



**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: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE  
INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE  
COMBUSTIBLE PARA VERIFICAR LA INCIDENCIA EN EL  
DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN  
INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO."**

**AUTOR: JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES**

**DIRECTOR: ING. LUIS MENA NAVARRETE**

**LATACUNGA**

**2017**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA VERIFICAR LA INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO**” realizado por el señor **JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 4 de agosto del 2017

---

Ing. Luis Mena  
**DIRECTOR**



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES**, con cédula de ciudadanía N° 172388349-0, declaro que este trabajo de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA VERIFICAR LA INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 4 de agosto de 2017

---

Julio Andrés Ramírez Morales  
C.C.: 172388349-0



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

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE PARA VERIFICAR LA INCIDENCIA EN EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 200CC MONO CILÍNDRICO**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 4 de agosto del 2017

---

Julio Andrés Ramírez Morales

C.C.: 172388349-0

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis 2 grandes ejemplos mi madre Areli y mi padre Jaime, quienes supieron guiar mi camino con su dedicación, esfuerzo e infinito amor, estuvieron junto a mí para levantarme en los momentos más difíciles de mi vida y siempre me apoyaron en la decisión que tomara.

A mi abuelo Julio quien desde algún lugar en el infinito me ha cuidado y sido confidente de mis tristezas, a mi abuela Juana con su gran cariño siempre dispuesta a colaborarme en todo lo que este a su alcance, a mis hermanos Ricardo y Paola quienes me llenan de orgullo al saber la grandiosas personas que se han convertido, todo este esfuerzo es por trasmitir el mejor ejemplo posible hacia ustedes.

A mi compañera de vida Carina, por todo su amor, comprensión y apoyo que me ha brindado en esta etapa de mi vida.

A todo el resto de familia que siempre estuvo de una u otra forma colaborándome cuando más los necesitaba han sabido llenarme de consejos, ánimo, cariño y paciencia.

A mis amigos que desde el “frente de batalla” han dado su preocupación y esa amistad verdadera que todo ser humano lo necesita

Julio Andrés Ramírez Morales

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres que han tenido que pasar muchas malas noches con el único fin de que a mí y a mis hermanos nunca nos falte un plato de comida y lo más importante que siempre nos han inculcado la educación. Gracias por confiar en mí y haberme regalado todo su esfuerzo, gracias a ustedes, mi más grande sueño se ha cumplido.

Agradezco a mis queridos hermanos quienes han sido mi motor para seguir adelante en esas frías y largas noches de estudio lejos de ustedes.

Agradezco a mi compañera de vida Carina, por su paciencia infinita y apoyo incondicional en todo instante de mi vida.

Agradezco a mis abuelas quienes con su indescriptible amor me han brindado su apoyo y sabiduría para madurar como persona y como profesional.

A mi querida que siempre está unida para afrontar cualquier problema que se presente, gracias por ese ejemplo de unidad.

Agradezco a mis amigos, grandes personas con las cuales hemos vivido un sin número de anécdotas siempre juntos ayudándonos el uno al otro.

Al Ingeniero Luis Mena quien me brindo sus conocimientos y ser un gran líder en el desarrollo de este proyecto, Al Ingeniero German Erazo por su confianza, comprensión y su predisposición siempre presto a enseñar de la mejor manera, A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por haberme abierto sus puertas para continuar mis estudios, A cada uno de los docentes que conforman esta prestigiosa Universidad y tuve la gran oportunidad de recibir de ellos no solo conocimientos académico si no valores de vida y amistad, con los cuales han sabido forjar grandes profesionales

Julio Andrés Ramírez Morales

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xvi
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi

### CAPÍTULO I

<b>MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Descripción resumida del proyecto.....	4
1.4 Justificación e importancia.....	5
1.5 Proyectos relacionados.....	6
1.6 Objetivos.....	8
1.6.1 Objetivo general.....	8
1.6.2 Objetivos específicos .....	8
1.7 Metas.....	9
1.8 Hipótesis.....	9
1.9 Variables de investigación.....	9

