida personal y universitaria, siempre haciéndome caer en cuenta en mis errores para mejorar.

A mi amiga Mishu Quishpe que siempre está animándome y ayudándome cuando más lo necesito.

Josué A. Barros V.

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Tabla de contenidos.....	10
Índice de tablas	14
Índice de figuras.....	15
Índice de ecuaciones	18
Resumen	19
Abstract.....	20
Metodología de la investigación.....	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema.....	23
Descripción resumida del proyecto.....	24
Justificación e importancia.....	24
Objetivos.....	24
<i>Objetivo general.....</i>	24
<i>Objetivos específicos</i>	25
Metas del proyecto.....	25
Hipótesis	25

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
<i>Variable independiente:.....</i>	<i>25</i>
<i>Variable dependiente.....</i>	<i>26</i>
Marco teórico.....	28
Motor de combustión interna	28
<i>Motor combustión interna de 4 tiempos</i>	<i>29</i>
<i>Motor de combustión interna de 2 tiempos</i>	<i>29</i>
Sistema de escape	30
<i>Colector de escape.....</i>	<i>31</i>
<i>Catalizador</i>	<i>32</i>
<i>Silenciador</i>	<i>33</i>
Relación gases de escape	34
Gases de escape	35
<i>Monóxido de carbono CO</i>	<i>36</i>
<i>Hidrocarburos HC.....</i>	<i>37</i>
<i>Óxidos de nitrógeno NOx.....</i>	<i>37</i>
<i>Plomo y compuestos de plomo Pb.....</i>	<i>38</i>
<i>Dióxido de azufre SO2.....</i>	<i>38</i>
Temperatura	38
<i>Temperatura de admisión</i>	<i>39</i>
<i>Temperatura de compresión.....</i>	<i>40</i>
<i>Temperatura de explosión</i>	<i>41</i>
<i>Temperatura de escape</i>	<i>42</i>
Presión.....	43
<i>Presión de admisión.....</i>	<i>43</i>
<i>Presión de compresión</i>	<i>45</i>
<i>Presión de explosión.....</i>	<i>46</i>

<i>Presión de escape</i>	47
Velocidad del fluido.....	47
Proceso de diseño.....	48
Criterios generales de diseño para un escape.....	48
Obtención de datos iniciales de simulación.....	49
<i>Cilindrada total del motor</i>	50
<i>Volumen de la cámara de combustión</i>	50
<i>Volumen total del cilindro</i>	51
<i>Presión de admisión</i>	51
<i>Temperatura de admisión</i>	53
<i>Presión de compresión</i>	55
<i>Temperatura de compresión</i>	56
<i>Temperatura de explosión</i>	56
<i>Presión de explosión</i>	57
<i>Presión de escape</i>	57
<i>Temperatura de escape</i>	58
<i>Velocidad del fluido</i>	59
<i>Resultados</i>	59
Diseño	60
<i>Parámetros de diseño</i>	60
<i>Modelo A</i>	60
<i>Modelo B</i>	61
<i>Parámetros de simulación</i>	62
Simulación mediante ansys.....	62
<i>Presión de los gases de escape</i>	63
<i>Velocidad resultante de los gases de escape</i>	68
Simulación mediante solidworks	74

<i>Temperatura de los gases de escape</i>	74
Análisis de resultados	76
Presión de los gases de escape.....	76
Temperatura de los gases de escape	78
Velocidad resultante de los gases de escape	81
Análisis por rpm	84
Marco administrativo.	93
Recursos	93
<i>Recursos humanos</i>	93
<i>Recursos tecnológicos</i>	93
<i>Recursos financieros</i>	94
Conclusiones y recomendaciones	95
Conclusiones	95
Recomendaciones	97
Bibliografía	99
Anexos	102

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Variable independiente</i>	26
Tabla 2 <i>Variable dependiente</i>	27
Tabla 3 <i>Parámetros proceso de admisión</i>	40
Tabla 4 <i>Parámetros del proceso de compresión</i>	41
Tabla 5 <i>Parámetros en proceso de explosión</i>	42
Tabla 6 <i>Parámetros en proceso de escape</i>	43
Tabla 7 <i>Parámetros presión de admisión</i>	45
Tabla 8 <i>Especificaciones motor KTM 250 RC</i>	49
Tabla 9 <i>Velocidad del fluido a diferentes rpm</i>	59
Tabla 10 <i>Parámetros de funcionamiento del motor</i>	59
Tabla 11 <i>Parámetros de simulación</i>	62
Tabla 12 <i>Presión de los gases de escape</i>	76
Tabla 13 <i>Temperatura de los gases de escape</i>	79
Tabla 14 <i>Velocidad de los gases de escape</i>	81
Tabla 15 <i>Análisis a 3000 rpm</i>	85
Tabla 16 <i>Análisis a 7250 rpm</i>	86
Tabla 17 <i>Análisis a 9000 rpm</i>	88
Tabla 18 <i>Análisis a 13000 rpm</i>	90
Tabla 19 <i>Recursos humanos</i>	93
Tabla 20 <i>Recursos tecnológicos</i>	94
Tabla 21 <i>Recursos financieros</i>	94

Índice de figuras

Figura 1	<i>Logotipo de Moto Student y de Moto Engineering Foundation</i>	21
Figura 2	<i>Equipo participante III competencia internacional Moto Student</i>	22
Figura 3	<i>Equipo participante V competencia internacional Moto Student</i>	23
Figura 4	<i>Motor de combustión</i>	28
Figura 5	<i>Motor de cuatro tiempos</i>	29
Figura 6	<i>Funcionamiento motor de gasolina de dos tiempos</i>	30
Figura 7	<i>Sistema de escape</i>	31
Figura 8	<i>Colector de escape</i>	32
Figura 9	<i>Catalizador</i>	32
Figura 10	<i>Silenciadores</i>	33
Figura 11	<i>Emisiones de escape</i>	35
Figura 12	<i>Composición de los gases de escape</i>	36
Figura 13	<i>Monóxido de carbono</i>	37
Figura 14	<i>Restricción al sistema de admisión</i>	51
Figura 15	<i>Velocidad de la mezcla</i>	52
Figura 16	<i>Coefficiente de gases residuales</i>	53
Figura 17	<i>Temperatura de gases residuales</i>	54
Figura 18	<i>Coefficiente politrópico</i>	55
Figura 19	<i>Temperatura de explosión</i>	56
Figura 20	<i>Coefficiente adiabático</i>	58
Figura 21	<i>Sistema de modelo A</i>	61
Figura 22	<i>Sistema de escape modelo B</i>	61
Figura 23	<i>Análisis de la presión a 3000 rpm modelo A</i>	63

Figura 24 <i>Análisis de la presión a 3000 rpm modelo B</i>	64
Figura 25 <i>Análisis de la presión a 7250 rpm modelo A</i>	65
Figura 26 <i>Análisis de la presión a 7250 rpm modelo B</i>	65
Figura 27 <i>Análisis de la presión a 9000 rpm modelo A</i>	66
Figura 28 <i>Análisis de la presión a 9000 rpm modelo B</i>	66
Figura 29 <i>Análisis de la presión a 13000 rpm modelo A</i>	67
Figura 30 <i>Análisis de la presión a 13000 rpm modelo B</i>	68
Figura 33 <i>Análisis de velocidad resultante a 3000 rpm modelo A</i>	69
Figura 34 <i>Análisis de velocidad resultante a 3000 rpm modelo B</i>	69
Figura 35 <i>Análisis de velocidad resultante a 7250 rpm modelo A</i>	70
Figura 36 <i>Análisis de velocidad resultante a 7250 rpm modelo B</i>	71
Figura 37 <i>Análisis de velocidad resultante a 9000 rpm modelo A</i>	71
Figura 38 <i>Análisis de velocidad resultante a 9000 rpm modelo B</i>	72
Figura 39 <i>Análisis de velocidad resultante a 13000 rpm modelo A</i>	73
Figura 40 <i>Análisis de velocidad resultante a 13000 rpm modelo B</i>	73
Figura 31 <i>Análisis de temperatura a 13000 rpm modelo A</i>	74
Figura 32 <i>Análisis de temperatura a 13000 rpm modelo B</i>	75
Figura 41 <i>Presión modelo A</i>	77
Figura 42 <i>Presión modelo B</i>	77
Figura 43 <i>Presión de los gases modelo A y B</i>	78
Figura 44 <i>Temperatura modelo A</i>	79
Figura 45 <i>Temperatura modelo B</i>	80
Figura 46 <i>Temperatura de los gases modelo A y B</i>	81
Figura 47 <i>Velocidad modelo A</i>	82
Figura 48 <i>Velocidad modelo B</i>	83
Figura 49 <i>Velocidad de los gases modelo A y B</i>	84

Figura 50 <i>Presión a 3000 rpm</i>	85
Figura 51 <i>Velocidad a 3000 rpm</i>	86
Figura 52 <i>Presión a 7250 rpm</i>	87
Figura 53 <i>Velocidad a 7250 rpm</i>	88
Figura 54 <i>Presión a 9000 rpm</i>	89
Figura 55 <i>Velocidad a 9000 rpm</i>	90
Figura 56 <i>Presión a 13000 rpm</i>	91
Figura 57 <i>Velocidad a 13000 rpm</i>	91
Figura 58 <i>Temperatura a 13000 rpm</i>	92

Índice de ecuaciones

Ecuación 1	<i>Relación ideal de aire- combustible</i>	34
Ecuación 2	<i>Temperatura de admisión</i>	39
Ecuación 3	<i>Temperatura de compresión</i>	40
Ecuación 4	<i>Temperatura de escape</i>	42
Ecuación 5	<i>Presión de admisión</i>	43
Ecuación 6	<i>Densidad de la carga de admisión</i>	44
Ecuación 7	<i>Presión de compresión</i>	45
Ecuación 8	<i>Presión de explosión</i>	46
Ecuación 9	<i>Coeficiente real de variación molecular</i>	46
Ecuación 10	<i>Presión de escape</i>	47
Ecuación 11	<i>Velocidad del fluido</i>	47
Ecuación 12	<i>Cilindrada total del motor</i>	50
Ecuación 13	<i>Volumen de la cámara de combustión</i>	50
Ecuación 14	<i>Volumen total del cilindro</i>	51

Resumen

En el presente trabajo de titulación nace de la competencia Moto Student siendo este un desafío académico y multidisciplinario, que otorga a los estudiantes la facultad de crear un proyecto industrial donde los participantes mismos que son estudiantes de la universidad de las fuerzas armadas ESPE extensión Latacunga, deberán diseñar un proyecto de motocicleta categoría Petrol dicho modelo será valorado y puesto a prueba en un evento que tendrá lugar en España en las instalaciones de MotorLand Aragón. En base al análisis del comportamiento de un motor monocilíndrico de 4 tiempos marca KTM RC 250 cc a partir del diseño de dos sistemas de escape, el modelo A, diseñado por los alumnos en longitud y geometría y el modelo B muy similar al sistema original. Para lo cual se ha dividido en 4 etapas, la primera etapa son los cálculos iniciales de presión y temperatura en los 4 tiempos (admisión, compresión, explosión y escape) también la velocidad del fluido del motor, continuando con la segunda etapa la modelación de dos diseños de sistemas de escapes con dos diseños en software CAD teniendo en cuenta la longitud y geometría, como tercer etapa tenemos el análisis en software CFD del comportamiento de la presión, temperatura y velocidad de fluido asumiendo como información inicial los datos calculados en la primera etapa, como cuarta etapa y para finalizar se elige el mejor sistema de escape teniendo en cuenta los mejores parámetros de flujo.

Palabras clave:

- **MOTO STUDENT**
- **MOTOR MONOCILÍNDRICO DE 4 TIEMPOS**
- **SISTEMA DE ESCAPE**
- **SOFTWARE CFD**
- **PARÁMETROS DE FLUJO**

Abstract

The following degree project was created based on the Moto Student contest, which is an academic and multidisciplinary challenge. By applying this contest, the students are able to develop their own industrial project, in which the participants will be the students de the Unidad de las Fuerzas Armadas ESPE 20xtension Latacunga. The students will have to design a motorcycle project, Petrol category, and this model will be tasted in an event that will be carried out in Spain in the MotorLand Aragón facilities. Based on the analysis of the behavior of a single-cylinder engine of 4 times KTM RC 250 cc brand, with the design of two exhaust systems, the A model designed with longitude and geometry and the B model which is very similar to the original system. The project is divided in 4 phases, the first phase is related to the initial calculations of the pressure and temperature in 4 times (admission, compression, explosion, and scape) this phase also includes the speed of the engine fluids. Then, we have the second phase in which we continue with the exhaust systems modelling designed in CAD software considering the longitude and geometry. The third phase is about the analysis of the behavior of pressure, temperature, and speed of engine fluids with CDF software, the results of the analysis are compared with the data obtained de the initial information calculated in the first phase. Finally, in the fourth phase we choose the best exhaust system based on the best flow parameters.

Key words:

- **MOTO STUDENT**
- **SINGLE-CYLINDER ENGINE OF 4 TIMES**
- **EXHAUST SYSTEM**
- **CFD SOFTWARE**
- **FLOW PARAMETERS**

CAPÍTULO I

1. Metodología de la investigación

1.1. Antecedentes

La Competición Internacional MotoStudent es promovida por la Fundación Moto Engineering Foundation (en adelante MEF) y TechnoPark Motorland, y consiste en un desafío académico entre equipos de diferentes universidades de todo el mundo.

Figura 1

Logotipo de Moto Student y de Moto Engineering Foundation



Nota. La figura representa el logo de Moto Student y MEF, adaptado de Moto Engineering Foundation Web Site (2020).

MotoStudent permite a los equipos la máxima flexibilidad para diseñar, con muy pocas restricciones en la “toma de decisión” del diseño general de la moto, por lo que los vehículos o proyectos que participan en la Competición deberán cumplir con un mínimo de requerimientos de seguridad y dimensiones en las áreas designadas.

Cada proyecto será evaluado frente a sus competidores a través de las diferentes fases y pruebas puntuables, para determinar los proyectos y prototipos que más destaquen en las distintas áreas.

Un grupo de estudiantes de la ESPE de la carrera de ingeniería automotriz y el profesor Msc. Ing. Luis Mena tuvieron la iniciativa de participar en la III Competencia Internacional Moto Student, entonces construyeron y participaron en el año 2014 con una moto de velocidad bajo estándares Europeos con un Motor SHERCO 250 cc, 4 tiempos, sistema de control electrónico mediante el sistema operativo Android. Este grupo fue el primero en la historia de la ESPE en participar en esta Competencia.

Figura 2

Equipo participante III Competencia Internacional Moto Student



Nota. La figura muestra al equipo que participó en la III competencia internacional Moto Student, adaptado de Diseño análisis y construcción de un chasis y carenado de un prototipo de motocicleta para la competencia Moto Student, (pág. 1), por (Echeverría & Suárez, 2013)

En el año 2016, estudiantes de quinto, sexto, séptimo y octavo nivel de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga se reunieron con el objetivo de retomar el reto de participar por segunda vez en la Competencia Internacional Moto Student en Aragón-España, reto que duraría 2 años en su diseño y construcción.

Figura 3

Equipo participante V competencia internacional Moto Student



Nota. La figura muestra al equipo participante de la V competencia internacional Moto Student.

1.2. Planteamiento del problema

La información de análisis de gases de escape en nuestro medio con CFD (Computational Fluid Dynamics) para posterior del análisis pueda existir una construcción de un escape que cumpla las normas necesarias que pide una competencia internacional es escaso.

1.3. Descripción resumida del proyecto.

La presente se basará en el análisis de parámetros en el flujo de los gases de escape.

Simulación y análisis de dos diseños de sistema de escape mediante el cálculo y simulación en software, comparando el sistema de escape original con un sistema de escape propuesto por los estudiantes encargados del proyecto.

Se realizará pruebas de flujo de gases, presión y temperatura de acuerdo a la forma del sistema de escape en software de simulación CFD.

Analizar los resultados obtenidos mediante las pruebas de flujo de gases, presión y temperatura de acuerdo a la forma del sistema de escape en software de simulación CFD para determinar las mejoras en los parámetros de flujo que inciden en la salida de los gases del sistema de escape.

1.4. Justificación e importancia.

Esta investigación tiene la capacidad de contribuir con el desarrollo de conocimiento científico referente al ámbito automotriz en competición, mediante el diseño de dos múltiples de escape que permitan la óptima evacuación de los gases al exterior y a su vez mejorar los parámetros de flujo cumpliendo el reglamento de la V Competencia Internacional Moto Student.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General

Analizar los parámetros de flujo que inciden en la salida de los gases del sistema de escape en el motor KTM RC 250 cc para la V Competición Internacional Moto Student.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Fundamentar teóricamente el diseño del sistema de escape.
- Realizar los cálculos para el motor KTM 250 RC de presión y temperatura en cada ciclo del motor.
- Diseñar dos modelos del sistema de escape en el software SolidWorks.
- Simular dos modelos de sistema de escape en el software Ansys.
- Analizar los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas.

