



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS COLECTORES DE
ADMISIÓN DE GEOMETRÍA VARIABLE SOBRE LAS EMISIONES
DE GASES DE ESCAPE EN UN MOTOR MONOCILÍNDRICO 4
TIEMPOS”**

AUTORES:

CAJAS LÓPEZ, ADRIÁN SANTIAGO

MENESES CHALCUALÁN, RUTH IRENE

LATACUNGA

2019



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

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL EFECTO DE LOS COLECTORES DE ADMISIÓN DE GEOMETRÍA VARIABLE SOBRE LAS EMISIONES DE GASES DE ESCAPE EN UN MOTOR MONOCILÍNDRICO 4 TIEMPOS”** fue realizado por los señores **Cajas López, Adrián Santiago** y **Meneses Chalcualán, Ruth Irene**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizando la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 17 de Julio del 2019



Ing. Luis Mena Navarrete

C.C.:1801618644

DIRECTOR DEL PROYECTO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, ***Cajas López, Adrián Santiago*** y ***Meneses Chalcualán, Ruth Irene***, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“Análisis del efecto de los colectores de admisión de geometría variable sobre las emisiones de gases de escape en un motor monocilíndrico 4 tiempos”*** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Latacunga, 17 de Julio del 2019

Cajas López Adrián Santiago

C.C.: 1717095747

Meneses Chalcualán Ruth Irene

C.C.:1725516734



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, ***Cajas López Adrián Santiago*** y ***Meneses Chalcualán Ruth Irene***, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***“Análisis del efecto de los colectores de admisión de geometría variable sobre las emisiones de gases de escape en un motor monocilíndrico 4 tiempos”*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son nuestra responsabilidad.

Latacunga, 17 de Julio del 2019



Cajas López Adrián Santiago

C.C.: 1717095747



Meneses Chalcualán Ruth Irene

C.C.:1725516734

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a mis padres Adriana López y Santiago Cajas quienes han sabido ser mi apoyo incondicional en los momentos más difíciles de mi vida universitaria y que con su esfuerzo y sabiduría me ayudaron a superar distintas etapas para llegar a este momento tan especial.

A mi hermano Andrés Sebastián mi fuente de inspiración y de lucha diaria, quien me ha demostrado que nada es imposible cuando uno se lo propone, por ser un luchador ante los obstáculos que se presentan en la vida diaria.

A mi hermano José Carlos que me apoyo de una manera incondicional durante todos estos años universitarios y que mi esfuerzo sea el ejemplo para que llegue a ser un excelente profesional y que se esfuerce a diario por cumplir sus metas.

A mis abuelitos Hilda y José quienes supieron aconsejarme y guiarme en los momentos donde más solo me sentía y quienes han dedicado tiempo de su vida para criarme y educarme hasta convertirme la persona que soy ahora, a mis abuelitos María Ignacia y Reginaldo quienes me cuidan desde el cielo.

A mis tíos, tías, primos, primas que supieron estar conmigo en los momentos de soledad y quienes me hicieron sentir como en casa cada día, cada noche que compartí con ellos en una ciudad ajena.

Adrián Cajas

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mi Padre que está en las alturas de los cielos, a mi Dios, que ha estado conmigo en las alegrías, tristezas, en la soledad de mi habitación escuchándome cada vez que lo necesitaba aún sin merecerlo.

A mi padre Vicente Meneses que me ha apoyado en cada decisión que he tomado durante toda mi vida académica, y ha pedido a Dios por mi vida, salud y, sobre todo, por sabiduría y entendimiento con sus oraciones diarias y preocupación constante.

A mi madre Irene Chalcualán por darme todo su amor, paciencia, apoyo incondicional y estar ahí cada vez que la he necesitado, dándome palabras de aliento, fuerza y orando por mi salud y bienestar; incluso, cuando ella ya no podía más.

A mi hermano Edwin Meneses por cuidarme y mimarme desde pequeña, hacerme reír y jugar conmigo, enseñándome con el ejemplo a ser prudente con mis actos, por su preocupación en cada momento de mi vida universitaria lejos de casa. Dios te bendiga mucho ñaño.

A mi hermano Henry Meneses que con su fuerza y coraje me demostró que una buena actitud puedes sobrellevar de mejor manera los problemas sin importar cuan grandes sean y, sobre todo, la necesidad de una educación constante, y por estar pendiente de mi vida laboral. Dios bendiga a ti y tus hijas ñaño.

A Emilia Meneses, mi sobrina; que, a pesar de mi temperamento colérico, siempre me ha expresado su cariño y amor; estando dispuesta a ayudarme en cualquier cosa que necesite.

A la Sra. Ruth Grijalva, por la preocupación constante por mi familia, el apoyo y ayuda que nos ha brindado durante toda nuestra vida. Por el cariño sincero e infinito que tiene hacia mí, a pesar de mi ingratitud. Usted es una de las personas que Dios ha puesto en nuestro camino.

A mis tíos Marina, Antonio, Nancy, Irma y Eugenio Chalcualán, por su preocupación sobre mis estudios y bienestar, y, sobre todo, el apoyo incondicional que le otorgan a la persona más importante para mí, mi madre. En cada momento que ella los necesita, ustedes han estado ahí.

A Adrián Cajas por ser la prueba viviente que la vida puede tomar giros inesperados y que la persona quién esperas menos confiar, con el tiempo, resulta ser un buen amigo con el que se puede conversar y contar en las buenas y en las malas, y muchas veces sin pensar, teníamos las mismas ideas u opiniones. Una persona que con actos demostraba su amistad dejando de lado las palabras. Te mereces lo mejor Dios te bendiga.

A Claudia Caicedo, por su incomparable amistad y paciencia infinita, que, a pesar de ser mas de 5 años sin vernos, me sigue brindando su apoyo en la distancia, demostrándome que se puede exponer diferentes puntos de vista con respeto mutuo. Gracias amiga por todo.

A Jonathan Moreano, por su amistad, por cada momento memorable que me ha otorgado. Nunca en mi vida esperaba conocer a una persona tan creativa, inteligente, soñadora y entre otras cualidades; pero, sobre todo, el ser un buen amigo muy paciente. Espero perdone mi actitud hacia él.

A Santiago Sarabia, Paul Quezada, Angélica Chicaiza, Alexander Ortega, Adrián Medina, Michael Guerrero, Alexis Fierro, Anthony Cabrera, Jhonny Villacís, Cristian Espín, Josué Barros y Willy Guamushig por ayudarme en diferentes etapas de mi vida y darme gratos momentos memorables, brindándome su amistad y apoyo. Gracias chicos Dios los bendiga mucho y éxitos en cada aspecto de su vida.

A mis amigas del colegio Lizbeth Cevallos, Diana Lima y Erika Quinapallo, por darme tantos momentos memorables cuando dedicábamos las tardes enteras haciendo deberes e informes de física, aunque la distancia y el tiempo nos aleje siempre las llevo en mi corazón.

Ruth Meneses

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la sabiduría para tomar las decisiones que me han hecho llegar a este momento, por los triunfos y las tristezas que me presento durante esta etapa de mi vida.

A mis profesores por compartirme sus conocimientos brindarme su amistad y ser aparte de instructores las personas en las que se puede confiar.

A Ruth Meneses con quien a pesar de las peleas y las discusiones supo ser más que una compañera, una amiga leal y con quien nunca dudamos de nuestras capacidades y logramos realizar este proyecto cuando nadie más creía en nosotros.

A mis compañeros Michael Guerrero, Adrián Medina, Cristian Espín con quienes he compartido noches de alegrías, risas, peleas y tristezas pero que han demostrado ser excelentes personas en las que se puede confiar en todo momento, gracias por todo amigos.

Adrián Cajas

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por escucharme cada oración pidiéndole sabiduría y entendimiento para mi vida universitaria, ayudándome cuando no lo merecía y bendiciéndome cada paso que daba.

A mi padre, madre y hermanos por todo el ejemplo de vida que cada uno ha sabido transmitir mediante sus consejos y conversaciones diarias.

A la persona que más ha influido en mi vida académica y profesional, Mariana Chicaiza, mi profesora de Física en mi colegio. Gracias licenciada porque cada enseñanza suya me ha servido infinitamente en la universidad, aunque ser una FI-MA fue muy exigente, me ha facilitado mis primeros años en mis estudios universitarios.

A mis profesores de colegio Luis Velasco, Rosa Brito y Magda Boada. Gracias profesores por la importancia que le daban a sus estudiantes y la exigencia necesaria para ayudarme a ser una mejor persona.

Al Ing. Luis Mena Navarrete por darnos la oportunidad de ser nuestro director de este proyecto, con su guía, apoyo y ayuda poder concluir con nuestro proyecto de titulación.

A mis profesores de universidad, a cada uno de ellos, les agradezco su buena voluntad hacia mí, permitirme charlar con ellos y conocerlos mejor. Más allá de ser buenos docentes han sido personas con las que se puede tener una comunicación amigable.

Agradezco a cada una de las personas que conocí en mi vida como estudiante de la Universidad de las Fuerzas Armadas, cada una de ellas son la bendición más grande para enseñarme a cambiar como persona.

Ruth Meneses

ÍNDICE DE CONTENIDO**CARÁTULA**

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
AGRADECIMIENTO	viii
RESUMEN	xx
ABSTRACT.....	xxi

CAPÍTULO I**MARCO METODOLÓGICO**

1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Descripción resumida del proyecto	3
1.4. Justificación e importancia.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. Metas.....	6
1.7. Hipótesis	6
1.8. Variables de investigación	6

CAPÍTULO II**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

2.1. Motor de combustión interna encendido por chispa	8
---	---

2.2.	Sistema de admisión.....	9
2.2.1.	Colector de admisión	11
2.3.	Relación aire/combustible.....	14
2.3.1.	Relación estequiométrica.....	15
2.3.2.	Relación de equivalencia	15
2.4.	Turbulencia.....	15
2.4.1.	Número de Reynolds	18
2.5.	Gases Contaminantes	18
2.5.1.	Principales gases contaminantes generados por un motor de combustión interna	19
a.	Dióxido de Carbono (CO ₂).....	22
b.	Monóxido de Carbono (CO).....	23
c.	Hidrocarburos (HC).....	24
d.	Óxidos nitrosos (NO _x).....	26
2.6.	Impacto Ambiental	28
2.6.1.	Efectos en la salud humana.....	28
a.	Hidrocarburos (HC).....	28
b.	Monóxido de Carbono (CO).....	29
c.	Óxidos Nitrosos (NO _x).....	29
2.6.2.	Efectos en el medio ambiente.....	30
a.	Contaminación térmica del aire	30
b.	Efecto Invernadero	31
c.	Efectos en la agricultura	32

CAPÍTULO III

PROCESO DE DISEÑO

3.1.	Requerimientos y necesidades al momento de diseñar el colector de admisión	34
------	---	----

3.1.1. Alternativas de diseño del colector	35
3.2. Diseño Geométrico	42
3.2.1. Parámetros geométricos de diseño	43
a. Diámetro interior del colector	43
b. Forma del colector	43
c. Longitud y forma del colector	45
3.2.2. Cálculos para condiciones iniciales de simulación	48
3.3. Modelación de los colectores de admisión	50
3.4. Simulación CFD	52
3.4.1. Software CFD	52
3.4.2. Parámetros de simulación	52
3.4.3. Obtención de datos	54
a. Colector Curvo Corto	54
b. Colector Recto Corto	55
c. Colector Curvo Largo	55
d. Colector Recto Largo	56
3.4.4. Análisis de resultados	57
a. Características del flujo interno de los conductos	57
b. Valores máximos y mínimos de velocidad	59
c. Niveles de turbulencia	61

CAPÍTULO IV

PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO

4.1. Normas básicas de seguridad	62
4.2. Construcción del conducto de admisión	63
4.2.1. Soldadura tipo TIG	63
4.2.2. Soldadura tipo MIG	63
4.3. Ensamblaje del colector con el carburador	69

4.4.	Ensamblaje del colector con el motor	70
4.5.	Ensamble de los colectores en el Motor	71
4.5.1.	Colector Recto Corto	71
4.5.2.	Colector Recto Largo	71
4.5.3.	Colector Curvo Corto	72
4.5.4.	Colector Curvo Largo.....	72

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y VERIFICACIONES

5.1.	Análisis modal de fallas y efecto.....	74
5.2.	Evaluación de riesgos.....	76
5.3.	Adquisición de datos.....	77
5.3.1.	Norma INEN 136	77
5.3.2.	Realización de pruebas	78
5.3.3.	Datos obtenidos.....	79
a.	Motor sin colectores.....	79
b.	Colector Recto Corto	79
c.	Colector Recto Largo	80
d.	Colector Curvo Corto	80
e.	Colector Curvo Largo.....	81
5.3.4.	Graficas comparativas de emisiones	82
5.4.	Análisis de resultados.....	84
5.4.1.	Emisiones de CO	84
5.4.2.	Emisiones de HC	85
5.4.3.	Emisiones de CO ₂	86

CAPÍTULO VI**MARCO ADMINISTRATIVO**

6.1. Recursos.....	87
6.1.1. Recursos humanos.....	87
6.1.2. Recursos tecnológicos.....	87
6.1.3. Recursos físicos	88
6.2. Análisis financiero.....	88
6.2.1. Gastos Conducto Recto Corto	88
6.2.2. Gastos Conducto Recto Largo.....	89
6.2.3. Gastos Conducto Curvo Corto.....	89
6.2.4. Gastos Conducto Curvo Largo	90
6.2.5. Gastos de Herramientas	91
6.2.6. Gastos Totales.....	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colectores de admisión implementados. a) colector norma y b) colector tratado.....	1
Figura 2. Colectores de admisión implementados. a) helicoidal, b) helicoidal y c) espiral helicoidal	2
Figura 3. Motor de Combustión Interna	8
Figura 4. Vista pictórica del motor básico.....	9
Figura 5. Sistema de admisión	10
Figura 6. Distribución de un sistema de admisión	11
Figura 7. Diagrama esquemático del colector de admisión de un motor multicilíndro, indicando la tendencia del flujo de las gotas del combustible.	12
Figura 8. Esquema del flujo de la mezcla en una línea curva.....	13
Figura 9. Un bosquejo ilustrativo del flujo de una corriente a través de un conducto curvo.	14
Figura 10. Admisión del flujo turbulento de la mezcla	16
Figura 11. Flujo turbulento.....	17
Figura 12. Gases contaminantes.....	19
Figura 13. Gases contaminantes generados por un Motor de Combustión Interna a Gasolina	20
Figura 14. Principales contaminantes de un motor gasolina	21
Figura 15. Efecto de la relación aire/combustible sobre las emisiones de escape de un motor de encendido por chispa.....	22
Figura 16. Moléculas Dióxido de Carbono.....	23
Figura 17. Moléculas de Monóxido de Carbono	24
Figura 18. Efecto de los hidrocarburos con la luz solar Smog Fotoquímico	25
Figura 19. Lluvia acida	28
Figura 20. Enfermedades provocadas por el monóxido de carbono	30
Figura 21. Contaminación térmica del aire	31
Figura 22. Efecto invernadero	32
Figura 23. Efecto de la contaminación en la agricultura	33
Figura 24. Rosca interna en el colector de admisión.....	36

Figura 25. Roscas internas tipo: a) Acme, b) Knuckle y c) Buttress	37
Figura 26. Motor KTM RC 250.....	42
Figura 27. Carburador convencional para motocicletas	43
Figura 28. Vista isométrica CAD del codo metálico	44
Figura 29. Vista frontal CAD de la unión de 2 codos de acero inoxidable	45
Figura 30. Vista frontal CAD de la unión de 4 codos de acero inoxidable	46
Figura 31. Vista frontal CAD del tercer colector.....	47
Figura 32. Vista lateral de la entrada del motor KTM RC 250	48
Figura 33. Vista isométrica del modelado del conducto del carburador	48
Figura 34. Líneas de flujo interno del colector Recto Corto a 800 RPM	57
Figura 35. Líneas de flujo interno del colector Recto Largo a 800 RPM.....	57
Figura 36. Líneas de flujo interno del colector Curvo Corto a 800 RPM.....	58
Figura 37. Líneas de flujo interno del colector Curvo Largo a 800 RPM	58
Figura 38. Velocidades mínimas de los colectores de admisión	59
Figura 39. Velocidades máximas presentes en los colectores de admisión	60
Figura 40. Índice de turbulencia	61
Figura 41. Cortadora de tubos marca Bosch modelo Cifer.....	64
Figura 42. Proceso de formación de colectores	64
Figura 43. Unión por solda tipo TIG.....	65
Figura 44. Solda MIG para la unión de las bridas.....	65
Figura 45. Dobladora de tubos dando forma a la conexión del carburador	66
Figura 46. Medición requerida para la conexión del motor.....	66
Figura 47. Colector de conexión entre el carburador y los colectores.	67
Figura 48. Colector Recto Largo.....	67
Figura 49. Colector Recto Corto	68
Figura 50. Colector Curvo Largo	68
Figura 51. Colector Curvo Corto.....	69
Figura 52. Montaje de conexión entre el colector y el carburador	69
Figura 53. Acople entre el motor y el conducto de admisión	70
Figura 54. Montaje entre el colector de admisión y el motor	70
Figura 55. Ensamble del Colector Recto Corto	71
Figura 56. Ensamble del Colector Recto Largo	72
Figura 57. Ensamble del Colector Corto Curvo	72
Figura 58. Ensamble del Colector Curvo Largo.....	73

Figura 59. Posibilidad de ocurrencia de un riesgo	77
Figura 60. Comparación de emisiones de CO	82
Figura 61. Comparación de emisiones de HC	82
Figura 62. Comparación de emisiones de CO ₂	83
Figura 63. Variación porcentual de emisiones de CO	84
Figura 64. Variación porcentual de emisiones de HC.....	85
Figura 65. Variación porcentual de emisiones de CO ₂	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de la variable independiente</i>	7
Tabla 2	<i>Operacionalización de la variable dependiente</i>	7
Tabla 3	<i>Contaminantes emitidos por motores de combustión interna</i>	20
Tabla 4	<i>Niveles de emisiones resultantes del estudio de Ramankrishna a 3kW de carga</i>	36
Tabla 5	<i>Niveles de emisiones resultantes del estudio de Shirao a 1500 RPM</i>	37
Tabla 6	<i>Niveles aproximados de emisiones resultantes del estudio de Pankaj Shah.</i>	37
Tabla 7	<i>Niveles de emisiones resultantes del estudio de Phaneendra con la implementación de cada colector modificado en comparación con el original al 100% de carga.</i>	38
Tabla 8	<i>Niveles aproximados de emisiones resultantes del estudio de Ceviz con la implementación de cada colector modificado en comparación con el original 2000 RPM.</i>	39
Tabla 9	<i>Niveles de emisiones resultantes del estudio “Efecto de la longitud y de la geometría de múltiples de admisión en las emisiones contaminantes”</i>	39
Tabla 10	<i>Características comparativas entre colectores</i>	40
Tabla 11	<i>Características del codo metálico existente en el mercado</i>	44
Tabla 12	<i>Valores de velocidades de admisión de aire</i>	49
Tabla 13	<i>Valores de caudal másico de admisión de aire</i>	50
Tabla 14	<i>Asignación de nombres a cada colector diseñado</i>	51
Tabla 15	<i>Condiciones de frontera para la simulación CFD</i>	53
Tabla 16	<i>Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el Colector Curvo Corto a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM</i>	54
Tabla 17	<i>Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el Colector Recto Corto a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM</i>	55
Tabla 18	<i>Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el Colector Curvo Largo a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM</i>	55
Tabla 19	<i>Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el Colector Recto Largo a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM</i>	56

Tabla 20 Número de Reynolds a velocidades máximas de los colectores con respecto a las revoluciones del motor	57
Tabla 21 Operaciones a ejecutar en la fabricación	62
Tabla 22 Análisis modal de falla y efecto	74
Tabla 23 Evaluación de riesgos	76
Tabla 24 Límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas Prueba en relantí	79
Tabla 25 Datos del motor sin colectores	79
Tabla 26 Datos Colector Recto Corto	79
Tabla 27 Datos Colector Recto Largo	80
Tabla 28 Datos Colector Curvo Corto	80
Tabla 29 Datos Colector Curvo Largo	81
Tabla 30 Recursos humanos	87
Tabla 31 Recursos tecnológicos	87
Tabla 32 Recursos físicos	88
Tabla 33 Gastos para la fabricación del Conducto Recto Corto.	88
Tabla 34 Gastos para la fabricación del Conducto Recto Largo.	89
Tabla 35 Gastos para la fabricación del Conducto Curvo Corto.	90
Tabla 36 Gastos para la fabricación del Conducto Curvo Largo.	90
Tabla 37 Gastos por la adquisición de herramientas	91
Tabla 38 Gastos totales de fabricación	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Relación de aire/combustible	14
<i>Ecuación 2.</i> Relación de equivalencia.....	15
<i>Ecuación 3.</i> Número de Reynolds.....	18
<i>Ecuación 4.</i> Reacción química del monóxido de carbono.....	23
<i>Ecuación 5.</i> Reacciones químicas para la formación de óxido nitroso.....	26
<i>Ecuación 6.</i> Relación de aire/combustible	49
<i>Ecuación 7.</i> Caudal de flujo de aire.....	49
<i>Ecuación 8.</i> Caudal másico de flujo de aire	49

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio del comportamiento de un motor monocilíndrico de 4 tiempos a partir del diseño de varios colectores del sistema de admisión con longitudes y geometrías variables. Tal estudio, se ha dividido en 4 etapas, siendo la fase inicial la que aborda la comparativa entre las distintas alternativas y parámetros de diseño necesarios aplicados a este sistema, de tal manera que, al realizar la selección efectiva de las longitudes y las geometrías adecuadas de los colectores de admisión, permitió el uso de la aplicación de herramientas de diseño asistido por computador, en la que se realizó la simulación del comportamiento de los fluidos al interior de los mismos, durante su etapa de análisis; cuyos resultados facilitaron su posterior proceso de manufactura mediante la utilización de materiales de alta calidad existentes en el mercado nacional, permitiendo de esta manera validar los 4 diseños durante la etapa de pruebas, verificando así las variaciones que se generan en las emisiones de gases contaminantes producidas por el motor y que a su vez garantice un correcto funcionamiento del mismo, para determinar si su incorporación al sistema de admisión es eficaz para una combustión más amigable con el ambiente.

PALABRAS CLAVE

- **MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **MOTOR-SISTEMA DE ADMISIÓN**
- **MOTOR MONOCILÍNDRICO**
- **EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES**

ABSTRACT

In the present work, the study of behavior of a 4-stroke single-cylinder engine based on the design of several manifolds of the intake system with variable lengths and geometries. This study has been divided into 4 stages, with the initial phase being the one that compares the different alternatives and design parameters necessary to this system, so that, when making the effective selection of the appropriate lengths and geometries of the intake manifolds, allowed the use of the application of computer aided design tools, in which the simulation of the behavior of the fluids inside them was carried out, during their analysis stage; whose results facilitated the subsequent manufacturing process by using high quality materials existing in the national market, thus allowing validation of the 4 designs during the testing stage, thus verifying the variations that are generated in the emissions of polluting gases produced by the engine and that in turn ensures proper operation of the same, to determine if its incorporation into the intake system is effective for a more environmentally friendly combustion.

KEY WORDS

- **INTERNALCOMBUSTION ENGINE**
- **ENGINE-ADMISSION SYSTEM**
- **MONOCILINDRICAL ENGINE**
- **CONTAMINANT GAS EMISSIONS**

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Un estudio realizado por (Shah, Patel, & Jotava, 2014) concluye que el flujo en el cilindro está muy influenciado al colocar el colector de admisión en varias inclinaciones o al modificar el diseño del colector de admisión. Además, establece que el movimiento del aire en el motor de combustión interna influye en la atomización y distribución del combustible administrado en la cámara de combustión. Por lo tanto, con una turbulencia óptima, es posible obtener una mejor mezcla de combustible y aire, lo que conduce a una combustión efectiva.

(Phaneendra, Pandurangadu, & Chandramouli, 2012) ha investigado experimentalmente que al diseñar y cambiar la orientación del colector de admisión de un M.C.I. refrigerado por aire de cuatro tiempos a una velocidad nominal de 1500 rpm, las características de rendimiento de un motor aumentan y los niveles de emisiones disminuyen. Los experimentos se realizaron en varios colectores roscados con forma de paso de 10 mm, 15 mm, 20 mm y 25 mm, y han demostrado que las características de rendimiento con paso de 10 mm mostraron un mejor rendimiento y niveles de emisión en comparación con el colector normal.