## CAPÍTULO II

<b>MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO</b> .....	12
2.1 Motocicleta.....	12
2.2 Fundamento Teórico de la mecánica de los fluidos.....	12
2.2.1 Flujo volumétrico.....	12
2.2.2 Flujo másico.....	13
2.2.3 Densidad .....	13
2.2.4 Volumen específico.....	13
2.2.5 Ecuación de Bernoulli .....	14
2.3 Fundamento teórico termodinámico del M.C.I.....	14
2.4 Ecuación de Estado de un Gas ideal:.....	16
2.5 Parámetros característicos del MCI.....	17
2.5.1 Potencia.....	17
2.5.2 Torque o par motor. ....	18
2.5.3 Consumo específico de combustible.....	19
2.5.4 Rendimiento volumétrico.....	20
2.5.5 Rendimiento volumétrico en función de la masa de aire .....	21
2.5.6 Rendimiento volumétrico en función del número MACH .....	21
2.5.7 Flujo volumétrico de aire en función del régimen de giro .....	24
2.5.8 Relación de compresión.....	24
2.6 Formación de la mezcla aire / combustible.....	25
2.6.1 El Aire y sus propiedades: .....	25
2.6.2 Dosificación del aire: .....	26
2.6.3 Gasolina y sus propiedades: .....	28
2.6.4 Dosificación de la gasolina.....	30
2.6.5 Dosado .....	32
2.6.6 Dosado estequiométrico .....	32



2.6.7	Dosado relativo .....	33
2.6.8	Coeficiente de aire .....	33
2.7	Sistema de admisión de la mezcla aire / combustible.....	34
2.7.1	Filtro de aire:.....	35
2.7.2	Cuerpo de aceleración: .....	36
2.7.3	Ducto de admisión de aire .....	37
2.7.4	Sensor de posición de la mariposa (TPS) .....	37
2.7.5	Sensor de presión absoluta en la admisión (MAP).....	38
2.7.6	Sensor de posición del cigüeñal (CKP) .....	40
2.7.7	Sensor LM35 para la temperatura de ingreso del aire y del motor. ...	41
2.7.8	Depósito de combustible .....	42
2.7.9	Electrobomba de gasolina.....	42
2.7.10	Filtro de combustible .....	43
2.7.11	Ductos o líneas de combustible. ....	43
2.7.12	Regulador de presión de combustible. ....	44
2.7.13	Inyector de combustible. ....	44
2.7.14	Unidad de Control del MOTOR (ECU) .....	45
2.8	Banco de pruebas (Dinamómetro de rodillos o chásis).....	46
2.8.1	Dinamómetro “DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems .....	46
2.8.2	Características técnicas .....	47
2.9	Analizador de gases de escape.....	47
2.9.1	Analizador de gases CARTEK modelo 50-100.....	48
2.10	Normativa ecuatoriana para medición de gases contaminantes.....	50
2.10.1	NTE INEN 2 203 : 2000. ....	50
2.10.2	NTE INEN 2 204 : 2002 .....	50

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE.....51**

3.1	Generalidades.....	51
3.1.1	Características del motor a implementar el sistema de admisión.....	51
3.1.2	Modelo desarrollado .....	51
3.2	Determinación de parámetros iniciales.....	52
3.2.1	Cálculo de la densidad del aire al ingreso del ducto de admisión:.....	52
3.2.2	Densidad del combustible .....	54
3.2.3	Cálculo del volumen de la cámara de combustión. ....	54
3.2.4	Cálculo de la masa de aire y masa de combustible consumido.....	55
3.2.5	Cálculo de flujo másico teórico de aire .....	58
3.2.6	Cálculo del flujo másico real de aire.....	60
3.2.7	Rendimiento Volumétrico con el sistema de admisión original .....	63
3.3	Sistema de admisión de combustible.....	65
3.3.1	Dimensionamiento del inyector .....	65
3.3.2	Dimensionamiento de la bomba.....	68
3.3.3	Selección del regulador de presión de combustible .....	70
3.3.4	Ductos o líneas de combustible .....	73
3.3.5	Filtro de combustible.....	74
3.3.6	Adaptación del depósito secundario de combustible.....	74
3.3.7	Circuito de alimentación de combustible .....	76
3.4	Implementación del sistema electrónico de control.....	77
3.4.1	Punto de funcionamiento del motor.....	77
3.4.2	Módulo de control .....	77
3.4.3	Sensor CKP .....	78
3.4.4	Sensor MAP.....	78