1.6. Metas del proyecto

Analizar dos prototipos de expulsión de gases con las cualidades necesarias para competir en un evento internacional.

1.7. Hipótesis

¿Con la implementación del sistema de escape se podrá mejorar los parámetros de flujo?

1.8. Variables de la investigación

Para el proyecto de investigación se aplicará las variables como son: variables dependientes y variables independientes.

1.8.1. Variable independiente:

Motor de combustión interna monocilíndrico KTM 250 RC.

Tabla 1*Variable independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Motor de combustión interna monocilíndrico	Parámetros mecánicos del motor	Diámetro del cilindro	P_b	Matematización	Cálculo
		Relación de compresión	ε	Matematización	Cálculo
		Cilindrada Total	V_H	Matematización	Cálculo
		Volumen de la cámara de combustión	V_c	Matematización	Cálculo
		Presión de admisión, compresión, explosión	P_a, P_c, P_z	Matematización	Cálculo
		Temperatura de admisión, compresión, explosión	T_a, T_c, T_z	Matematización	Cálculo

Nota. La tabla indica la variable independiente de la presente investigación

1.8.2. Variable dependiente

Parámetros característicos del motor en el ciclo de escape.

Tabla 2*Variable dependiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Presión de escape	P_b	Matematización	Cálculo
		Temperatura de escape	T_b	Matematización	Cálculo
Parámetros característicos del motor en el ciclo de escape	Parámetros de funcionamiento del motor en el ciclo de escape	Velocidad de gases de escape	v_f	Matematización	Cálculo
		Longitud de los tubos de escape	l_{Te}	Medición	Revisiones visuales
		Diámetro de los tubos de escape	ϕ_{Te}	Matematización	Cálculo

Nota. La tabla presenta las variables dependientes de la investigación.

CAPÍTULO II

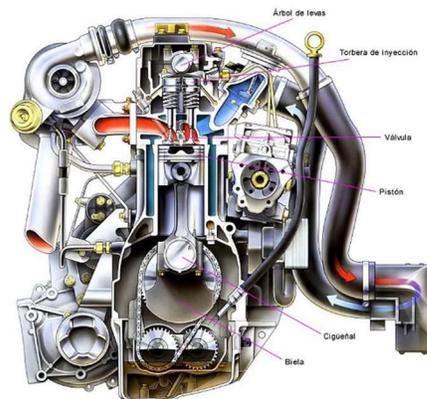
2. Marco teórico

2.1. Motor de combustión interna

Es un motor térmico en donde la combustión se realiza en el interior de una cámara cerrada, produce energía mecánica por aprovechamiento de la energía térmica almacenada en un fluido por medio de una combustión. El ciclo de trabajo de este motor necesita cuatro fases: admisión compresión, combustión-expansión y descargar o dar salida a los gases quemados. Existen dos tipos de motores para realizar estas cuatro fases; los motores de dos tiempos, en donde las cuatro fases se realizan en dos carreras del pistón, completando un ciclo por cada vuelta de giro del cigüeñal y los motores de cuatro tiempos, que realizan las cuatro fases en cuatro carreras del pistón, completando un ciclo por cada dos vueltas del giro del cigüeñal. (González, Motores, 2018)

Figura 4

Motor de combustión



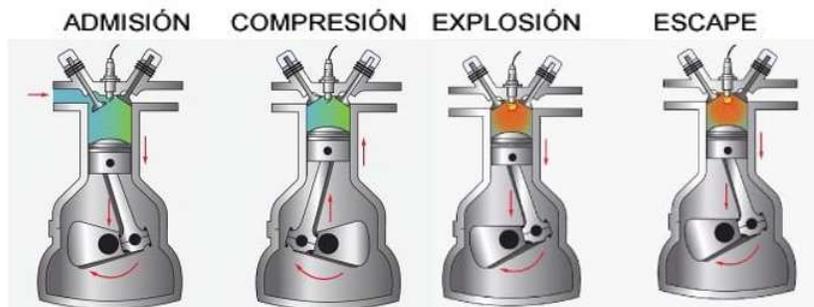
Nota. Elementos que conforman el motor de combustión interna, adaptado de Cátedra de Motores Alternativos por (Universidad Nacional de la Plata [UNLP], 2019).

2.1.1. Motor combustión interna de 4 tiempos

Es un motor el cual el ciclo de trabajo se realiza en cuatro tiempos: el primer tiempo es admisión, el segundo tiempo es compresión, el tercer tiempo es trabajo, explosión o expansión y el cuarto tiempo es escape, completan los 4 tiempos en cuatro carreras de pistón. Un ciclo se cumple en dos vueltas del cigüeñal para los 4 tiempos, es decir 720 grados de giro en cada ciclo, cada tiempo se hace cada 180 grados de giro del cigüeñal. (González, Motores, 2018)

Figura 5

Motor de cuatro tiempos



Nota. Motor de combustión interna de 4 tiempos, adaptado de Motos: Motores de 2 y 4 tiempos por H. Pesis (2015).

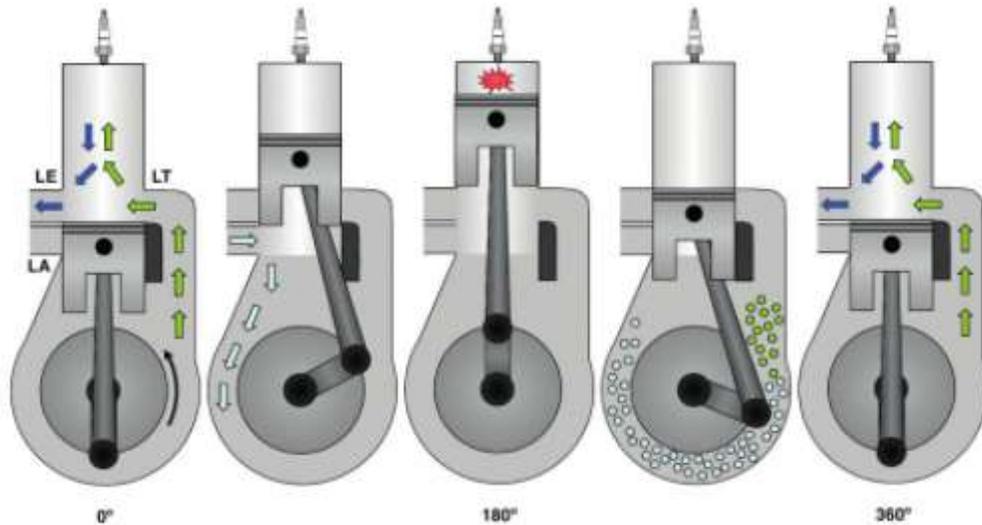
2.1.2. Motor de combustión interna de 2 tiempos

El ciclo de trabajo de este motor se realiza en una vuelta de cigüeñal o dos carreras del pistón. El pistón controla la entrada y salida de gases tapando o descubriendo las lumbreras, presidiendo del sistema de distribución. Hay tres tipos de lumbreras, como puede verse en la figura 6: de admisión al cárter (LA), de transferencia (LT) y de escape (LE). En la primera media vuelta de cigüeñal (de 0 ° a 180 °) se realiza una carrera ascendente del pistón y se produce el primer tiempo o fases de admisión al cárter-compresión y explosión. En la segunda media vuelta (de 180 ° a 360

°) se realiza una carrera descendente del pistón y se produce el segundo tiempo o fases de expansión-precompresión al cárter- escape-transferencia. (González, Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos, 2015)

Figura 6

Funcionamiento motor de gasolina de dos tiempos



Nota. Motor de combustión interna de dos tiempos, adaptado de Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos por D. Gonzáles (2015).

2.2. Sistema de escape

El sistema de escape es el encargado de llevar los gases producidos por la explosión hacia al exterior de la cámara de combustión por medio del colector, catalizador, tubo de escape y silenciador.

Figura 7*Sistema de Escape*

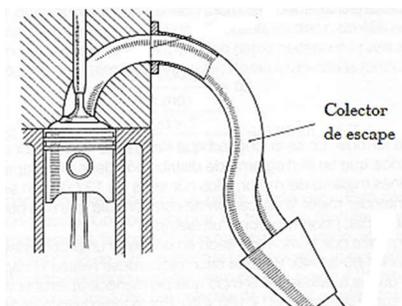
Nota. La imagen presenta los componentes del sistema de escape, adaptado de Grupo Industrial UMO (2021).

2.2.1. Colector de escape

El colector de escape, juntamente con todo el sistema de escape, debe intentar mejorar el rendimiento volumétrico del motor facilitando de la mejor forma posible la evacuación de los gases resultantes de la combustión y mejorar el proceso de renovación de la carga en el interior de la cámara de combustión. La correcta evacuación de los gases depende del diseño del colector de escape, el catalizador, el silenciador intermedio y el silenciador posterior. (Edicions UPC, 2005)

Figura 8

Colector de escape



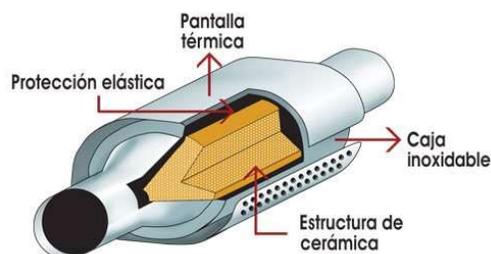
Nota. La figura muestra un colector de escape, adaptado de Preparación de motores de serie para competición, por S. Gillieri (2005).

2.2.2. Catalizador

Es un elemento que es parte del sistema de escape, sirve para reducir y controlar los gases de escape producidos por la mezcla aire-combustible, está recubierto por una pantalla antitérmica de metal inoxidable que ayuda a las elevadas temperaturas producidas por los gases de escape en ella se puede encontrar una matriz de cerámica en forma de panal en la cual está impregnada una resina que se encuentra algunos elementos nobles metálicos. (Copyright © Robert Bosch GmbH, 2005)

Figura 9

Catalizador



Nota. La figura presenta los componentes de un catalizador, de Arvin Replacement Products S.A, (2015).

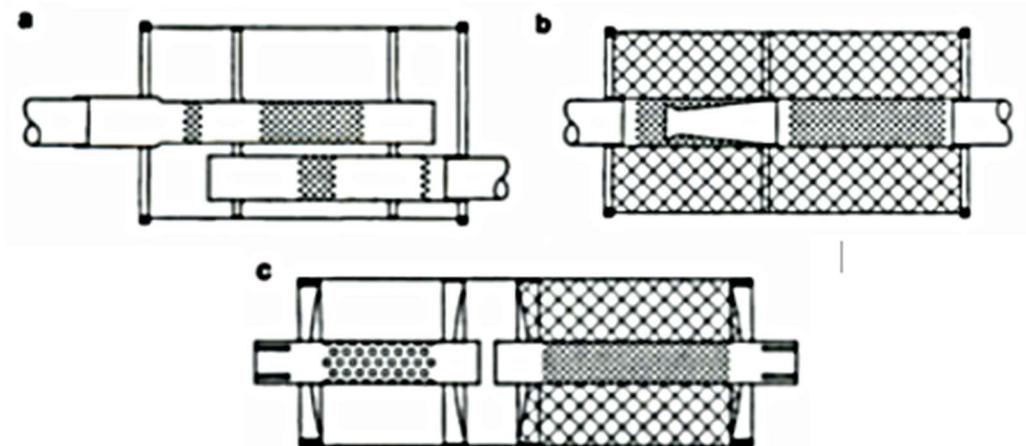
2.2.3. Silenciador

Es el encargado de la reducción de pulsación de la presión de los gases de escape e intentar hacerla lo más imperceptible posible. Para ello existen los dos principios físicos como reflexión y absorción. Estos dos principios también sirven para diferenciar los distintos tipos de silenciadores, aunque la mayoría trabajan combinando reflexión y absorción. (Copyright © Robert Bosch GmbH, 2005)

En la Figura 10 se muestran los tipos de silenciadores, es así que en la imagen (a) se indica el silenciador por reflexión, (b) silenciador por absorción, (c) Combinación de (a) y (b).

Figura 10

Silenciadores



Nota. Tomado del Manual de la técnica del automóvil por Copyright © Robert Bosch GmbH (2005).

2.3. Relación gases de escape

La relación ideal de aire-combustible, tiene un efecto directo en estos gases también llamada relación Lambda y se define como el aire real admitido dividido para el aire teórico necesario.

$$\lambda = \frac{\text{Aire real admitido}}{\text{Aire teorico necesario}}$$

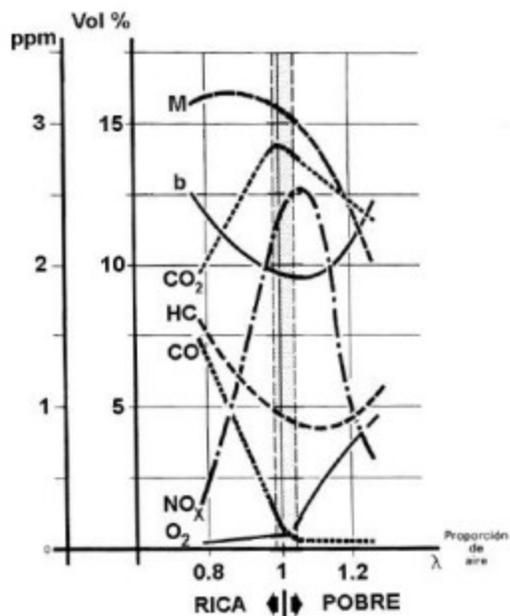
Ecuación 1

Relación ideal de aire- combustible

En la Figura 11 se muestra el tipo de composición de los gases de escape en función de su volumen y partes por millón, en relación al valor lambda λ que define la riqueza de mezcla. También se incluyen dos curvas que dan idea del funcionamiento del motor, como son la curva del par (M) y la del consumo de gasolina (d), además se puede apreciar que la menor cantidad de contaminantes se producen en las proximidades del valor $\lambda=1$

Figura 11

Emisiones de escape



Nota. En la figura se presenta el diagrama de emisiones de escape, adaptado de

© Xunta de Galicia, (CIFPSOMESO, 2021)

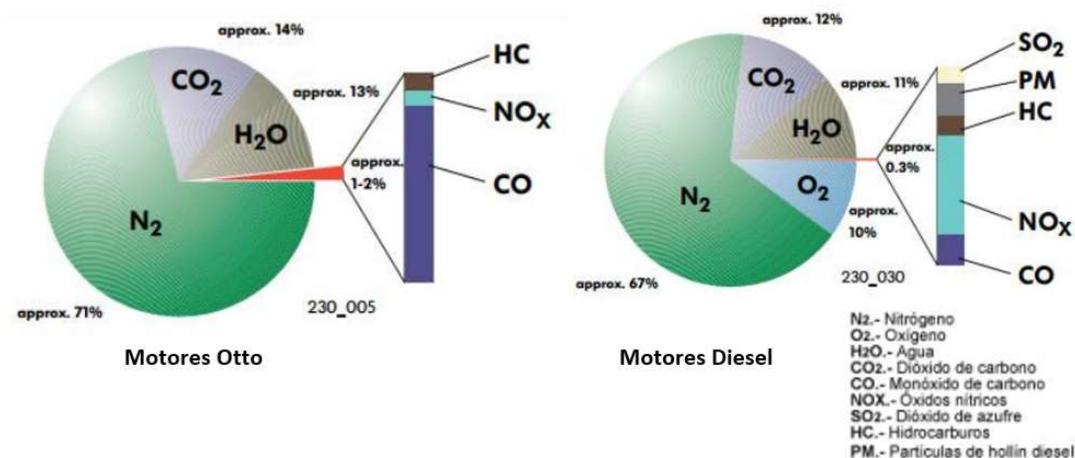
- $\lambda=1$ significa que se usa el aire teóricamente necesario, es decir 14,7 Kg. aire/ 1 Kg. de gasolina.
- Si $\lambda>1$ la mezcla es pobre
- Si $\lambda<1$ la mezcla es rica

2.4. Gases de escape

Los gases de escape son contaminantes para el medio ambiente y en una combustión real se puede encontrar varios compuestos como: el monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC, óxido de nitrógeno, plomo PB, dióxido de azufre, etc.

Figura 12

Composición de los gases de escape



Nota. En la figura se muestra la composición de los gases de escape, adaptado de Automobile exhaust pollution and purification methods por (Tang, 2014).