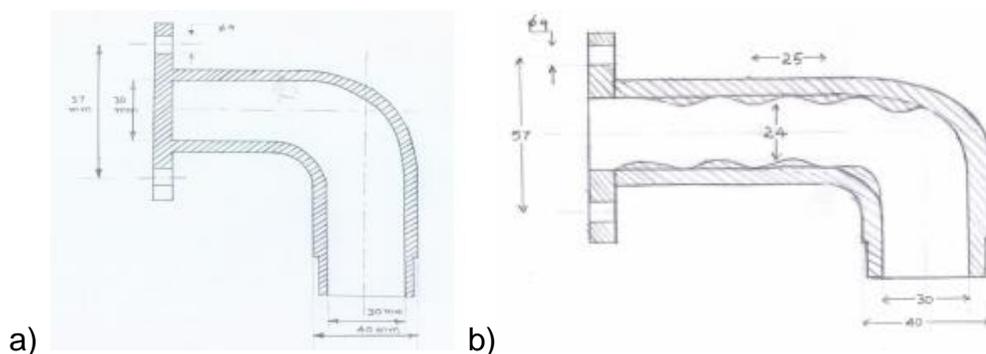


Figura 1. Colectores de admisión implementados. a) colector norma y b) colector tratado

Fuente: (Phaneendra, Pandurangadu, & Chandramouli, 2012)

Por otro lado, (Ramakrishna, Govinda, & Sheshaiah, 2014) han realizado varios experimentos para encontrar el efecto del remolino en el rendimiento del motor, así como en sus emisiones, mediante la inducción del remolino con diferentes colectores de entrada que tienen formas helicoidal, espiral y espiral helicoidal. El ensayo se realizó en el motor de combustión interna de 4 tiempos refrigerado por agua. Se realizó el modelo 3D de tres variedades y luego se tomó las observaciones. El análisis muestra que los tres tipos de colectores de admisión producen un rendimiento mucho mejor y una menor cantidad de emisiones en comparación con el colector normal.

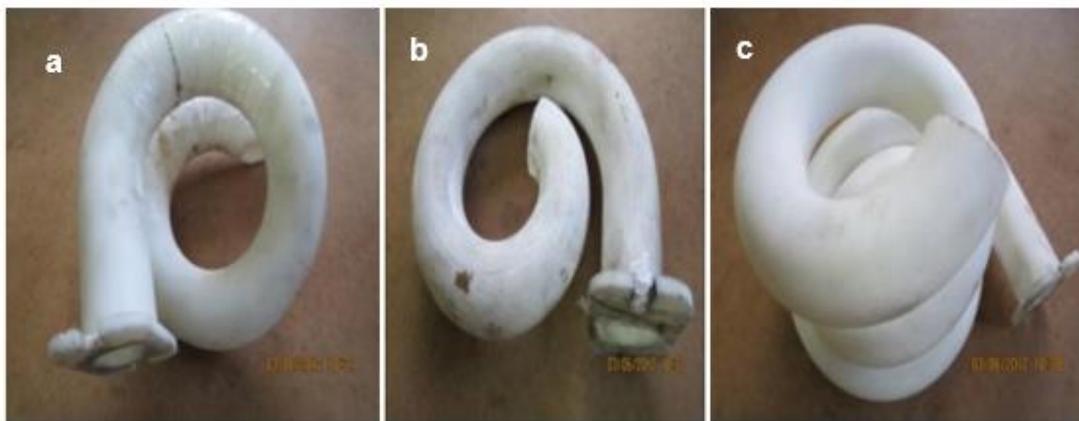


Figura 2. Colectores de admisión implementados. a) helicoidal, b) helicoidal y c) espiral helicoidal

Fuente: (Ramakrishna, Govinda, & Sheshaiah, pág. 489)

A partir de la revisión de la literatura, se observó que el diseño de la configuración del colector de admisión es muy importante en un motor de combustión interna. En general, la presencia de turbulencia en el sistema de admisión del motor de combustión interna mejora la mezcla adecuada de aire y combustible, ya sea por la superficie interna del conducto o geometría, lo que disminuye los niveles de emisiones de gases y reduce la formación de hollín.

1.2. Planteamiento del problema

El escaso estudio sobre la relación existente entre el diseño del colector de admisión y las emisiones de gases de escape de un motor de combustión interna limita el conocimiento sobre los posibles efectos positivos que puede

provocar una geometría diferente a la convencional sobre el control de niveles de emisiones de gases de escape.

De acuerdo con la Union of Concerned Scientists USA (UCSUSA, 2017), los vehículos personales son una de las principales causas del calentamiento global. En conjunto, los automóviles y camiones representan casi una quinta parte de todas las emisiones de los EE.UU. Desafortunadamente, las emisiones relacionadas con el petróleo pueden aumentar en los próximos años a medida que la industria petrolera extraiga y refine combustibles y aceites “no convencionales”.

Por otro lado, (El Telégrafo, 2017) menciona un estudio del año 2015 donde se expone que del total de emisiones de CO₂ generadas en ese año, el 52% provenían de la combustión de gasolina y diésel para transporte, 35% se debe al consumo energético por parte de la industria y un 13% a la descomposición de residuos orgánicos.

Se puede observar que el parque automotor es uno de los principales autores para la generación de gases contaminantes que residen en el ambiente; no solo es proveedor de CO₂, sino también, de CO, HC y NO_x. Cada uno de los gases mencionados puede afectar diversos sistemas del cuerpo humano a parte de los pulmones.

1.3. Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto de investigación se desarrollará en la Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga, tomando como principal objetivo de la investigación el efecto de los colectores de admisión de geometría variable sobre las emisiones de gases de escape en los motores mono cilíndricos de 4T a gasolina.

Para la etapa de diseño, basaremos la geometría y la cantidad de colectores de admisión en fusión del análisis de la bibliografía de artículos científicos y libros afines al tema de investigación. Se empleará el uso del software CAD para la elaboración de planos dirigidos a la construcción de los mencionados prototipos.

El proceso de construcción se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio de soldadura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Extensión Latacunga; tomando en cuenta los correctos procesos de manufactura.

Se establecerá diferentes pruebas usando el analizador de gases existente en la Universidad de las Fuerzas Armadas en el laboratorio de Autotrónica, los prototipos serán instalados en un motor KTM 250 RC 4T a gasolina para su respectivo estudio.

Para la etapa de análisis de resultados, se comparará los datos obtenidos en el analizador de gases, determinando el efecto que cada colector sobre el motor KTM 250 RC de 4T a gasolina.

1.4. Justificación e importancia

El impacto adquisitivo de vehículos motorizados ya sea por su versatilidad, flexibilidad y/o bajo costo, ha permitido que el parque automotriz domine de forma abrumadora los mercados de transporte en todo el mundo. De acuerdo con las estadísticas presentadas por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE, 2018), la venta de vehículos automotrices durante el año 2015 ha sido aproximadamente de 5000 unidades, para el 2016 ascendió a 6 560 unidades, en el 2017 subió a 11 570 unidades y finalmente en el 2018 presentó una venta de 12 090 unidades. La adquisición de vehículos livianos en el 2018 fue más del doble que en el año 2015.

Debido a su número cada vez mayor y al uso muy limitado de las tecnologías de control de emisiones, los vehículos motorizados se están convirtiendo en la principal fuente de contaminación del aire urbano. La aplicación de medidas oportunas y efectivas ayudará a mitigar los impactos adversos del uso de vehículos motorizados, disminuyendo así el daño generado al ambiente, caso contrario, continuará deteriorándose y se volverá cada vez más insoportable.

De acuerdo con (Faiz, Weaver, & Walsh, 2005), una de las variables es la homogeneidad de la mezcla aire/combustible que se idealiza en el colector de admisión, el cual tiene un importante efecto en la potencia, la eficiencia del

motor y las emisiones de gases de escape. La mezcla de aire/combustible es el parámetro clave para los motores de encendido por chispa. Es necesario que la carga tenga la suficiente cantidad de aire para que los carbones reaccionen y presenten una combustión completa, caso contrario presentará altos niveles de CO y HC.

Esta investigación tiene la capacidad de contribuir con el desarrollo de conocimiento científico referente al ámbito automotriz, mediante la variación de la geometría en el diseño colectores de admisión que determinen el efecto sobre los niveles de emisiones de gases de escape.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Estudiar el efecto de los colectores de admisión de geometría variable sobre las emisiones de gases de escape en un motor monocilíndrico de 4 tiempos.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información técnica proveniente de fuentes científicas inherentes al diseño de colectores de admisión.
- Determinar la geometría de los colectores basados en estudios inherentes al tema de investigación.
- Establecer la cantidad y características básicas de colectores a estudiar basados en la bibliografía analizada.
- Modelar los colectores de admisión mediante la utilización de software CAD
- Analizar el flujo de la carga fresca que ingresa al M.C.I. usando software CFD de cada colector diseñado.
- Manufacturar y ensamblar cada colector de admisión, previamente diseñados, en el motor KTM 250 RC.
- Establecer los parámetros y procedimientos de las pruebas de análisis de gases.
- Comparar los resultados obtenidos del analizador de gases utilizando cada uno de los colectores de admisión.

1.6. Metas

- Encontrar bibliografía inherente al estudio como libros, artículos científicos, entre otros; para fundamentar el diseño y análisis de los colectores de admisión.
- Emplear un software adecuado para el análisis CFD que permita observar la dinámica del fluido aire/combustible presente en el colector con el fin de establecer una relación entre los resultados de simulación y niveles de emisiones de gases.
- Establecer la geometría y material adecuado para la construcción de los prototipos con la finalidad de evitar posibles fugas al momento de implementarlos en el motor KTM RC 250.
- Determinar los parámetros necesarios para realizar las pruebas de emisiones de gases de escape para ser analizados para determinar las conclusiones pertinentes al tema de estudio.

1.7. Hipótesis

¿Los colectores de admisión de geometría variable provocarán algún efecto sobre las emisiones de gases de escape en un motor mono cilíndrico de 4 tiempos a gasolina?

1.8. Variables de investigación

- **Variables Independientes:**
Motor KTM 250 RC
Gasolina SUPER
Carburador
- **Variables Dependientes:**
Emisiones de gases de escape

Operacionalización De Variables

Tabla 1

Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	OPERACIONALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	DEFINICIÓN
Motor KTM 250 RC	Cualitativa	Forma como se utiliza el motor por los usuarios de la marca KTM.	Aprovechamiento del torque y la potencia del motor.	Apertura de la mariposa de aceleración.
Gasolina SUPER	Cualitativa	Numero de octanaje de la gasolina Súper, para determinar su grado de calidad.	Aprovechamiento o al máximo del octanaje de la gasolina súper.	Cantidad del número de octanos de la gasolina para determinar su calidad.
Carburador	Cualitativa	Calidad del carburador a utilizar en el motor KTM.	Carburador para motores de motocicletas de competición.	Carburador para motores de competición.

Tabla 2 *Operacionalización de la variable dependiente*

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	OPERACIONALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	DEFINICIÓN
Emisiones de gases de escape	Cuantitativa	Aumento o reducción de los gases contaminantes emitidos por el motor	Porcentaje de CO ₂ , CO emitidos. Número de partículas por millón de HC	Cantidad de los gases contaminantes emitidos por el motor.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Motor de combustión interna encendido por chispa

El motor de combustión interna también se conoce como motor térmico de pistón (Ribbens, Heisler, & Blundell, 2009). El concepto del motor de pistón es que se alimenta una mezcla de aire y combustible al interior del cilindro donde se comprime y luego se quema. Esta combustión interna libera energía térmica que luego se convierte en un trabajo mecánico útil, ya que las altas presiones de gas generadas obligan al pistón a moverse a lo largo de su carrera en el cilindro. Se puede decir, por lo tanto, que un motor de combustión interna es simplemente un transformador de energía.

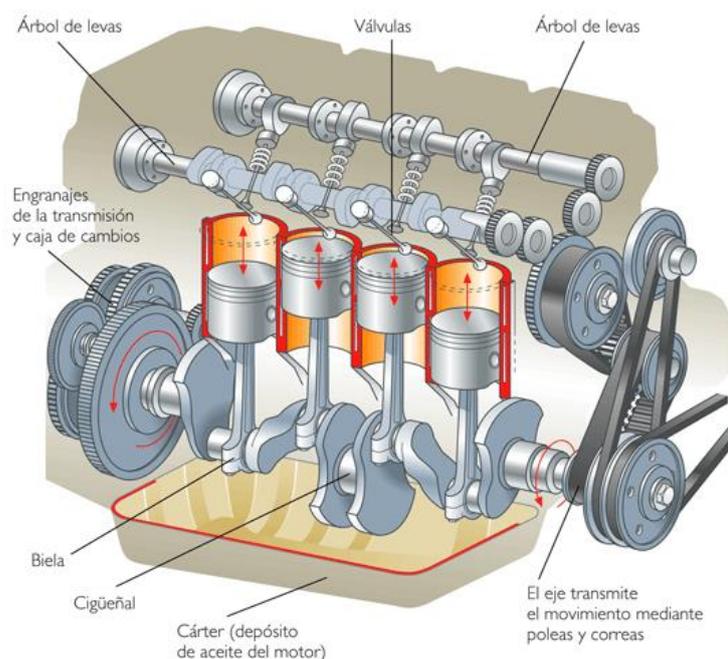


Figura 3. Motor de Combustión Interna

Fuente: (Básico Diesel Sena, 2015)

Para habilitar el movimiento del pistón, el empuje del pistón se transmite por medio de una biela al cigüeñal, cuya función es convertir el movimiento del pistón lineal en el cilindro al movimiento del cigüeñal giratorio (ver figura 4). Por lo tanto, se puede hacer que el pistón repita su movimiento hacia adelante y

hacia atrás, debido a las restricciones del circuito del cigüeñal, recorrido cúbico y el cilindro guía.

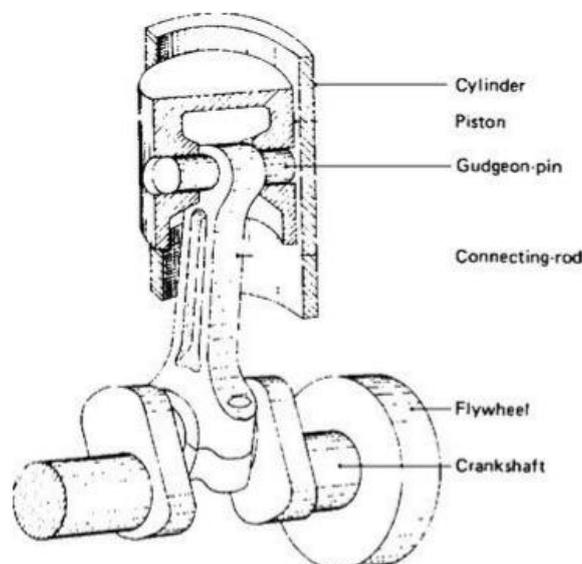


Figura 4. Vista pictórica del motor básico.

Fuente: (Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body, pág. 35)

Los motores de encendido por chispa usan combustibles suficientemente volátiles para ser fácilmente vaporizados y mezclados con el aire, antes de que inicie su combustión con la bujía (carga premezclada). Por lo tanto, en estos motores, la tarea del sistema de combustible y admisión se reduce principalmente al control de la masa de combustible y cantidad de aire, necesaria para obtener la relación de aire / combustible requerida por el motor en cada punto de su mapa operativo (Ferrari, 2014).

2.2. Sistema de admisión

Un motor de combustión interna encendido por chispa también cumple con la función de 'respirar', esto tiene un impacto significativo en la potencia, el rendimiento, la economía del motor y emisiones de gases de escape (Hadfield, 2009). El sistema de admisión asegura que el aire seco y limpio sea suministrado al motor, el cuál es mezclado con el combustible y quemado en la cámara de combustión, creando la expansión térmica que empuja al pistón hacia el PMI del cilindro. De acuerdo con (Sharoglazov, Farafontov, & Klementyev, 2004), el aire en el cilindro del motor desempeña un doble papel.

Primero, el nitrógeno del aire, sirve como fluido del trabajo, es decir, es un portador elástico (acumulador) de energía térmica, que es absolutamente necesario para realizar un trabajo mecánico, durante el proceso de expansión del fluido de trabajo de un motor de combustión interna. En segundo lugar, el oxígeno del aire sirve como oxidante del combustible, es decir, se utiliza en el proceso de combustión para convertir en energía química latente del combustible en energía térmica.

Este suministro de aire se introduce en el motor mediante el vacío creado durante la carrera de admisión de los pistones (Erjavec, 2010). Por lo tanto, el sistema de admisión debe estar herméticamente sellado para producir un vacío más efectivo. Esto asegura que el aire fluiría hacia el cilindro cuando la mariposa y la válvula de admisión estén abiertas sin que exista fugas de contaminantes dentro del sistema (Hadfield, 2009).

El sistema de admisión también cumple con la función de proveer flujo de aire de acuerdo a las necesidades de operación del motor. Esto asegura una buena atomización del combustible y mejorada mezcla. En consecuencia, el sistema controla la cantidad de aire entrante al motor, mediante el uso de la mariposa de aceleración, el cual es el control de las revoluciones y potencia del motor, (Kirk Vangelder, 2017). Otra de sus funciones es la de condicionar la eliminación de partículas de aire para proteger las partes del motor de las impurezas que puedan presentarse.

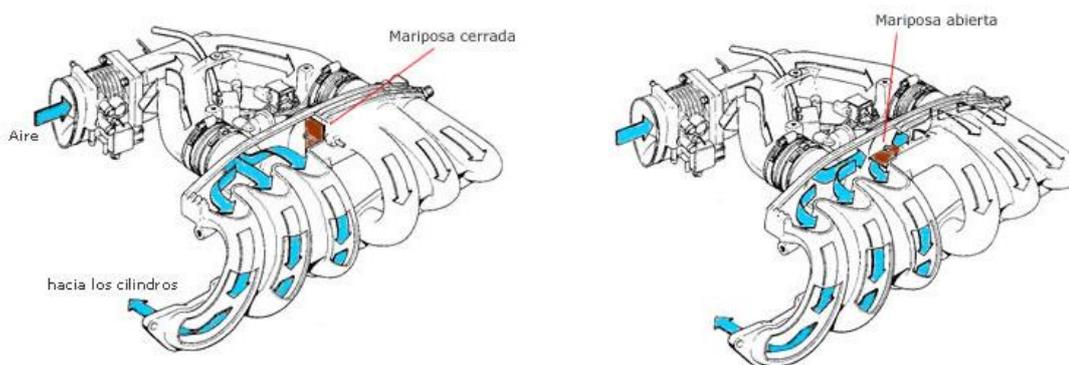


Figura 5. Sistema de admisión

Fuente: (Aficionados a la Mecanica, 2014)

En un motor de encendido por chispa, el sistema de admisión típicamente consiste en un filtro de aire, un carburador con mariposa de aceleración o inyectores con cuerpo de aceleración y un colector de admisión:

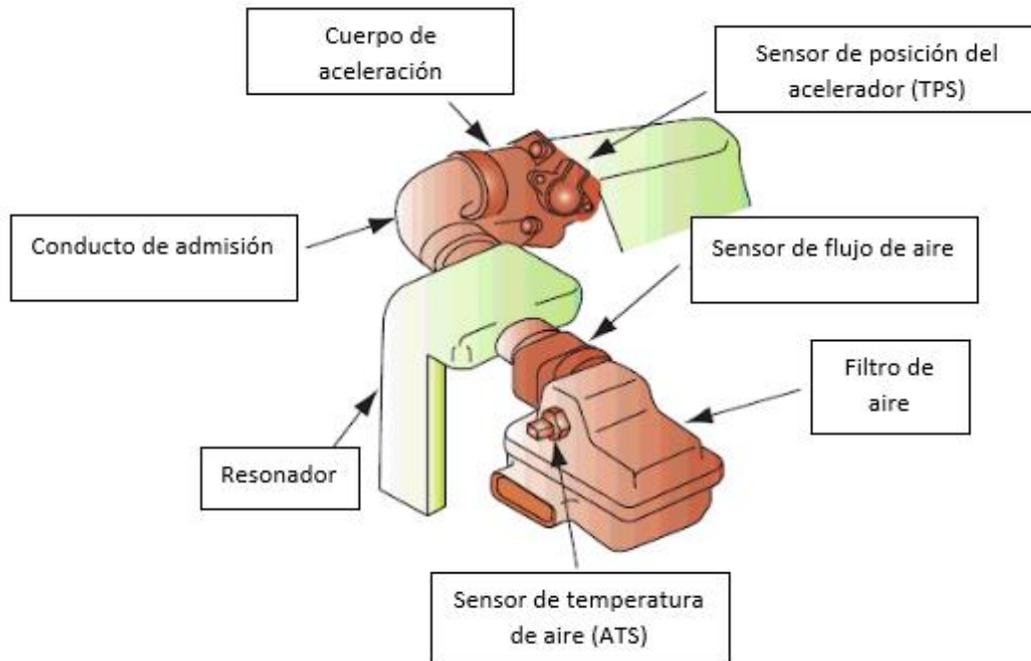


Figura 6. Distribución de un sistema de admisión

Fuente: (Today's Technician: Automotive Engine Repair & Rebuilding, 2009)

(Heywood, 2018) expone que, durante el proceso de admisión, ocurre una reducción de presión conforme la mezcla pasa a través de cada uno de los componentes del sistema.

2.2.1. Colector de admisión

El colector o múltiple de admisión, es el elemento del sistema de admisión donde la mezcla de aire/combustible viaja desde del carburador hacia la cámara de combustión. En caso de motores a inyección directa, solo envía aire.

Fenómeno del flujo en los colectores de admisión

El flujo de aire en el sistema de admisión determina el valor del factor de llenado del cilindro y afecta a la potencia máxima del motor, que es uno de los

principales parámetros del automóvil. De acuerdo con (Pulkrabek, 1997), cuando se agrega combustible en algún punto antes del colector de admisión, el flujo de la mezcla se produce de tres maneras diferentes:

- El vapor de combustible se mezcla con el aire y fluye con él.
- Las gotas de combustible líquido muy pequeñas son transportadas por el flujo de aire. Las gotas más grandes les dificulta más seguir las líneas de corriente.
- La tercera forma en que el combustible fluye a través del colector es en una delgada película líquida a lo largo de las paredes. Esta película se produce porque la gravedad separa algunas gotas del flujo.

La mezcla de aire/combustible que pasa a través del colector de admisión generalmente contiene una cierta cantidad de líquido en forma de gotas. Estas pequeñas gotas tienen mayor inercia que la mezcla gaseosa, (Gill, Smith, & Ziurys, 1967). En consecuencia, siempre que la dirección cambia bruscamente, las gotitas tienden a continuar en su dirección original de movimiento, como se indica en la figura 7:

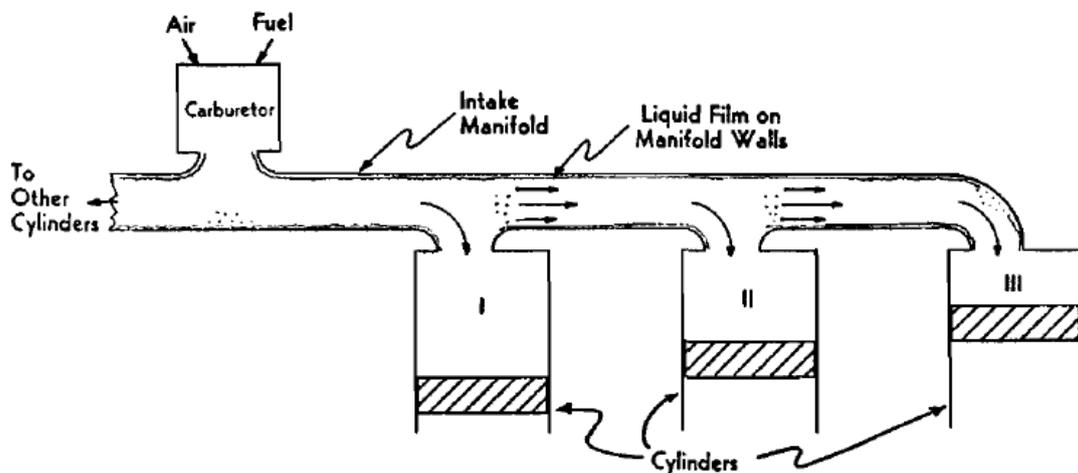


Figura 7. Diagrama esquemático del colector de admisión de un motor multicilíndrico, indicando la tendencia del flujo de las gotas del combustible.

Fuente: (Fundamentals of Internal Combustion Engines as applied to Reciprocating, Gas Turbine, and Jet Propulsion Power Plants, 1967)

La película líquida en las paredes del colector dificulta el control preciso del acelerador. Cuando la posición del acelerador cambia rápidamente y cambia la

velocidad del flujo de aire, esta será más lenta debido a esta película de pared líquida, (Pulkrabek, 1997).

El colector de admisión con curvas genera grandes pérdidas de presión en el motor, expuesto de mejor forma con la siguiente figura:

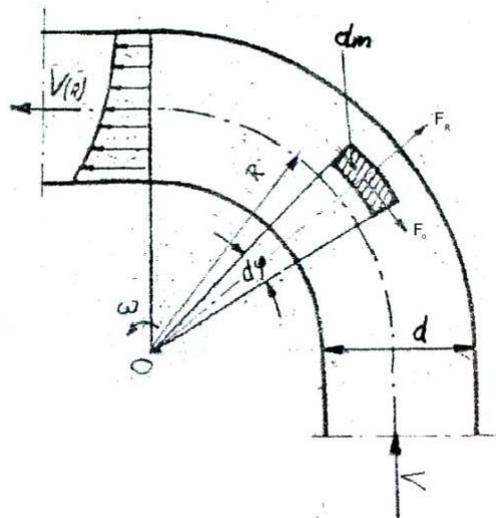


Figura 8. Esquema del flujo de la mezcla en una línea curva.