3.4.5	Sensor TPS .....	79
3.4.6	Sensores de temperatura.....	80
3.5	Sistema de admisión de aire.....	80
3.5.1	Consideraciones Generales para el diseño.....	80
3.5.2	Selección del material para el ducto .....	81
3.5.3	Geometría del ducto .....	82
3.5.4	Proceso para el diseño del ducto de admisión .....	82
3.5.5	Selección del filtro de aire .....	85
3.5.6	Consideraciones para el diseño del ducto de admisión.....	86
3.5.7	Creación del modelo .....	88
3.5.8	Análisis de flujo de aire con “FLOW SIMULATION de Solid Works” ..	91
3.5.9	Selección de la geometría del ducto .....	102
3.5.10	Diseño del ducto seleccionado.....	104
3.5.11	Fabricación del ducto diseñado.....	105
3.6	Protocolo de pruebas para el Dinamómetro DYNOMite.....	106
3.6.1	Toma de muestra.....	106
3.7	Protocolo de pruebas para el medidor de gases Cartek.....	108
3.7.1	Prueba ralentí .....	108
3.7.2	Procedimiento de medición según NTE INEN 2 203:2000 .....	109
3.8	Protocolo de pruebas para el consumo de combustible.....	115
3.8.1	Equipos a utilizar.....	116
3.8.2	Procedimiento para la medición .....	116
 <b>CAPÍTULO IV</b>		
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		
4.1	Rendimiento volumétrico.....	118
4.1.1	Sistema de admisión original vs diseñado en función de las RPM ....	118

4.1.2 Resultado .....	119
4.2 Potencia generada por la motocicleta.....	120
4.2.1 Motor con sistema de admisión diseñado .....	120
4.2.2 Motor con sistema de admisión original .....	121
4.2.3 Comparación de la potencia .....	122
4.3 Torque generada por la motocicleta.....	123
4.3.1 Motor con sistema de admisión diseñado .....	123
4.3.2 Motor con sistema de admisión original .....	124
4.3.3 Comparación del torque.....	125
4.4 Consumo de combustible.....	127
4.4.1 Motor con sistema de admisión original .....	127
4.4.2 Motor con sistema de admisión diseñado .....	127
4.4.3 Comparación del consumo de combustible.....	128
4.4.4 Consumo de combustible por kilometro .....	129
4.5 Gases de escape .....	129
4.5.1 Resultados con el sistema de admisión original.....	129
4.5.2 Resultados con el sistema de admisión diseñado.....	130
4.5.3 Comparación de los resultados de gases contaminantes .....	130

## **CAPÍTULO V**

<b>MARCO ADMINISTRATIVO.....</b>	<b>132</b>
5.1 Recursos.....	132
5.1.1 Recursos humanos .....	132
5.1.2 Recursos físicos .....	132
5.1.3 Recursos financieros .....	133
5.1.4 Recursos materiales .....	134
5.1.5 Recursos tecnológicos.....	135