2.4.1. Monóxido de carbono CO

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma por la combustión incompleta de material orgánico, en presencia deficitaria de oxígeno. Es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre, y uno de los mayores problemas ambientales de América Latina. Las principales fuentes productoras de este contaminante son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o diesel; los procesos industriales; los incendios forestales y urbanos y la incineración de materia orgánica. Los vehículos automotores y los procesos industriales son responsables de aproximadamente 80 % de las emisiones de monóxido de carbono a la atmósfera. (Téllez, Rodríguez, & Fajardo, 2005)

Figura 13**Monóxido de Carbono**

Nota: La figura muestra la composición del monóxido de carbono, adaptado de Centro de monitoreo de la calidad del aire del estado de Querétaro (CeMCAQ, 2020)

2.4.2. Hidrocarburos HC

Son los restos de hidrocarburos sin quemar que salen por el escape. Se producen por mezclas pobres en Oxígeno Es nocivo, cancerígeno e irritante. Dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El Benceno, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas, también causa cáncer. (Navarro, 2016)

2.4.3. Óxidos de nitrógeno NOx

En el año 2015 en el informe presentado por el gobierno regional de Castilla menciona que el óxido de nitrógeno resulta al combinarse el oxígeno y el nitrógeno debido a las altas temperaturas que se alcanzan dentro del motor y a las altas presiones. En la cámara de combustión se forma el NO. Al abrirse la válvula de escape

los gases pasan al conducto de escape donde se combinan con oxígeno para formar NO₂. Por tanto, en el escape se encuentran NO y NO₂ de ahí que para aglutinarlos decimos que hay restos de NO_x. Irrita el aparato respiratorio pudiendo dañarlo gravemente. (Gobierno regional de Castilla, 2015)

2.4.4. Plomo y compuestos de plomo Pb

El proceso de combustión en el motor a gasolina produce temperaturas cercanas a los 2.200 ° C y presiones de 1.000 psi, que convierte a los tetraalquil plomo usados como antidetonantes en óxidos de plomo no volátiles los cuales vienen a acumularse en la cámara de combustión. Por este motivo se añaden cloruro y bromuro de etileno en una razón en masa Br / Pb de 0,386 para convertir los óxidos de plomo en halogenuros volátiles que pueden ser fácilmente descargados por el escape. Esta mezcla, al ser enfriada en el medio ambiente, origina compuestos tales como: 30% PbCO₃; 27% (PbO), PbCO₃; 20% de PbO_x; PbO al 5% · PbSO₄; PbCl₂ al 5%; Pb(OH) Cl al 4%; 3% PbSO, y 6% PbClBr. (Diaz & Soto, 2019)

2.4.5. Dióxido de azufre SO₂

Según (Centro integrado de formación profesional [CIFPSOMESO],2021); el dióxido de azufre, se encuentra en los combustibles como impureza. La emisión de SO₂ es pequeña en los motores de gasolina. En los Diesel es superior por el tipo de combustible utilizado. Al mezclarse con vapor de agua, es responsable de las lluvias ácidas. (CIFPSOMESO, 2021)

2.5. Temperatura

Jóvaj considera que el calentamiento de la carga a partir de las paredes y el mezclado con los gases residuales, que tienen una temperatura más alta, conlleva a

que al final de la admisión la temperatura T_a de la mezcla de la carga fresca con los gases residuales sea mayor a la temperatura T_k del aire en la entrada pero menor que la temperatura T_r de los gases residuales. (Jóvaj, 1982)

2.5.1. Temperatura de admisión

La base del balance térmico ayuda con el cálculo de la temperatura T_a , compuesto para la carga fresca y para los gases residuales, antes y después de su mezcla. Suponiendo que el proceso de mezclado tiene lugar a presión constante, dando como resultado la Ecuación 2. (Jóvaj, 1982)

$$T_a = \frac{T_o + \Delta T + \gamma r * T_r}{1 + \gamma r}$$

Ecuación 2

Temperatura de admisión

Donde:

T_a : Temperatura de admisión (K)

T_o : Temperatura inicial (K)

ΔT : Incremento de temperatura de la carga fresca (K)

T_r : Temperatura de los gases residuales (K)

γr : Coeficiente de gases residuales (Adimensional)

La Tabla 3 indica el coeficiente de gases residuales y la temperatura de gases residuales para cilindradas de 1000 a 3000 cm^3 .

Tabla 3*Parámetros proceso de admisión*

Parámetros	Intervalo
Coeficiente de gases residuales, γ_r	0,06- 0,1
Temperatura de gases residuales, T_r	900- 1000 (K)

Nota. La tabla muestra los coeficientes y temperatura de gases residuales de 1000 a 3000 cm³, adaptado de Motores de automóvil por (Jóvaj, 1982).

2.5.2. Temperatura de compresión

Para Jóvaj, las condiciones favorables que causa la compresión de la mezcla de trabajo provoca la elevación de su temperatura. En función del tipo de formación de la mezcla del modo de encendido los requerimientos que se presentan a la relación de compresión y a los valores de los parámetros finales son distintos. Resulta difícil determinar analíticamente los parámetros al final de la compresión puesto que el exponente politrópico varía. Se ha adoptado calcular la temperatura al final de la compresión a partir del valor medio de la politrópica considerándolo constante para todo el proceso. Asumiendo que el comienzo de la compresión coincide con el PMI.

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n1-1}$$

Ecuación 3

Temperatura de compresión

Donde:

T_c : Temperatura de compresión (K)

T_a : Temperatura de admisión (K)

ε : Relación de compresión (adimensional)

n_1 : Exponente politrópico medio de compresión (adimensional)

En la Tabla 4 se tiene los valores del exponente politrópico medio de compresión para valores de relación de compresión de 6-9.

Tabla 4

Parámetros del proceso de compresión

Parámetros	Intervalos
Relación de compresión ε	6 – 9
Exponente politrópico medio de compresión n_1	1,30 - 1,37
Presión al final de la compresión P_c , (Mpa)	0,90 - 1,50
Temperatura al final de la compresión T_c , (K)	550 – 750

Nota. Los valores de los parámetros de compresión de la tabla se obtuvieron de Motores del automóvil por (Jóvaj, 1982).

2.5.3. Temperatura de explosión

La temperatura del gas, alcanza su mayor valor en el proceso de expansión, esto indica que en dicho período se desprende calor intensamente. (Jóvaj, 1982)

La Tabla 5 muestra los parámetros de temperatura de explosión para el intervalo de energía interna, además se conoce que la energía interna de los productos de combustión es de 68600 (KJ/mol), por lo cual el valor buscado para la temperatura de

explosión correspondiente al valor de la energía interna se encuentra interpolando entre la gama de temperaturas.

Tabla 5

Parámetros en proceso de explosión

Parámetros	Unidad	Intervalos
Temperatura de explosión T_z	°C	2300- 2400
Energía interna u_z	$\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kmol}} \right)$	67213- 70543

Nota. Los valores de los parámetros de explosión se obtuvieron de Motores del automóvil por (Jóvaj, 1982).

2.5.4. Temperatura de escape

La combustión se realiza con un desprendimiento intenso de calor y una brusca elevación de la presión, el exponente politrópico n_2 , tiene valor negativo, llegando a ser nulo en el punto $P_{\text{máx}}$. En el tramo comprendido entre $P_{\text{máx}}$ y $T_{\text{máx}}$ el exponente n_2 pasa a ser positivo y en el punto $T_{\text{máx}}$ es $n_2=1$, para lo cual Jóvaj expone la Ecuación 4 para el cálculo de temperatura de escape.

$$T_b = T_z * \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}$$

Ecuación 4

Temperatura de escape

Donde:

T_b : Temperatura de escape (K)

T_z : Temperatura de explosión (K)

ε : Relación de compresión (adimensional)

n_2 : Coeficiente adiabático (adimensional)

En la Tabla 6, se presenta el valor del coeficiente adiabático para relaciones de compresión de 6 a 9.

Tabla 6

Parámetros en proceso de escape

Parámetros	Motores 4T a Gasolina
n2	1.23 - 1.30
Pb(MPa)	0.35-0.5
Tb (K)	1200-1500

Nota. Los parámetros en el proceso de escape de la tabla se obtuvo Motores de automóvil, por (Jóvaj, 1982)

2.6. Presión

2.6.1. Presión de admisión

Para analizar este proceso se debe tener en cuenta los parámetros que caracterizan el desarrollo del proceso de escape, examinando fenómenos que se refieren al proceso de intercambio gaseoso en su conjunto.

Jóvaj señala que la influencia de las pérdidas hidráulicas sobre el llenado puede determinarse, si se conocen las pérdidas de presión ΔPa en admisión o la presión en el cilindro P_a , por lo tanto, en el instante en el que se supone finalizado el proceso de admisión se puede determinar aproximadamente la presión dentro del cilindro durante la admisión considerando este proceso como estacionario para lo cual se utilizan la Ecuación 1. (Jóvaj, 1982)

$$P_a = P_o - (\beta^2 + \xi) \frac{\omega a d^2}{2} * \rho_o * 10^{-5}$$

Ecuación 5

Presión de admisión

Donde:

P_a : Presión de admisión (bar)

P_o : Presión ambiental (bar)

β : Coeficiente de amortiguación de la velocidad de la carga en la sección examinada del cilindro (adimensional)

ξ : Coeficiente de resistencia del sistema de admisión referida a su sección más estrecha (adimensional)

ω_{ad} : Velocidad del aire en la entrada del sistema de admisión (m/s)

ρ_o : Densidad de la carga de Admisión (kg/m^3)

$$\rho_o = \frac{P_o}{R * T_o}$$

Ecuación 6

Densidad de la carga de admisión

Donde:

R : Constante universal de los gases= $286.9 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot K}$

T_o : Temperatura inicial asumida según condiciones de altura (K)

Al investigar motores de automóviles, Jóvaj plantea datos experimentales obtenidos desde cilindradas de 1000 a 3000 cc la apertura completa de la válvula en el régimen nominal, la velocidad de movimiento de la carga en la sección de paso es:

Tabla 7*Parámetros presión de admisión*

Parámetro	Valor
Wad (m/s)	50 - 130
$\beta^2 + \varepsilon$	2,5 ... 4
VH (cm^3)	100- 3000

Nota. Los parámetros en el proceso de admisión de la tabla se obtuvieron de Motores de automóvil, por (Jóvaj, 1982)

2.6.2. Presión de compresión

En este proceso se elevan la temperatura y presión de la mezcla, además los valores de estos parámetros al finalizar la compresión dependen fundamentalmente de los parámetros termodinámicos del ambiente al comenzar la compresión, de la relación de compresión y del carácter que tenga el intercambio de calor. (Jóvaj, 1982)

Jóvaj ha adoptado calcular la presión al final de la compresión a partir del valor medio de la politrópica, considerándolo constante para todo el proceso. Asumiendo que el comienzo de la compresión coincide con el P. M. I, se obtiene:

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n1}$$

Ecuación 7

Presión de compresión

Donde:

P_c : Presión de compresión (bar)

P_a : Presión de admisión (bar)

ε : Relación de compresión (adimensional)

$n1$: Exponente politrópico medio de compresión (adimensional) Tabla 4.

2.6.3. Presión de explosión

En el proceso de expansión se produce el trabajo mecánico a cuenta de la energía térmica que se desprende durante la combustión del carburante. En el ciclo real la carrera de trabajo empieza durante la combustión y termina cuando comienza el proceso de escape de los gases quemados. Al calcular el ciclo se admite que el proceso de expansión comienza en el punto z siendo máximos los valores calculados de P_z y T_z .

$$P_z = \mu_r * \frac{T_z}{T_c} * P_c$$

Ecuación 8

Presión de explosión

Donde:

P_z : Presión en la explosión (MPa)

μ_r : Coeficiente real de variación molecular (adimensional),

T_z : Temperatura de explosión

T_c : Temperatura de compresión

Para el cálculo del coeficiente real de variación molecular se tiene:

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}$$

Ecuación 9

Coeficiente real de variación molecular

Donde:

μ_0 : Coeficiente teórico de variación molecular. $\mu_0 = 1.08$ (Adimensional)

γ_r =Coeficiente de gases residuales (Tabla 3)

2.6.4. Presión de escape

En el proceso de expansión se produce el trabajo mecánico a cuenta de la energía térmica que se desprende durante la combustión del carburante en el ciclo real la carrera de trabajo empieza durante la combustión y termina cuando comienza el proceso de escape de los gases quemados.

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}$$

Ecuación 10

Presión de escape

Donde:

P_z : Presión de escape (bar)

ε : Relación de compresión (Adimensional)

n_2 : Coeficiente adiabático. (Tabla 6)

2.7. Velocidad del fluido

Ganesan, plantea la Ecuación 11, en donde la velocidad del fluido se mide en m/s y tendrá un valor variable que son las revoluciones por minuto. (Ganesan, 2012)

$$V_f = \frac{V_H * \frac{RPM}{2}}{\pi * (\phi T_e)^2}$$

Ecuación 11

Velocidad del fluido

V_f : Velocidad del fluido

V_H : Cilindrada total

ϕT_e : Diámetro del conducto

CAPÍTULO III

3. Proceso de diseño

3.1. Criterios generales de diseño para un escape

Las funciones que se reclaman al colector de escape son las siguientes:

- Facilitar la rápida salida de los gases.
- Minimizar la cantidad de gases residuales del ciclo anterior.
- Participar, conjuntamente con el colector de admisión y la cámara de combustión, en la mejora del proceso de renovación de la carga en el interior de la cámara de combustión.
- Poseer alta resistencia mecánica, tenacidad y elasticidad suficiente para soportar las altas sollicitaciones térmicas y fatiga dinámica (vibraciones).

Es importante destacar que el diseño de todo el sistema de escape debe minimizar las pérdidas de carga a lo largo de todo el recorrido, y al mismo tiempo conseguir unos niveles de contaminación y unos niveles de ruido que cumplan las reglamentaciones y limitaciones vigentes, todo ello bajo unas limitaciones de espacio, peso, coste y durabilidad. Por eso, no serviría de nada diseñar un colector con muy buenas características y colocarlo posteriormente en una línea de escape mal diseñada; de esto se desprende que se debe estudiar el efecto del sistema de escape como un conjunto sobre el rendimiento volumétrico del motor. (Edicions UPC, 2005)

El colector de escape es una pieza fundamental en el proceso de escape de los gases resultantes de la combustión. Además de diseñarlo para que cumpla correctamente con sus funciones, la forma del colector está supeditada a varios factores externos:

- Arquitectura del motor, ya sea en línea o en V, el número de cilindros y el número de válvulas por cilindro.
- Las características específicas de cada motor, prestaciones, temperatura de salida de los gases, etc.
- De la presencia de sistemas auxiliares, como el turbocompresor, filtro de partículas, sistema de recirculación de gases (EGR) y catalizador.
- Limitaciones geométricas - Para minimizar las pérdidas de carga, es necesario alisar las superficies interiores de los conductos.

3.2. Obtención de datos iniciales de simulación

En la Tabla 8 se presentan las especificaciones del motor KTM 250 RC.

Tabla 8

Especificaciones Motor KTM 250 RC

Datos	Valor
Ciclo del motor	4 tiempos
Distribución	4 válvulas DOHC
Diámetro del cilindro	D=81mm
Carrera del cilindro	S=48.80mm
Relación de compresión	$\varepsilon = 14,5$
Temperatura ambiente	T= 14 °C
Presión atmosférica	P= 1atm
Diámetro del conducto de escape	$\phi T_e = 50.8mm$

Nota. La tabla muestra las especificaciones del motor KTM 250 RC, adaptado del Manual KTM 250 RC.