Fuente: (Motor de combustión interna convencional y presentación de procedimientos, 2012)

(Rawski, 2012) explica que la velocidad del flujo de la mezcla (dm) en el codo cambia de forma tangencial y perpendicular al radio R de flexión del codo. Por lo tanto, este elemento tiene dos fuerzas: F_R centrípeta y F_O periférica o tangencial. Esto permite el aumento de la turbulencia en el fluido por el cambio brusco de las líneas de trayectoria y de velocidad. Esta fuerza resultante, a su vez, crea dos corrientes de aire separadas con dirección opuesta en rotación y flujo además de formarse zonas de flujo muerto como indica la siguiente figura:

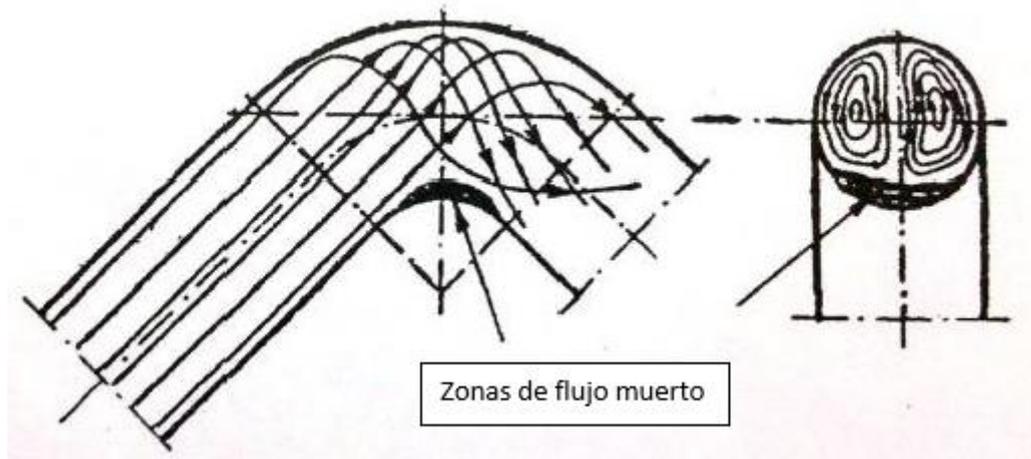


Figura 9. Un bosquejo ilustrativo del flujo de una corriente a través de un conducto curvo.

Fuente: (Motor de combustión interna convencional y presentación de procedimientos, 2012)

2.3. Relación aire/combustible

Las proporciones relativas de aire y combustible son muy importantes para la combustión y eficiencia del motor. Se conoce como relación de aire/combustible a la cantidad de aire mezclado con el combustible. La relación ideal de aire y combustible para la mayoría de condiciones de operación de un motor a gasolina es de 14.7 partes de aire mezclado con 1 parte de gasolina. Esto se debe a que el aire es mucho más liviano que la gasolina. Es necesario mencionar que las proporciones adecuadas de combustible y aire dependen de la composición química del combustible y de las condiciones de funcionamiento del motor (Gill, Smith, & Ziurys, 1967).

La relación aire/combustible se obtiene dividiendo el peso del aire consumido por el motor por un tiempo dado para el peso del combustible usando el mismo período del tiempo (Ganesan, 2004):

$$\text{Relación} \frac{\text{aire}}{\text{combustible}} = \frac{w_a \left(\text{libras de aire} / \text{tiempo} \right)}{w_f \left(\text{libras de combustible} / \text{tiempo} \right)}$$

Ecuación 1. Relación de aire/combustible

Fuente: (Ganesan, 2004)

2.3.1. Relación estequiométrica

Durante los procesos de combustión, los componentes del combustible son oxidados por el oxígeno del aire. Por lo tanto, el desarrollo de las reacciones de oxidación se ve fuertemente afectado por la relación de aire/combustible de la mezcla (Ferrari, 2014). Una mezcla que posee el oxígeno necesario para una combustión completa de todo el combustible en la mezcla se llama una relación aire/combustible químicamente correcta o estequiométrica.

Cuando la mezcla tiene más aire del necesario para una relación ideal, se conoce como mezcla pobre. (Erjavec, 2010) indica que las proporciones de 15 o 16 a 1 proporcionan economía de combustible en motores de gasolina. Por otro lado, cuando la mezcla presenta una porción inferior de aire a la relación estequiométrica, se conoce como mezcla rica. Estas mezclas proporcionan más producción de energía, pero aumenta el consumo del combustible. Relaciones de 12 o 13 a 1.

2.3.2. Relación de equivalencia

Se conoce como relación de equivalencia a la relación entre la mezcla real y la mezcla estequiométrica y se expresa matemáticamente como:

$$\lambda = \frac{\text{relación aire - combustible real}}{\text{relación estequiométrica}}$$

Ecuación 2. Relación de equivalencia

Fuente: (Erjavec, 2010)

2.4. Turbulencia

La mayor parte de flujos presentes en la práctica de ingeniería son flujos turbulentos, es decir poseen turbulencia. (Rajput, 2009) define a la turbulencia como:

La "turbulencia" consiste en vórtices dispersos al azar de diferentes tamaños que se superponen en el aire o en la corriente de la mezcla de aire y gasolina. Estos vórtices, que se transportan junto con la corriente de flujo, representan pequeñas vías irregulares que toman un movimiento en

espiral concéntrico. (Internal Combustion Engines - Segunda edición, pág. 214)



Figura 10. Admisión del flujo turbulento de la mezcla

Fuente: (Rajput, 2009)

Cuando los vórtices giran, entran en contacto con vórtices adyacentes provocando una interacción de corte viscoso donde se produce una aceleración que aumenta rápidamente la velocidad de transferencia de calor y mezcla de combustible. Esto se debe a la alta difusión molecular de las partículas que experimentan fluctuaciones locales en el campo de flujo (Elger, Williams, Crowe, & Roberson, 2012). Estas fluctuaciones ocurren en todas las direcciones, perpendiculares y en la dirección a la trayectoria del fluido. Por consiguiente, el movimiento de dichas partículas se vuelve caótico e inestable. Esto hace que sea imposible predecir las condiciones exactas del flujo en un tiempo y una posición determinados.

La turbulencia juega un papel muy importante en la mezcla de aire/combustible, que, a su vez, es indispensable en el proceso de combustión. El combustible y el aire deben ponerse en contacto rápido e íntimo para que se produzcan las reacciones de combustión. Debido al movimiento caótico de las partículas de fluido, en flujos turbulentos las tasas de transferencia y mezcla son varias veces mayores (Heywood, 2018). La conducción de estos factores es esencial para el funcionamiento óptimo de los motores de combustión interna.

(Sharoglazov, Farafontov, & Klementyev, 2004) en su publicación “*Motores de combustión interna: teoría, modelado y cálculo de procesos*” dice:

En el flujo turbulento, se logra la intensificación de la formación de la mezcla, ya que en tal flujo se producen gradientes significativos de velocidad y presión, lo que asegura una alta turbulencia. La calidad de la mezcla de combustible y aire aumenta.

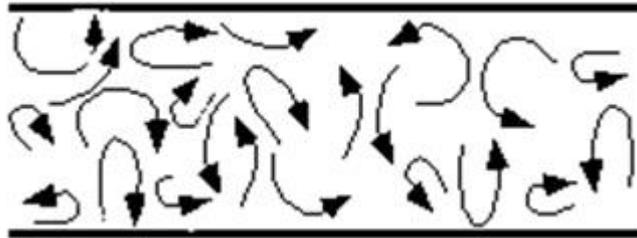


Figura 11. Flujo turbulento

Fuente: (Neetescola)

(Rajput, 2009) resume los efectos de la turbulencia de la siguiente manera:

- La turbulencia acelera la acción química mediante la mezcla íntima de combustible y oxígeno. Así, las mezclas débiles se pueden quemar.
- El aumento de la velocidad de la llama debido a la turbulencia reduce el tiempo de combustión y reduce la tendencia a detonar.
- La turbulencia aumenta el flujo de calor hacia la pared del cilindro y el límite de turbulencia excesiva puede determinar la llama.
- El exceso de turbulencia provoca un aumento más rápido de la presión (aunque puede disminuir la presión máxima) y el aumento de la alta presión hace que el cigüeñal salte y el resto del motor vibre con una alta periodicidad, lo que da como resultado un funcionamiento brusco y ruidoso del motor.

La turbulencia no puede mantenerse sin una fuente de energía, y es necesario suministrar energía para lograr las altas tasas de mezcla deseadas en los sistemas de combustión (Flagan & Seinfeld, 2012). Por lo tanto, se requiere energía para generar turbulencia: si no se suministra energía, la turbulencia decae.

2.4.1. Número de Reynolds

Fue en 1883 cuando Reynolds utilizó esta cantidad como la principal propiedad hidrodinámica que caracterizó el problema de la estabilidad en la transición del flujo laminar al turbulento en las tuberías (Granger, 2012). Y se define por:

$$N_R = \frac{Vd\rho}{\mu}$$

Ecuación 3. Número de Reynolds

Fuente: (Granger, 2012)

Dónde: V es la velocidad promedio en la tubería
 d el diámetro de la tubería
 ρ la densidad
 μ viscosidad del fluido que fluye en ella.

La magnitud del número de Reynolds proporciona información importante sobre el flujo. Se utiliza para caracterizar la velocidad y/o a las propiedades viscosas de un campo del flujo. Por lo tanto, si las fuerzas viscosas juegan un papel predominante, N_R es pequeño. Si, por otro lado, los efectos de inercia son predominantes, entonces N_R es muy grande (Vennard, 2013). El número de Reynolds es uno de los más utilizados en mecánica de fluidos. También se escribe a menudo usando viscosidad cinemática.

2.5. Gases Contaminantes

Existen miles de componentes potencialmente contaminantes para el aire. El aumento de la proporcionalidad de estos gases contribuye al calentamiento global, smog, olores, lluvia ácida y problemas de salud sobre los seres vivos. Algunos de ellos son el dióxido de azufre (SO_2), ácido sulfúrico (H_2S), óxidos nitrosos (NO y NO_2), ozono (O_3) y dióxido de carbono (CO_2), entre otros. Hay que recalcar que los dos últimos no son tóxicos pero el exceso de estos genera un problema conocido como efecto invernadero.

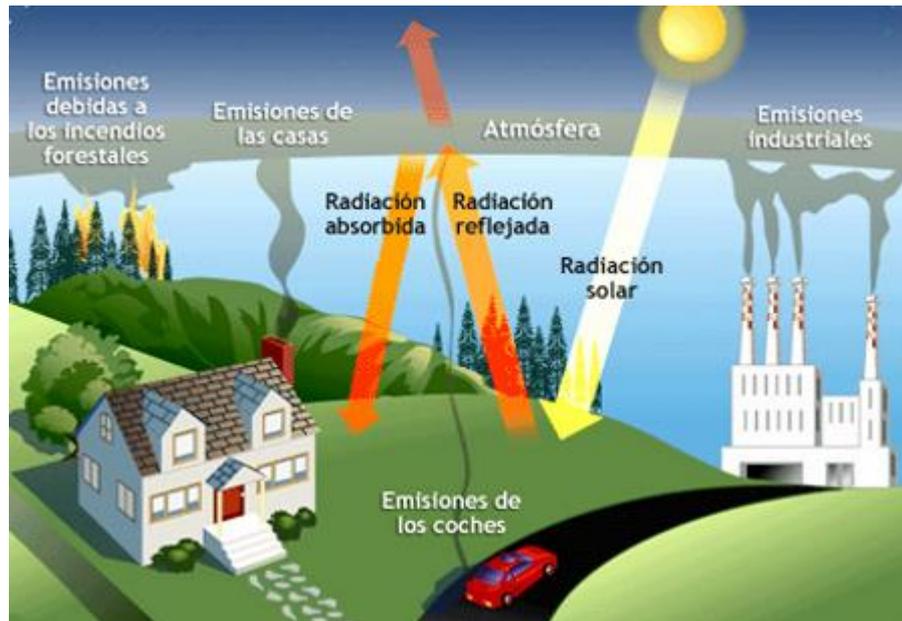


Figura 12. Gases contaminantes

Fuente: (Sanguineti, 2010)

2.5.1. Principales gases contaminantes generados por un motor de combustión interna

Una de las principales fuentes de contaminación del aire son los motores automotrices. Al final de cada ciclo de operación, emiten a la atmósfera diferentes contaminantes que son nocivos tanto para los seres humanos, animales y vida vegetal o alteran el equilibrio natural. En la tabla 3 podemos observar las emisiones reguladas, con los principales impactos producidos y la contribución de las plantas térmicas industriales y los motores automotrices.

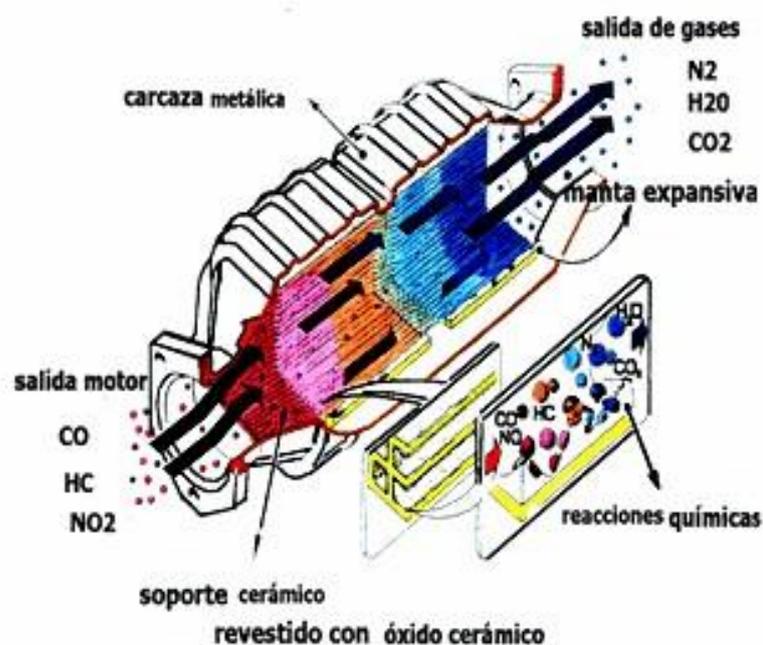


Figura 13. Gases contaminantes generados por un Motor de Combustión Interna a Gasolina

Fuente: (Coducción ecológica y eficiente, 2012)

Tabla 3

Contaminantes emitidos por motores de combustión interna

Contaminantes emitidos	Impacto producido	Plantas industriales	Campo automotriz
Monóxido de carbono (CO)	Envenenamiento, enfermedades cardio vasculares	<10%	>80%
Hidrocarburos sin quemar (HC)	Smog fotoquímico, daños fisiológicos	<10%	>80%
Partículas de materia (PM)	Daños a los pulmones, daños fisiológicos	30%	30%
Óxidos de nitrógeno (NOx)	Smog, lluvia ácida, químicos tóxicos	50%	40%
Óxidos	Smog, lluvia	80%	<10%

CONTINUA →

sulfúricos (SO₂ y SO)	ácida, enfermedades pulmonares.		
Dióxido de carbono (CO₂)	Calentamiento global, cambios climáticos	60%	20%

Fuente: (Ferrari, 2014)

Los más serios contaminantes de un motor a gasolina son:

- Monóxido de carbono (CO),
- Hidrocarburos (HC) y
- Óxidos nitrosos (NO_x).

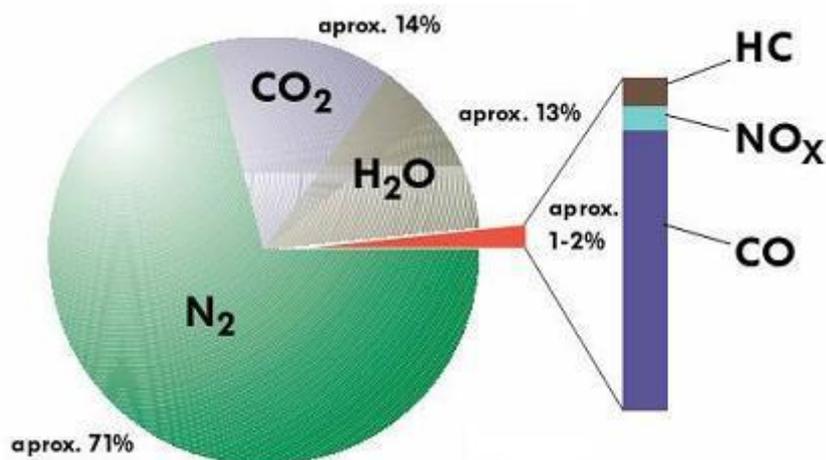


Figura 14. Principales contaminantes de un motor gasolina

Fuente: (Aficionados a la Mecanica, 2014)

De acuerdo con (Ferrari, 2014), las reacciones de formación y destrucción de los contaminantes están relacionadas con la química del proceso de combustión. En la figura 15 presenta los niveles de emisiones de gases de escape con respecto a la relación de aire/combustible y también a una relación de equivalencia.

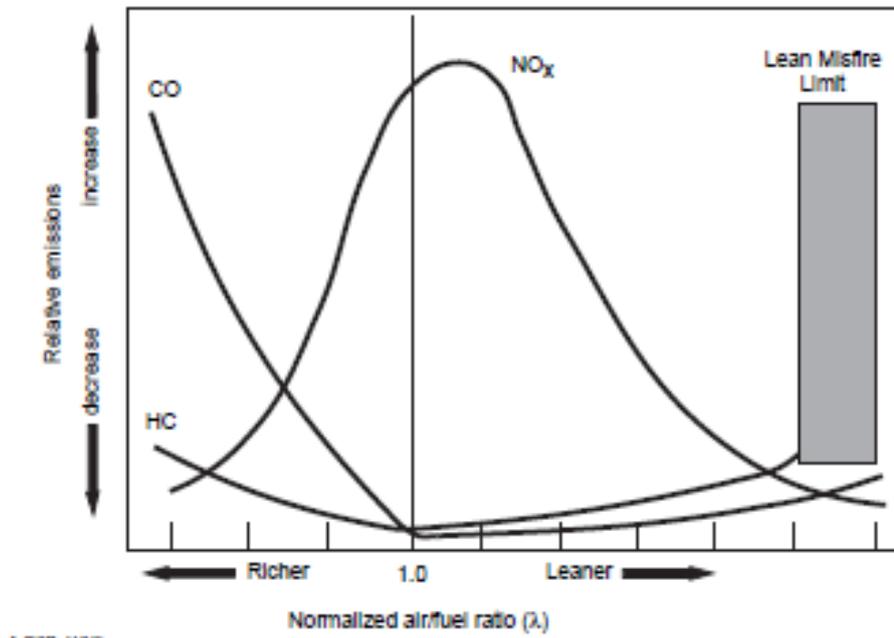


Figura 15. Efecto de la relación aire/combustible sobre las emisiones de escape de un motor de encendido por chispa

Fuente: (Air Pollution from Motor Vehicles - Standards and Technologies for Controlling Emissions, 2005)

a. Dióxido de Carbono (CO₂)

El dióxido de carbono es un gas que consiste en una parte de carbono y dos partes de oxígeno. Es un gas incoloro que tiene un olor débil y agudo y un sabor agrio; es un componente menor de la atmósfera de la Tierra (aproximadamente 3 volúmenes en 10,000), se forma por la combustión de materiales que contienen carbono, en la fermentación y en la respiración de animales y empleado por las plantas en la fotosíntesis de los carbohidratos. La presencia del gas en la atmósfera evita que parte de la energía radiante recibida por la Tierra se devuelva al espacio, lo que produce el llamado efecto invernadero. Industrialmente, se recupera para numerosas aplicaciones diversas de gases de combustión, como un subproducto de la preparación de hidrógeno para la síntesis de amoníaco, de cal y de otras fuentes (Flagan & Seinfeld, 2012).

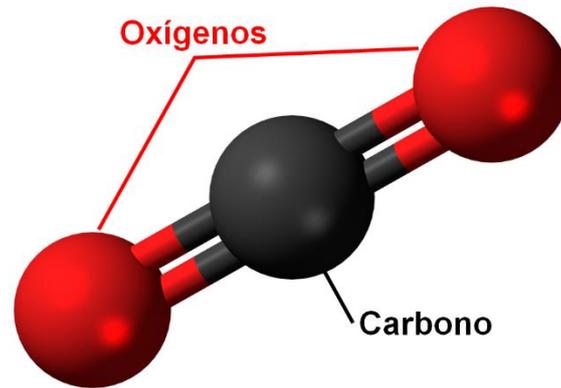
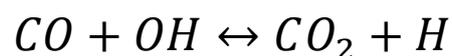


Figura 16. Moléculas Dióxido de Carbono

Fuente: (Hernandez, 2016)

b. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas venenoso, inodoro e incoloro, se genera cuando el motor trabaja con mezclas ricas. Es una reacción intermedia en la oxidación de combustibles de hidrocarburos a CO_2 (dióxido de carbono) y H_2O (agua). Esto se debe a la falta de suficiente oxígeno para generar una combustión completa, a un corto tiempo de residencia en la cámara de combustión, para que se oxide con el resto de oxígeno, o una caída demasiado rápida de la temperatura (Flagan & Seinfeld, 2012). El CO se obtiene principalmente por la descomposición térmica de las cetonas y luego se oxida a CO_2 principalmente por la reacción:



Ecuación 4. Reacción química del monóxido de carbono

Fuente: (Flagan & Seinfeld, 2012)

Incluso con aire suficiente, se encontrará algo de monóxido de carbono en el escape, debido a la falta de mantenimiento del equilibrio del monóxido y el dióxido durante la expansión. Normalmente, el escape de un motor de encendido por chispa presentara aproximadamente un 0,2% a 5 % de CO.

De acuerdo con (Ferrari, 2014), los resultados experimentales indican que los niveles de CO están controlados principalmente por la relación de equivalencia aire/combustible. A partir de la figura 9 se puede observar que las

concentraciones de CO son bastante altas cuando el motor funciona con mezclas ricas y se disminuyen con una mezcla más pobre. Se observa que la concentración de CO depende casi completamente de la relación de aire/combustible.

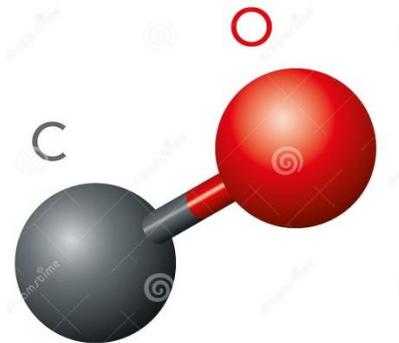


Figura 17. Moléculas de Monóxido de Carbono

Fuente: (Hernandez, 2016)

El monóxido de carbono es venenoso y puede afectar a personas con enfermedades cardiovasculares o pulmonares y causar efectos dañinos para la salud humana al reducir el suministro de oxígeno a los órganos del cuerpo (corazón, pulmones, cerebro, etc.) y a los tejidos, (PREVENZIONE, EPIDEMIOLOGIA &, 2013). Cuando es inhalado, reemplaza al oxígeno en la circulación sanguínea, por lo tanto, el metabolismo puede no funcionar correctamente. Reduce lentamente la actividad física y mental, produce dolores de cabeza, incluso una gran concentración de CO podría matar (Rajput, 2009).

En consecuencia, el control del monóxido de carbono es necesario debido a su toxicidad. Además, representa energía química perdida que no utilizó completamente el motor. Los motores de encendido por chispa, son la principal fuente de monóxido de carbono, representando el 90% de todas las emisiones antropogénicas (Ferrari, 2014).

c. Hidrocarburos (HC)

Las emisiones de hidrocarburos no quemados (HC) incluyen una gran variedad de compuestos orgánicos. Algunos de ellos son casi inertes y prácticamente no reactivos, como el metano. Otras, en cambio, son altamente reactivas en presencia de la luz solar. se originan durante las fases de

compresión y combustión de la carga que de alguna manera se le ha impedido completar su reacción. (Constantine Arcoumanis , 2012) menciona que algunos hidrocarburos se originan de la mezcla que se ha comprimido en grietas, especialmente alrededor de la parte superior del anillo del pistón, donde la reacción es inhibida por las paredes relativamente frías. Durante la expansión, este material se libera en el cilindro, donde puede reaccionar parcialmente.

La relación aire/combustible de la mezcla tiene una gran influencia en el nivel de emisiones de HC, ya que afecta la velocidad y la integridad del proceso de combustión, controlando la disponibilidad de oxígeno para las reacciones de oxidación. La figura 9 explica que las concentraciones de HC en los gases de escape disminuyen rápidamente cuando se utilizan mezclas pobres. Si es demasiado pobre, produce una combustión aún más pobre, lo que nuevamente genera emisiones de HC.

La cantidad existente en el escape de un motor de combustión interna es insignificante desde un punto de vista energético, pero es objetable desde un enfoque donde algunos productos de la combustión de hidrocarburos reaccionan con la luz solar generando smog fotoquímico produciendo irritación y lagrimeo de los ojos y afectando al sistema respiratorio o causando efectos carcinogénicos y mutagénicos (Pulkrabek, 1997).

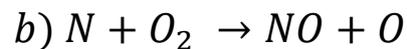
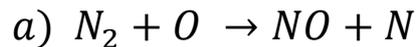


Figura 18. Efecto de los hidrocarburos con la luz solar Smog Fotoquímico

Fuente: (Hernandez, 2016)

d. Óxidos nitrosos (NOx)

Los óxidos nítricos es un subproducto principal de los procesos de combustión, que surge de la reacción a alta temperatura de la combustión entre N_2 y O_2 existentes en el aire y de la oxidación del nitrógeno unido orgánicamente en ciertos combustibles como el carbón y el petróleo, La oxidación de N_2 por el O_2 ocurre principalmente a través de las dos reacciones:



Ecuación 5. Reacciones químicas para la formación de óxido nitroso

Fuente: (Flagan & Seinfeld, 2012)

La primera reacción tiene una energía de activación relativamente alta, debido a la necesidad de romper el fuerte enlace N_2 . Por esta razón, la alta energía es el paso limitante de la velocidad para la producción de NO, se produce a un ritmo algo más lento que la combustión y es altamente sensible a la temperatura (Flagan & Seinfeld, 2012).