5.2	Análisis de costo del proyecto.....	136
5.3	Análisis del costo beneficio.....	136
5.4	Cronograma de actividades.....	137
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>138</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>141</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>144</b>
	<b>ANEXO A: Normas.</b>	
	<b>ANEXO B: Prueba de torque y potencia con sistema de admisión diseñado.</b>	
	<b>ANEXO C: Prueba de torque y potencia con sistema de admisión original.</b>	
	<b>ANEXO D: Resultado de análisis de gases de escape con sistema de admisión original.</b>	
	<b>ANEXO E: Resultado de análisis de gases de escape con sistema de admisión diseñado.</b>	
	<b>ANEXO F: Protocolo de seguridad para manejo de dinamómetro.</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de la variable independiente .....	10
Tabla 2.	Operacionalización de la variable dependiente .....	11
Tabla 3.	Composición del aire seco .....	25
Tabla 4.	Factor de pérdida de carga en la válvula de la mariposa .....	28
Tabla 5.	Muestra: Gasolina extra, súper sin aditivo.....	29
Tabla 6.	Consumo teórico de masa de aire.....	57
Tabla 7.	Consumo teórico de combustible .....	57
Tabla 8.	Flujo másico teórico de aire .....	60
Tabla 9.	Velocidad del aire al ingreso del ducto .....	61
Tabla 10.	Velocidad del aire al ingreso del motor .....	62
Tabla 11.	Flujo másico real del aire al ingreso del motor .....	63
Tabla 12.	Rendimiento volumétrico con el sistema original.....	64
Tabla 13.	Característica técnicas del inyector seleccionado .....	67
Tabla 14.	Características Técnicas de la bomba de combustible .....	69
Tabla 15.	Características Técnicas del regulador de presión.....	71
Tabla 16.	Espacio disponible en la motocicleta.....	83
Tabla 17.	Vistas del acople entre el motor y el ducto .....	85
Tabla 18.	Tabla de dimensiones de los diferentes componentes .....	87
Tabla 19.	Variables para la modelación de los ductos .....	88
Tabla 20.	Límites para la interpolación del rendimiento volumétrico .....	92
Tabla 21.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 1 vs RPM.....	93
Tabla 22.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 2 vs RPM.....	95
Tabla 23.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 3 vs RPM.....	97
Tabla 24.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 4 vs RPM.....	98
Tabla 25.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 5 vs RPM.....	100
Tabla 26.	Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 6 vs RPM.....	102
Tabla 27.	Prueba de consumo con el sistema original de admisión .....	127
Tabla 28.	Prueba de consumo con el sistema de admisión diseñado .....	128
Tabla 29.	Consumo de combustible con los 2 sistemas de admisión.....	128
Tabla 30.	Indicador de consumo de combustible por cada kilómetro .....	129

Tabla 31. Emisiones contaminantes con el sistema original .....	130
Tabla 32. Emisiones contaminantes con el sistema diseñado .....	130
Tabla 33. Variación de los gases de escape .....	131
Tabla 34. Porcentaje de variación de los gases contaminantes .....	131
Tabla 35. Recursos Humanos.....	132
Tabla 36. Recursos físicos.....	133
Tabla 37. Recursos financieros.....	134
Tabla 38. Recursos materiales .....	135
Tabla 39. Recursos tecnológicos .....	135

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de problemas y soluciones del proyecto .....	3
Figura 2. Ciclo termodinámico de un motor de 4 tiempos ciclo Otto.....	15
Figura 3. Par motor, indicando la relación entre par y velocidad .....	18
Figura 4. Curva característica del torque en relación al régimen de giro ....	19
Figura 5. Curvas características del motor (potencia, torque, consumo) ....	20
Figura 6. Parámetros geométricos característicos de una válvula .....	22
Figura 7. Rendimiento volumétrico en función del índice mach.....	23
Figura 8. Sistema de admisión de aire .....	27
Figura 9. Inyector de Gasolina .....	30
Figura 10. Mezcla estequiométrica .....	32
Figura 11. Filtro de aire.....	35
Figura 12. Cuerpo de aceleración.....	37
Figura 13. Sensor de posición de la mariposa .....	38
Figura 14. Sensor de presión absoluta en la admisión.....	39
Figura 15. Gráfica Presión vs Señal de Voltaje MAP .....	39
Figura 16. Circuito del sensor MAP .....	40
Figura 17. Sensor de ángulo del cigüeñal mediante rueda fónica .....	40
Figura 18. Sensor de temperatura LM35 formas de conexión.....	41
Figura 19. Esquema de la bomba de combustible .....	43
Figura 20. Esquema de un regulador de presión .....	44
Figura 21. Inyector de IWP143 .....	45
Figura 22. Dinamómetro de chasis "Dyno-Max PRO" .....	47
Figura 23. Emisiones del motor de combustión ciclo otto .....	48
Figura 24. Analizador de gases CARTEK modelo 50-100 .....	48
Figura 25. Partes que conforman el equipo CARTEK modelo 50-100 .....	49
Figura 26. Sonda de gases (F) e Interfaz PC (G).....	49
Figura 27. Densidad de un hidrocarburo.....	54
Figura 28. Ingreso de masa teórica de combustible y aire .....	58
Figura 29. Flujo másico teórico de aire VS regímenes del motor .....	60
Figura 30. Anemómetro SUNRAY-SR-A9819 .....	61
Figura 31. Medición de la velocidad del aire al ingreso de la admisión. ....	61