Para calcular los parámetros iniciales utilizados para el desarrollo de la simulación se calcula:

3.2.1. Cilindrada total del motor

Para calcular la cilindrada total del motor se utiliza la Ecuación 12 y los datos de la Tabla 8.

$$VH = \frac{D^2 * \pi * S * i}{4}$$

Ecuación 12

Cilindrada total del motor

Dónde:

VH : Cilindrada total

i : Número de cilindros

$$VH = \frac{81^2 * \pi * 48.8 * 1}{4}$$

$$VH = 251466.27 \text{ mm}^3$$

$$VH = 251.4663 \text{ cm}^3$$

3.2.2. Volumen de la cámara de combustión

Para calcular el volumen de la cámara de combustión del motor se utiliza la Ecuación 13 y los datos de la Tabla 8.

$$Vc = \frac{VH}{\varepsilon - 1}$$

Ecuación 13

Volumen de la cámara de combustión

Dónde:

Vc : Volumen de la cámara de combustión (cm^3)

ε : Relación de compresión

$$Vc = \frac{251.4663}{14.5 - 1}$$

$$Vc = 18.6271 \text{ cm}^3$$

3.2.3. Volumen total del cilindro

Para calcular el volumen total del cilindro se utiliza la Ecuación 14 y volumen de la cámara de combustión.

$$V_a = V_c + V_h$$

Ecuación 14

Volumen total del cilindro

Dónde:

V_a : Volumen total del cilindro

$$V_a = 18.6271 + 251.4663$$

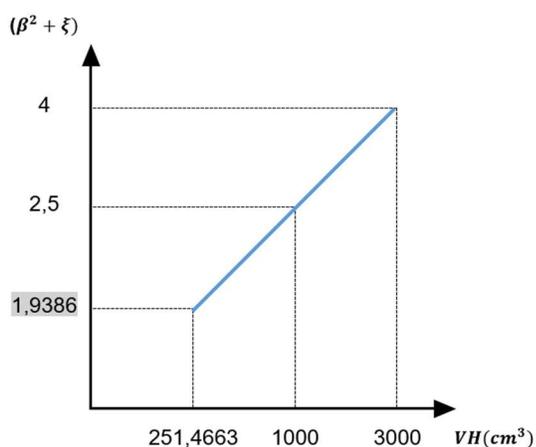
$$V_a = 270.0934 \text{ cm}^3$$

3.2.4. Presión de admisión

Para el cálculo de la presión de admisión se debe calcular la restricción al sistema de admisión $(\beta^2 + \xi)$, para una cilindrada de 251.4663 cm^3 ; se extrapola dando el resultado de 1,9386; como se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Restricción al sistema de admisión



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo de restricción al sistema de admisión $(\beta^2 + \varepsilon)$.

$$(\beta^2 + \varepsilon) = Y_0 - \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X_0 - X)$$

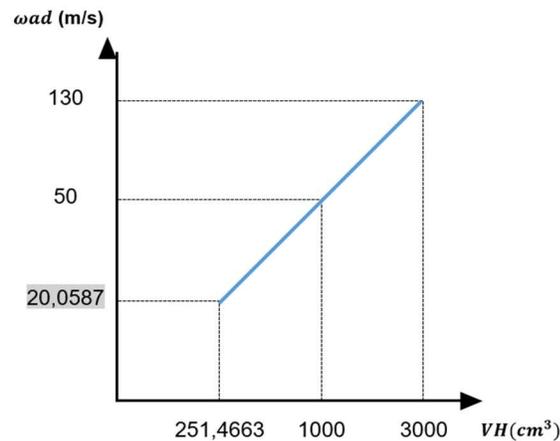
$$(\beta^2 + \varepsilon) = 2.5 - \frac{4 - 2.5}{3000 - 1000} (1000 - 251.4663)$$

$$(\beta^2 + \varepsilon) = 1.9386$$

Para la cilindrada de 251.4663 cm^3 , extrapolando se obtiene una velocidad de la mezcla ω_{ad} de 20.0587 m/s como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Velocidad de la mezcla



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo de la velocidad de la mezcla ω_{ad} en m/s.

$$\omega_{ad} = Y_0 - \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X_0 - X)$$

$$\omega_{ad} = 50 - \frac{130 - 50}{3000 - 1000} (1000 - 251.4663)$$

$$\omega_{ad} = 20,0587 \text{ m/s}$$

Con la Ecuación 6, se calcula la densidad de la carga de Admisión, asumiendo una temperatura inicial de 287 K a una altura de $2806,294 \text{ m}$ sobre el nivel del mar dando como resultado una densidad de $0,9096 \text{ Kg/m}^3$.

Para calcular la presión de admisión se utiliza la Ecuación 5 y los datos calculados de restricción al sistema de admisión $(\beta^2 + \xi)$, velocidad de la mezcla ω_{ad} , densidad de la carga de admisión ρ_0 y asumiendo una presión inicial P_0 de 0.7018 bar según el peso del aire sobre unidad de superficie a nivel del mar; obteniendo un valor de:

$$P_a = 0.7087 - (1.9386) \frac{20.0587^2}{2} * 0.9096 * 10^{-5}$$

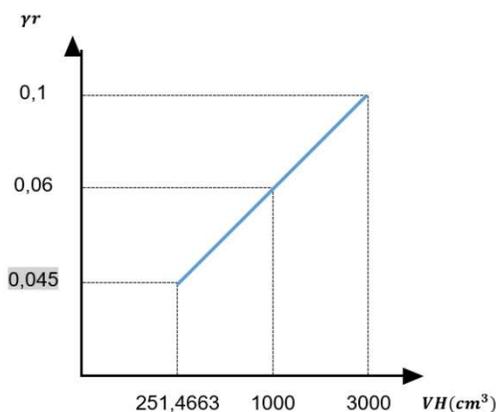
$$P_a = 0.6982 \text{ bar}$$

3.2.5. Temperatura de admisión

Para el cálculo de la temperatura en el proceso de admisión se debe calcular el coeficiente de gases residuales para lo cual se extrapola con los valores de la Tabla 3 obteniendo los resultados de la Figura 16.

Figura 16

Coeficiente de gases residuales



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo del coeficiente de gases residuales γ_r .

$$\gamma r = Y_0 - \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}(X_0 - X)$$

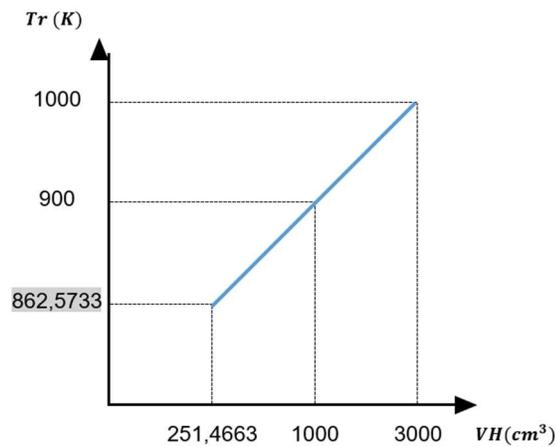
$$\gamma r = 0.06 - \frac{0.1 - 0.06}{3000 - 1000}(1000 - 251.4663)$$

$$\gamma r = 0,045$$

Para determinar la temperatura de gases residuales se extrapolan los valores de la Tabla 3, para la cilindrada de 251.4663 cm^3 , obteniendo como resultado la Figura 17.

Figura 17

Temperatura de gases residuales



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo de la temperatura de gases residuales Tr en kelvin.

$$Tr = Y_0 - \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}(X_0 - X)$$

$$Tr = 900 - \frac{1000 - 900}{3000 - 1000}(1000 - 251.4663)$$

$$Tr = 862,5733 \text{ } ^\circ K$$

Con la Ecuación 2 se obtiene el valor de la temperatura de admisión, para lo cual es necesario los valores de la temperatura de gases residuales (Tr), coeficiente de

gases residuales (γ_r), la temperatura inicial (T_0) y la variación de temperatura interna (ΔT) a la que se le asume un valor de 20 °K, obteniendo así:

$$T_a = \frac{(14 + 273.15) + 20 + (0.0450 * 862.5733)}{1 + 0.0450}$$

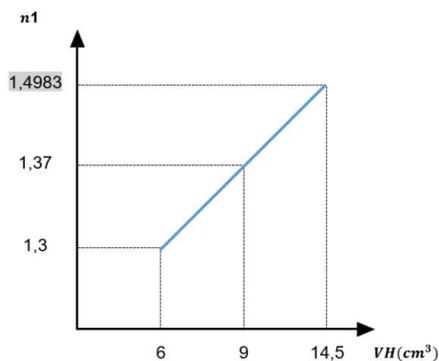
$$T_a = 331.0827 \text{ °K}$$

3.2.6. Presión de compresión

Con los datos de la Tabla 4, para el coeficiente politrópico n_1 , se debe extrapolar para el valor de la relación de compresión del motor (14,5:1), obteniendo como resultado un valor de 1,4983 como se presenta en la Figura 18.

Figura 18

Coeficiente politrópico



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo del coeficiente politrópico n_1 .

$$n_1 = Y_1 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}(X - X_1)$$

$$n_1 = 1,37 + \frac{1,37 - 1,3}{9 - 6}(14,5 - 9)$$

$$n_1 = 1,4983$$

Al remplazar el coeficiente politrópico (n_1), la relación de compresión (ε) y la

presión de admisión (Pa) en la Ecuación 7, se obtiene:

$$P_c = 0.6982 * 14.5^{1.4983}$$

$$P_c = 38.3803 \text{ bar}$$

3.2.7. Temperatura de compresión

Reemplazando los valores en la Ecuación 3 tenemos:

$$T_c = 331.0827 * 14.5^{1.4983}$$

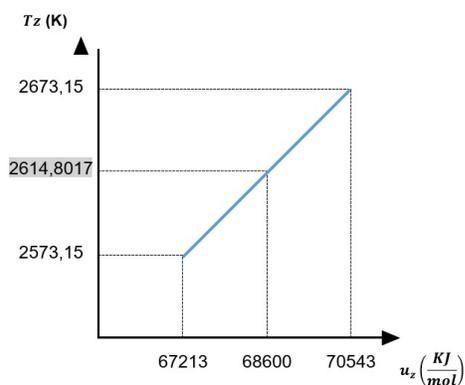
$$T_c = 1255.12 \text{ }^\circ\text{K}$$

3.2.8. Temperatura de explosión

Para calcular la temperatura de explosión se debe interpolar los valores de la Tabla 4 para una energía interna de los productos de combustión (u_z) de 68600KJ/mol, teniendo como resultado la Figura 19.

Figura 19

Temperatura de explosión



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo de la temperatura de explosión T_z en kelvin.

Al interpolar se obtiene un valor de temperatura de explosión de:

$$T_z = Y_0 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0}(X - X_0)$$

$$T_z = 2500 + \frac{2700 - 2500}{70543 - 67213}(68600 - 67213)$$

$$T_z = 2614.8017 \text{ } ^\circ K$$

3.2.9. Presión de explosión

Para el cálculo de la presión de explosión es necesario calcular el coeficiente real de variación molecular reemplazando la Ecuación 9, tenemos:

$$\mu_r = \frac{1.08 + 0.045}{1 + 0.045}$$

$$\mu_r = 1,07655$$

Con los valores obtenidos y reemplazando en la Ecuación 8, se obtiene la presión de explosión:

$$P_z = 1.07655 * \frac{2614.8017}{1255.12} * 38.3803$$

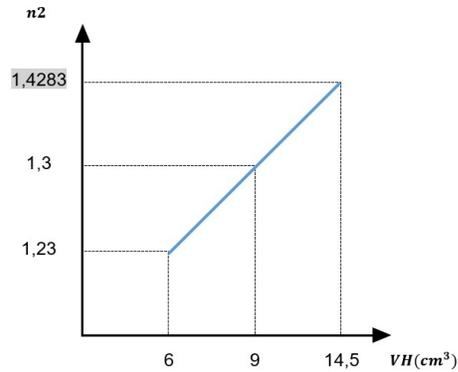
$$P_z = 86.0790 \text{ bar}$$

3.2.10. Presión de escape

Con los valores de la Tabla 5 se consigue el coeficiente adiabático mediante extrapolación para la relación de compresión de 14.5:1.

Figura 20

Coefficiente adiabático



Nota. La figura muestra la representación gráfica del cálculo del coeficiente adiabático n_2 .

$$n_2 = Y_1 + \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} (X - X_1)$$

$$n_2 = 1.3 + \frac{1.3 - 1.23}{9 - 6} (14.5 - 9)$$

$$n_2 = 1.4283$$

Al reemplazar los datos en la ecuación 10 se obtiene la presión de escape con un valor de:

$$P_b = \frac{87.3615}{14.5^{1.4283}}$$

$$P_b = 1.8883 \text{ bar}$$

3.2.11. Temperatura de escape

Se reemplaza los datos obtenidos en la Ecuación 4 y se consigue la temperatura de escape, así:

$$T_b = 2614.8017 * \frac{1}{14.5^{1.4283-1}}$$

$$T_b = 831.7372 \text{ } ^\circ K$$

3.2.12. Velocidad del fluido

Al usar la Ecuación 11 y la Tabla 8 se calcula la velocidad del fluido para 3000, 7250, 9000 y 13000 RPM, en donde se obtienen los resultados de la Tabla 9.

Tabla 9

Velocidad del fluido a diferentes rpm

RPM	Vf (m/s)
3000	3,1017
7250	7,4958
9000	9,3052
13000	13,4408

Nota. La tabla presenta la velocidad del fluido que se obtiene a diferentes revoluciones por minuto.

3.2.13. Resultados

En la Tabla 10 se presentan los parámetros de funcionamiento en cada tiempo del motor KTM 250 RC.

Tabla 10

Parámetros de funcionamiento del motor

Ciclo	Presión (bar)	Volumen (cm ³)	Temperatura (°K)	Ángulo de Giro del cigüeñal (°)
Ambiente	0.7018	0.0000	287.15	0
Admisión	0.6982	270.0934	331.0827	180
Compresión	38.3803	18.6271	1255.12	360
Expansión	86.0790	18.6271	2614.8017	540
Escape	1.8883	270.0934	831.7372	720

Nota. La tabla muestra los parámetros de funcionamiento del motor en los diferentes ciclos.

3.3. Diseño

Con el propósito de reducir costos y comprender el comportamiento de los gases de escape se emplea simulaciones basadas en Dinámica de fluidos Computacional (CFD), en donde el modelado 3D se realiza en SolidWorks el cual nos permite realizar un modelado dimensionalmente más preciso, resolver cálculos y ver los resultados de temperatura de salida de los gases de escape, además mediante Ansys se obtiene la velocidad y presión de salida de los gases de escape.

3.3.1. Parámetros de diseño

a. Longitud del tubo de escape

La longitud del modelo A se considera la distancia desde el múltiple de escape hasta la parte inferior del motor.

La longitud del modelo B se considera similar al modelo original de la Moto KTM 250 RC, desde el múltiple de escape hasta la parte posterior.

b. Diámetro del tubo de escape

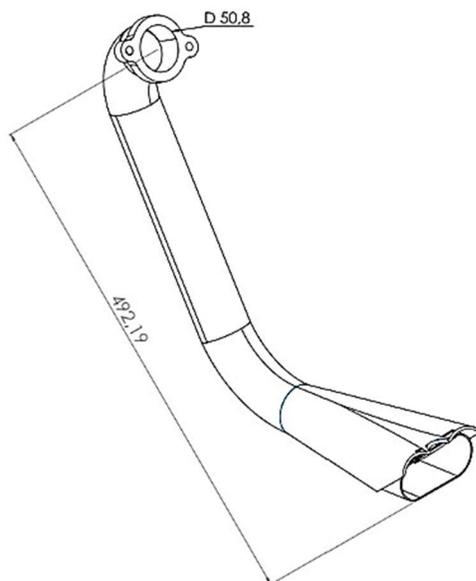
El diámetro del tubo primario de escape es de 50,8 mm por lo tanto los diseños deben tener el mismo diámetro tanto el modelo A como el modelo B.

3.3.2. Modelo A

Este modelo tiene un diámetro de 50,8 mm y una longitud de 492,19 mm

Figura 21

Sistema de escape modelo A



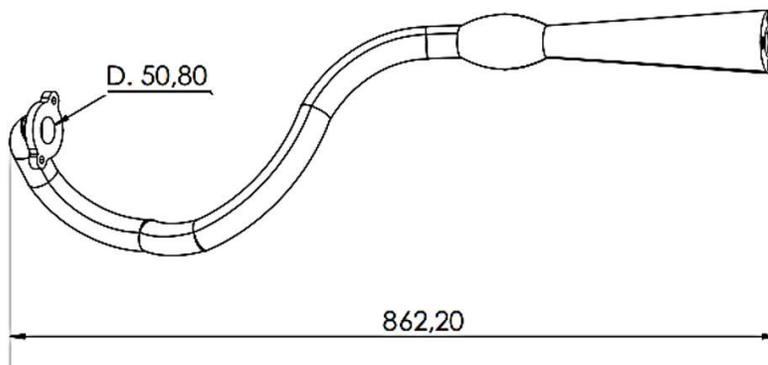
Nota. La figura muestra el sistema de escape del modelo A.

3.3.3. *Modelo B*

Modelo B tiene un diámetro de 50,8 mm y una longitud de 862,2 mm.

Figura 22

Sistema de escape modelo B



Nota. La figura muestra el sistema de escape del modelo B.

3.3.4. *Parámetros de simulación*

Los parámetros necesarios para la simulación en Ansys y SolidWorks son:

- El análisis se lo realiza en el interior de los Modelos de tubo de escape A y B.
- El fluido para la simulación es gas
- La presión y temperatura en el ciclo de escape se obtuvo mediante cálculos detallados en la Tabla 10.
- La velocidad de los gases de escape se la obtuvo mediante cálculos a diferentes RPM, Tabla 9.
- La gravedad para la simulación es $9,8 \frac{m}{s^2}$ predeterminada por el software de simulación.

Tabla 11

Parámetros de simulación

Parámetro	Descripción
Tipo de análisis	Interno
Fluido de análisis	Gas
Presión ciclo de escape	Tabla 10
Temperatura ciclo de escape	Tabla 10
Velocidad de los gases de escape a diferentes RPM	Tabla 9
Gravedad	$9,8 \frac{m}{s^2}$

Nota. La tabla presenta los parámetros necesarios para realizar la simulación en Ansys y SolidWorks.

3.4. **Simulación mediante Ansys**

La simulación en Ansys es la clave para analizar los resultados ya que se puede ver valores de velocidad y presión a diferentes RPM en este caso se tomó cuatro

valores diferentes de RPM 3000, 7250, 9000 y 13000, además la presión de escape de la Tabla 9, y la velocidad de gases de escape a diferentes rpm Tabla 10.