Debido a que el NO se convierte en NO_2 en la atmósfera, las emisiones de ambas especies con frecuencia se les agrupa y se les designa como NOx. El NO es la especie predominante de la combustión (cerca del 98% del total de NOx). Sin embargo, el NO_2 es el compuesto más tóxico e irritante.

Los óxidos de nitrógeno se forman en los gases quemados a alta temperatura, detrás del frente de llama, debido a la coexistencia del nitrógeno y el oxígeno en el aire a una temperatura muy alta. Durante la carrera de expansión, la descomposición de NOx es muy lenta debido a la rápida disminución de la temperatura, por lo que las altas concentraciones formadas durante la combustión están prácticamente congeladas (Ferrari, 2014).

Así, los parámetros del motor que influyen principalmente en las emisiones de NOx son:

- relación aire / combustible de la mezcla quemada en el cilindro del motor,
- valor del avance de encendido por chispa, relativo al TDC,
- reciclar parte de los gases de escape al sistema de admisión, 4. velocidad de rotación del motor y carga,
- relación de compresión y sobrealimentación.

Es necesario recalcar que las emisiones de NO_x, en el escape del motor de combustión interna, son insignificantes. Las concentraciones de NO_x oscilan entre 0.1% y, aproximadamente, 0.75% según la relación de equivalencia (Constantine Arcoumanis , 2012). Su importancia radica en su contribución a la formación de gases contaminantes.

De acuerdo con (Flagan & Seinfeld, 2012), la combustión móvil y la generación de energía con combustibles fósiles son las dos fuentes antropogénicas más grandes de NO_x. Además, los procesos industriales y las operaciones agrícolas producen cantidades menores. Las emisiones se reportan generalmente como si el compuesto que se emitiera fuera NO₂. Este método de presentación tiene el propósito de permitir la comparación fácil de diferentes fuentes y evita la dificultad en la interpretación asociada con diferentes proporciones de NO / NO₂ emitidas por diferentes fuentes.

La fuerte dependencia de la cinética de la temperatura proporciona la herramienta principal utilizada en el control de la formación de NO en los sistemas de combustión. Cualquier modificación del proceso de combustión que reduzca las temperaturas máximas en la llama puede usarse para reducir las emisiones de NO_x. Debido a esta dependencia de la temperatura, la tasa de formación de NO varía fuertemente con la relación de equivalencia, con un pico agudo cercano a 1, como se muestra en la figura 9. La reducción de la relación de equivalencia es un método posible para el control de NO_x, pero como acabamos de ver, este método es sustancialmente menos efectivo en la combustión no premezclada de lo que la teoría simple podría predecir (Ferrari, 2014).

2.6. Impacto Ambiental

Los contaminantes de los automóviles causan efectos inmediatos y/o a largo plazo en el medio ambiente. Las emisiones de escape de automóviles emiten una amplia gama de gases y materia sólida, lo que provoca el calentamiento global, la lluvia ácida y el medio ambiente y la salud humana. Los automóviles, camiones y otras formas de transporte son el mayor contribuyente a la contaminación del aire, sobre todo en ciudades con índice de habitantes muy alto.

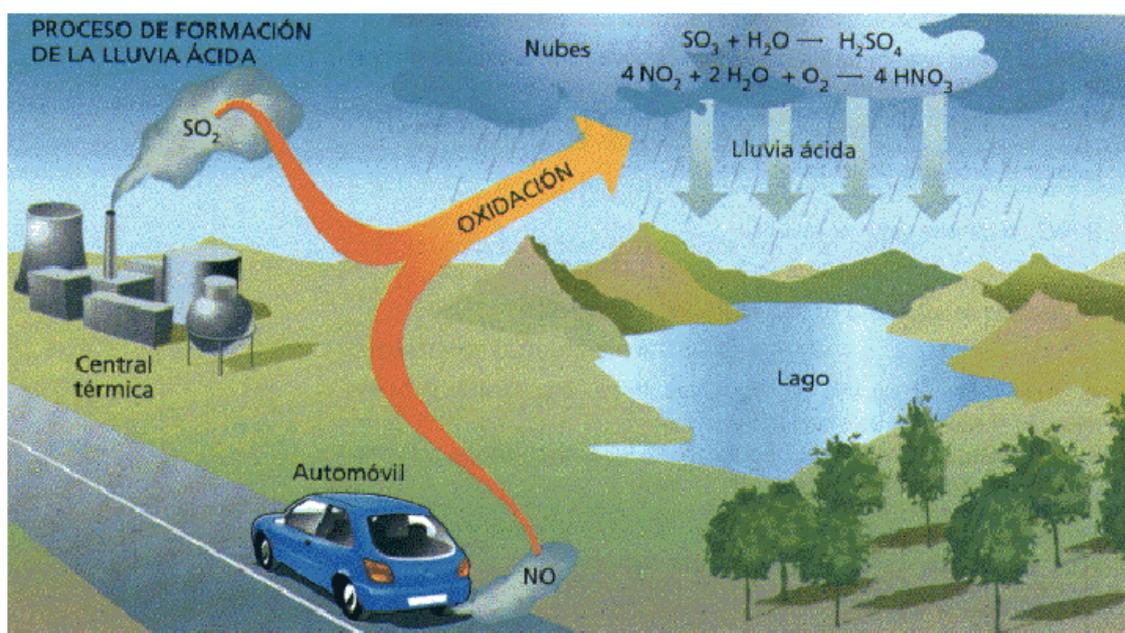


Figura 19. Lluvia acida

Fuente: (Efecto de la contaminación, 2011)

2.6.1. Efectos en la salud humana

a. Hidrocarburos (HC)

Los hidrocarburos son absorbidos por los pulmones e intestinos metabolizándose en el cuerpo humano. Es muta génica y carcinogénico. Los estudios epidemiológicos han identificado un riesgo 50 por ciento mayor de cáncer de vejiga entre los conductores de camiones y los repartidores expuestos al escape del motor (Onursal & Gautam, 1997). También se estima que 9 de 100,000 personas expuestas a 1µg / m³ de benzopireno, durante toda la vida, desarrollarían cáncer. El benzopireno un HAP (Hidrocarburos

Aromáticos Policíclico) producido por la condensación de cinco anillos de benceno durante los procesos de combustión de combustibles de 300 a 600 °C, No se conoce un nivel de umbral para los efectos carcinogénicos del benzopireno (Romieu, Weitzenfeld, & Finkelman, 1992)

b. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es rápidamente absorbido en los pulmones y enviado a la sangre, donde es incorporado a la hemoglobina (HB) formando carboxihemoglobina (COHB), disminuyendo así la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre. La disociación de la oxihemoglobina es también alterada debido a la presencia de la carboxihemoglobina en la sangre, lo que perjudica aún más el suministro de oxígeno al tejido. La afinidad de la hemoglobina por el monóxido de carbono es 240 veces mayor que al oxígeno (Motor Vehicle Air Pollution: Public Health Impact and Control Measures, 1992).

c. Óxidos Nitrosos (NOx)

El dióxido de nitrógeno es un gas irritante que es absorbido dentro de la mucosa del tracto respiratorio. En ciertas ocupaciones, los trabajadores están expuestos de manera intermitente a altas concentraciones de óxidos de nitrógeno, particularmente NO y NO₂. El espectro de efectos patológicos en el pulmón resultante de la exposición ocupacional a los óxidos de nitrógeno varía desde una respuesta inflamatoria leve en la mucosa del árbol traqueobronquial en concentraciones bajas, hasta bronquitis, bronconeumonía y edema pulmonar linfo en concentraciones altas (Motor Vehicle Air Pollution: Public Health Impact and Control Measures, 1992).

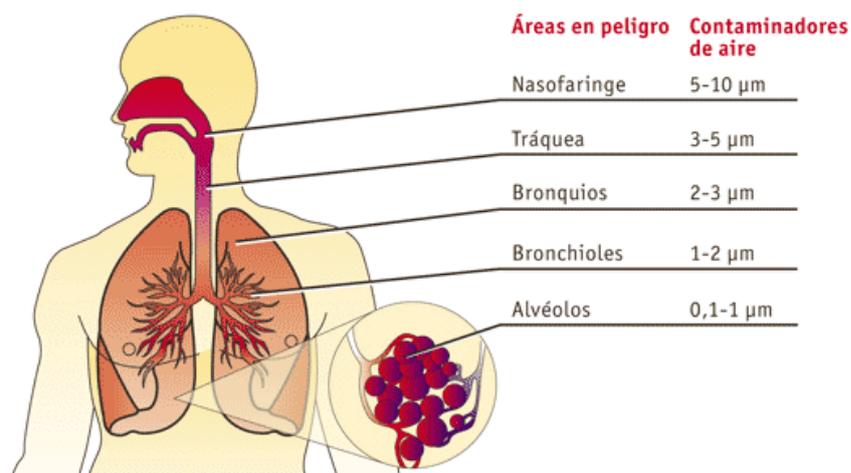


Figura 20. Enfermedades provocadas por el monóxido de carbono

Fuente: (EOI, 2015)

2.6.2. Efectos en el medio ambiente

a. Contaminación térmica del aire

Este tipo de contaminación se aplica generalmente a la descarga de calor en el ambiente proveniente de la combustión generada en los motores. El aumento de la temperatura de cualquier lugar por encima de su temperatura ambiente normal del aire, es evidencia de que se ha producido contaminación térmica del aire en ese lugar. La temperatura media de nuestro planeta está fijada por un equilibrio de estado estable entre la energía recibida del sol y la cantidad de energía térmica irradiada al espacio por la tierra. La perturbación en la energía entrante o saliente alteraría este equilibrio, y la temperatura promedio de la superficie de la Tierra se desviaría a un valor de estado estable diferente (Bolaji & Adejuyigbe, 2006).

La radiación infrarroja que envía energía térmica al espacio no puede viajar libremente a través del aire, ya que el vapor de agua y el CO₂ absorben el infrarrojo. De esta manera, actúan como mantas alrededor de la tierra, impidiendo el escape del calor al espacio. A medida que se produce más CO₂ mediante la combustión de combustibles, el CO₂ dificulta el escape del infrarrojo irradiado desde la superficie de la tierra y la tierra se calienta más.



Figura 21. Contaminación térmica del aire

Fuente: (Efecto de la contaminación, 2011)

b. Efecto Invernadero

El intercambio de radiación entrante y saliente que calienta la Tierra a menudo se denomina efecto invernadero porque un invernadero funciona de manera muy similar. Marc Lallanilla en Live Science lo describe:

La radiación UV entrante pasa fácilmente a través de las paredes de vidrio de un invernadero y es absorbida por las plantas y las superficies duras del interior. Sin embargo, una radiación infrarroja más débil tiene dificultades para pasar a través de las paredes de vidrio y queda atrapada dentro, lo que calienta el invernadero. Este efecto permite que las plantas tropicales prosperen dentro de un invernadero, incluso durante un invierno frío (Lallanilla, 2018).

A diferencia de la luz solar, la radiación infrarroja no puede viajar libremente a través del manto terrestre del aire, ya que contiene vapor de H₂O y CO₂, que absorben la radiación infrarroja. De esta manera, tanto el vapor de H₂O como el CO₂ actúan como mantas alrededor de la tierra y evita el escape de calor al espacio. Esta cobertura es la esencia del efecto invernadero.

De acuerdo con (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - EPA, 2017). Un vehículo de pasajeros típico emite aproximadamente 4,6 toneladas métricas de dióxido de carbono por año. Este número puede variar

según el combustible de un vehículo, el ahorro de combustible y la cantidad de millas recorridas por año. La emisión es de CO₂ de un galón de gasolina es de 8,887gr de CO₂/galón. Por lo tanto, al conducir una milla se generan aproximadamente 404 gr de CO₂.

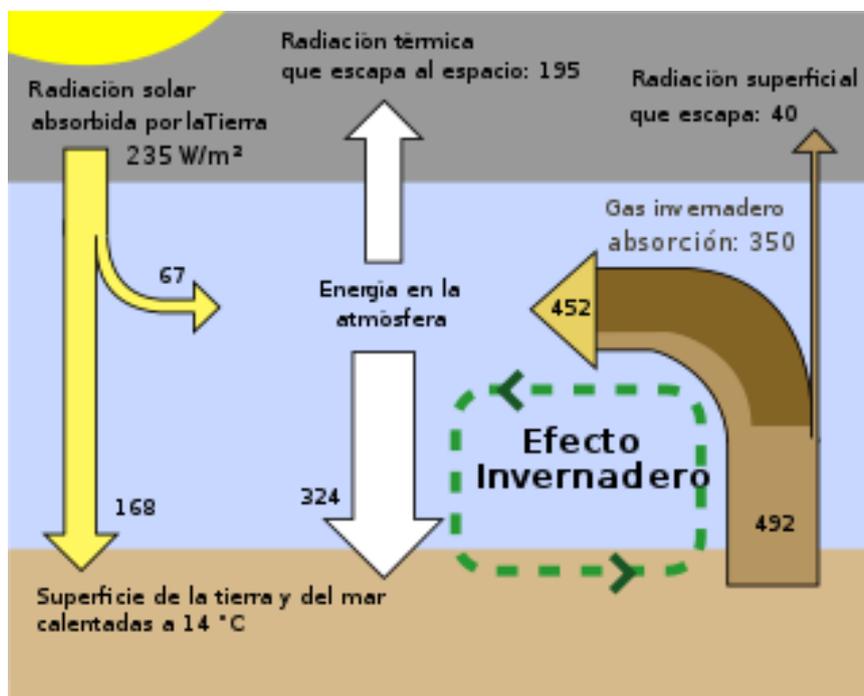


Figura 22. Efecto invernadero

Fuente: (Efecto de la contaminación, 2011)

c. Efectos en la agricultura

Las plantas absorben el contaminante gaseoso a través de sus hojas porque una de sus funciones principales es absorber los gases atmosféricos. (Bolaji & Adejuyigbe, 2006) indica que la estructura de la hoja revela tres regiones: la epidermis (capa externa), la mesófila y las venas, que transportan agua y nutrientes alrededor de la planta. Gases y partículas pequeñas ingresan a la hoja a través de las estomas (poros de la hoja), a los espacios aéreos del mesófilo. Los síntomas de daño a las hojas examinadas son:

- necrosis y decoloración de los márgenes foliares;
- esmaltado y plateado de las superficies, especialmente los lados inferiores;
- clorosis (pérdida de clorofila);

- manchas o punteado de las superficies superiores.



Figura 23. Efecto de la contaminación en la agricultura

Fuente: (Efecto de la contaminación, 2011)

CAPÍTULO III

PROCESO DE DISEÑO Y SIMULACIÓN

3.1. Requerimientos y necesidades al momento de diseñar el colector de admisión

Para el diseño de un colector de admisión es importante establecer la función o el objetivo para el cuál va ser diseñado. Es fundamental tomar en cuenta los posibles efectos que puede tener su diseño sobre el funcionamiento del motor de combustión interna a diferentes velocidades de operación. Además, es necesario considerar el espacio donde será implantado el prototipo.

Inicialmente los vehículos poseían colectores de hierro fundido. Estos colectores podían ser húmedos o secos. Los colectores húmedos tenían pasajes de refrigerante del motor en ellos. Los colectores secos tenían pasajes de escape a través de ellos para calentar la pared del colector. Esto ayuda a vaporizar el combustible antes de que llegue a la cámara de combustión. Otros diseños de colectores secos utilizaban algún tipo de unidad de calentador eléctrico o rejilla para calentar la parte inferior del colector. La buena vaporización del combustible y la prevención de la condensación permitieron la entrega de una mezcla más uniforme de aire y combustible a los cilindros (Erjavec, 2010). Sin embargo, de acuerdo con (Jóvaj & Máslov, 1973), el aumento de la temperatura de la mezcla da paso a la disminución de su densidad, por lo que, el calentamiento inducido en el colector de admisión, en un motor a carburador, es conveniente hasta un cierto límite, que es proporcionado por el calor necesario para la vaporización de las gotas de combustible presentes en la mezcla. También establece otros factores a considerar. Uno de ellos es la resistencia hidráulica. Esto disminuye la presión de la carga suministrada al motor, debido al decrecimiento de la densidad de la carga. La disminución de la presión influye directamente a la eficiencia volumétrica y también produce un aumento en el consumo de combustible (Heywood, 2018). Otro factor, es la existencia de una cierta cantidad de productos quemados en el cilindro generados por el ciclo anterior, razón por la

cual el proceso de admisión está relacionado estrechamente al proceso de escape.

Paralelamente (Heywood, 2018) establece los siguientes parámetros de diseño para el proceso de admisión:

- Baja resistencia de aire
- Conductos y conexiones con longitudes que permitan aumentar la presión estática y desempeño del motor aprovechando el flujo de la mezcla.
- Calentamiento del colector para mejorar una adecuada vaporización.

(Pulkrabek, 1997), establece que el diámetro interior de los conductos debe ser lo suficientemente grande para evitar una alta resistencia al flujo y la baja eficiencia volumétrica resultante. Por otro lado, el diámetro debe ser lo suficientemente pequeño como para asegurar una alta velocidad de aire y turbulencia. Esto mejora su capacidad de transportar gotas de combustible y aumenta la evaporización y la mezcla de la carga.

La longitud de un colector o sus conductos deben ser diseñados en conjunto con su diámetro para equilibrar, de la mejor manera, el desempeño del motor en alta o bajas RPM. Algunos colectores de admisión tienen la capacidad de cambiar la longitud y diámetro para las diferentes velocidades del motor. Los colectores de admisión con longitud más extensa y de menor diámetro introducen más aire en los cilindros a bajas RPM. Por otro lado, para empujar más aire hacia los cilindros cuando el motor se encuentra a altas RPM, los colectores de admisión están diseñados con un diámetro mayor y de longitud más corta. (Hadfield, 2009) menciona que los colectores deben estar ligeramente curvados, si el diseño así lo requiere, y evitar curvas bruscas que creen mayor restricción de aire.

3.1.1. Alternativas de diseño del colector

Para el diseño de los colectores de admisión se toma en cuenta diseños de las siguientes investigaciones:

(Ramakrishna, Govinda, & Sheshaiah, 2014) realizaron pruebas en un motor de combustión interna de 4 tiempos enfriado por agua a diésel. Primero

hicieron el modelo 3D de tres variedades, ver figura 2, y luego se observa los resultados expuestos en la siguiente tabla.

Tabla 4

Niveles de emisiones resultantes del estudio de Ramankrishna a 3kW de carga

Emisiones	Espiral	Helicoidal	Helicoidal - Espiral
CO₂	Incremento de 0.22% vol.	de Incremento de 0.14% vol.	de Incremento de 0.52% vol.
NO_x	38 ppm reducidas	86 ppm reducidas	171 ppm reducidas
HC	19 ppm aumentadas	3 ppm reducidas	5ppm reducidas

Fuente: (Ramakrishna, Govinda, & Sheshaiah, 2014)

El análisis muestra que los tres tipos de colectores de admisión producen un rendimiento mucho mejor y menos cantidad de emisiones en comparación con el colector normal.

(Shirao, Sambhe, & Bodade, 2013) propone una geometría basada en manufacturar roscas internas en los colectores admisión con el fin de generar un efecto swirl. Este estudio se realizó en un motor de combustión interna mono cilíndrico a diésel obteniendo los siguientes resultados:

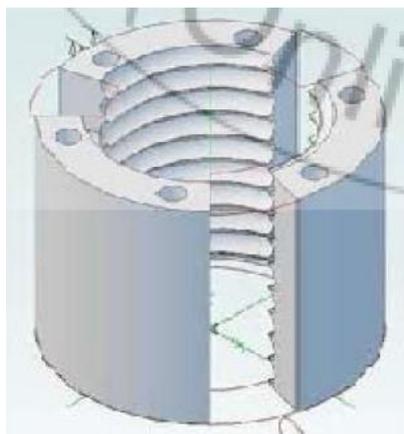


Figura 24. Rosca interna en el colector de admisión

Fuente: (Shirao, Sambhe, & Bodade, 2013)

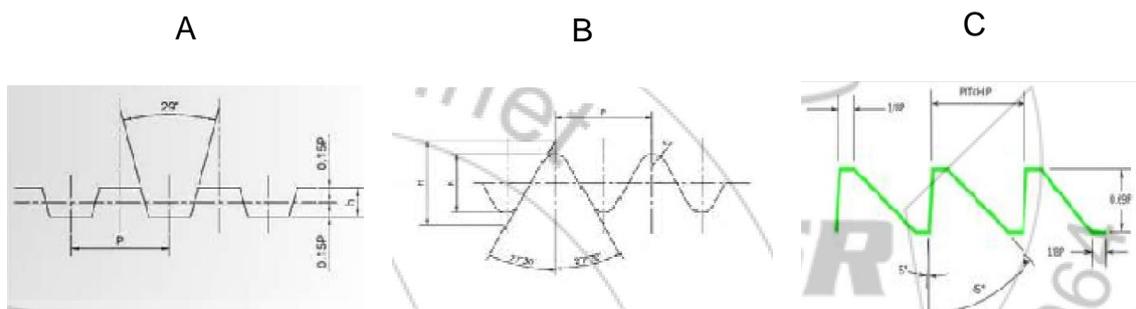


Figura 25. Roscas internas tipo: a) Acme, b) Knuckle y c) Buttress

Fuente: (Shrirao, Sambhe, & Bodade, 2013)

Tabla 5

Niveles de emisiones resultantes del estudio de Shirao a 1500 RPM.

Emisiones	Acme		Knuckle		Buttress
HC	Reducción del 12.32%	del	Reducción del 9.33%	del	Reducción del 18%
CO	Reducción del 21.7%	del	Reducción del 19.53%	del	Reducción del 26.66%
NOx	Reducción del 2.9%		Reducción del 1.8%	del	Reducción del 3.6%

Fuente: (Shrirao, Sambhe, & Bodade, 2013)

En la tabla 5 se puede observar que los tres tipos de ranurado implementado en los colectores de admisión, obtuvieron resultados favorables en cuanto a la reducción de emisiones de gases de escape.

(Shah, Patel, & Jotava, 2014) en su investigación varía la inclinación de la posición del colector de admisión a 25°, 50° y 75° de la posición normal.

Tabla 6

Niveles aproximados de emisiones resultantes del estudio de Pankaj Shah.

Emisiones	Original	25°	50°	75°
CO (%Vol.)	0.38	0.36	0.34	0.45
HC (ppm)	130	120	105	150

CONTINUA →

CO₂ (%Vol.)	8.7	8.9	10.2	8.4
-------------------------------	-----	-----	------	-----

Fuente: (Shah, Patel, & Jotava, 2014)

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos al variar el ángulo de entrada del colector obteniendo resultados favorables a los 25° y 50° a diferencia de a los 75° de inclinación en la entrada del motor.

El estudio realizado por (Phaneendra, Pandurangadu, & Chandramouli, 2012), ver figura 1, los colectores de admisión fueron modificados en su superficie interna con diferentes acabados helicoidales con pasos de 10, 15, 20 y 25 mm, ver figura 13, implementándolos en un motor de combustión interna a diésel y sus resultados se observan en la tabla 7.

Tabla 7

Niveles de emisiones resultantes del estudio de Phaneendra con la implementación de cada colector modificado en comparación con el original al 100% de carga.

Emisiones	Original	10 mm	15mm	20mm	25mm
CO (%Vol.)	0.42	0.62	0.88	0.71	0.84
HC (ppm)	33	120	239	181	261
CO₂ (%Vol.)	1.5	1.2	0.7	0.6	0.6

Fuente: (Phaneendra, Pandurangadu, & Chandramouli, 2012)

En la tabla anterior se puede observar que los niveles de emisiones de CO, HC y CO₂ aumentan con los colectores modificados en comparación a las emisiones originales.

(Ceviz, 2007) modifica el volumen del plenum del colector de admisión original a 90 y 180 cm³ de un motor de combustión interna de encendido por chispa de cuatro tiempos y los resultados de emisiones de gases de escape se puede observar en la tabla 8:

Tabla 8

Niveles aproximados de emisiones resultantes del estudio de Ceviz con la implementación de cada colector modificado en comparación con el original 2000 RPM.

Emisiones	Original	90 cm³	180 cm³
CO (%Vol.)	2,6	1,5	0,6
HC (ppm)	310	295	275
CO₂ (%Vol.)	15,4	16,3	16,8

Fuente: (Ceviz, 2007)

La tabla 8 muestra que las emisiones de CO, CO₂ y HC se reducen conforme se aumenta el volumen del plenum reduciéndose hasta en un 76.92% de CO, 4.84% de HC y un aumento de CO₂ del 9,09%.