Figura 32. Rendimiento volumétrico con el sistema original de admisión.....	65
Figura 33. Dimensiones del Inyector en mm.....	68
Figura 34. Conexión eléctrica de la bomba.....	70
Figura 35. Kit de regulador de presión.....	71
Figura 36. Partes del regulador de presión.....	72
Figura 37. Configuración de los puertos del regulador de presión.....	73
Figura 38. Mangueras para la línea de combustible.....	73
Figura 39. Filtro de combustible.....	74
Figura 40. Depósito de combustible secundario.....	75
Figura 41. Tapa secundaria del depósito.....	75
Figura 42. Tapa de servicio del tanque secundario de combustible.....	76
Figura 43. Esquema del circuito de combustible.....	76
Figura 44. Sistema de alimentación de combustible.....	77
Figura 45. Diente en el volante magnético que activa el sensor CKP.....	78
Figura 46. Sensor MAP, GM 96330547.....	78
Figura 47. Voltaje de salida Vs. Presión del sensor MAP.....	79
Figura 48. Sensor TPS 159.....	79
Figura 49. Sensor LM35.....	80
Figura 50. Tensión de alimentación mínima vs Temperatura.....	80
Figura 51. Proceso para el dimensionamiento del ducto de admisión.....	83
Figura 52. Espacio disponible para el ducto, dentro de la motocicleta.....	84
Figura 53. Filtro cónico.....	86
Figura 54. Modelo No. 1 del ducto.....	89
Figura 55. Modelo No. 2 del ducto.....	89
Figura 56. Modelo No. 3 del ducto.....	89
Figura 57. Modelo No. 4 del ducto.....	90
Figura 58. Modelo No. 5 del ducto.....	90
Figura 59. Modelo No. 6 del ducto.....	91
Figura 60. Rendimiento volumétrico en función del índice mach.....	91
Figura 61. Análisis de flujo de aire en el Modelo 1.....	93
Figura 62. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 1.....	94
Figura 63. Análisis de flujo de aire en el Modelo 2.....	94
Figura 64. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 2.....	95

Figura 65. Análisis de flujo de aire en el Modelo 3 .....	96
Figura 66. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 3 .....	97
Figura 67. Análisis de flujo de aire en el Modelo 4 .....	98
Figura 68. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 4 .....	99
Figura 69. Análisis de flujo de aire en el Modelo 5 .....	99
Figura 70. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 5 .....	100
Figura 71. Análisis de flujo de aire en el Modelo 6 .....	101
Figura 72. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 6 .....	102
Figura 73. Rendimiento volumétrico de los diferentes modelos de ducto ...	103
Figura 74. Dimensiones del ducto diseñado en SOLID WORKS .....	104
Figura 75. Ducto de admisión de aire en SOLID WORKS .....	105
Figura 76. Ducto de admisión de aire impreso en 3D .....	106
Figura 77. Ducto de admisión con todos sus componentes .....	106
Figura 78. Colocación de correas de seguridad.....	107
Figura 79. Software DYNO MAX Pro para el control del dinamómetro.....	107
Figura 80. Software del analizador CARTEK 50-100 .....	108
Figura 81. Conexión del equipo de medición de rpm .....	110
Figura 82. Datos del vehículo y propietario.....	110
Figura 83. Verificaciones antes de la prueba .....	111
Figura 84. Auto cero del banco .....	111
Figura 85. Ingreso de datos técnicos de la motocicleta.....	112
Figura 86. Sonda de gases en el escape.....	112
Figura 87. Verificación automática de HC residuales.....	113
Figura 88. Prueba de aceleración a ralentí (1350 - 1650 rpm) .....	113
Figura 89. Prueba de aceleración (1750 y 2500 rpm) .....	114
Figura 90. Prueba en progreso .....	114
Figura 91. Prueba finalizada .....	115
Figura 92. Hoja de resultado de la prueba .....	115
Figura 93. Ruta para la prueba de consumo de combustible .....	116
Figura 94. Rendimiento volumétrico con el sistema original de admisión...	118
Figura 95. Potencia del motor 200 cc con el sistema diseñado.....	120
Figura 96. Potencia del motor 200 cc con sistema original .....	121
Figura 97. Comportamiento de la potencia con los 2 sistemas .....	122