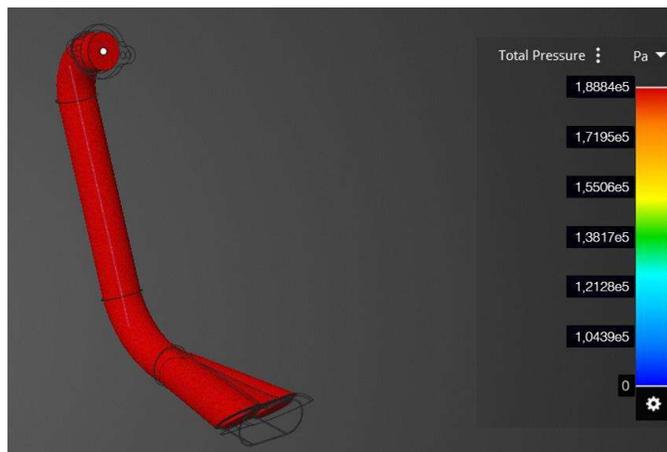
3.4.1. Presión de los gases de escape

a. Presión a 3000 rpm

La Figura 23 se tiene el análisis de presión a 3000 rpm del modelo A, en donde la presión mínima es de 1171952 pascales y la presión máxima es de 188845 pascales.

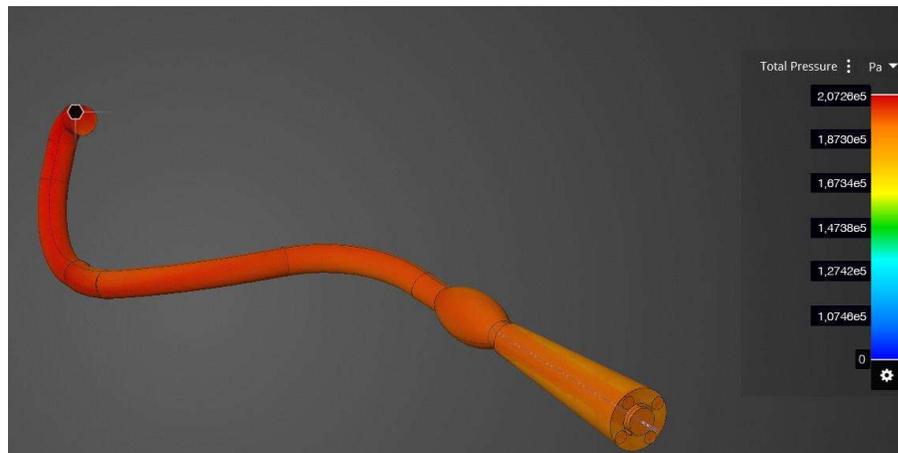
Figura 23

Análisis de la presión a 3000 rpm modelo A



Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 3000 rpm del modelo A.

La Figura 24 tiene el análisis de presión a 3000 rpm del modelo B, que tiene una presión mínima 207265 pascales y una máxima de 207265 pascales.

Figura 24*Análisis de la presión a 3000 rpm modelo B*

Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 3000 rpm del modelo B.

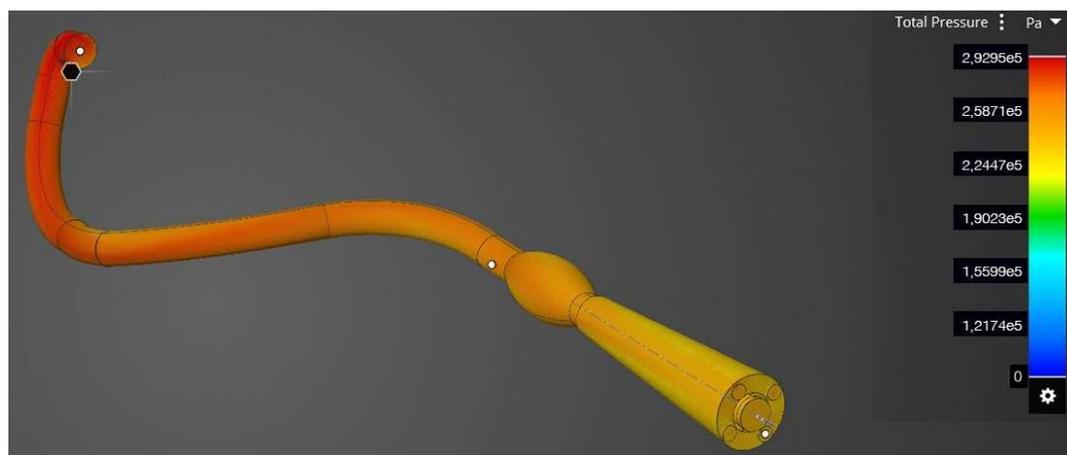
b. Presión a 7250 rpm

Para 7250 RPM se tiene en la Figura 25 el modelo A, donde la presión mínima es de 171988 pascales mientras que la presión máxima es de 188885 pascales.

Figura 25*Análisis de la presión a 7250 rpm modelo A*

Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 7250 rpm del modelo A.

La Figura 26 muestra el análisis de presión a 7250 rpm del modelo B, en donde la presión mínima es de 258715 pascales, mientras que la presión máxima es de 292955 pascales.

Figura 26*Análisis de la presión a 7250 rpm modelo B*

Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 7250 rpm del modelo B.

c. Presión a 9000 rpm

En la figura 27, el modelo A en 9000 rpm presenta una presión mínima es de 172010 pascales y una máxima de 188915 pascales.

Figura 27

Análisis de la presión a 9000 rpm modelo A

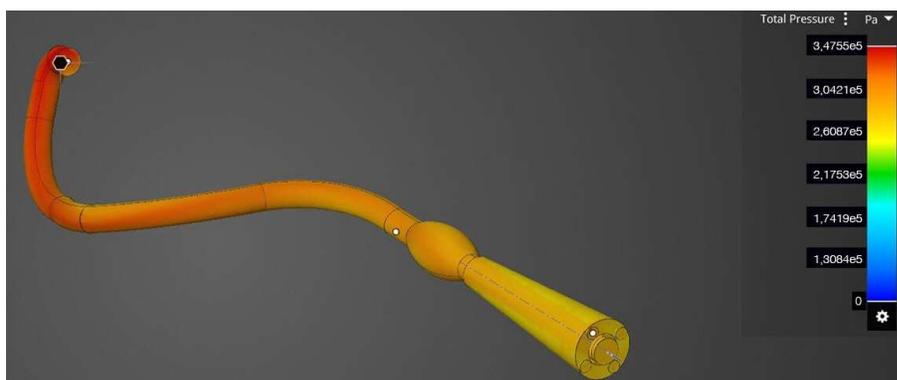


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 9000 rpm del modelo A.

En la siguiente figura, el modelo B a 9000 rpm tiene una presión con un valor mínimo de 304215 pascales y un valor máximo de 347555 Pascales.

Figura 28

Análisis de la presión a 9000RPM modelo B



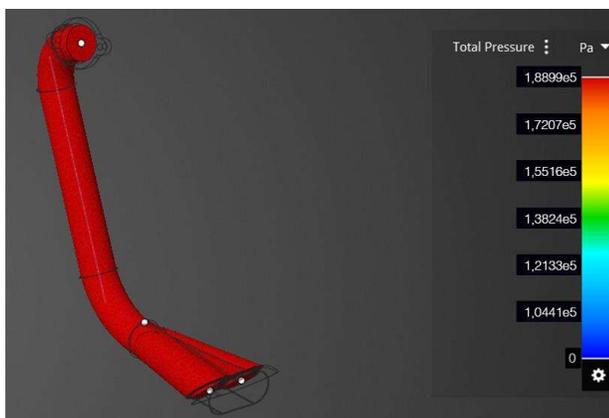
Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 9000 rpm del modelo B.

d. Presión a 13000 rpm

En la Figura 29 se muestra el modelo A, en donde las revoluciones por minuto tienen un valor de 13000 y la presión máxima alcanza un valor de 188995 pascales.

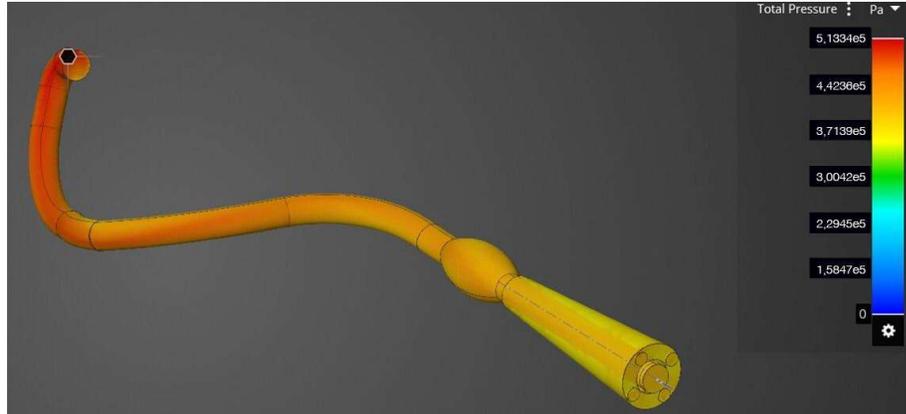
Figura 29

Análisis de la presión a 13000 rpm modelo A



Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 13000 rpm del modelo A.

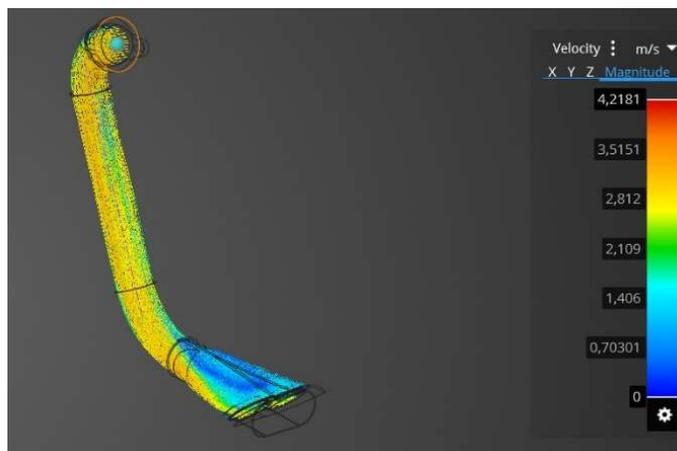
El modelo B a 13000 rpm de la Figura 30 muestra una presión máxima es de 513345 pascales.

Figura 30*Análisis de la presión a 13000 rpm modelo B*

Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 13000 rpm del modelo B.

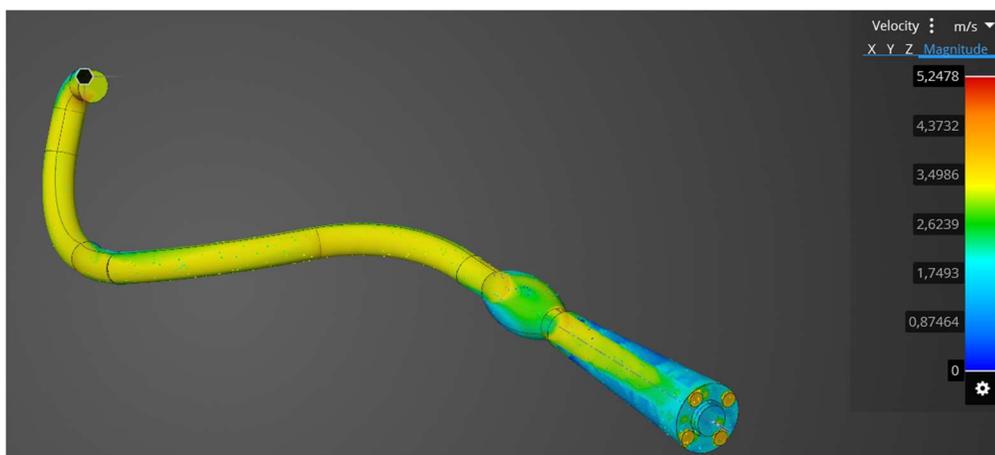
3.4.2. Velocidad resultante de los gases de escape**a. Velocidad resultante a 3000 RPM**

En la Figura 33 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 3000 RPM del modelo A, en donde la velocidad varía entre 2.82 m/s y 3.51 m/s.

Figura 31*Análisis de velocidad resultante a 3000 rpm modelo A*

Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 3000 rpm del modelo A.

En la Figura 34 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 3000 RPM del modelo B, en donde la velocidad varía entre 1.74 m/s y 3.49 m/s.

Figura 32*Análisis de velocidad resultante a 3000 RPM modelo B*

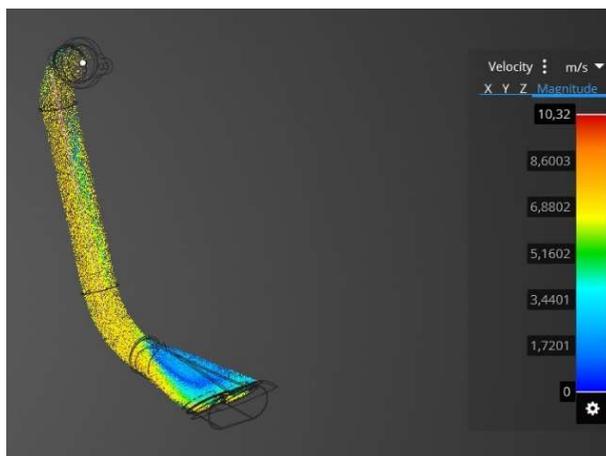
Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 3000 rpm del modelo B.

b. Velocidad resultante a 7250 rpm

En la Figura 35 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 7250 rpm del modelo A, en donde la velocidad varía entre 6.88 m/s y 8.60 m/s.

Figura 33

Análisis de velocidad resultante a 7250 rpm modelo A

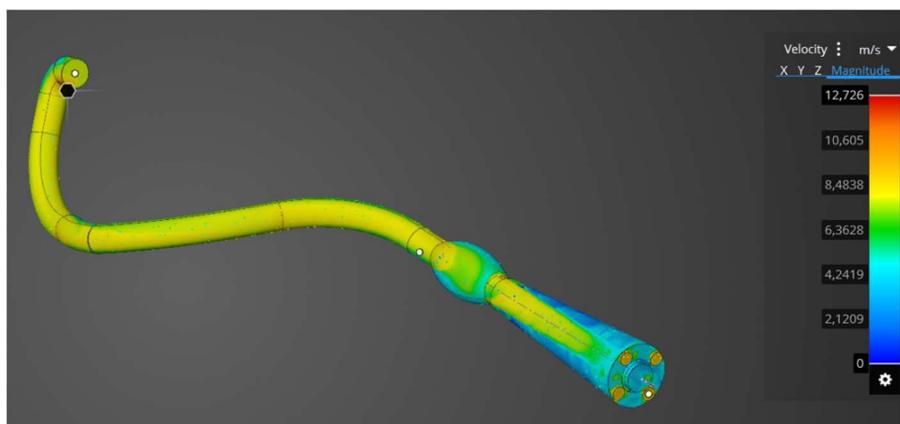


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 7250 rpm del modelo A.

En la Figura 36 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 7250 rpm del modelo B, en donde la velocidad varía entre 4.24 m/s y 8.48 m/s.

Figura 34

Análisis de velocidad resultante a 7250 rpm modelo B



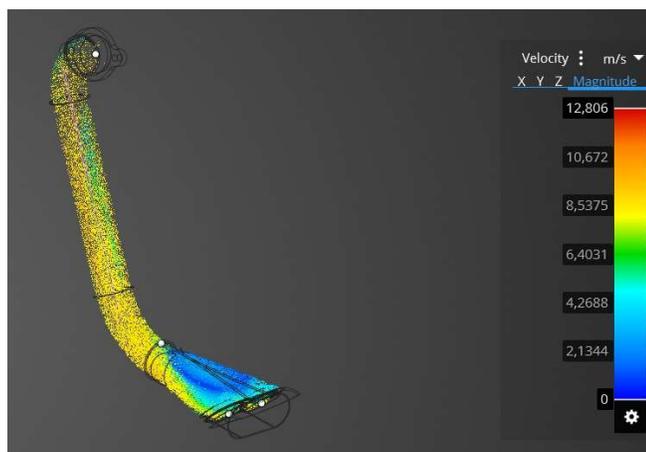
Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 7250 rpm del modelo B.

c. Velocidad resultante a 9000 rpm

En la Figura 37 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 9000 rpm del modelo A, en donde la velocidad varía entre 8.53 m/s y 10.67 m/s.

Figura 35

Análisis de velocidad resultante a 9000 rpm modelo A

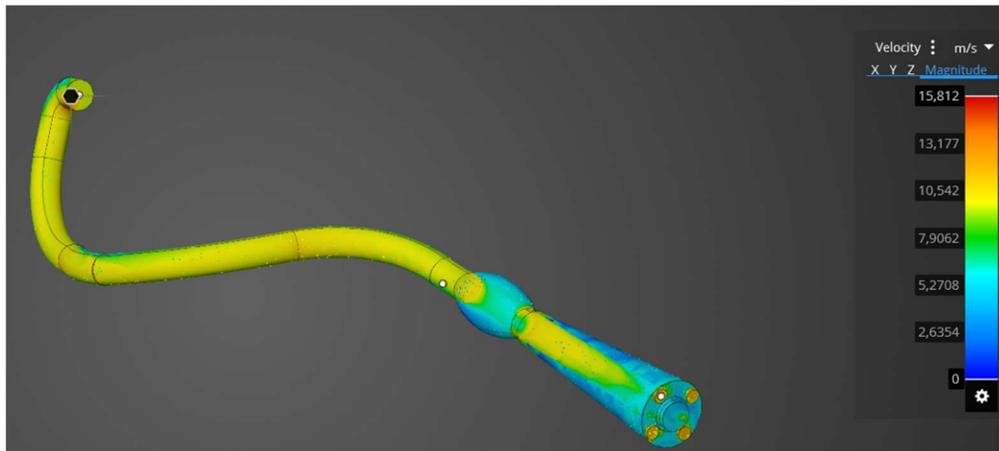


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 9000 rpm del modelo A.