En un estudio previo realizado por los autores (Efecto de la longitud y de la geometría de múltiples de admisión en las emisiones contaminantes, 2018), se observó el comportamiento de 4 colectores de admisión con diferente geometría en un motor de combustión interna de 4 tiempos a gasolina, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9

Niveles de emisiones resultantes del estudio “Efecto de la longitud y de la geometría de múltiples de admisión en las emisiones contaminantes”

	Motor sin modificaciones.	CO	[%]	7.44	
		CO₂	[%]	10.14	
		HC	[ppm]	438	
		O₂	[%]	0.56	
		λ	[-]	0.991	
	Motor múltiple modificado y lineal.	con corto	CO	[%]	6.22
			CO₂	[%]	10.9
			HC	[ppm]	388
			O₂	[%]	0.6
			λ	[-]	0.995

CONTINUA →

	Motor	con	CO	[%]	7.27
	múltiple		CO₂	[%]	9.9
	modificado	corto	HC	[ppm]	438
	y curvo.		O₂	[%]	0.65
			λ	[-]	0.995
	Motor	con	CO	[%]	6.12
	múltiple		CO₂	[%]	10.88
	modificado	largo	HC	[ppm]	368
	y lineal.		O₂	[%]	0.59
			λ	[-]	0.996
	Motor	con	CO	[%]	5.44
	múltiple	largo y	CO₂	[%]	11.32
	curvo.		HC	[ppm]	347
			O₂	[%]	0.61
			λ	[-]	0.998

Fuente: (Cajas & Meneses, 2018)

La tabla anterior muestra que el colector que obtuvo mejores resultados en cuanto a reducciones de gases de escape con el último colector de admisión, con una reducción de hasta un 27% en CO, 21% de HC y aumentando en un 12% el CO₂.

Tabla 10

Características comparativas entre colectores

Colector	Material	Rugosidad	Emisiones	Motor de prueba
	PLA	Alta	Reduce	Diésel

CONTINUA →



PLA

Alta

Reduce

Diésel

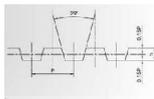


PLA

Alta

Reduce

Diésel

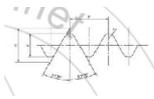


Duralón

Alta

Reduce

Diésel

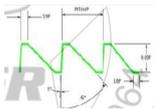


Duralón

Alta

Reduce

Diésel



Duralón

Alta

Reduce

Diésel

**Modificación
de volumen
del colector**

Acero /
Aluminio

Baja

Reduce

Diésel

**Inclinación
del colector**

Acero /
Aluminio

Baja

Incrementa

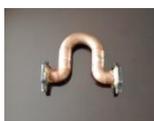
Diésel

Acero /
Aluminio

Baja

Reduce

Gasolina

Acero /
Aluminio

Baja

Reduce

Gasolina

Acero /
Aluminio

Baja

Reduce

Gasolina

Acero /
Aluminio

Baja

Reduce

Gasolina

La tabla 10 nos proporciona las características de cada colector de admisión para establecer cuál de estas opciones es más aceptable para su fabricación y/o adaptar su geometría en el diseño del estudio, adaptando como mejores propuestas las cuatro últimas opciones.

3.2. Diseño Geométrico

Para el estudio se utiliza un motor KTM 250 RC. Al ser un motor monocilíndrico se excluye la idea de un llenado uniforme, propio de motores multicilíndricos, donde es necesario que el aire sea repartido a cantidades iguales, aproximadamente, para el número de cilindros que posea el motor. Por lo tanto, para el diseño de los colectores de admisión, dedicados a este estudio, se considera principalmente su geometría.



Figura 26. Motor KTM RC 250

Fuente: (Soy Motero, 2017)

Para su sistema de alimentación se usará un carburador convencional para motocicletas, por su facilidad de conexión. Una característica a tomar en cuenta de este elemento es su necesidad de funcionar, en la posición como se muestra la siguiente figura:



Figura 27. Carburador convencional para motocicletas

3.2.1. Parámetros geométricos de diseño

a. Diámetro interior del colector

Para el diámetro interior del colector se mantiene la misma magnitud al diámetro de ingreso de mezcla al motor (2 in) con el objetivo de mantener un punto intermedio de los posibles efectos mencionados por (Pulkrabek, 1997) donde expresa que el diámetro interior de los conductos debe ser lo adecuadamente grande para evitar una alta resistencia al flujo o lo suficientemente pequeño como para asegurar una alta velocidad de aire y turbulencia.

b. Forma del colector

Autores como (Hadfield, 2009) o (Rawski, 2012) mencionan los efectos negativos de tener curvas pronunciadas en la geometría del colector. Sin embargo, en cuanto a la generación de turbulencia que, visto anteriormente, ayuda a la aceleración química mediante la mezcla íntima de combustible y aire (Rajput, 2009). Por lo tanto, serán tomadas en cuenta en el diseño.

El número presente de curvas en el diseño está determinado por la facilidad de manipulación al momento de ser acoplado al motor. Por lo que se establece un mínimo de 1 y un máximo de 2 curvas presentes en el diseño. El radio de curva usada en estudio se determina por dos aspectos:

1. Codos metálicos existentes en el mercado con un radio específico de fabricación que mantenga el diámetro interno del conducto y una rugosidad mínima.
2. Que posean un ángulo mínimo entre los extremos que, al momento de su unión, pueda la curva mantener el radio del codo y ser ensamblado en el mismo plano, con el fin de obtener la mayor turbulencia posible debido a la generación de flujo cortante que se produce en las curvas.

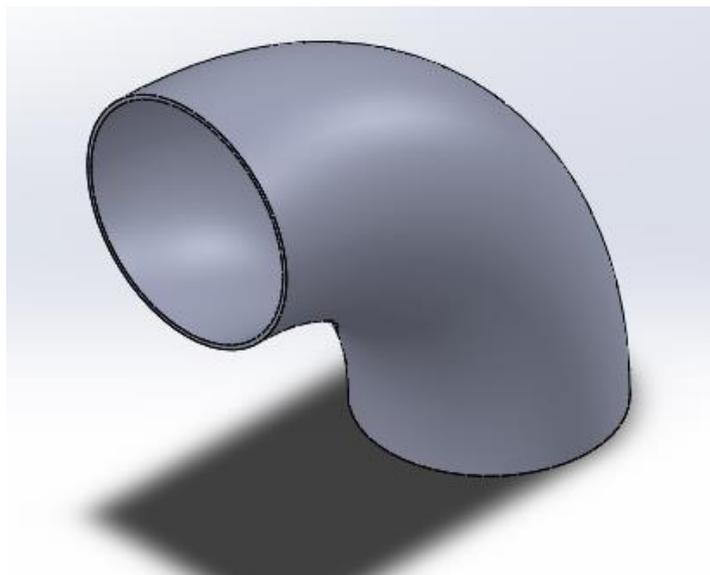


Figura 28. Vista isométrica CAD del codo metálico

La figura anterior muestra el dibujo en software CAD a usarse en el diseño y manufactura de los colectores de geometría curva. Las características del codo metálico a usarse se expresan en la siguiente tabla.

Tabla 11

Características del codo metálico existente en el mercado

	Características
	L = 106.40 mm
	d = 2in = 50.8 mm
	$\alpha = 90^\circ$
	Radio interno: 106.40 mm
	Radio externo: 53.60 mm
	Material: acero inoxidable
	SUS SS316

CONTINUA →

Espesor: 2 mm

Las características mostradas en la tabla 11, son establecidas mediante medición del codo escogido. Este elemento cumple con las necesidades de diseño. Ya que, si modificamos la medida de α la curva no se mantiene en el mismo plano; y aumenta el radio de la curva.

c. Longitud y forma del colector

Primer colector

El primer colector estará formado por 4 codos, formando un circuito curvo donde el fluido recorrerá un arco de 180° por 2 codos, ver figura 29.

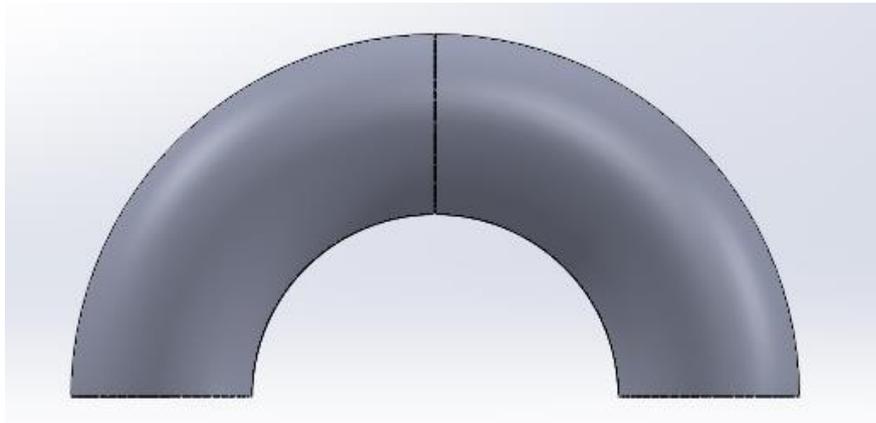


Figura 29. Vista frontal CAD de la unión de 2 codos de acero inoxidable

Adicionalmente, en la figura 30, muestra la unión de otros 2 codos a los extremos del arco de 180° , esto tiene 2 razones principales:

1. La necesidad de establecer una entrada y salida concéntrica en el conducto, para poder establecer la longitud del segundo colector con forma recta.
2. Evitar choques de flujo contra paredes con esquinas cuadradas, y eviten bloquear el paso de la carga al motor.

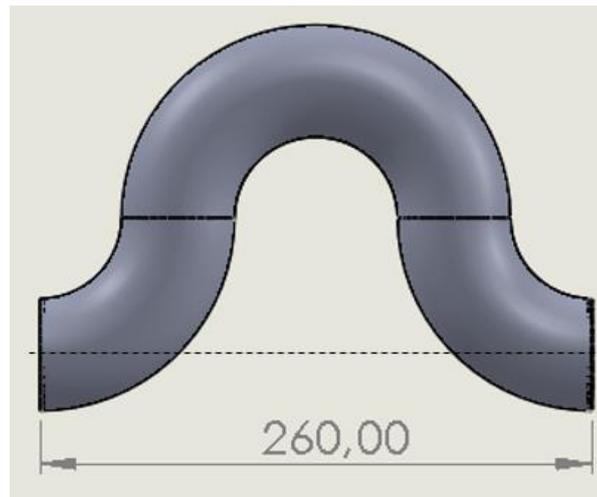


Figura 30. Vista frontal CAD de la unión de 4 codos de acero inoxidable

Segundo colector

Este colector tiene forma recta y su longitud está determinada por la magnitud existente entre los extremos del primer colector, 260 mm (ver figura 30). Esto permitirá establecer una comparación tanto en el análisis de los resultados de la simulación CFD y de emisiones de gases de escape entre estos dos colectores.

Tercer colector

El flujo en tercer colector recorrerá 2 curvas con un arco de 180°. Al igual que el primero, su entrada y salida debe ser concéntrica y tiene la misma finalidad de parámetro para el cuarto colector, determinar su longitud. En este colector para que los extremos puedan ser concéntricas es necesario colocar una extensión entre las dos curvas como se ve en la figura 31.

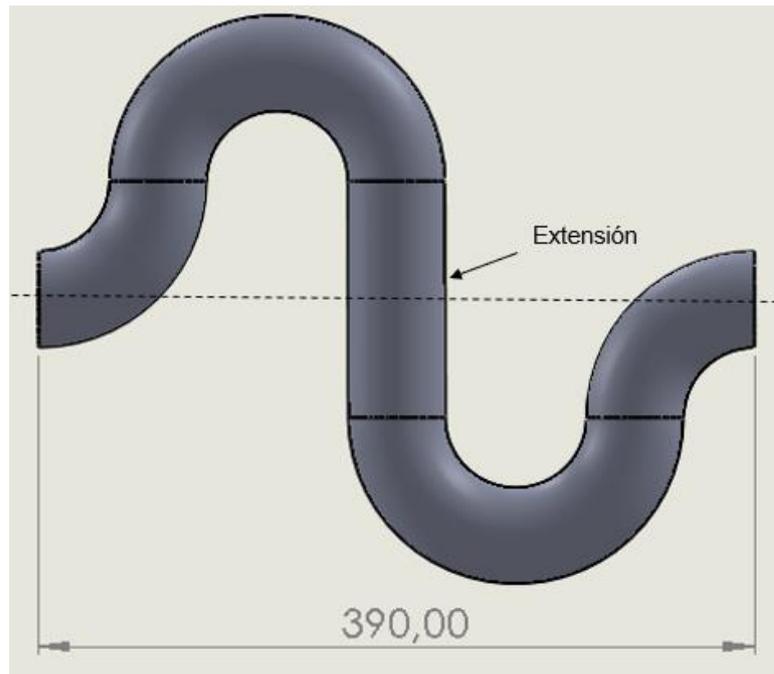


Figura 31. Vista frontal CAD del tercer colector

La longitud necesaria para la extensión es de 130 mm, de igual manera, es necesario unir 2 codos en sus extremos para evitar paredes esquineras que impidan la trayectoria continua del flujo.

Cuarto colector

Al igual que el segundo colector, este tendrá forma recta y su longitud es determinada por el tercer colector, 390 mm (ver figura 31).

Conducto

Debido a la extensa longitud de cada colector, la gravedad será un factor aprovechado en este estudio. Ya que la entrada de aire del motor posee una inclinación de 45° con respecto a un eje vertical, ver figura 32, los colectores serán conectados perpendicularmente a la base de dicha entrada. Sin embargo, el eje de entrada y salida del carburador seleccionado debe permanecer una posición horizontal.

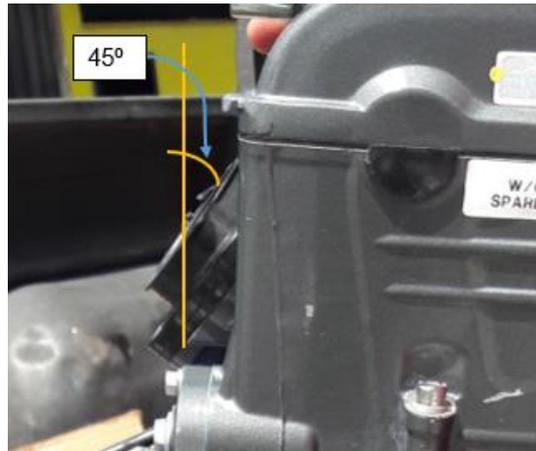


Figura 32. Vista lateral de la entrada del motor KTM RC 250

Para mantener mencionada posición del carburador, se modela un conducto para conectar los colectores con el carburador seleccionado, ver figura 32.

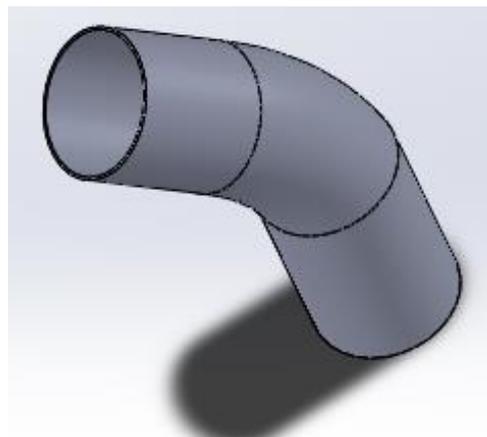


Figura 33. Vista isométrica del modelado del conducto del carburador

A cada colector se les unirán a los extremos, bridas de sujeción de acero. Esto permite el ensamble mediante pernos entre conducto y colectores.

3.2.2. Cálculos para condiciones iniciales de simulación

Velocidad de ingreso de aire al motor

Para determinar la velocidad de aire, se toma en cuenta el siguiente cálculo:

$$Velocidad\ del\ fluido = \frac{cilindrada \cdot \frac{RPM}{2}}{\pi \cdot \frac{(Diámetro\ del\ conducto)^2}{4}}$$

Ecuación 6. Relación de aire/combustible

Fuente: (Ganesan, 2004)

- La cilindrada del motor es de 250 cc y el diámetro de los conductos es de 2 in.

Tabla 12

Valores de velocidades de admisión de aire

RPM del motor $\left(\frac{revol.}{min}\right)$	Velocidad del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$
Ralentí (800)	0,82230026
1500	1,54181299
2000	2,05575065
2500	2,56968832

En la tabla anterior se puede observar el incremento de la velocidad del fluido conforme aumenta las RPM del motor, obteniendo valores semejantes entre sí.

De acuerdo con la tabla A-9 de (Cengel Yunus., 2006), la densidad del aire a 15°C es de 1,225 kg/m³. Por lo tanto:

$$Caudal = Área \cdot velocidad\ del\ flujo$$

Ecuación 7. Caudal de flujo de aire

Fuente: (Ganesan, 2004)

$$Caudal\ másico = caudal \cdot desidad\ del\ fluido$$

Ecuación 8. Caudal másico de flujo de aire

Fuente: (Ganesan, 2004)

Tabla 13*Valores de caudal másico de admisión de aire*

RPM del motor $\left(\frac{\text{revol.}}{\text{min}}\right)$	Caudal de aire $\left(\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)$
Ralentí (800)	0,00166667
1500	0,00382813
2000	0,00510417
2500	0,00638021

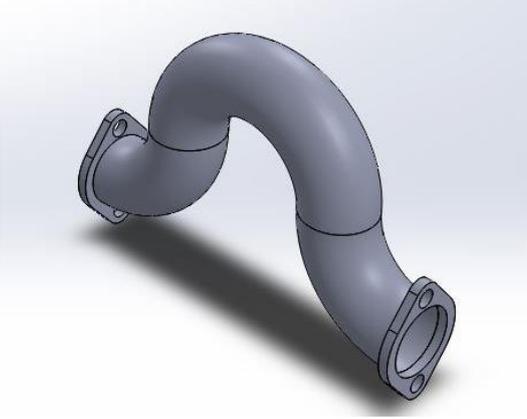
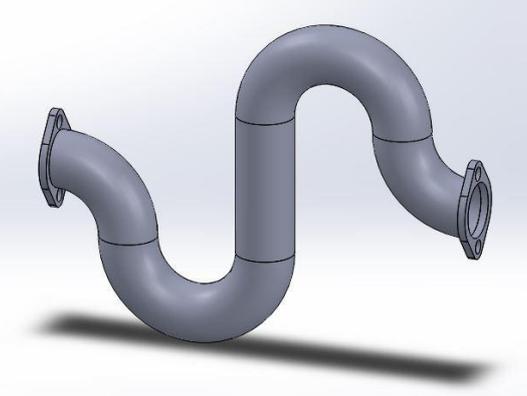
De acuerdo con la tabla 13 se puede observar que el caudal de aire másico se incrementa al doble cuando revoluciona de las 800 a 1500 RPM. Sin embargo, de 1500 a 2000 RPM solo se eleva un 34% y de 2000 a 2500 RPM en un 23%. Es decir, aumenta su caudal, pero su porcentaje de aumento disminuye.

3.3. Modelación de los colectores de admisión

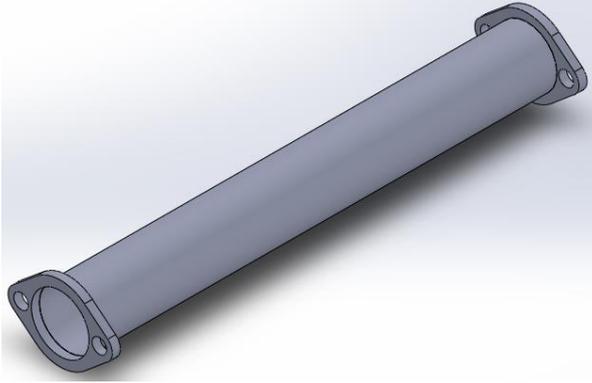
Al modificar el colector de admisión, es necesario predecir de forma aproximada, el movimiento del flujo de aire/combustible, con el fin de establecer el rango de velocidades y/o presiones presentes en el colector, para interpretar un posible resultado en la experimentación real hallando una correlación entre datos de simulación y datos reales. Por lo que es necesario modelarlos en un software CAD.

En la tabla 14 se designa un nombre para cada colector a analizar. Esto facilita la comprensión y redacción del presente estudio.

Tabla 14*Asignación de nombres a cada colector diseñado*

Colector	Nombre
	Curvo Corto
	Recto Corto
	Curvo Largo

CONTINUA →



Recto Largo

3.4. Simulación CFD

3.4.1. Software CFD

Una herramienta muy útil para simular fluidos es el software conocido como CFD (Computational Fluid Dynamics). El CFD está especialmente dedicado a los fluidos que están en movimiento, y cómo el comportamiento del flujo influye en los procesos que pueden incluir la transferencia de calor y, posiblemente, las reacciones químicas en los flujos de combustión. La parte computacional simplemente significa el estudio del flujo a través de simulaciones numéricas, lo que implica el empleo de programas informáticos o paquetes de software realizados en computadoras digitales de alta velocidad para alcanzar soluciones numéricas (Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach, 2007).

3.4.2. Parámetros de simulación

Para la simulación de los prototipos se establece los siguientes parámetros:

- Se introduce como fluido de análisis el aire, al ser el elemento de mayor porcentaje en la mezcla aire/combustible.
- Las paredes de los colectores de admisión son consideradas como sistemas adiabáticos.
- La temperatura del aire para la simulación del sistema, es la temperatura ambiente donde se encuentra el objeto de estudio (Latacunga) durante el período de pruebas.
- Se omite la rugosidad existente en las paredes de los colectores.

- La presión al inicio del colector es la atmosférica a la altitud del lugar del objeto de estudio (Latacunga).
- Se toma en cuenta la gravedad ingresada por defecto en el software CFD.
- La velocidad de salida de los colectores está determinada por la velocidad de admisión del motor: a ralentí (800), 1500, 2000 y 2500 RPM.

Tabla 15

Condiciones de frontera para la simulación CFD

Parámetro	Descripción o valor
Tipo de análisis	Interno
Fluido de análisis	Aire (Gas)
Condición térmica de las paredes	Pared adiabática
Rugosidad	Descartada
Presión atmosférica	103100 Pa
Temperatura ambiente	289,15 K
Gravedad	Si
Velocidad de aire de ingreso al motor	Ver tabla 13

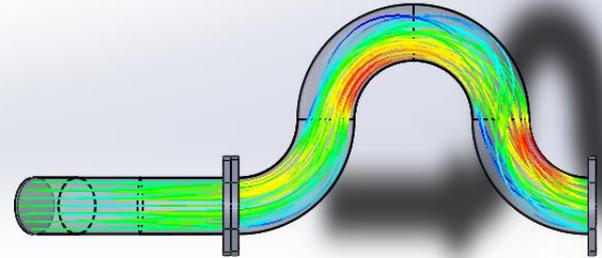
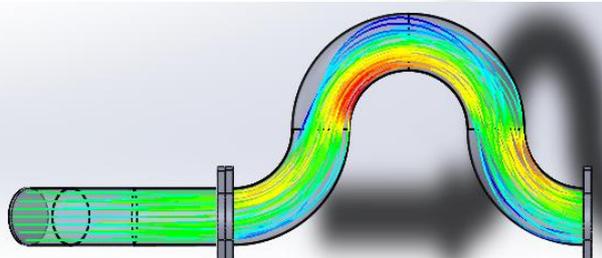
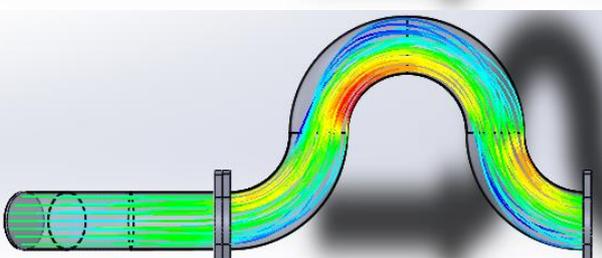
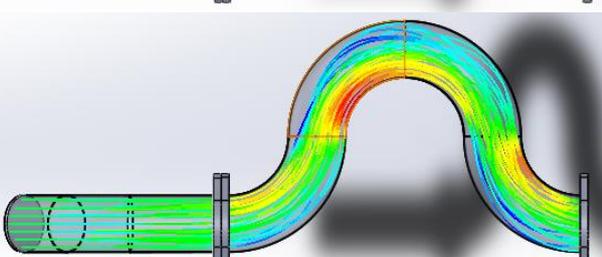
La tabla anterior muestra los valores necesarios a ingresar o programar para la simulación CFD y obtener los valores más próximos posibles con los parámetros establecidos anteriormente.