Figura 98. Torque del motor 200 cc con el sistema original .....	123
Figura 99. Torque del motor 200 cc con sistema diseñado .....	124
Figura 100. Comportamiento del torque con los 2 sistemas.....	126

## RESUMEN

El trabajo de titulación trata del diseño e implementación del sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible para verificar la incidencia en el desempeño mecánico de un motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico. La necesidad de estar a la vanguardia con los sistemas automotrices, se plantea la investigación enfocada en el sistema de admisión aire / combustible para el motor de una motocicleta consistiendo esencialmente en reemplazar el sistema original (carburador) por un sistema nuevo (inyección electrónica de combustible) ya que este último sistema permite una mejor dosificación de combustible al procesar datos enviados por diversos sensores colocados en diferentes partes del motor, tomando en cuenta que este cambio ocasiona variaciones en la potencia, torque, consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes es necesario que la investigación involucre un análisis comparativo entre dichos parámetros entre la motocicleta con el sistema original y la motocicleta con el sistema nuevo. El análisis y simulaciones se realizan mediante el uso de herramientas computacionales CAD como Solid Works, las mediciones mecánicas se lo realizan con un dinamómetro mientras que para las mediciones de gases y consumo de combustible se consideran Normativas nacionales NTE INEN 2203-2000 y 2204-2002 e internacionales NOM-150-1979 para aplicar los protocolos de medición y rangos de valores aceptables.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**
- **INYECCIÓN ELECTRÓNICA**
- **MOTOR MONOCILÍNDRICO**
- **MOTOCICLETA 4 TIEMPOS - MOTORES**

## **ABSTRACT**

The paper deals with the design and implementation of the air intake and fuel injection control system to verify the impact on the mechanical performance of a mono cylindrical 200cc internal combustion engine. The need to be at the forefront with the automotive systems, is the research focused on the air / fuel intake system for a motorcycle engine consisting essentially of replacing the original system (carburetor) with a new system (electronic fuel injection ) Since this last system allows a better dosage of fuel when processing data sent by different sensors placed in different parts of the engine, taking into account that this change causes variations in the power, torque, fuel consumption and emissions of polluting gases is necessary That the investigation involves a comparative analysis between said parameters between the motorcycle with the original system and the motorcycle with the new system. The analysis and simulations are performed using CAD computer tools such as Solid Works, mechanical measurements are performed with a dynamometer while for gas measurements and fuel consumption are considered National regulations NTE INEN 2203-2000 and 2204-2002 And international standards NOM-150-1979 to apply measurement protocols and ranges of acceptable values.

### **KEYWORDS:**

- **INTERNAL COMBUSTION ENGINES**
- **ELECTRONIC INJECTION**
- 
- **MOTORCYCLE 4 TIMES - ENGINES**

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

Según diario el Universo en su publicación “Venta de motos crece al llegar a 116.633 unidades” del 12 de abril del 2013 explica que “Según datos divulgados por el sector ensamblador de motos, el 60% de motocicletas vendidas corresponde a la categoría de utilitarias o de mensajería, el 25% de motocicletas para enduro (para trabajos fuertes) y el 15% de otras subclases”. Partiendo de lo mencionado anteriormente surge la necesidad de obtener un mejor desempeño en las motocicletas más vendidas las cuales corresponden el 60% del parque de motocicletas y son las denominadas utilitarias para ello es necesario mejorar los parámetros característicos los cuales son su potencia, torque y consumo de combustible a los motores que utilizan dichas motocicletas que a su vez varían entre una cilindrada de 125cc a 250 cc, y son alimentados con el sistema de carburador.