En la Figura 38 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 9000 rpm del modelo B, en donde la velocidad varía entre 5.27 m/s y 10.53 m/s.

Figura 36

Análisis de velocidad resultante a 9000 rpm modelo B



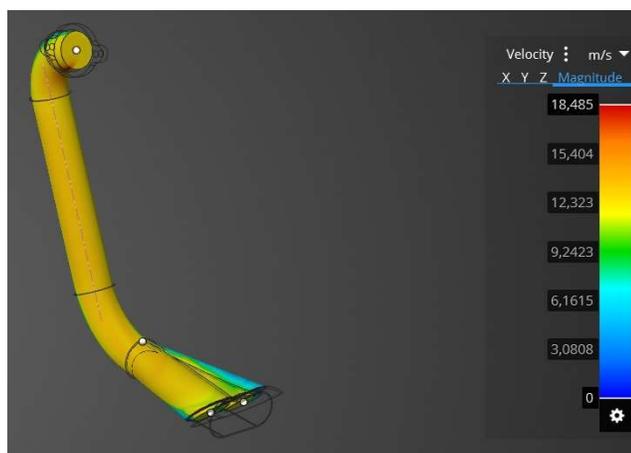
Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 9000 rpm del modelo B.

d. Velocidad resultante a 13000 rpm

En la Figura 39 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 13000 rpm del modelo A, en donde la velocidad varía entre 12.32 m/s y 15.40 m/s.

Figura 37

Análisis de velocidad resultante a 13000 rpm modelo A

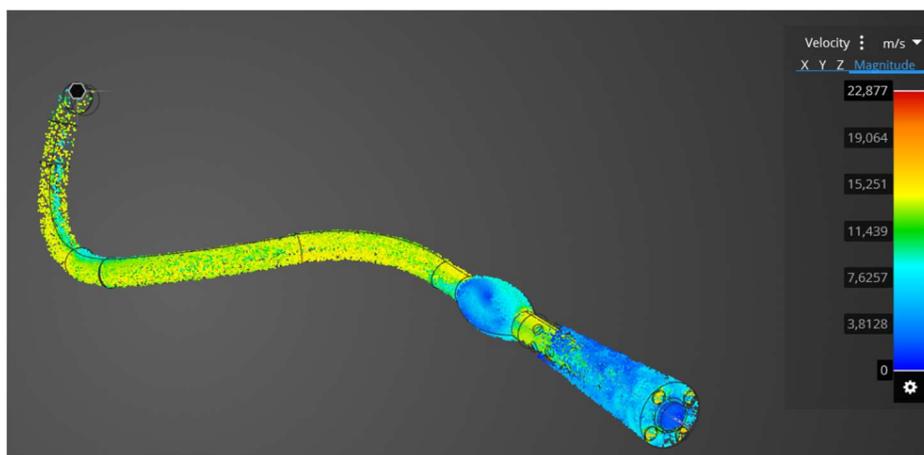


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 13000 rpm del modelo A.

En la Figura 40 se tiene el análisis de velocidad de los gases de escape a 13000 rpm del modelo B, en donde la velocidad varía entre 7.62 m/s y 15.25 m/s.

Figura 38

Análisis de velocidad resultante a 13000 rpm modelo B



Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 13000 rpm del modelo B.

3.5. Simulación mediante SolidWorks

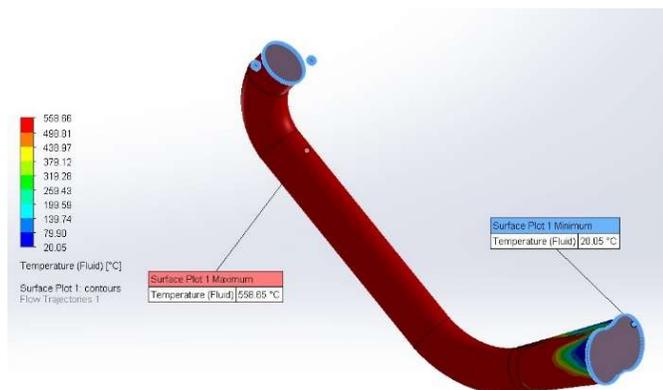
Este análisis se lo realiza a 13000 rpm mediante SolidWorks, para así determinar la distribución de temperatura en los dos modelos de tubo de escape y seleccionar el que tenga mejores resultados.

3.5.1. Temperatura de los gases de escape

La temperatura en el modelo A varía de 558,65 °C a 20,05 °C, debido a la longitud del tubo de escape, al ser más corto y con pocas secciones de curvatura hace que la temperatura disminuya con facilidad.

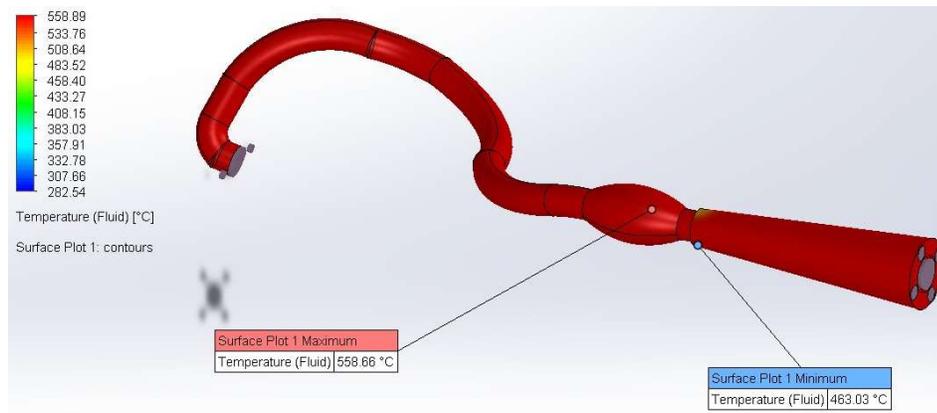
Figura 39

Análisis de temperatura a 13000 rpm modelo A



Nota. La figura muestra los resultados de análisis térmico del fluido a 13000 rpm del modelo A, en SolidWorks.

La tempera del modelo B varía de 558,66 °C a 463,03°C, debido a que la longitud es mayor y tiene más secciones de curvatura impidiendo que reduzca la temperatura con facilidad.

Figura 40*Análisis de temperatura a 13000 rpm modelo B*

Nota. La figura muestra los resultados de análisis térmico en SolidWorks del fluido a 13000 rpm del modelo B.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presión de los gases de escape

La Tabla 12, con los datos de las simulaciones muestra las presiones máximas en los modelos A y B en función a las revoluciones por minuto.

Tabla 12

Presión de los gases de escape

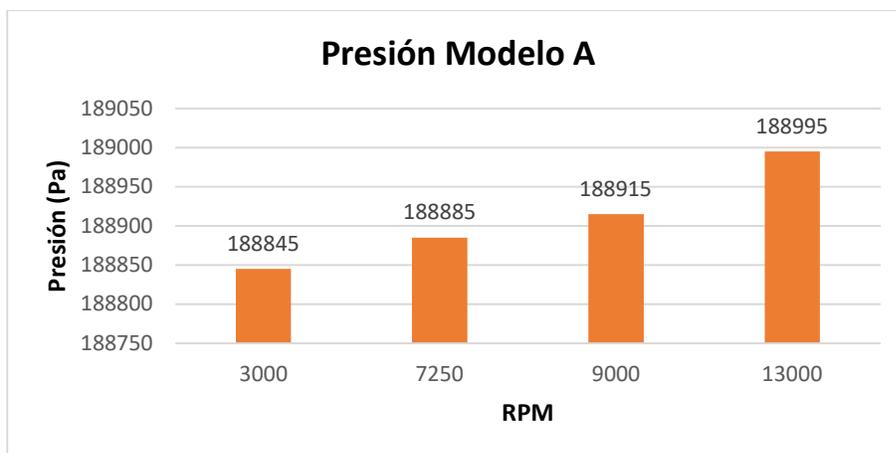
RPM	Presión (Pa)	
	Modelo A	Modelo B
3000	188845	207265
7250	188885	292955
9000	188915	347555
13000	188995	513345

Nota. En la tabla se muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a diferentes rpm de los dos modelos.

En la Figura 41, la presión del modelo A, varía de 13000 rpm a 9000 rpm un 0,04%, de 9000 rpm a 7250 rpm varía un 0,02 % al igual que de 7250 rpm a 3000 RPM. La variación existente entre altas bajas revoluciones por minuto es del 0,08%.

Figura 41

Presión modelo A

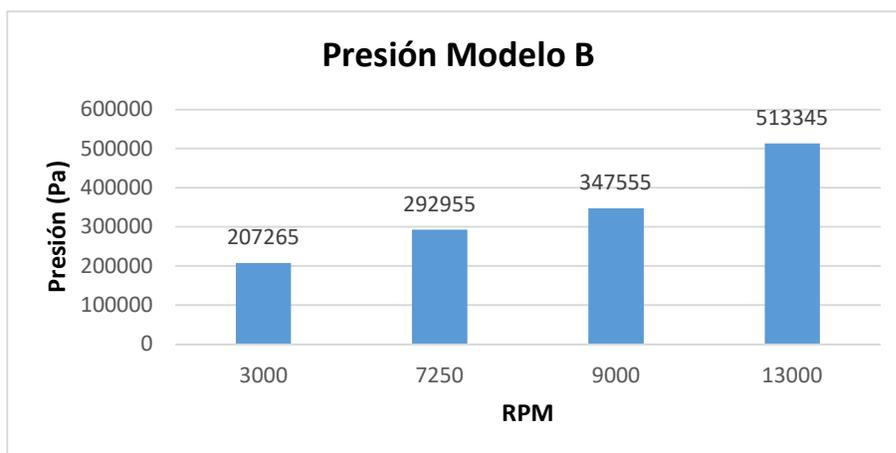


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a diferentes rpm del modelo A.

El modelo B presenta una presión con una variación del 33% en revoluciones de 13000 rpm a 9000 rpm, mientras que en revoluciones de 7250 rpm a 3000 rpm la variación es del 17%. Teniendo en cuenta que la variación de la presión entre altas y bajas revoluciones es del 60%.

Figura 42

Presión modelo B

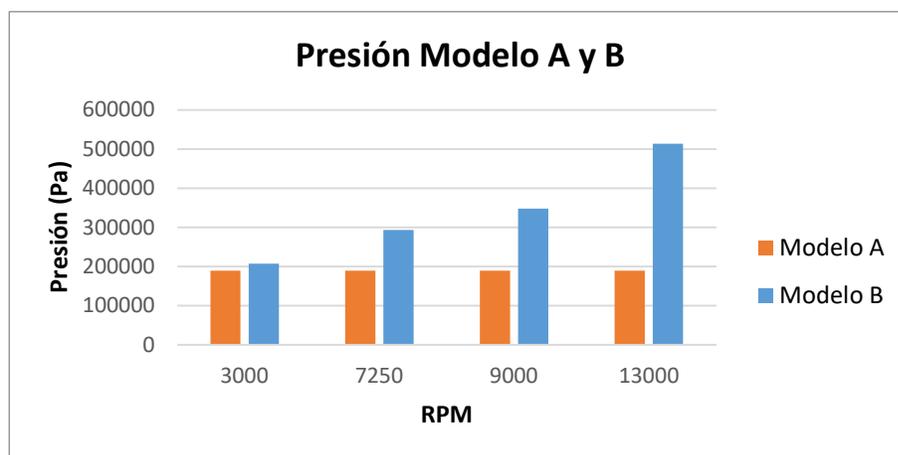


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 3000, 7250, 9000 y 13000 revoluciones por minuto del modelo B.

Al comparar las presiones de los modelos A y B, se tiene que la presión del modelo B es mayor en un 37% a 13000 RPM, en un 54 % a 9000 rpm, en un 64% a 7250 y 3000 revoluciones por minuto. Por tanto, la presión en el modelo A varía en un 0.08%, mientras que la presión del modelo B al aumentar las revoluciones aumenta en un 60%.

Figura 43

Presión de los gases modelo A y B



Nota. En la figura se muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a diferentes rpm de los dos modelos.

4.2. Temperatura de los gases de escape

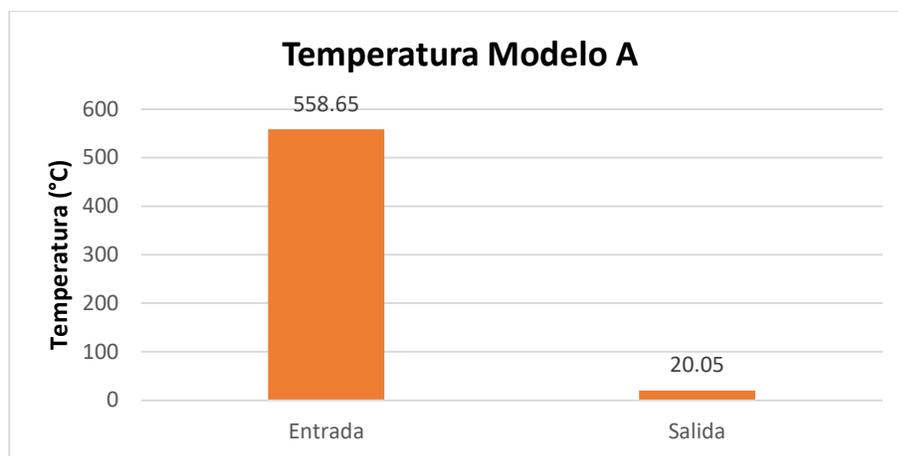
Tomando los datos de las simulaciones Figura 31 y 32, se tiene que la temperatura de los gases de escape en los modelos A y B, varían según la siguiente tabla.

Tabla 13*Temperatura de los gases de escape*

RPM	Temperatura (°C)		
	Máx./ Mín.	Modelo A	Modelo B
13000	Entrada	558,65	558,66
	Salida	20,05	463,03

Nota. En la tabla se muestra los resultados del análisis de temperatura en SolidWorks del fluido a diferentes rpm de los dos modelos.

La temperatura del Modelo A (figura 44), varía de 558,65 °C a 20 °C, siendo 96.42% mayor a la entrada del conducto.

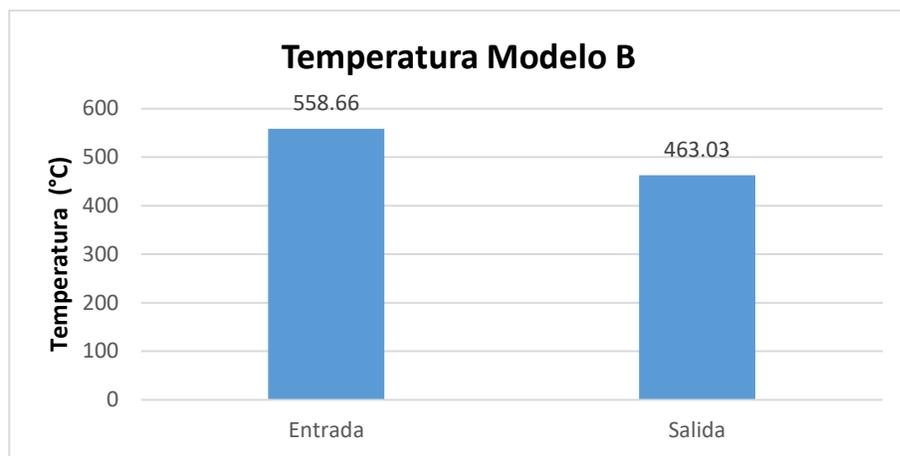
Figura 44*Temperatura modelo A*

Nota. El gráfico muestra los resultados del análisis de temperatura en SolidWorks del modelo A.

La Figura 45 muestra la temperatura del modelo B, con una variación de 558.66°C a 463.03°C, en donde la temperatura de entrada es mayor en un 17% a la temperatura de salida.