3.4.3. Obtención de datos

a. Colector Curvo Corto

Tabla 16

Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el colector Curvo Corto a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM

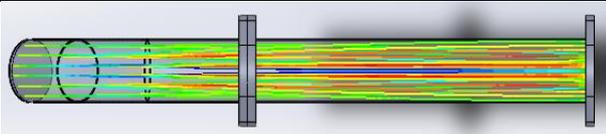
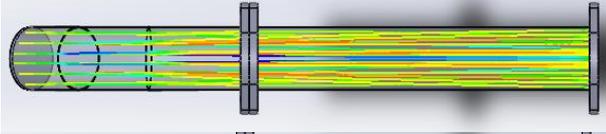
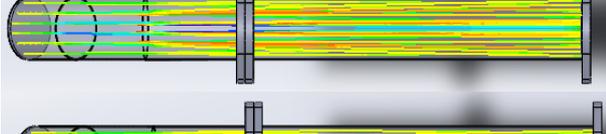
RPM	Simulación	Velocidad (m/s)
800		Máxima: 1.010 Mínima: 0.347
1500		Máxima: 2.318 Mínima: 0.840
2000		Máxima: 3.089 Mínima: 1.172
2500		Máxima: 3.815 Mínima: 1.429

De acuerdo con la tabla anterior, la velocidad aumenta conforme aumenta las RPM, elevándose a 3.8 veces más a las 2500 RPM en comparación con el funcionamiento a ralentí (800 RPM).

b. Colector Recto Corto

Tabla 17

Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el colector Recto Corto a 800, 1500,2000 y 2500 RPM

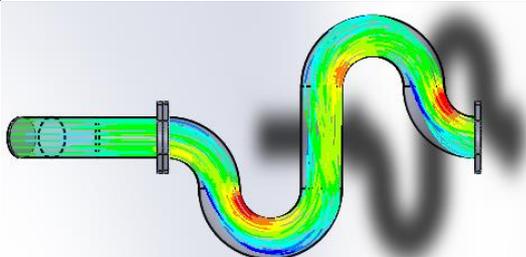
RPM	Simulación	Velocidad (m/s)
800		Máxima: 0.792 Mínima: 0.450
1500		Máxima: 1.772 Mínima: 1.079
2000		Máxima: 2.355 Mínima: 1.398
2500		Máxima: 2.943 Mínima: 1.738

En la tabla 17 se observa que los valores máximos y mínimos de este conducto varían aproximadamente en un 40% a las 1500, 2000 y 2500 RPM, a excepción cuando se encuentra a 800 RPM que varía sus velocidades en un 47%

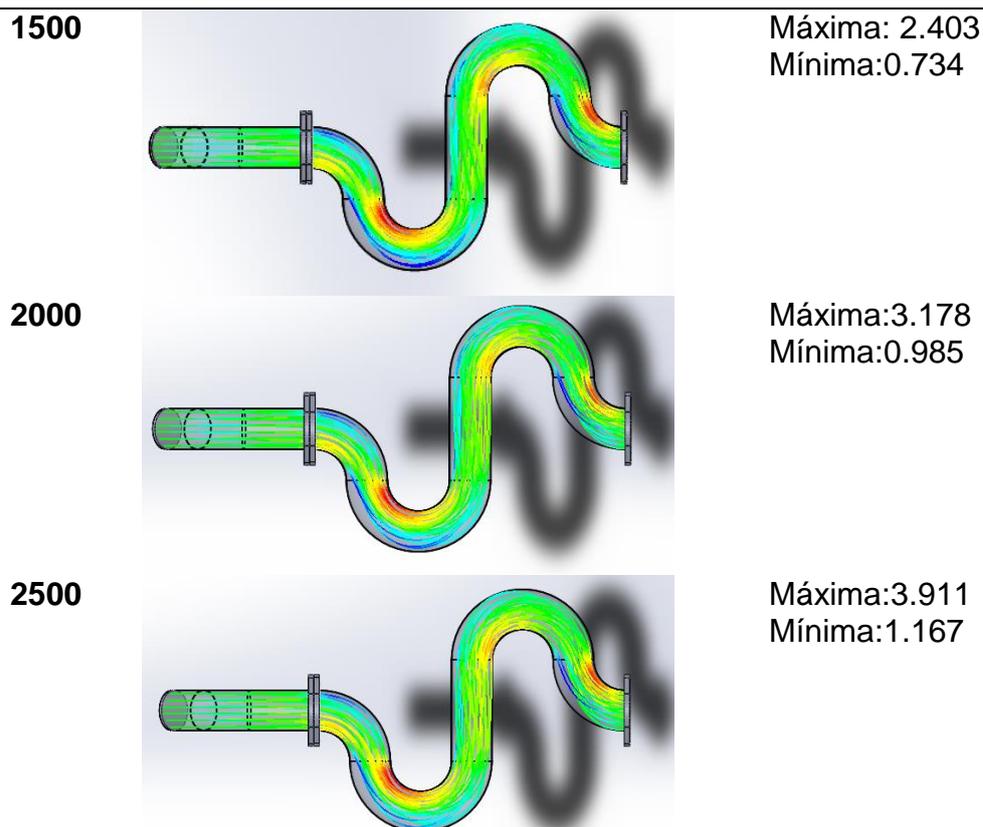
c. Colector Curvo Largo

Tabla 18

Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el colector Curvo Largo a 800, 1500,2000 y 2500 RPM

RPM	Simulación	Velocidad (m/s)
800		Máxima: 1.046 Mínima: 0.336

CONTINUA →

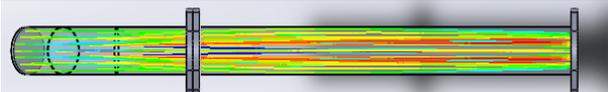


El colector Curvo Largo presenta variaciones de velocidad más altas en comparación al resto de colectores. Posee una velocidad mínima entre 67% al 70% con respecto a la velocidad máxima en las respectivas revoluciones analizadas.

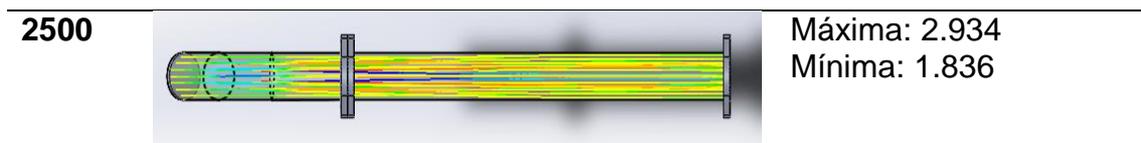
d. Colector Recto Largo

Tabla 19

Simulación del flujo de la mezcla aire/combustible presentes en el colector Recto Largo a 800, 1500, 2000 y 2500 RPM

RPM	Simulación	Velocidad (m/s)
800		Máxima: 0.811 Mínima: 0.442
1500		Máxima: 1.758 Mínima: 1.043
2000		Máxima: 2.345 Mínima: 1.471

CONTINUA →



Los porcentajes de variación de las velocidades máximas con respecto a las velocidades mínimas mostradas en la tabla 19, se reducen conforme se aumenta las RPM del motor, empezando con una variación del 45% a las 800 RPM y terminando con una variación del 37,42% a las 2500 RPM.

Tabla 20

Número de Reynolds a velocidades máximas de los colectores con respecto a las revoluciones del motor

	800 RPM	1500 RPM	2000 RPM	2500 RPM
Curvo Corto	3,49E+03	8,01E+03	1,07E+04	1,32E+04
Recto Corto	2,74E+03	6,13E+03	8,14E+03	1,02E+04
Curvo Largo	3,62E+03	8,31E+03	1,10E+04	1,35E+04
Recto Largo	2,80E+03	6,08E+03	8,11E+03	1,01E+04

De acuerdo con la tabla anterior los colectores curvos poseen un número de Reynolds más alto en comparación a los colectores rectos en las respectiva RPM del motor.

3.4.4. Análisis de resultados

a. Características del flujo interno de los conductos

Colectores Rectos

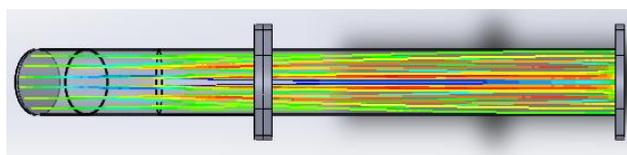


Figura 34. Líneas de flujo interno del colector Recto Corto a 800 RPM

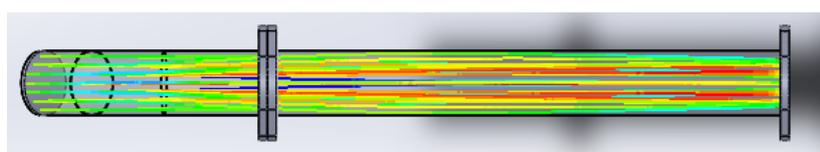


Figura 35. Líneas de flujo interno del colector Recto Largo a 800 RPM

En los colectores rectos, los flujos internos son semejantes dentro del rango de velocidades pertenecientes a cada uno de ellos y a las diferentes RPM. Cada flujo tiene una velocidad inicial por debajo de la velocidad que ingresa al motor. Se produce una aceleración del fluido conforme se acerca a la salida del colector, observe las figuras 34 y 35.

Colectores Curvos

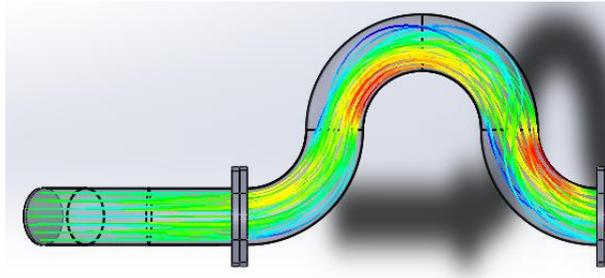


Figura 36. Líneas de flujo interno del colector Curvo Corto a 800 RPM

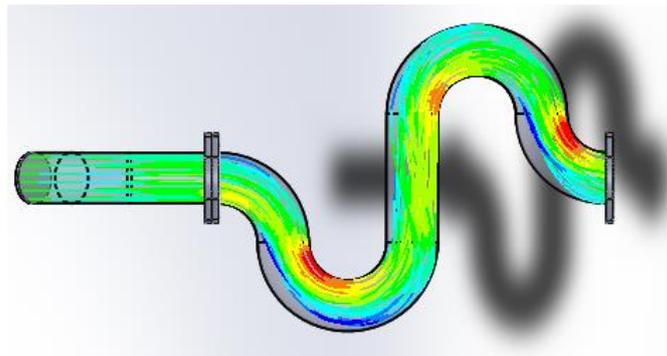


Figura 37. Líneas de flujo interno del colector Curvo Largo a 800 RPM

En los colectores curvos el flujo tiende a ser acelerado en las curvas internas del colector, como se observa la figura 36 y 37. Sin embargo, en las curvas externas la velocidad está cerca de ser nula. A diferencia de los colectores rectos que posee una aceleración uniforme conforme se acerca a la salida, los colectores curvos presentan zonas de velocidades máximas antes de entrar a la curva y se reducen saliendo de ella. Esto se debe a que el flujo opta por seguir una trayectoria cercana a la salida del colector.

b. Valores máximos y mínimos de velocidad

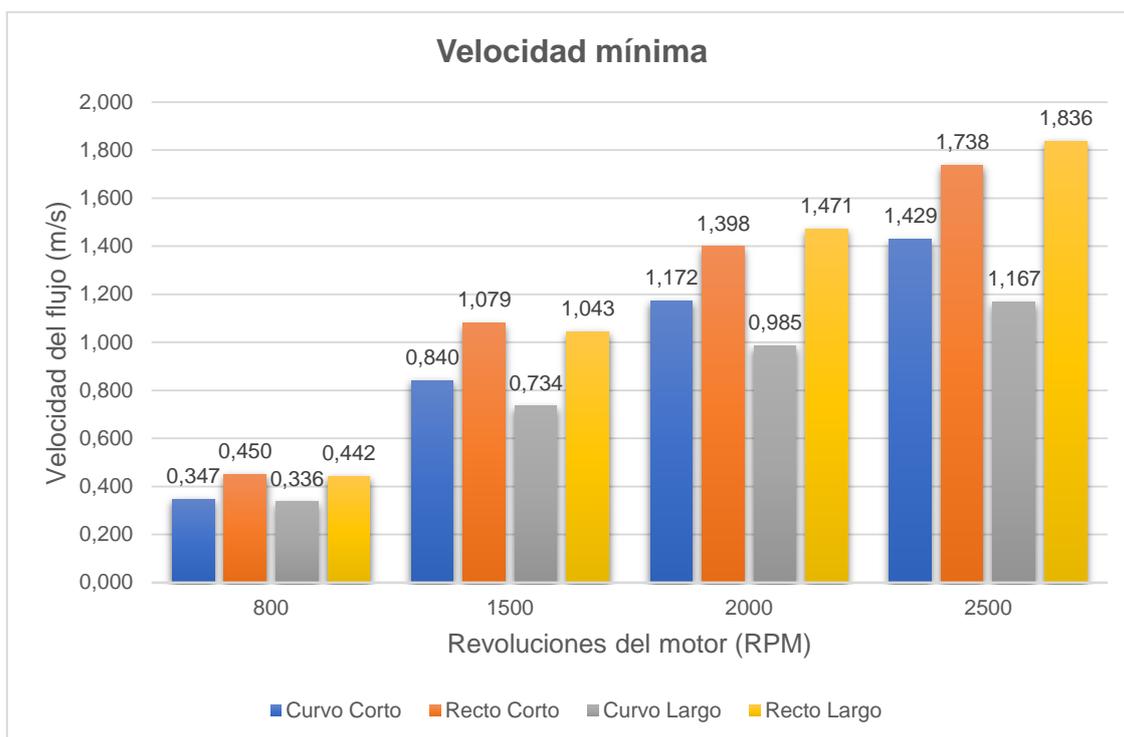


Figura 38. Velocidades mínimas de los colectores de admisión

La figura 38 muestra que las velocidades mínimas presentes en los colectores curvos tienen magnitudes inferiores en comparación a los colectores rectos teniendo aproximadamente entre 27% al 33% a las 800 RPM, del 24% al 47% a las 1500 RPM, 19% al 49% a las 2000 RPM y desde el 21% al 57% a las 2500. Es decir, el porcentaje de variación entre velocidades mínimas se incrementa de acuerdo aumenta las revoluciones del motor. Las zonas de los colectores curvos que tiene estas mínimas magnitudes de velocidad les dificultan transportar la carga fresca al motor además de reducir su nivel de turbulencia y en consecuencia disminuir la intensidad de mezcla aire/combustible que ingresa al motor.

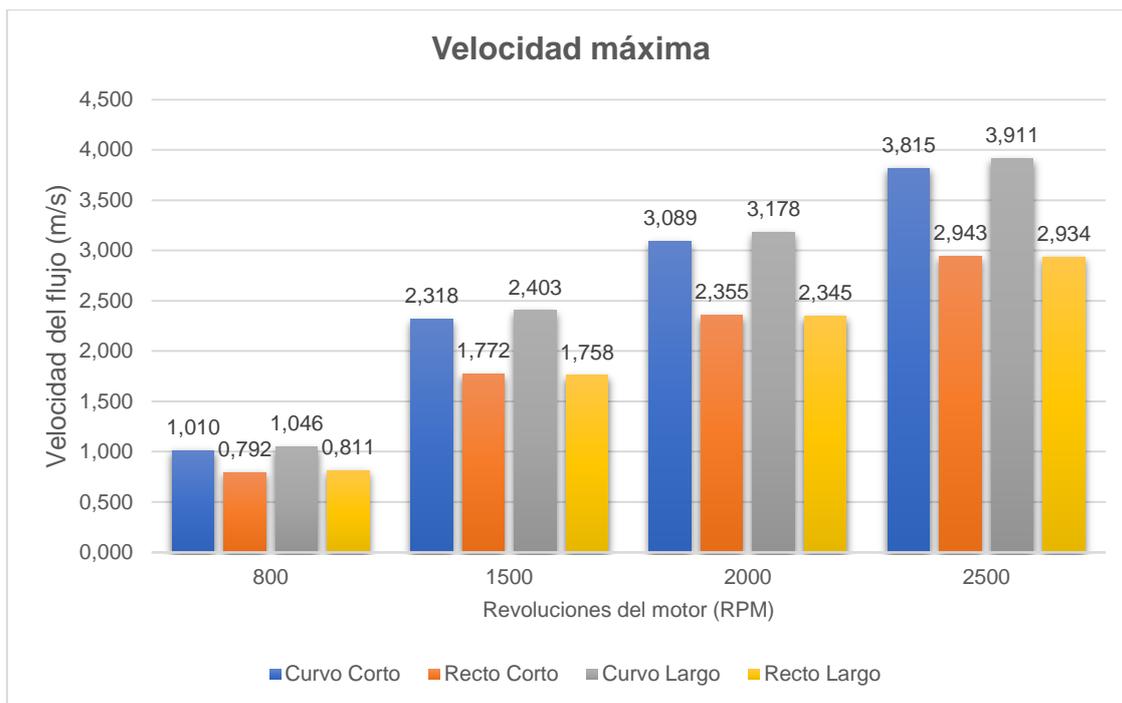


Figura 39. Velocidades máximas presentes en los colectores de admisión

De acuerdo a la figura 39 las velocidades máximas se incrementan en los colectores curvos con respecto a los colectores rectos y su porcentaje de variación aumenta directamente proporcional a las revoluciones del motor. Los porcentajes de variación más altos se produce a las 800 RPM en un rango de 24.54% al 32.07%. Por otro lado, la variación de velocidades más bajas se produce a las 2000 RPM que se encuentra dentro del 31.17% al 35.52% de aumento de velocidad en colectores curvos con respecto a los rectos. A 1500 y 2500 RPM existe una variación del 30.81% al 36.69% y del 29.63% al 33.3%, respectivamente, en los colectores curvos con respecto a los colectores rectos. Es decir, en las zonas de los colectores curvos donde se encuentran las velocidades máximas, la mezcla de carga fresca se intensifica y aumenta la rapidez para transportar dicha carga.

c. Niveles de turbulencia

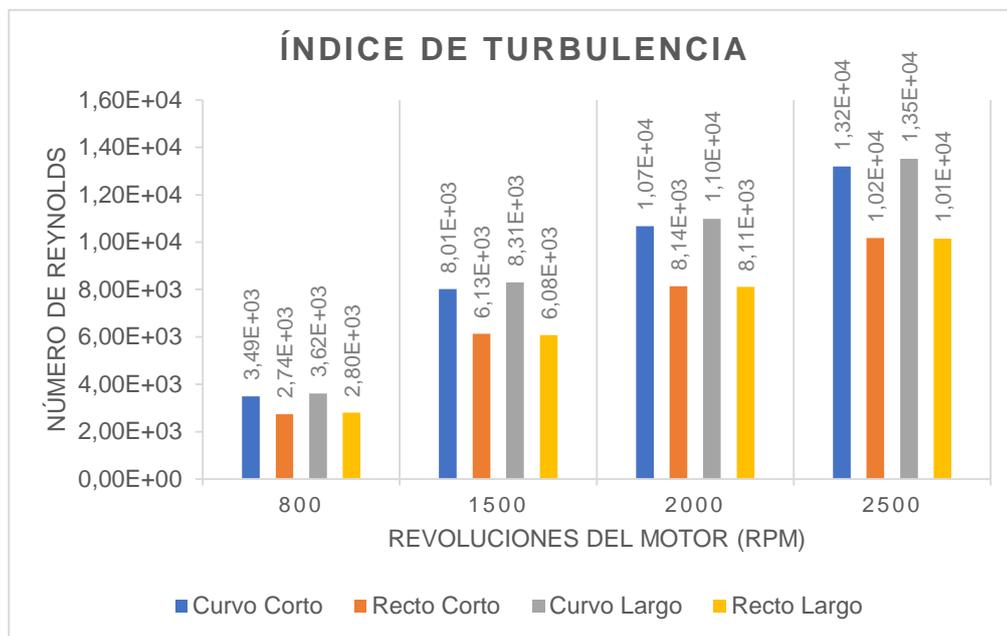


Figura 40. Índice de turbulencia

El aumento de la velocidad en el motor es la razón principal para el incremento de la velocidad del flujo de la carga fresca, en consecuencia, la turbulencia aumenta. Paralelamente el número de Reynolds de los colectores curvos aumentan con respecto a los colectores rectos. La formación de la curva en el flujo permite el aumento de la turbulencia debido al incremento de la velocidad que se produce cuando el fluido se encuentra en ese punto de la trayectoria. Por lo tanto, en las zonas con un número de Reynolds más alto, la mezcla de aire/combustible se intensifica.

CAPÍTULO IV

PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLADO

En este capítulo se detallan los procesos de fabricación los colectores de admisión previamente diseñados, mediante la utilización de varias operaciones de fabricación y ensamblaje.

En la Tabla 21 se detalla las diferentes operaciones a ejecutar durante el proceso de fabricación de los conductos.

Tabla 21

Operaciones a ejecutar en la fabricación

N° Operación	Operación	Herramientas
1	Medición y trazado	Micrómetro, flexómetro
2	Corte de material	Bosch modelo Cifer
3	Doblado	Dobladora de tubo
4	Esmerilado	Esmeril
5	Limpieza de rebabas	Amoladora
6	Unión de partes	Soldadura TIG
7	Unión de partes	Soldadura MIG

4.1. Normas básicas de seguridad

Según (ISO 450001, 2018) y con el fin de que la seguridad se mantenga siempre presente durante todo el proceso de construcción de los conductos se utilizaron los equipos de protección personal, los cuales según la Norma son:

- Mandil u overol que nos permitirá prevenir accidentes cuando estemos cerca de los objetos a altas temperaturas.
- Casco de protección que ayuda en el momento en que, la viruta producida por el corte o la suelta, salgan despedidas hacia el espacio no provoque daños en la cabeza de los usuarios.
- Gafas de protección contra ojos para prevenir que alguna limalla ingrese en nuestros ojos.

- Orejeras para cuidar los decibeles que puede soportar el oído humano mientras se realizan los cortes de los tubos.
- Guantes de cuero y resistentes al calor para realizar los cortes de los tubos y poder manipular los elementos mientras estén siendo soldados.

4.2. Construcción del conducto de admisión

Para realizar la construcción de los colectores se utilizaron métodos de corte y doblado por medio de máquinas cortadoras y dobladoras de tubos, posteriormente se realizaron procesos de soldadura en el cual se utilizaron los procesos TIG y MIG.

Para realizar la soldadura de los codos de los colectores se utilizó la suelta tipo TIG debido a que es uno de los procesos más versátiles de soldadura de alta calidad en cualquier metal, cualquier posición y en casi cualquier espesor de tubo.

4.2.1. Soldadura tipo TIG

Según (Jeffus, 2008) este proceso de soldadura tiene varias ventajas sobre los otros procesos debido a que es un proceso más limpio que no deja escoria.

La versatilidad del proceso es demostrada por su desempeño con metales como aluminio y magnesio, metales difíciles de soldar, sin importar su espesor y la posición en la que se encuentren.

Una de sus mayores desventajas es el costo que esta representa ya que requiere bastante tiempo lo cual aumenta el costo del producto final.

4.2.2. Soldadura tipo MIG

De acuerdo con (Rowe & Jeffus, 2008) este proceso de soldadura se lo conoce como soldadura por arco semiautomático ya que consta de un hilo el cual se alimenta automáticamente, a una velocidad constante, como un electrodo.

Todo este proceso es protegido por un gas protector, que protege la soldadura de la atmosfera y evita que el metal base se vaya oxidando.

Este proceso toma su nombre debido a que, originalmente, se utilizaba solo gases inertes para protección, así que se aplicó el nombre de “Metal Inert Gas” (MIG). El tipo de gas que se utiliza para el proceso varía según el material que se vaya a soldar.

En la figura 41 se indica la realización del proceso de corte de la tubería designada para los colectores, con la ayuda de una cortadora de tubos marca Bosch modelo Cifer



Figura 41. Cortadora de tubos marca Bosch modelo Cifer

De igual manera en la figura 42 el proceso de formación de los colectores, unidos mediante un punto de suelda tipo TIG.

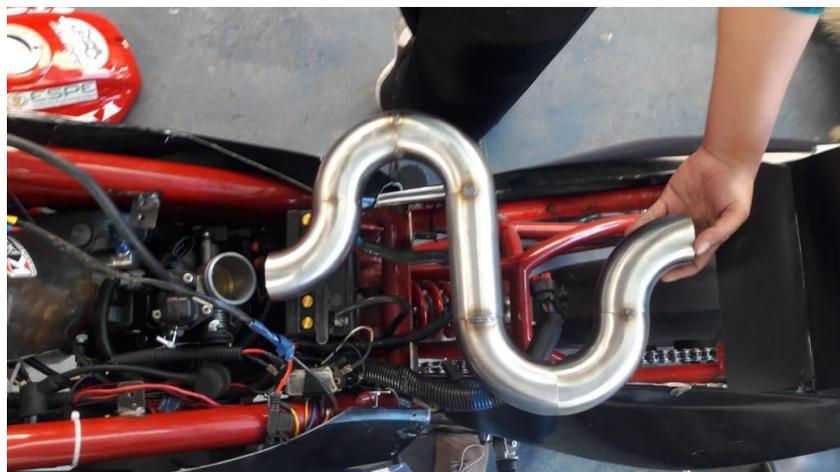


Figura 42. Proceso de formación de colectores

En la figura 43 se muestra el proceso de unión por suelda tipo TIG entre sí de todos los codos.



Figura 43. Unión por suelda tipo TIG

En la figura 44 se indica se realiza el proceso de suelda tipo MIG, el cual es utilizado para la unión de los codos con las bridas de sujeción.



Figura 44. Suelda MIG para la unión de las bridas

En la figura 45 se observa el proceso de la maquina dobladora de tubos para dar la forma requerida para la unión de los colectores con el motor.



Figura 45. Dobladora de tubos dando forma a la conexión del carburador

En la figura 46 se realizan las mediciones para poder determinar la distancia necesaria para la formación del conducto de conexión.



Figura 46. Medición requerida para la conexión del motor

En la figura 47 se observa el acople de conexión entre el carburador y los colectores terminado su proceso de fabricación.



Figura 47. *Colector de conexión entre el carburador y los colectores.*

En la figura 48 se observa el colector recto largo terminado su proceso de fabricación.



Figura 48. *Colector Recto Largo*

En la figura 49 se observa el colector recto corto terminado su proceso de fabricación.