Se debe considerar que, a cualquier motor de combustión interna, es posible modificar sus parámetros característicos como la potencia, torque y consumo de combustible. Estas innovaciones van desde la estructura básica hasta mejoras electrónicas. Casi todas estas variaciones que buscan mejorar todas y cada una de las partes básicas, han sido logradas por la creatividad de Ingenieros y Técnicos enfocados en obtener la mayor potencia posible con un menor consumo de combustible en un régimen normal, utilizando para ello modificaciones en la estructura, materiales, formas mejor diseñadas, basándose en una tecnología cada vez más sofisticada. Cabe destacar que también es posible mejorar dichos parámetros sin que sea necesario realizar cambios significativos y costosos

en el mecanismo principal del motor.

Por tal motivo es que está tomando fuerza el “aficionado” que también necesita mejorar en lo que sea posible el rendimiento de su motocicleta sin necesidad de invertir mucho dinero, modificando o inclusive cambiando en su totalidad los sistemas auxiliares del motor tales como el sistema de admisión y escape, aunque el trabajo que realizan es totalmente empírico sin tomar en cuenta las ventajas y desventajas de estas modificaciones. Por lo general, las modificaciones deben ser muy bien pensadas, debido a que el diseño original ya tiene de por sí un estudio minucioso de todas y cada una de las partes.

Es por esto que es necesario realizar un estudio científico que logre justificar y avalar un buen resultado para dichos cambios el cual sirva a la mejora de la tecnología aplicada en los motores de combustión interna utilizados en motocicletas utilitarias además de colaborar con la economía del consumidor final los cuales son personas que utilizan las motocicletas como herramienta de trabajo.

## **1.2 Planteamiento del problema**

La falla de diseño en el colector de admisión, así como el uso de sistemas obsoletos, hace que los parámetros característicos del motor de combustión interna sean limitados en lo que se refiere al sistema de admisión.

La tecnología utilizada en el sistema de admisión para este tipo de motores es obsoleta ya que existen estudios donde el cambio de la geometría, del acabado superficial y del tipo de material utilizados para la fabricación de los ductos de admisión denota su influencia en la potencia

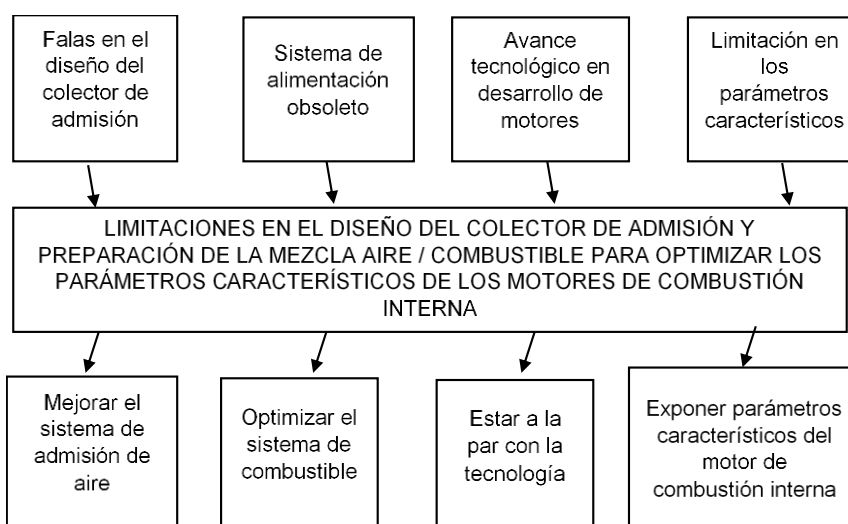
final del motor en este caso la motocicleta.