Figura 45

Temperatura modelo B

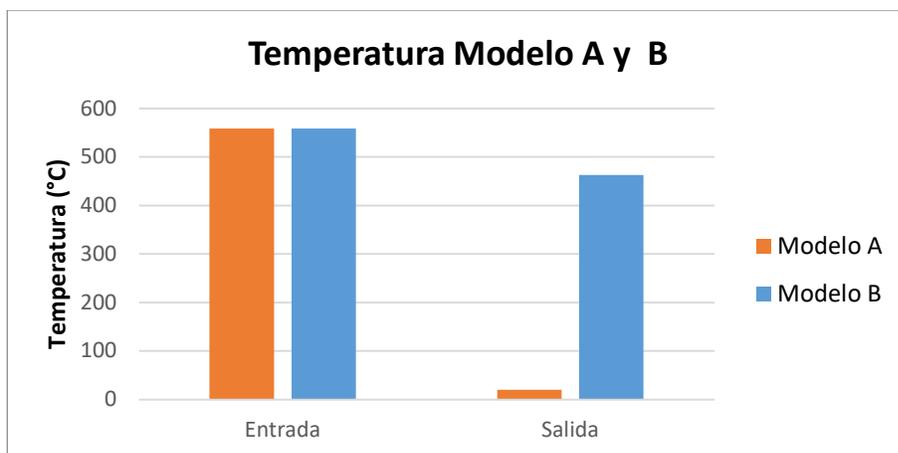


Nota. El gráfico muestra los resultados del análisis de temperatura en SolidWorks del modelo B.

Al comparar las temperaturas de los dos modelos (figura 46), se tiene que la temperatura de entrada es igual en ambos casos, mientras que al final del conducto la temperatura del modelo A es menor en un 97.5%.

Figura 46

Temperatura de los gases modelo A y B



Nota. El gráfico muestra los resultados del análisis de temperatura en SolidWorks de los dos modelos.

4.3. Velocidad resultante de los gases de escape

Con los datos de la simulación se obtiene la variación de la velocidad de los gases de escape del modelo A y B (Tabla 14).

Tabla 14

Velocidad de los gases de escape

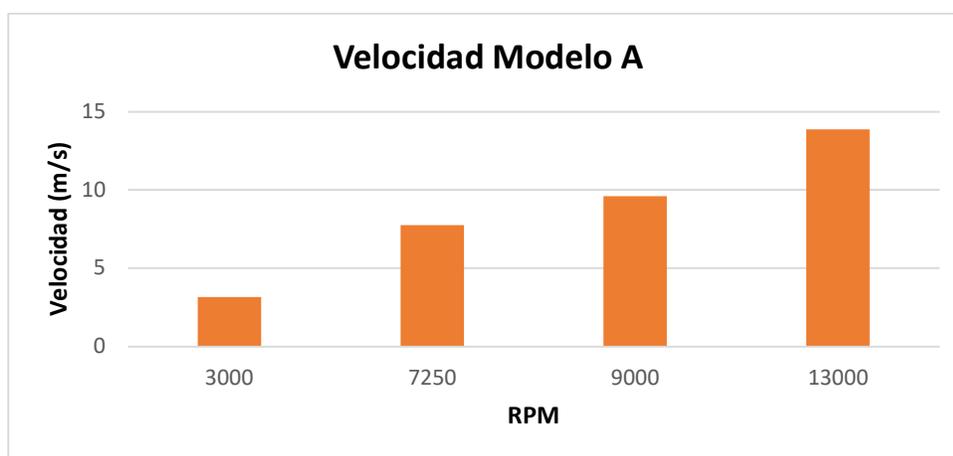
RPM	Velocidad resultante (m/s)	
	Modelo A	Modelo B
3000	3,16355	2,6239
7250	7,74025	6,3628
9000	9,6048	7,9063
13000	13,8635	11,4386

Nota. En la tabla se muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a diferentes rpm de los dos modelos

La velocidad del modelo A (figura 47) varía según las revoluciones dando como resultado que de 13000 rpm a 9000 rpm la velocidad se diferencia en un 30.71 %, de 7250 rpm a 3000 rpm la velocidad varía un 33%. La variación entre bajas y altas revoluciones es de 77%.

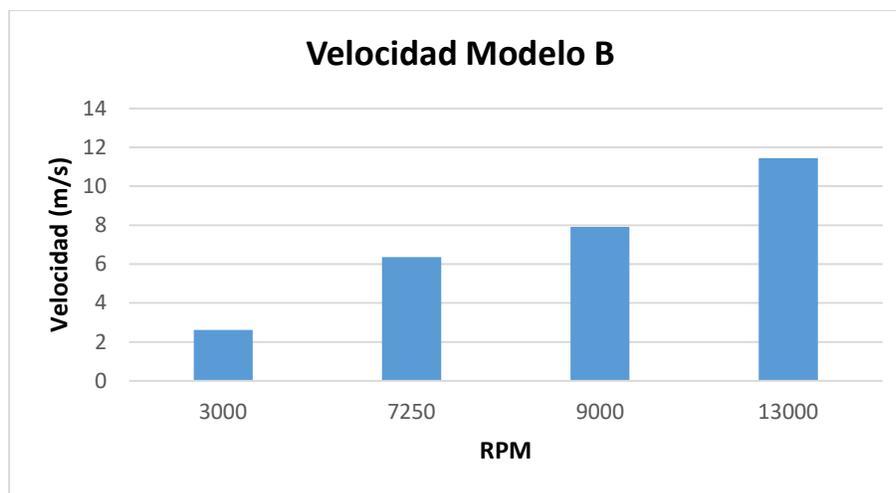
Figura 47

Velocidad modelo A



Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a diferentes rpm del modelo A.

La Figura 48 muestra la variación de velocidad del modelo B, en donde la velocidad a 13000 rpm es mayor en un 31% en comparación con la velocidad a 9000 rpm, además la variación entre la velocidad del fluido a 7250 rpm es mayor en un 30,1% en comparación con la velocidad del fluido a 3000 rpm. La variación entre la velocidad a bajas revoluciones y altas revoluciones es del 74.5 %. La velocidad a la que llega el fluido a 13000 rpm es de 11.4385 m/s.

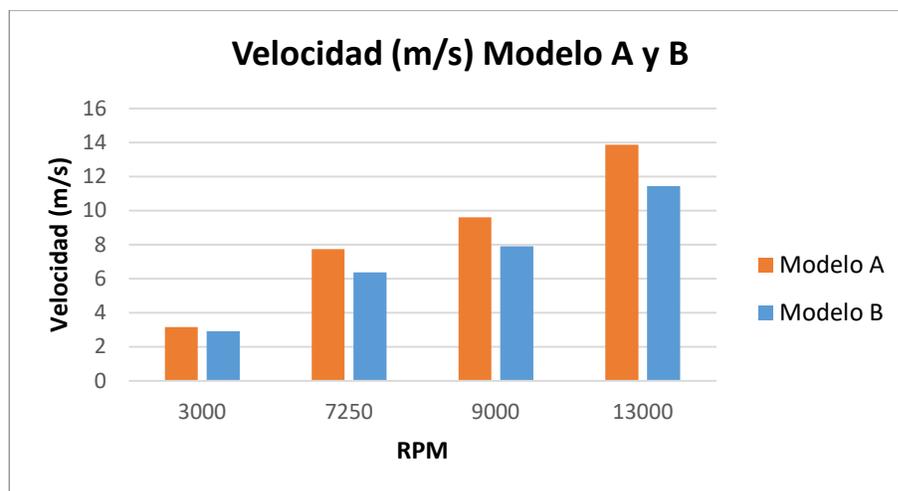
Figura 48*Velocidad modelo B*

Nota. El grafico presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a diferentes rpm del modelo B.

La figura 49 muestra la comparación de las velocidades de ambos modelos en diferentes revoluciones por minuto, por lo que a 13000 rpm la velocidad con la que los gases son expulsados en el modelo A varía en un 17.5% en comparación con el modelo B. Las velocidades del modelo A varían entre 3.1635 m/s y 13.8635 m/s mientras que las velocidades en el modelo B varían de 2.5 m/s y 11.4385 m/s. Obteniendo así que el modelo A es el más idóneo para que los gases de escape sean liberados.

Figura 49

Velocidad de los gases modelo A y B



Nota. En la tabla se muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a diferentes rpm de los dos modelos

4.4. Análisis por RPM

En el análisis por revoluciones se compara los dos modelos a 3000, 7250, 900 y 13000 revoluciones por minuto.

a. A 3000 rpm

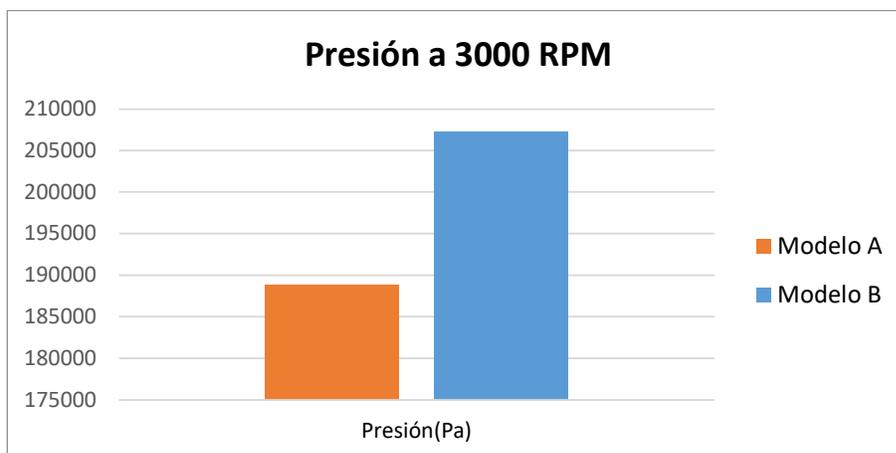
El análisis realizado a 3000 rpm en los tubos de escape A y B da como resultado (tabla 15) velocidades que varían entre 3,1636 m/s y 2,9155 m/s mientras la presión varía de 188845 pascales y 207265 pascales.

Tabla 15*Análisis a 3000 rpm*

Modelo	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
A	3,1636	188845
B	2,9155	207265

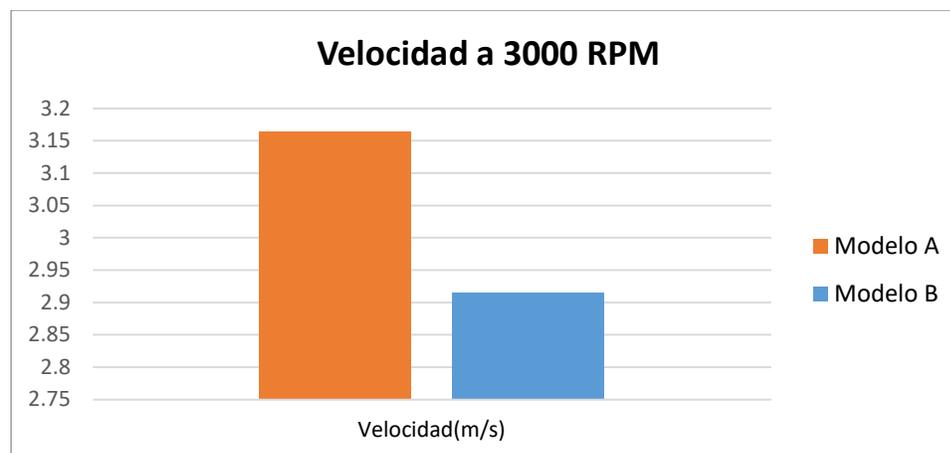
Nota. En la tabla se muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad y presión del fluido a 3000 rpm de los dos modelos.

La Figura 50 muestra, la presión a 3000 rpm del modelo B es mayor en un 9% en comparación con el modelo A.

Figura 50*Presión a 3000 rpm*

Nota. La figura presenta los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 3000 rpm de los dos modelos.

En la Figura 51, el análisis a 3000 rpm da como resultado que la velocidad del gas de escape del modelo A es mayor en un 7.8 % en comparación con el modelo B.

Figura 51*Velocidad a 3000 rpm*

Nota. La figura presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 3000 rpm de los dos modelos.

b. A 7250 rpm

En la Tabla 16 se muestran los datos obtenidos en el análisis realizado a 7250 rpm en los modelos A y B, en donde da como resultado velocidades que varían entre 7,74025 m/s y 6,3628 m/s mientras la presión varía de 188885 pascales y 292955 pascales.

Tabla 16*Análisis a 7250 rpm*

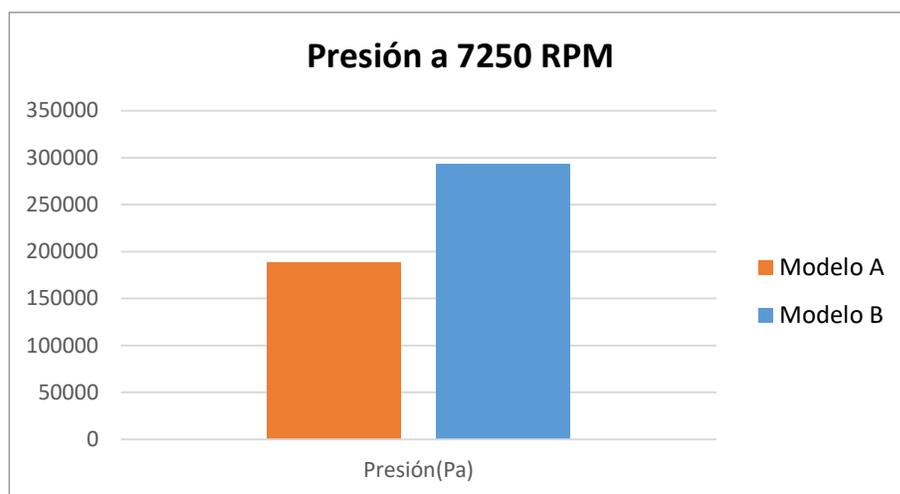
Modelo	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
A	7,74025	188885
B	6,3628	292955

Nota. La tabla presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad y presión del fluido a 7250 rpm de los dos modelos.

Al analizar la presión a 7250 rpm se tiene que la presión del modelo B es mayor en un 35.5% comparado con la presión del modelo A (figura 52).

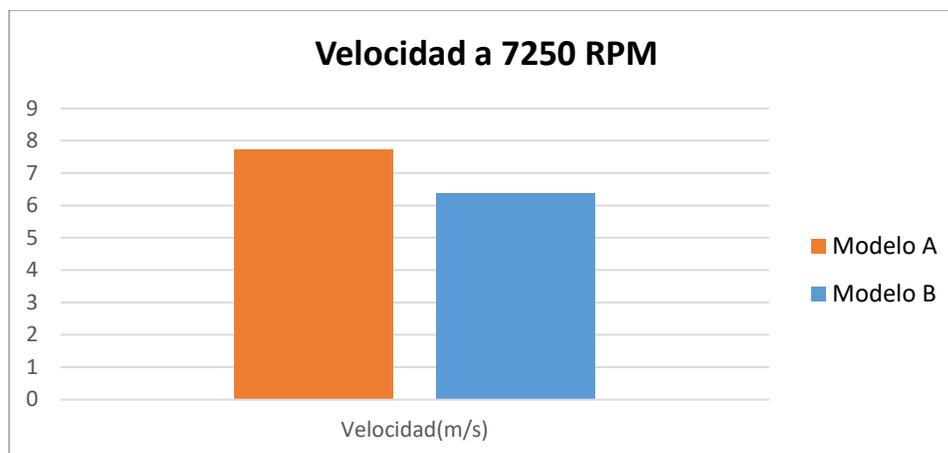
Figura 52

Presión a 7250 rpm



Nota. La figura presenta los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 7250 rpm de los dos modelos.

En la Figura 53, se muestra el análisis de la presión a 7250 rpm, la velocidad de los gases de escape del modelo A es mayor en un 17.8% en comparación con el modelo B.

Figura 53*Velocidad a 7250 rpm*

Nota. La tabla presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 7250 rpm de los dos modelos.

c. A 9000 rpm

El análisis realizado a 9000 rpm en los tubos de escape A y B da como resultado (tabla 17) velocidades que varían entre 9,6047 m/s y 7,9063 m/s mientras la presión varía de 188915 pascales y 347555 pascales.

Tabla 17*Análisis a 9000 rpm*

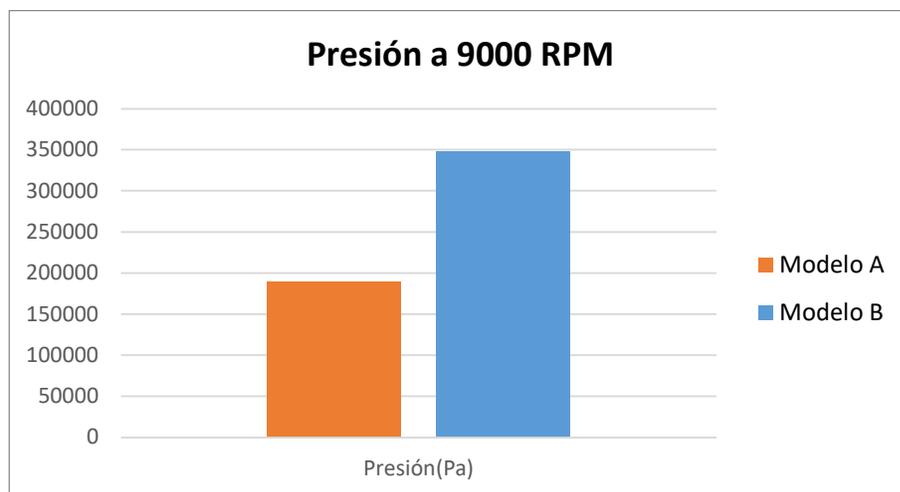
Modelo	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)
A	9,6047	188915
B	7,9063	347555

Nota. La tabla presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad y presión del fluido a 9000 rpm de los dos modelos.