Figura 49. Colector Recto Corto

En la figura 50 se observa el colector curvo largo terminado su proceso de fabricación.



Figura 50. Colector Curvo Largo

En la figura 51 se observa el colector curvo corto terminado su proceso de fabricación.



Figura 51. Colector Curvo Corto

4.3. Ensamblaje del colector con el carburador

El ensamble del carburador que se va a utilizar con los colectores se realizó mediante un acople hecho con duralón, para mayor facilidad de montaje como se observa en la figura 52.



Figura 52. Montaje de conexión entre el colector y el carburador

4.4. Ensamblaje del colector con el motor

En la figura 53 se muestra el acople utilizado para conectar los colectores con la entrada de admisión del motor, fabricado con duralón para mayor facilidad de montaje.



Figura 53. Acople entre el motor y el conducto de admisión

En la figura 54 se observa el colector ya montado en la entrada de admisión del motor KTM, con la ayuda del acople del motor.



Figura 54. Montaje entre el colector de admisión y el motor

4.5. Ensamble de los colectores en el Motor

4.5.1. Colector Recto Corto

En la figura 55 se observa el ensamblado del Colector Recto Corto, el mismo que se realizó con 2 pernos M10, con sus respectivas tuercas, así como la utilización de 2 empaques realizados con papel victoria y colocados en la unión del colector con el acople de conexión del motor.

Para la conexión con el acople del carburador se utilizaron pernos M10 y 2 empaques fabricados de papel victoria.



Figura 55. Ensamble del Colector Recto Corto

4.5.2. Colector Recto Largo

Para realizar el ensamble del colector Recto Largo se utilizaron 4 pernos M10, así como la utilización de 4 empaques elaborados de papel victoria, los mismos que se encuentran colocados entre el acople de conexión del motor con el colector y el acople de conexión con el carburador, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 56. Ensamble del Colector Recto Largo

4.5.3. Colector Curvo Corto

En la figura 57 se observa el ensamblado del Colector Curvo Corto, el mismo que se realizó con 4 pernos M10, con sus respectivas tuercas, así como la utilización de 4 empaques realizados con papel victoria y colocados en la unión del colector con el acople de conexión del motor y el acople de conexión con el carburador.



Figura 57. Ensamble del Colector Corto Curvo

4.5.4. Colector Curvo Largo

Para el ensamble del Colector Curvo Largo se utilizaron 2 pernos M10 y 2 empaques elaborados de papel victoria, los mismos que fueron colocados en la unión con el acople de conexión entre el motor y el colector.

De igual manera para la conexión con el acople del carburador se utilizaron 2 pernos M10 y 2 empaques fabricados de papel victoria como se muestra en la siguiente figura:



Figura 58. *Ensamble del Colector Curvo Largo*

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y VERIFICACIONES

5.1. Análisis modal de fallas y efecto

En la Tabla 20 se muestra el análisis AMFE aplicado al sistema de admisión diseñado, determinando se grado de posibilidad de falla durante su normal funcionamiento, de aquí la importancia para validar el comportamiento de los conductos, analizando los resultados se puede establecer cuan alto es el riesgo que genera el conducto diseñado.

Tabla 22

Análisis modal de falla y efecto

Actividad	Falla	Efecto	Causa	Acciones correctivas
Ensamblaje de los colectores.	Colisiones con otros elementos.	Imposibilidad de ensamble.	Falla en la especificación, diseño y planos de construcción.	Adecuar el diseño al espacio disponible.
		Esfuerzos mecánicos por contacto.	Fisuras en el múltiple admisión	Evitar el contacto de los colectores con los elementos adyacentes. Evitar que los colectores de admisión soporten cargas y que cumplan una función de estructura
Ingreso de aire al motor	Falta de potencia en el motor	El motor funciona con lentitud y se mantiene en un régimen de giro bajo	Falta de presión de aire para cumplir con los requerimientos del motor.	Variar la longitud de los colectores de admisión

CONTINUA →

		Aumento en el consumo de combustible		Identificar y reducir el efecto de los elementos y factores que producen resistencia al flujo de aire.
	Inestabilidad del motor	El motor vibra	No ingresa suficiente cantidad de aire al motor.	Aumentar el diámetro del conducto de admisión
		El motor se apaga		Identificar y reducir el efecto de los elementos y factores que producen resistencia al flujo de aire.
Durabilidad	Los colectores tienen fisuras	El motor debe parar de inmediato	Los colectores de admisión necesitan de soporte	Acoplar elementos para evitar el colisionamiento de los colectores con la estructura donde se ensambla.
	Los colectores se desprenden		Los colectores deben contener sujeciones que soporten las condiciones de funcionamiento y de vibración propias del motor.	Proveer de los elementos de sujeción adecuados.
Obstrucciones	Obstrucción en el interior de los	El motor pierde potencia	Fallas en los filtros de combustible y/o aire	Comprobar el estado de los filtros

CONTINUA →

colectores de admisión	El motor se detiene por completo	se por	Fisuras en la estructura permiten el ingreso de elementos extraños	en la que	Garantizar el sellado sistema	el del
------------------------	----------------------------------	--------	--	-----------	-------------------------------	--------

5.2. Evaluación de riesgos

Dentro del diseño de todos los sistemas automotrices se llegan a producir varios riesgos, los mismos que son necesarios cualificar el nivel de posibilidad en la que pueden ocurrir, siendo una calificación de 1 la más baja y 5 la más alta; así mismo es necesario cualificar el alcance que producirán si ocurren estos, siendo una calificación de 1 la más baja y 5 la más alta.

Obteniendo un factor de riesgo estándar al multiplicar la posibilidad de ocurrencia del riesgo con el alcance que llegara a tener si se produce como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 23

Evaluación de riesgos

Nr.	Riesgo	Posibilidad de ocurrencia 1-5	Alcance 1-5	Factor de riesgo
1	Colisiones con otros elementos	4	5	20
2	Falta de potencia en el motor	3	4	12
3	Inestabilidad del motor	3	3	9
4	El múltiple de admisión tiene fisuras	2	5	10
5	El múltiple de admisión se desprende	1	5	5
6	Obstrucción en el interior del múltiple	1	5	5

CONTINUA →

7	Calentamiento	del	1	2	2
----------	---------------	-----	---	---	---

múltiple de admisión

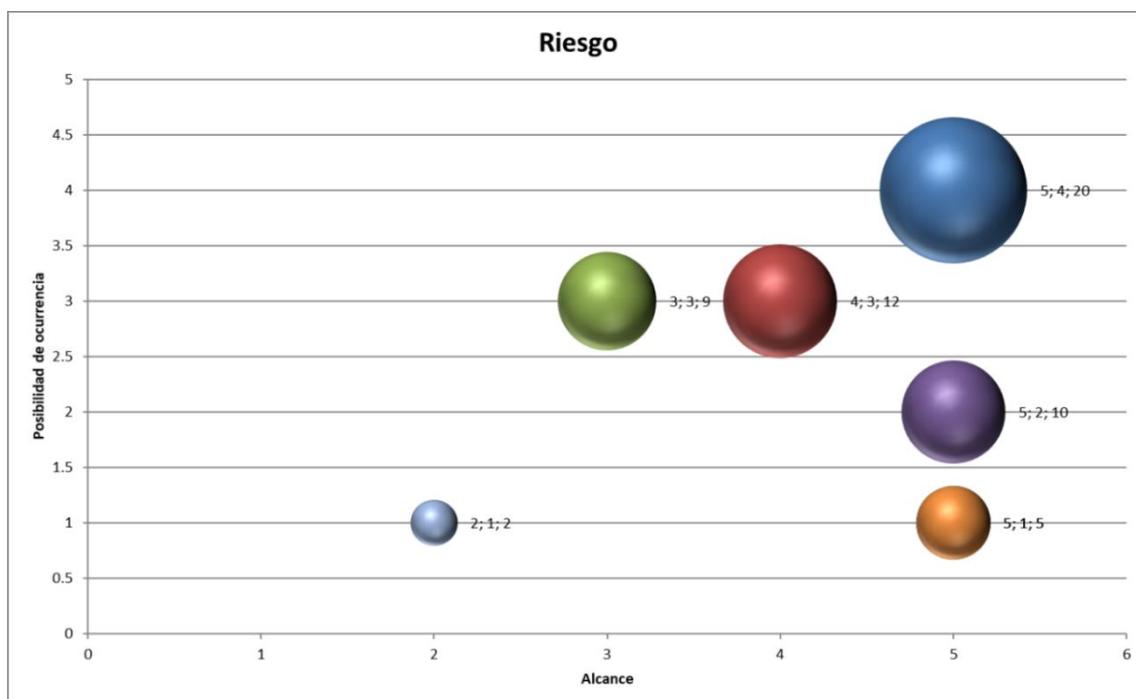


Figura 59. Posibilidad de ocurrencia de un riesgo

5.3. Adquisición de datos

Las mediciones tienen lugar a diferentes velocidades de giro del motor, durante 15 segundos para obtener una lectura estable.

Se medirán las emisiones contaminantes, con el múltiple original y con el nuevo diseño del múltiple de recorrido largo. Estas mediciones, del mismo modo, se tomarán a diferentes velocidades de giro del motor.

5.3.1. Norma INEN 136

El prototipo de motocicleta que se utilizara se basa en la clasificación 8711.30.00.99, de la norma INEN 136 para motocicletas, que indica que el motor de embolo (pistón) alternativo de cilindrada superior a 250 cm³ pero inferior o igual a 500 cm³, deben cumplir todas las motocicletas que funcionan en el país, con la finalidad de proporcionar seguridad de las personas, el ambiente y evitar prácticas que pueden producir accidentes por parte de los usuarios de las mismas.

5.3.2. Realización de pruebas

Para la recolección de datos se realizarán 4 mediciones las cuales se harán a ralentí, 1500 rpm, 2000 rpm y 2500 rpm, según la norma INEN 136.

El procedimiento para la realización de las pruebas:

- El equipo de control de emisiones que se utilizara para la prueba es el Brain Bee AGS-688, el cual está homologado y calibrado según la norma INEN 136.
- Se debe realizar una inspección de la instalación del escape de la motocicleta, comprobando así que no existan perforaciones en el sistema.
- Realizar la prueba de estanqueidad del analizador de gases.
- Determinar las revoluciones a las que se encuentra la motocicleta.
- Observar el proceso para determinar la temperatura de funcionamiento del motor de 60°C como mínimo, parámetro necesario para realizar las mediciones de los gases de escape.
- Introducir la sonda de medición del analizador de gases en la salida de la instalación de escape de la motocicleta.
- Se procede a realizar las mediciones de los gases a ralentí.
- Se repite el procedimiento anterior con las revoluciones necesarias para la obtención de los resultados.
- Una vez finalizado el proceso de medición de gases se desconecta la sonda del analizador de gases.
- Finalmente se procede al análisis de los resultados obtenidos en las distintas pruebas, para poder sacar las conclusiones requeridas.

La norma INEN 136 para motocicletas determina que todos los prototipos que utilicen como combustible gasolina o la mezcla gasolina – aceite, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o relanti, a temperatura normal de operación no deben emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) cantidades superiores a las señaladas en la Tabla 24.

Tabla 24

Límites máximos de emisiones permitidas para motocicletas Prueba en ralentí

Tipo de motor	CO (% V)	HC (ppm)
Todos	3.5	2000

Fuente: (Norma INEN 136, 1996)

5.3.3. Datos obtenidos

Los datos obtenidos son los siguientes:

a. Motor sin colectores

Tabla 25

Datos del motor sin colectores

RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	NOx
Relanti	0.05	669	2	-
1500	0.07	314	1	-
2000	0.05	260	1.11	-
2500	0.06	243	1.19	-

En la tabla 25 se determinan los valores obtenidos tras las medición de gases contaminantes que el motor KTM 250 RC genera sin la utilización de ningún colector de admisión construido, dando como resultado que el nivel de CO a relanti es menor en 0.01%, en relación con el motor a 2500 RPM mientras que las partículas de HC se reducen de 669 (ppm) a 243 (ppm) y el nivel de CO2 se reduce de 2% a 1.19%.

b. Colector Recto Corto

Tabla 26

Datos Colector Recto Corto

RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO2 (%)	NOx
Relanti	0.04	593	2.15	-
1500	0.06	278	1.08	-

CONTINUA →

2000	0.04	230	1.19	-
2500	0.05	215	1.28	-

En la tabla 26 se observa que el valor de CO se incrementa en 0.01%, mientras el motor se encuentra entre las 2500 RPM y a relanti, se observa que los valores de HC se disminuyen de 593 a 215 y CO₂ se reducen de 2.15 % a 1.28 %, con la utilización del Colector Recto Corto.

c. Colector Recto Largo

Tabla 27

Datos Colector Recto Largo

RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO₂ (%)	NO_x
Relanti	0.04	562	2.15	-
1500	0.06	264	1.07	-
2000	0.04	218	1.19	-
2500	0.05	204	1.28	-

En la tabla 27 se determinan los valores de emisiones de gases contaminantes generados por el motor KTM 250 RC, donde se observa que con la utilización de Colector Recto Largo los valores de HC y CO₂ disminuyen mientras que el valor del CO aumenta.

d. Colector Curvo Corto

Tabla 28

Datos Colector Curvo Corto

RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO₂ (%)	NO_x
Relanti	0.05	669	1.95	-
1500	0.07	314	0.98	-
2000	0.05	260	1.08	-
2500	0.06	243	1.16	-

En la tabla 28 se indican los valores obtenidos de las emisiones de gases contaminantes al utilizar el Colector Curvo Corto, donde se observa que los valores de CO se incrementó en 0.01%, mientras que los valores de HC se redujo de 669 (ppm) a 243 (ppm) y los valores de CO₂ disminuyeron de 1.95% al 1.16%.

e. Colector Curvo Largo

Tabla 29

Datos Colector Curvo Largo

RPM	CO (%)	HC (ppm)	CO₂ (%)	NO_x
Relanti	0.04	530	2.23	-
1500	0.05	249	1.12	-
2000	0.04	206	1.24	-
2500	0.04	193	1.33	-

En la tabla 29 se observa los valores obtenidos de las mediciones de gases contaminantes con la utilización del Colector Curvo Largo produciéndose una reducción de HC de 530 a 193 (ppm) y una disminución de 2.23 % a 1.33 % de CO₂, manteniéndose en este conducto las emisiones de CO generadas.

5.3.4. Graficas comparativas de emisiones

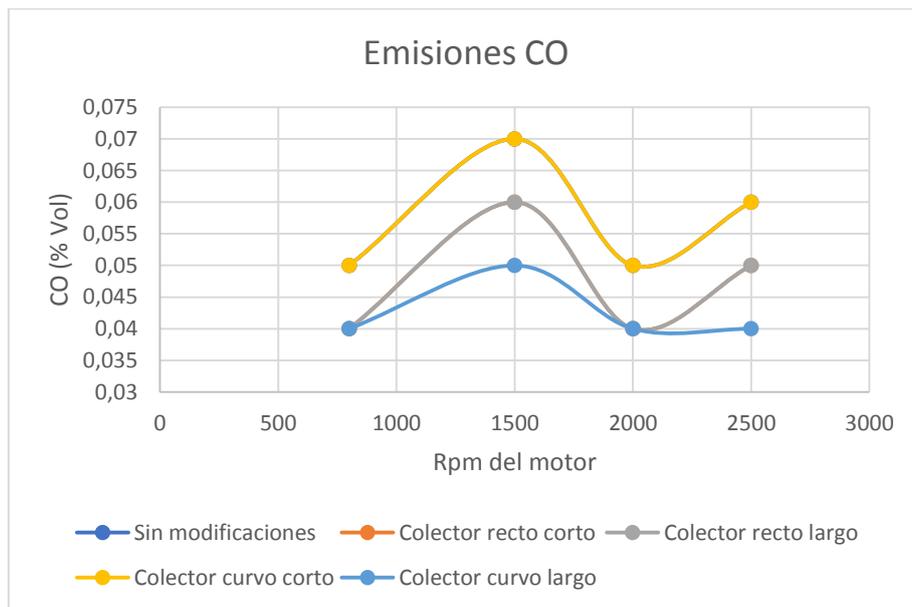


Figura 60. Comparación de emisiones de CO

En la figura 60 se observa la variación de la emisión de CO que producen los colectores a diferentes revoluciones, donde se determina que el Colector Curvo Largo produce una reducción notable en comparación a los de más colectores e incluso al motor sin realizar ninguna modificación, as mismo se observa que el Colector Curvo Corto es el que mayor emisión de CO produce teniendo un pico de 0.07 % a las 1500 RPM.

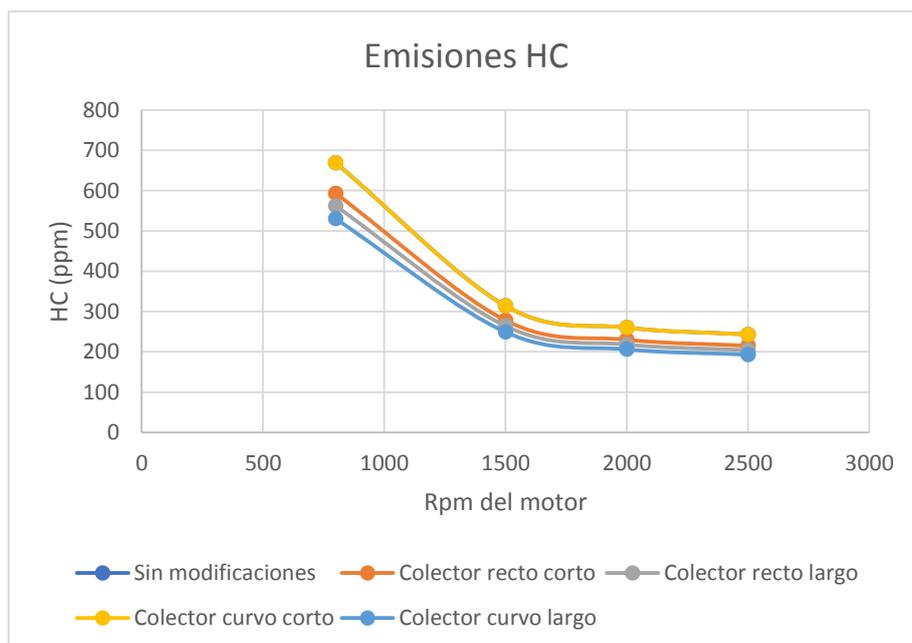


Figura 61. Comparación de emisiones de HC

En la figura 61 se observa un análisis de las emisiones de HC y donde se determina que el Colector Curvo Largo presenta las más bajas emisión a 2500 RPM que los demás colectores y a ralenti, mientras que los Colectores Curvo Corto y Recto Largo son los que mayor cantidad de emisiones contaminantes generan.

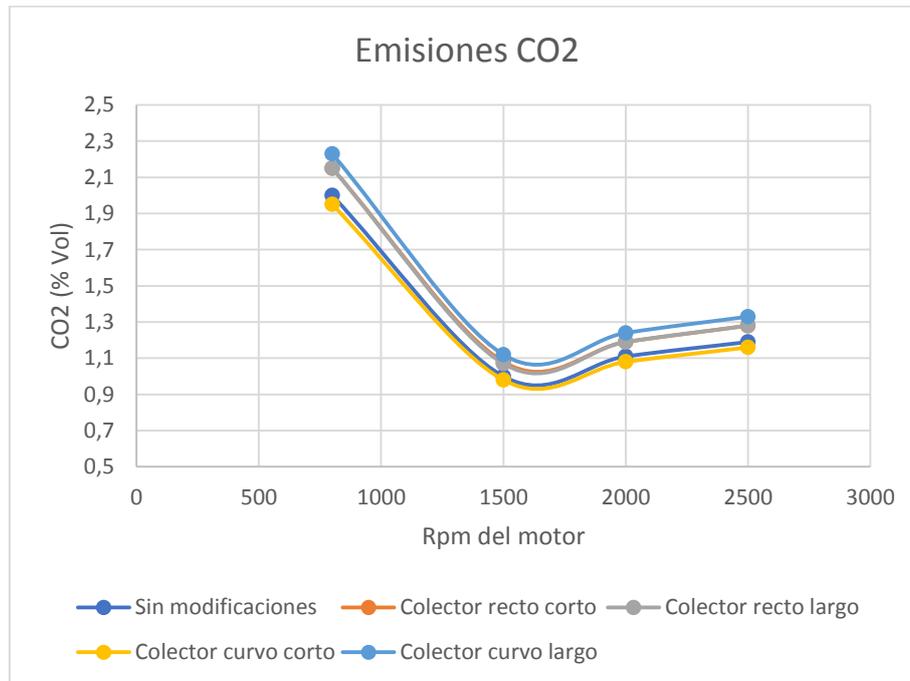


Figura 62. Comparación de emisiones de CO2

En la figura 62 se observa el desempeño de las emisiones de CO2, donde se puede determinar que el motor con la utilización del Colector Curvo Largo tiene mayor porcentaje de CO2 en comparación de los demás colectores lo cual nos permite saber que existe una combustión más eficiente, mientras que el Colector Curvo Corto es el que muestra el peor desempeño con respecto a la emisión de gases de CO2.

5.4. Análisis de resultados

5.4.1. Emisiones de CO

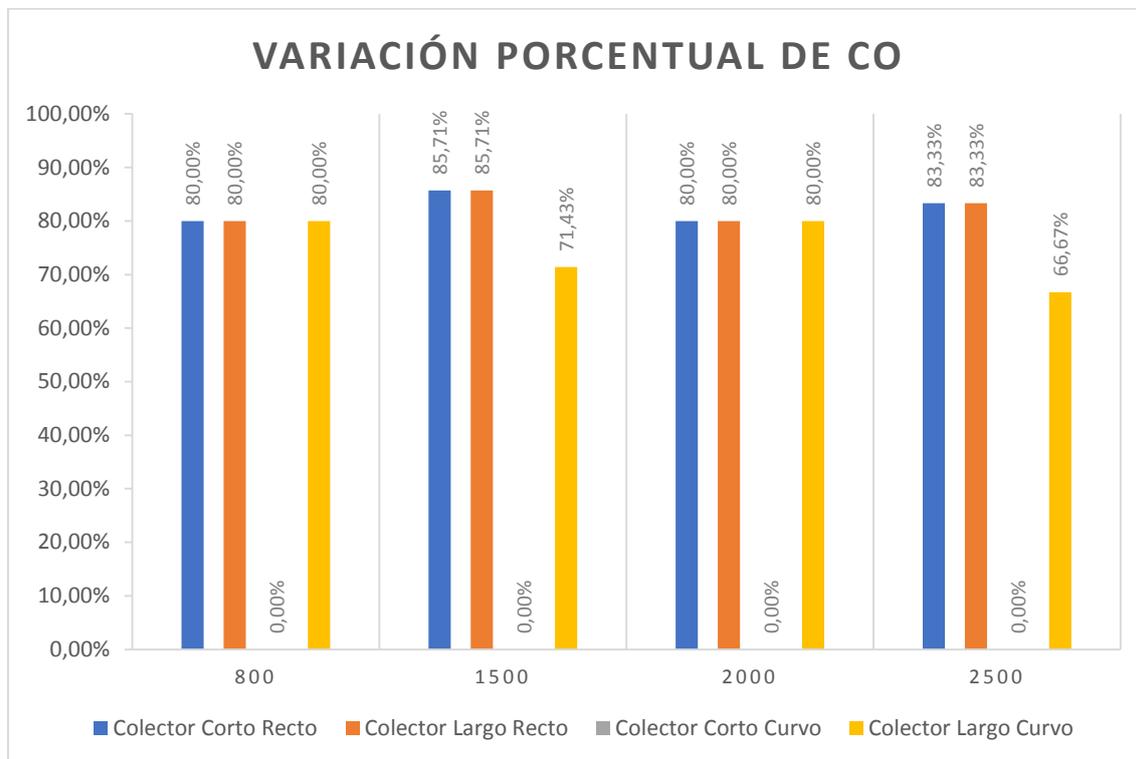


Figura 63. Variación porcentual de emisiones de CO

En la figura 63 se observa que las emisiones de CO a 800 RPM o ralenti, se reducen al 80 % con la utilización de los colectores Corto Recto, Largo Recto y Largo curvo, mientras que con la utilización del colector Corto curvo no se produce ninguna reducción en la emisión de CO. A 1500 RPM los colectores Corto Recto y Largo Recto producen una reducción al 85.71 % de las emisiones de CO, así como el conducto Corto Curvo no se produce ningún cambio en el control de emisiones, mientras que el conducto Largo Curvo produce una reducción al 71.43 % de emisiones de CO. A 2000 RPM se produce una reducción al 80 % de la emisión de gas de CO con los colectores Corto Recto, Largo Recto y Largo Curvo; mientras que con el colector Corto Curvo no se produce ningún cambio en las emisiones de CO. A 2500 RPM los colectores rectos tanto el Corto como el Largo provocan una reducción al 83.33% de las emisiones de CO, mientras que el colector Curvo Corto no produce ningún cambio en las emisiones de CO y el colector Curvo Largo produce una reducción al 66.67 % de las emisiones de CO.