La Figura 54 presenta la presión de los gases de escape a 9000 rpm, en donde el modelo B es mayor en un 45.5 % comparado con el modelo A.

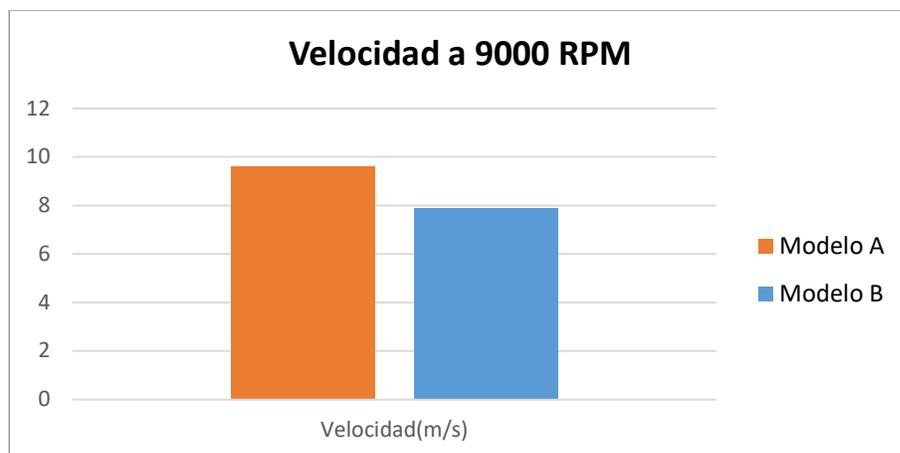
Figura 54

Presión a 9000 rpm



Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 9000 rpm de los dos modelos.

En la Figura 55, el análisis a 9000 rpm da como resultado que la velocidad del gas de escape del modelo A es mayor en un 17.68 % en comparación con el modelo B.

Figura 55*Velocidad a 9000 rpm*

Nota. La figura presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 9000 rpm de los dos modelos.

d. A 13000 rpm

El análisis realizado a 13000 rpm en los tubos de escape A y B da como resultado (tabla 18) velocidades que varían entre 13,8635 m/s y 11,4386 m/s mientras la presión varía de 188995 pascales y 513345 pascales, además el descenso de temperatura es de 530,6° y 95,63 °C.

Tabla 18*Análisis a 13000 rpm*

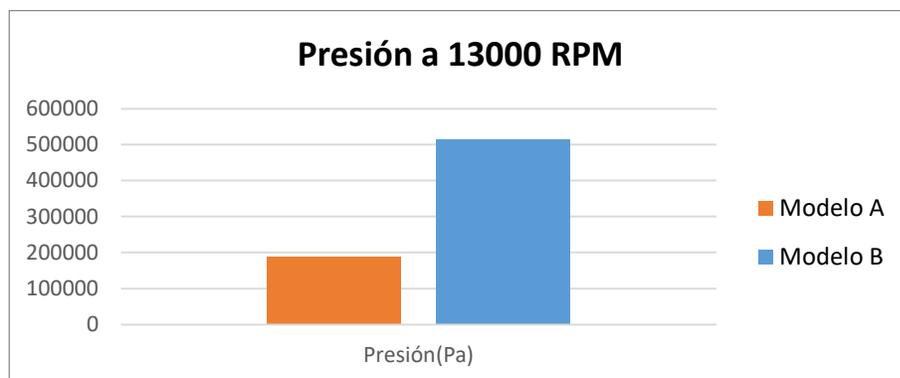
Modelo	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)	Temperatura (°C)
A	13,8635	188995	538,6
B	11,4386	513345	95,63

Nota. La tabla presenta los resultados de simulación CFD de la velocidad y presión del fluido a 13000 rpm de los dos modelos.

La Figura 56 presenta la presión de los gases de escape a 13000RPM, en donde el modelo B es mayor en un 63 % comparado con el modelo A.

Figura 56

Presión a 13000 rpm

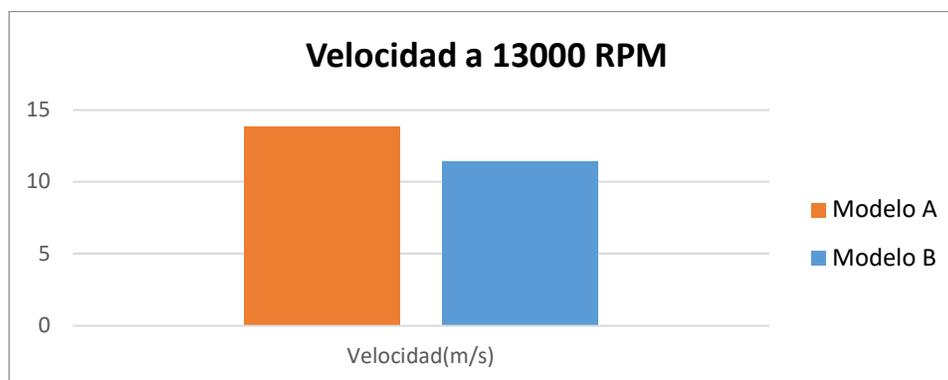


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 13000 rpm de los dos modelos.

En la Figura 57, el análisis a 13000 rpm da como resultado que la velocidad del gas de escape del modelo A es mayor en un 17.49 % en comparación con el modelo B.

Figura 57

Velocidad a 13000 rpm

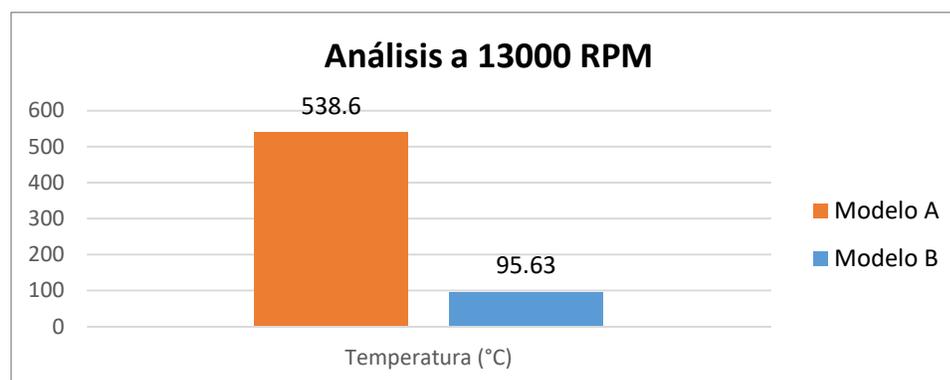


Nota. La figura muestra los resultados de simulación CFD de la velocidad del fluido a 13000 rpm de los dos modelos.

En la Figura 58, el análisis a 13000 rpm da como resultado un descenso en la temperatura del gas de escape del modelo A siendo mayor en un 17.75 % en comparación con el modelo B.

Figura 58

Temperatura a 13000 rpm



Nota. El gráfico presenta los resultados de simulación CFD de la presión del fluido a 7250 rpm de los dos modelos.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO.

5.1. Recursos

Para el desarrollo de la presente investigación se establecieron metas y objetivos a ser cumplidas, por lo que se requiere recursos humanos, tecnológicos y financieros.

5.1.1. Recursos humanos.

Los recursos humanos involucrados durante las fases de la investigación hasta su finalización son detallados en la Tabla 19.

Tabla 19

Recursos humanos

Ord.	Descripción	Función
1	Barahona Córdova Juan Francisco	Investigador
2	Barros Velásquez Josué Abraham	Investigador
3	Ing. Luis Antonio Mena Navarrete	Director del proyecto de titulación

Nota. La tabla presenta los involucrados en la presente investigación

5.1.2. Recursos tecnológicos.

Para el desarrollo de la investigación se tienen los recursos tecnológicos, los cuales se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20*Recursos tecnológicos*

Ord.	Descripción
1	Software CAD
2	Software CFD
3	Internet
4	Documentos Digitales
5	Manuales
6	Computadoras Portátiles

Nota. La tabla presenta los recursos tecnológicos de la investigación.

5.1.3. Recursos financieros

El costo total de la investigación es autofinanciado por los investigadores, teniendo un valor de \$ 2400.

Tabla 21*Recursos Financieros*

Ord.	Detalle	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Materiales	1	200	200
2	Documentación	1	100	100
3	Imprevistos	3	100	300
4	Asesoría de Ansys	2	200	400
5	Costos de instalación de Software	2	100	200
6	Laptop- procesador Intel Core i7	1	1200	1200
Total				2400

Nota. La tabla presenta los recursos financieros de la investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Los parámetros de flujo más influyentes en el sistema de escape son la velocidad, presión y temperatura del fluido.
- Con los datos del manual del motor KTM 250 RC se calculó la presión y temperatura de escape que tienen un valor de 1,8883 bar y 831,7372 °K que representan un punto de partida para la simulación en el software de Ansys y SolidWork y así llegar al análisis de la presión y temperatura total del sistema de escape.
- En la realización del diseño de escape en el software SolidWorks el modelo A fue elegido según parámetros de diseño como son la longitud y forma para la optimización de espacio en el ensamblaje de la moto.
- En el estudio de presión de gases de escape en el software Ansys a 13000 revoluciones por minuto del modelo A es menor en un 63% al modelo B reduciendo las posibilidades de aumentar la temperatura en el sistema de escape ya que la presión y temperatura son directamente proporcionales por lo tanto en presión es mejor el modelo A.
- En el análisis realizado en el software Ansys, se obtiene que a 13000 rpm en los tubos de escape A y B da como resultado velocidades de 13,8635 m/s y 11,4386 m/s respectivamente, por lo cual el modelo A evacua los gases con más facilidad debido a su longitud, ya que este modelo al ser más corto y con pocas secciones de curvatura hace que se liberen los gases de escape de una forma más rápida.
- A 13000 revoluciones por minuto, el descenso de temperatura en el recorrido del sistema de escape del modelo A es de 558,65°C a 20,05°C y en el modelo B es

de 558,66°C a 463,03°C; constatando que el modelo A es mejor que el modelo B puesto que el gas al final del recorrido se aproxima a una temperatura ambiente.

- Luego del análisis realizado en el software de Ansys y SolidWorks el modelo A es el más adecuado para implementar en la construcción de la moto ya que la presión, temperatura y velocidad de gases de escape son mejores que el modelo B.

Recomendaciones

- En la primera etapa de la competencia piden 3 o más diseños de tubo de escape, es recomendable hacer un diseño similar al original y los otros 2 diseños de diferente forma y tamaño.
- Buscar una moto KTM 250 RC 2018 en ciudades cercanas de Latacunga para observar y analizar cómo es el sistema de escape de la moto.
- Encontrar el manual correcto del motor KTM 250 RC 2018 ya que existen manuales de otros años con diferentes datos.
- Crear un programa en Excel con los cálculos de presión y temperatura en los 4 tiempos: admisión, compresión, explosión y escape.
- Utilizar un sistema de unidad de medida para evitar errores en los cálculos de presión y temperatura de cada ciclo.
- Ser minucioso en el cálculo de extrapolación de la velocidad de mezcla, restricción al sistema de admisión, coeficiente de gases residuales, temperatura de gases residuales, coeficiente politrópico y coeficiente adiabático ya que los datos están asociados para el cálculo del siguiente parámetro.
- Hacer una base de datos en Excel de la velocidad de fluido, presión y temperatura para obtener los gráficos de barras de comparación de los dos escapes del análisis de resultados
- Realizar pruebas en el dinamómetro cuando la moto esté construida en su totalidad con todos los sistemas para un mejor análisis.
- Emplear un estudio de sonoridad del sistema de escape ya que el reglamento de la V Competencia Internacional Moto Student tiene un valor en decibeles que no se puede superar.

- Añadir pruebas referentes a las emisiones permitidas de los gases de escape según los protocolos de prueba de la norma INEN 136
- Investigar el uso de materiales para la creación de sistemas de escape

BIBLIOGRAFÍA

- Moto Engineering Foundation . (2020). *Moto Engineering Foundation* . Recuperado el 17 de Marzo de 2021, de Moto Engineering Foundation Web Site:
<http://www.fundacionmef.org/>
- Arvin Replacement Products S.A. (13 de Julio de 2015). *fdocuments*. Recuperado el 05 de Marzo de 2021, de Ecuador Documents Web site:
<https://fdocuments.ec/document/tecnica-del-convertidor-catalitico.html>
- CeMCAQ. (2020). *www.cemcaq.mx*. (C. d. Querétaro, Editor) Recuperado el 7 de Marzo de 2021, de CeMCAQ Web site: <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/bioxido-de-carbono-co2>
- CIFPSOMESO. (2021). © *Xunta de Galicia*. Recuperado el 07 de Marzo de 2021, de © Xunta de Galicia:
[https://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASE S.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/cifpsomeso/system/files/ANALISIS+DE+GASE+S.pdf)
- Copyright © Robert Bosch GmbH. (2005). *Manual de la técnica del automóvil* (Cuarta ed.). (S. D. GmbH, Trad.) Germany, Germany, Alemania: REVERTÉ S.A.
- Díaz, S., & Soto, H. (2019). Evaluación preliminar de emisiones de plomo en automóviles. *Revistas Científicas Universidad Santiago de Chile*, 25. Recuperado el 09 de Marzo de 2021, de
<http://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/contribuciones/article/view/4140/26003209>
- Echeverría, A., & Suárez, J. (2013). Diseño análisis y construcción de un chasis y carenado de un prototipo de motocicleta para la competencia motostudent. 1-3.
- Edicions UPC. (2005). *Motores alternativos de combustión interna* (Primera ed.). (U. A. Cataluña, Ed.) Barcelona, Cataluña, España: Edicions UPC. doi:B-36812-2005
- Ganesan, V. (2012). *Internal Combustion Engines*. (Cuarta ed.). New Delhi, India: Tata McGraw Hill Education.

- Gillieri, S. (2005). Colectores y tubos de escape. En S. Gillieri, *Preparación de motores de serie para competición* (págs. 239-249). Barcelona, España: CEAC técnico automovil.
- Gobierno regional de Castilla. (31 de Agosto de 2015). *Copyright © Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*. Recuperado el 07 de Marzo de 2021, de Copyright © Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha Web site: <http://pagina.jccm.es/medioambiente/rvca/calidad/nox.htm>
- González, D. (2015). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos* (Primera ed.). Madrid, España: Paraninfo, S.A. Recuperado el 05 de Marzo de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=OOPXBgAAQBAJ&printsec=frontcover&q=motor+de+dos+tiempos+y+cuatro+tiempos+libro&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjh8oOi5ZfvAhUp01kKHSuGAXcQ6AEwBnoECAgQAg#v=onepage&q=motor%20de%20dos%20tiempos%20y%20cuatro%20tiempos%20libro&f=false>
- González, D. (2018). *Motores* (Segunda ed.). Madrid, España: Ediciones Paraninfo. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de https://books.google.com.ec/books?id=HxJMDwAAQBAJ&printsec=frontcover&q=motores+de+combustion+interna&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwji2M-J_ZfvAhUIKKwKHb2XDDEE4FBD0ATACegQIAxAC#v=onepage&q&f=false
- Grupo Industrial UMO. (2021). *UMO Grupo industrial S.A.* (S. Online, Editor) Recuperado el 09 de Marzo de 2021, de UMO Web site: <http://umo.com.co/page/11/?id=search>
- Jóvaj, M. (1982). *Motores de automóvil*. (A. Luueña, Trad.) Moscú, Rusia: MIR.
- Navarro, M. (09 de Marzo de 2016). *docplayer.es*. Recuperado el 07 de Marzo de 2021, de DocPlayer Web site: <https://docplayer.es/10226761-Introduccion-4-fuente-de-emisiones-contaminantes-componentes-de-los-gases-de-escape.html>
- Pesis, H. (2015). *Motos: Motores de 2 y 4 tiempos*. Buenos Aires, Argentina: USERS.
- Tang, D. (2014). *Automobile Exhaust Pollution and Purification Methods*. Savonia University of Applied Sciences, Programa de Grado en Gestión Industrial. Savonia. Obtenido de Theseus.

Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, Á. (2005). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. (C. Agudelo, Ed.) *Revista Salud Pública*, 3. Recuperado el 07 de Marzo de 2021, de <https://www.scielosp.org/article/rsap/2006.v8n1/108-117/es/>

Universidad Nacional de la Plata [UNLP]. (01 de Agosto de 2019). *StuDocu*. Cátedra de Motores Alternativos, Universidad Nacional de la Plata, Departamento de Aeronáutica, La Plata. Recuperado el 04 de Marzo de 2021, de StuDocu Web site: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-la-plata/motores-alternativos/apuntes-de-clase/arquitectura-de-motores-alternativos/4587987/view>

ANEXOS