5.4.2. Emisiones de HC

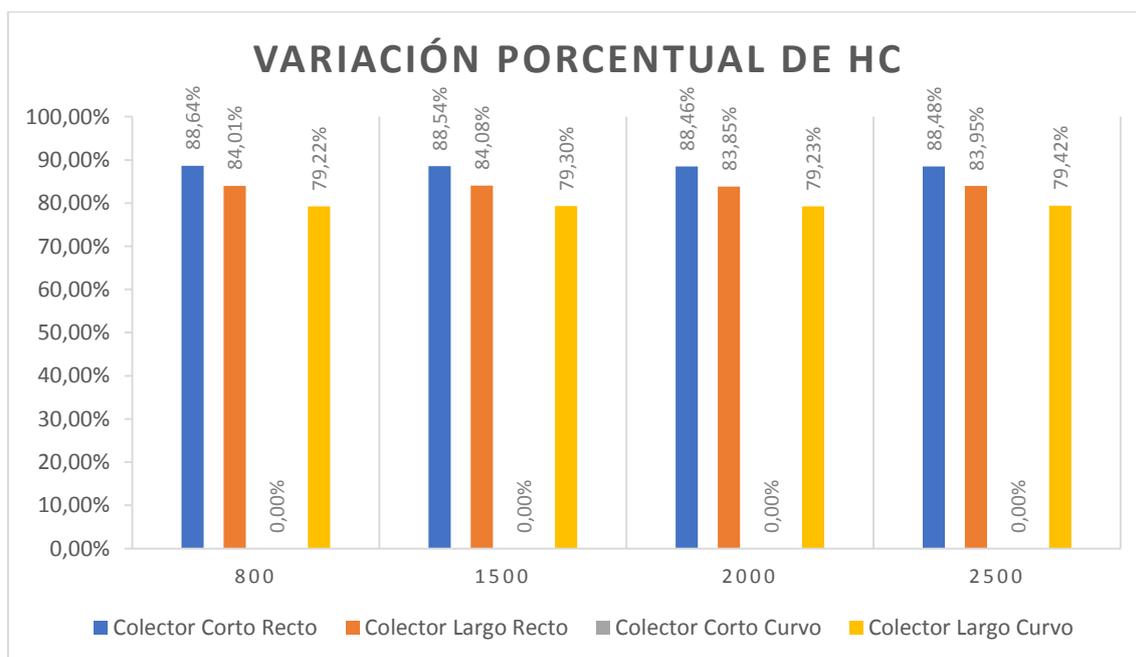


Figura 64. Variación porcentual de emisiones de HC

Como se observa en la figura 64 las emisiones de HC a 800 RPM o relanti, se reducen al 88.64 % con la utilización del colector Corto Recto, mientras que el colector Corto Curvo no provoca ninguna variación en las emisiones de HC, los colectores Largo Recto y Largo curvo producen una reducción de emisiones de HC al 84.01 % y 79.22 % respectivamente. A 1500 RPM el colector Corto Recto reduce las emisiones de HC a 88.54 %, mientras que el colector Curvo Corto no produce ninguna reducción en la emisión de HC y los colectores Largo Recto y Largo Curvo producen una reducción al 84.08 % y 79.3 % de las emisiones de HC. A 2000 RPM se produce una reducción al 88.46 % de la emisión de HC con la utilización del colector Corto Recto, mientras que el colector Corto Curvo no provoca ninguna reducción en las emisiones de HC, el colector Largo Recto produce una reducción al 83.85 % de las emisiones de HC y el colector Curvo Largo provoca una reducción a 79.23 % de las emisiones de HC. A 2500 RPM las emisiones de HC se reducen a 88.48 % con la utilización del colector Corto Recto, mientras que con el montaje del colector Curvo Corto no se varían las emisiones de HC, así mismo el colector Largo Recto provoca una reducción al 83.95 % y el colector Largo Curvo una reducción a 79.42 % de las emisiones de HC generadas por el motor.

5.4.3. Emisiones de CO2

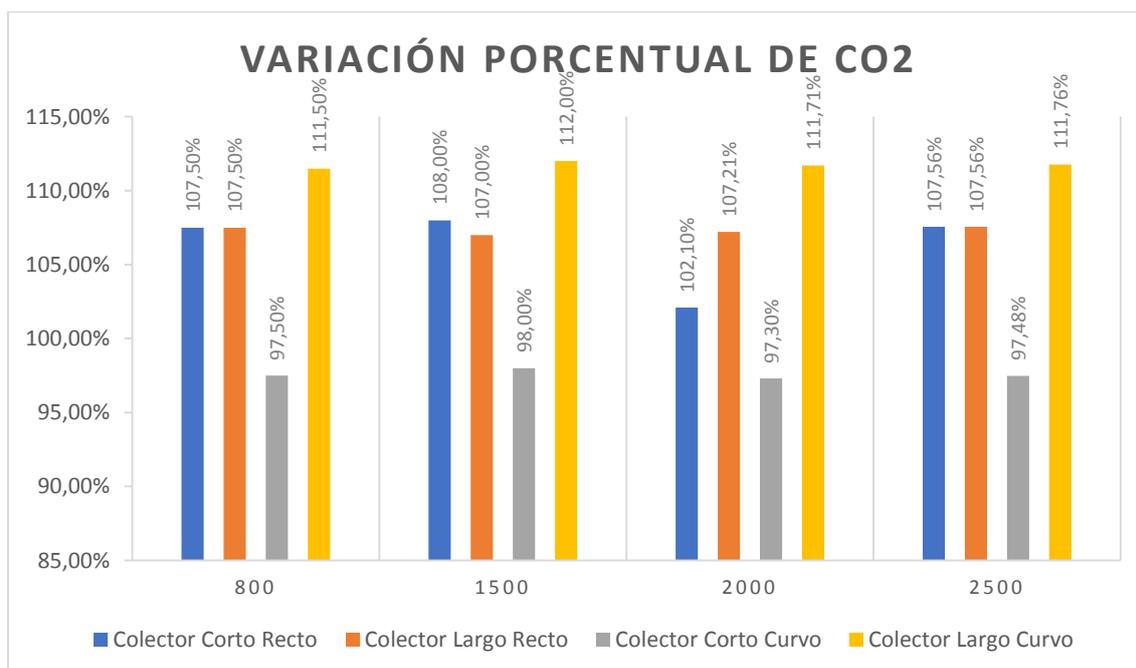


Figura 65. Variación porcentual de emisiones de CO2

En la figura 65 se muestra la variación porcentual que se produce en la emisión de CO2 con la utilización de los colectores a 800 RPM o relanti, se produce un incremento del 11.5 % con la utilización del colector Largo Curvo, mientras que el colector Corto Curvo produce una reducción del 2.5 % en la emisión del gas CO2, mientras que los colectores Corto Recto y Largo Recto provocan un aumento en el 7.5 % a las emisiones de CO2. A 1500 RPM el colector Largo Curvo genera un incremento al 112 % en la emisión de CO2 y el colector Corto Curvo provoca una reducción al 98 % de la emisión, el colector Corto Recto provocó un incremento al 108 % y el colector Largo Recto provocó un incremento al 107 %. A 2000 RPM se produce un incremento al 111.7 % con la utilización del colector Largo Curvo y el colector Corto Curvo genera una reducción al 97.3 % de las emisiones, el colector Largo Recto provoca un aumento al 107.21 % de las emisiones, mientras que el colector Corto Recto genera un incremento al 102.1 %. Finalmente, a 2500 RPM el colector Largo Curvo provoca un incremento al 111.76 %, mientras que el colector Corto Curvo produjo una reducción al 97.48 % de las emisiones de CO2, los colectores Corto Recto y Largo Recto generaron un aumento al 107.56 % de las emisiones de CO2.

CAPÍTULO VI

MARCO ADMINISTRATIVO

6.1. Recursos

6.1.1. Recursos humanos

En la tabla 30 se indican los recursos humanos que se invirtieron durante la realización del presente proyecto.

Tabla 30

Recursos humanos

Director	Elaboradores
Ing. Luis Mena	Cajas Adrián Meneses Ruth

6.1.2. Recursos tecnológicos

La tabla 31 detalla los recursos tecnológicos empleados para el proyecto.

Tabla 31

Recursos tecnológicos

Descripción
Software CAD
Cámaras fotográficas
Internet
Documentos digitales
Maquinaria / Herramientas manuales
Computadoras portátiles
Impresoras

6.1.3. Recursos físicos

En la tabla 32 se describen los recursos físicos utilizados, así como los lugares donde se efectuaron los procesos de fabricación y el protocolo de pruebas de los conductos.

Tabla 32

Recursos físicos

Descripción	Instalaciones
Construcción	Taller mecánico y de manufactura Laboratorio de soldadura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga
Pruebas y verificaciones	Taller Automotriz "MEGATALLERES"

6.2. Análisis financiero

6.2.1. Gastos Conducto Recto Corto

La tabla 33 muestra los gastos incurridos para la fabricación del conducto de admisión recto corto.

Tabla 33

Gastos para la fabricación del Conducto Recto Corto.

Descripción	Detalle	Costo unitario	Cantidad	Costo total
materia prima y mano de obra				
Tubo galvanizado	Diámetro 2 in Espesor 2 mm	\$ 8,00	1 metro	\$ 8,00
Cortadora de tubo	Cortadora de tubo	\$ 10,00	-	\$ 10,00
Bridas de sujeción	Acero	\$ 2,50	2 unidades	\$ 5,00

CONTINUA →

Pernos y tuercas de sujeción	Acero	\$ 1,00	2 unidades	\$ 2,00
Empaques	Aluminio	\$ 3,00	2 unidades	\$ 6,00
TOTAL				\$ 31,00

6.2.2. Gastos Conducto Recto Largo

La tabla 34 muestra los gastos incurridos para la fabricación del conducto de admisión recto corto.

Tabla 34

Gastos para la fabricación del Conducto Recto Largo.

Descripción materia prima y mano de obra	Detalle	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Tubo galvanizado	Diámetro 2 in. Espesor 2 mm	\$ 8,00	1 metro	\$ 8,00
Cortadora de tubo	Cortadora de tubo	\$ 10,00	-	\$ 10,00
Bridas de sujeción	Acero	\$ 2,50	2 unidades	\$ 5,00
Pernos y tuercas de sujeción	Acero	\$ 1,00	4 unidades	\$ 2,00
Empaques	Aluminio	\$ 3,00	2 unidades	\$ 6,00
TOTAL				\$ 31,00

6.2.3. Gastos Conducto Curvo Corto

La tabla 35 muestra los gastos incurridos para la fabricación del conducto de admisión recto corto.

Tabla 35

Gastos para la fabricación del Conducto Curvo Corto.

Descripción	Detalle	Costo	Cantidad	Costo total
materia prima		unitario		
y mano de obra				
Codos	Acero inoxidable SUS SS316	\$ 30,00	4 unidades	\$ 120,00
Bridas de sujeción	Acero	\$ 2,50	2 unidades	\$ 5,00
Pernos y tuercas de sujeción	Acero	\$ 1,00	4 unidades	\$ 2,00
Empaques	Aluminio	\$ 3,00	2 unidades	\$ 6,00
		TOTAL		\$ 133,00

6.2.4. Gastos Conducto Curvo Largo

La tabla 36 muestra los gastos incurridos para la fabricación del conducto de admisión recto corto.

Tabla 36

Gastos para la fabricación del Conducto Curvo Largo.

Descripción	Detalle	Costo	Cantidad	Costo total
materia prima		unitario		
y mano de obra				
Tubo galvanizado	Diámetro 2 in. Espesor 2 mm	\$ 8,00	1 metro	\$ 8,00

CONTINUA →

Cortadora de tubo	Cortadora de tubo	\$ 10,00	-	\$ 10,00
Codos	Acero inoxidable SUS SS316	\$ 30,00	6 unidades	\$ 180,00
Bridas de sujeción	Acero	\$ 2,50	2 unidades	\$ 5,00
Pernos y tuercas de sujeción	Acero	\$ 1,00	4 unidades	\$ 2,00
Empaques	Aluminio	\$ 3,00	2 unidades	\$ 6,00
TOTAL				\$ 211,00

6.2.5. Gastos de Herramientas

En la tabla 37 se detallan los gastos cubiertos para la adquisición de las herramientas utilizadas.

Tabla 37

Gastos por la adquisición de herramientas

Descripción materia prima y mano de obra	Detalle	Costo unitario	Cantidad	Costo total
Broca métrica	Juego de brocas	\$ 18,00	1 unidad	\$ 18,00
Disco de corte	SIKAC 10M	\$ 10,00	1 unidad	\$ 10,00
Disco para pulir	SIKAC 10M	\$ 10,00	1 unidad	\$ 10,00
Calibrador pie de rey	-	\$ 20,00	1 unidad	\$ 20,00
Limas	Juego de limas	\$ 25,00	1 unidad	\$ 25,00

CONTINUA →

TOTAL	\$ 83,00
--------------	----------

6.2.6. Gastos Totales

La tabla 38 detalla los gastos totales del proyecto de investigación

Tabla 38

Gastos totales de fabricación

Descripción	Costo Total
Motor	\$ 2500,00
Recto Corto	\$ 31,00
Recto Largo	\$ 31,00
Curvo Corto	\$ 133,00
Curvo Largo	\$ 211,00
Herramientas	\$ 83,00
Manufactura	\$ 400,00
TOTAL	\$ 3389,00

CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo de investigación se desarrolló el colector de admisión idóneo para la reducción de gases contaminantes de un motor de 4 tiempos monocilíndrico, de una moto KTM 250 RC, cumpliendo la totalidad de objetivos propuestos al inicio del proyecto.
- En el análisis CFD, los colectores curvos presentaron velocidades máximas más altas que los colectores rectos, superando un 24.54% a 32.07% a las 800 RPM, un 30.81% al 36.69% a las 1500 RPM, un 31.17% al 35.52% a las 2000 RPM y finalmente, un 29.63% al 33.3% a 2500 RPM.
- Los colectores curvos tienen velocidades mínimas inferiores a los colectores rectos. A ralentí, la velocidad del colector Curvo Largo es de 0.336 m/s a diferencia del colector Recto Largo que posee una velocidad mínima de 0.442 m/s. Al igual que sus respectivos homólogos, obteniendo el colector Curvo Corto y Recto Corto una velocidad mínima de 0.347 m/s y 0.450 m/s respectivamente. Este efecto se repite en cada una de las RPM estudiadas teniendo variaciones de hasta 33%, 47%, 49% y 57% a las 800, 1500, 2000 y 2500 RPM respectivamente.
- Para la fabricación de los colectores de admisión y al completar el proceso de selección técnico se optó por emplear la tubería circular de Acero Inoxidable AISI – 304 de 2 in y codos del mismo material a 45°, debido a que contienen un 0.07% de carbón, 2% de Manganeso, entre 17.5 y 19.5% de cromo lo cual hace que sus características de la mínima resistencia sea de 206.84 MPa, resistencia última a la tracción sea de 517.11 MPa, alargamiento a la rotura sea del 40% y una resistencia a la oxidación de 1650°F con circulación continua.
- Para la fabricación de los acoples de conexión tanto del motor como del carburador se empleó duralón, debido a la facilidad del montaje y desmontaje de los colectores en el motor.
- Al tener una mayor velocidad máxima, duplicando a la velocidad de ingreso del motor, los colectores curvos tienen magnitudes altas de números Reynolds en comparación a los colectores rectos. Es decir, que

tiene una mayor oportunidad para intensificar la mezcla de aire/combustible.

- En el Colector Curvo Largo, los resultados obtenidos en la emisión de gases fueron los más eficaces en relación la reducción de los gases de CO en 33.33 %, de los HC en un 20.58 % y se vio un incremento considerable en las emisiones de gases de CO₂ hasta un 11.76 % más, a 2500 RPM, razón por la cual se observa que existe una combustión más completa.

RECOMENDACIONES

- Para próximas investigaciones se recomienda evaluar el comportamiento de los gases contaminantes generados por un monocilíndrico de 2 tiempos, efectuando un análisis sobre la incidencia del aceite 2 tiempos en la emisión de gases.
- Para el diseño de los colectores de admisión, se recomienda realizar una variación en la longitud y la geometría de los mismos, a fin de analizar la turbulencia generada en el interior de dichos colectores, sin dejar apartado el estudio de la variación de emisiones de gases.
- Investigar el uso de diferentes materiales y realizar el análisis correspondiente con respecto a la fabricación de los colectores, en base a ABS y PLA, materiales para impresión en 3D.
- Para futuros proyectos de investigación se recomienda variar el ángulo de inclinación de entrada de los colectores de admisión.

BIBLIOGRAFÍA

- World Health Organization. (1992). *Motor Vehicle Air Pollution: Public Health Impact and Control Measures*. (D. Mage, & O. Zali, Eds.) Geneva, Switzedand.
- AEADE. (2018, Diciembre 13). *Ventas Históricas de Noviembre*. Retrieved Mayo 19, 2019, from AEADE: <http://www.aeade.net/servicios/sobre-el-sector-automotor/>
- Aficionados a la Mecanica. (2014). *Aficionados a la Mecanica*. Retrieved mayo 26, 2019, from Sistema de admision: <http://www.aficionadosalamecanica.net/admision-variable.htm>
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - EPA. (2017, Enero 19). *Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle*. Retrieved abril 20, 2019, from Green Vehicle Guide: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle#pane-1>
- Básico Diesel Sena. (2015, Febrero 7). *Básico en reparacion de motores Diesel Sena*. Retrieved Marzo 27, 2019, from Motor de Combustion Interna: <http://basicodieselsena.blogspot.com/2015/02/el-motor-de-combustion-interna.html>
- Bolaji, B., & Adejuyigbe, S. (2006). Vehicle emissions and thir effects on natural enviroment-a review. *Journal of the Ghana Institution of Engineers, IV(1)*, 35-41.
- Cajas, A., & Meneses, R. (2018). Efecto de la longitud y de la geometría de múltiples de admisión en las emisiones contaminantes. *Tablet School Journal*, 48-61.
- Cengel Yunus., C. J. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ceviz, M. (2007). Intake plenum volume and its influence on the engine performance, cyclic variability and emissions. *Energy Conversion and Management*, 961-966.
- Coducción ecológica y eficiente. (2012, Abril 29). *Conducción Eficiente*. Retrieved Marzo 27, 2019, from Emisiones contaminantes para motores gasolina: <http://www.conduccioneficiente.tv/emisiones-contaminantes-de-los-motores-de-gasolina/>
- Constantine Arcoumanis . (2012). *Internal Combustion Engines*. London : Elsevier.
- Efecto de la contaminacion. (2011, Febrero 12). *Efecto de la contaminacion*. Retrieved Marzo 27, 2019, from Lluvia acida: <http://efectodelacontaminacion.blogspot.com/2011/02/la-lluvia-acida.html>

- El Telégrafo. (2017, Agosto 05). *eltelégrafo*. Retrieved Enero 20, 2019, from Los vehículos son los que más contaminan el aire:
<https://www.eltelgrafo.com.ec/noticias/179/11/los-vehiculos-son-los-que-mas-contaminan-el-aire>
- Elger, D. F., Williams, B. C., Crowe, C. T., & Roberson, J. A. (2012). *Engineering Fluid Mechanics - Décima Edición*. New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.
- EOI. (2015, Octubre 8). *EOI*. Retrieved Abril 15, 2019, from Los motores y la contaminación:
<https://www.eoi.es/blogs/redinnovacionEOI/2015/10/08/los-motores-diesel-y-la-contaminacion/>
- Erjavec, J. (2010). *Automotive Technology*. New York: Delmar Cengage Learning.
- Faiz, A., Weaver, C. S., & Walsh, M. P. (2005). *Air Pollution from Motor Vehicles - Standards and Technologies for Controlling Emissions*. Washington D.C.: The International Bank.
- Ferrari, G. (2014). *Internal Combustion Engines*. Bologna: Società Editrice Esculapio.
- Flagan, R. C., & Seinfeld, J. H. (2012). *Fundamentals of Air Pollution Engineering*. New York: Dover Publications INC.
- Ganesan, V. (2004). *Internal Combustion Engines*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
- Gill, P. W., Smith, J. H., & Ziurys, E. J. (1967). *Fundamentals of Internal Combustion Engines as applied to Reiprocating, Gas Turbine, and Jet Propulsion Power Plants*. Calcuta: Oxford & IBH Publishing CO.
- Granger, R. A. (2012). *Fluid Mechanics*. New York: Dover Publications INC.
- Hadfield, C. (2009). *Today's Technician: Automotive Engine Repair & Rebuilding*. Minnesota: Cengage Learning.
- Hernandez, D. (2016, Abril 26). *Hombre Geologico*. Retrieved Mayo 9, 2019, from El CO2, ¿amigo o enemigo?:
<https://geologicalmanblog.wordpress.com/2016/04/26/co2/>
- Heywood, J. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E*. United States of America: McGraw Hill Professional.
- ISO 450001. (2018, Marzo 12). ISO 450001. *Sistema de gestion de salud y seguridad en el trabajo*. Retrieved from Sistemas de gestion de la seguridad y salud en el trabajo.
- Jeffus, L. (2008). *Manual de Soldadura GTAW (TIG)*. Madrid: Paraninfo.
- Jóvay, M. S., & Máslov, G. S. (1973). *Motores de automóvil: teoría, cálculo y estructura de los motores de combustión interna*. Mir.

- Kirk Vangelder, G. (2017). *Automotive Engine Repair*. Indiana: Jones & Bartlett Learning.
- Lallanila, M. (2018, Marzo 7). *What Is the Greenhouse Effect?* Retrieved Mayo 10, 2019, from Live Science: <https://www.livescience.com/37743-greenhouse-effect.html>
- Neetescuela. (n.d.). *Neetescuela*. Retrieved Abril 18, 2019, from Flujo turbulento y laminar: <https://neetescuela.org/flujo-turbulento-y-laminar/>
- Norma INEN 136. (1996). Ministerio de Industrias y Productividad. *RESOLUCIÓN No. 14 456*, (p. 5). Quito.
- Onursal, B., & Gautam, S. P. (1997). *Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American Urban Centers*. Washington, D.C.: The World Bank.
- Phaneendra, V., Pandurangadu, V., & Chandramouli, M. (2012). Performance evaluation of a four stroke compression ignition engine with varios helical threaded intake manifolds. *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*, 52-60.
- PREVENZIONE, EPIDEMIOLOGIA &. (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica. *Contaminación Atmosférica y Salud Humana*. Milán, Italia: A.N.E.S. (Associazione Nazionale Editoria Periodica Specializzata).
- Pulkrabek, W. W. (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (Fundamentos de Ingeniería de motores de combustión interna)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Rajput, R. (2009). *Internal Combustion Engines - Segunda edición*. New Delhi: Laxmi Publications.
- Ramakrishna, R. P., Govinda, R. K., & Sheshaiah, N. T. (2014). Experimental Investigation on Diesel Engines by Swirl Induction with Different Manifolds. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 488-492.
- Rawski, F. (2012). Motor de combustión interna convencional y presentación de procedimientos. *Instrucciones Científicas del Instituto de Vehículos*, 95-102.
- Ribbens, W., Heisler, H., & Blundell, M. (2009). *Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body*. Países Bajos: Elsevier Science.
- Romieu, I., Weitzenfeld, H., & Finkelman, J. (1992). Urban Pollution in Latin America and the Caribbean: Health Perspective. *World Health Statistics Quarterly*, 53–67.
- Rowe, R., & Jeffus, L. (2008). *Manual de Soldadura GMAW (MIG-MAG)*. Madrid: Paraninfo.

- Sanguineti, M. O. (2010, Noviembre 9). *¿Que causa el efecto invernadero?* Retrieved Mayo 13, 2019, from Apoogista: <https://apologista.wordpress.com/2010/11/09/%C2%BFque-causa-el-efecto-invernadero/>
- Shah, J. V., Patel, P. P., & Jotava, D. J. (2014). Effect of Intake Manifold Inclination on Performance and Emission Parameters of 4-Stroke Single Cylinder C.I. Engine : A Technical Review. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2311- 2313.
- Sharoglazov, B. A., Farafontov, M., & Klementyev, V. (2004). *Motores de combustión interna: teoría, modelado y cálculo de procesos*. Chelyabinsk: Ministerio de Educación y Ciencia de la Federación Rusa.
- Shrirao, P. N., Sambhe, D. R., & Bodade, P. R. (2013). Experimental Investigation on Turbulent Flow Heat Transfer Enhancement in a Horizontal Circular Pipe using internal threads of varying depth. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, V(3), 23-28. Retrieved from www.iosrjournals.org
- Soy Motero. (2017, Agosto 07). *KTM se convierte en suministrador oficial del MotoStudent 2017-2018*. Retrieved Junio 3, 2019, from Competición: <https://www.soymotero.net/ktm-se-convierte-en-suministrador-oficial-del-motostudent-2017-2018-23751>
- Tu, J., Yeoh, G. H., & Liu, C. (2007). *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. Países Bajos: Elsevier Science.
- UCSUSA. (2017). *Unión de Concerned Scientist*. Retrieved Mayo 19, 2019, from Cars and global warming: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/car-emissions-and-global-warming#.W9XeaWhKjIU>
- Vennard, J. K. (2013). *Elementary Fluid Mechanics*. New York: Read Books Ltd.

ANEXOS



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

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores CAJAS LÓPEZ ADRIÁN SANTIAGO y MENESES CHALCUALÁN RUTH IRENE.

En la ciudad de Latacunga a los 16 días del mes de julio del 2019



ING. LUIS MENA NAVARRETE
DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



ING. DANILO ZAMBRANO
DIRECTOR DE LA CARRERA



ABG. DARWIN ALBÁN YÁÑEZ
SECRETARIO ACADEMICO