Por lo tanto, el problema central son los parámetros característicos de los motores de combustión interna limitados por el diseño del colector o ducto de admisión además de la preparación mezcla aire/combustible

Con base en investigaciones enfocadas en la mejora del diseño de los ductos de admisión se pretende mejorar los parámetros del motor de combustión interna y optimizar el sistema admisión aire / combustible para estar a la par con la tecnología actual.

Al finalizar el proyecto se expondrá el resultado de las modificaciones en el sistema de admisión para analizar los parámetros característicos del motor de combustión interna.

Por lo que el problema a investigar es el siguiente: Limitaciones en el diseño del colector de admisión y preparación de la mezcla aire / combustible para optimizar los parámetros característicos de los motores de combustión interna



**Figura 1. Diagrama de problemas y soluciones del proyecto**



### **1.3 Descripción resumida del proyecto**

Se realizará el levantamiento de datos reales del sistema de admisión original y del motor de 200 cc tales como:

- Geometría del ducto de admisión (dimensiones y volumen) original del motor de 200cc
- Curvas características del motor de 200 cc (potencia, torque y consumo) medidas mediante un dinamómetro de rodillos en el taller de “Álvaro Dinamyca Competición”.
- Relación de compresión del motor de 200 cc.
- Dimensiones del cilindro, pistón, conductos de la válvula de admisión y cigüeñal

Posteriormente se diseñará el colector de admisión de diferente geometría usando sistemas de diseño y simulación como SOLID WORKS donde se tomarán en cuenta las características ideales en cuanto a su sección y acabado superficial para obtener la mejor eficiencia de la mezcla aire / combustible.

Se seleccionará los componentes necesarios del sistema de alimentación los cuales se adapten al nuevo ducto de admisión y a la inyección de combustible tales como: bomba de inyección, riel común, inyector de combustible, filtro de aire y filtro de combustible,

Se realizará una revisión técnica mecánica de la motocicleta, seguido de un análisis de emisiones de gases contaminantes en prueba estática con el Analizador de gases Cartek 50-100, en el Laboratorio de Mecánica de Patio de la Universidad de las Fuerzas Armadas, bajo referencia de la norma NTE INEN 2203:2002

Se analizará los resultados mediante la obtención de curvas características del motor de combustión interna con 200 cc y refrigerado por aire de la motocicleta UM modelo DSR 200, dichas curvas expresaran gráficamente la potencia, el par motor y el consumo específico en función de la velocidad de rotación del cigüeñal para un determinado grado de carga. Dichas curvas se trazan señalando en un diagrama los valores de la potencia, del par y del consumo, que el motor proporciona a cada variación de su régimen de rotación.

#### **1.4 Justificación e importancia**

El diseño del ducto de admisión del motor con 200 cc de una motocicleta UM modelo DSR 200 con vistas a optimizar su funcionamiento, intentando obtener el máximo rendimiento y que proporcione la máxima potencia posible. Para ello se han de estudiar las distintas alternativas existentes en la actualidad acerca de este tipo de sistemas, analizando y valorando cada una de ellas y comparándolas entre sí.

La aplicación de una metodología de diseño que permita generar parámetros de ingeniería para la implementación de un sistema de alimentación de aire de alto desempeño, así como la implementación de un sistema de inyección electrónica, con todos los sensores y actuadores necesarios, ya que al tener un sistema de encendido completamente programable permitirá un mejor quemado de la mezcla aire-combustible, además que la implementación del sistema de inyección electrónica ayudara a tener mejor control del consumo de combustible. Estos dos sistemas que se implementarán podrán facilitar la limitación del consumo de combustible y reducción de las emisiones contaminantes.

El proyecto permitirá obtener datos importantes del consumo de combustible antes y después de las modificaciones realizadas en el motor

de combustión interna de 200cc mono cilíndrico, permitiendo evaluar el desempeño general del motor, así como velocidad final, rendimiento térmico y comportamiento de la motocicleta. Con esto se pretende realizar un trabajo de estudio y análisis de las curvas características del motor de combustión interna de la motocicleta, las que expresara gráficamente la potencia, el par motor y el consumo específico.

La presente investigación permitirá incentivar el interés en el motociclismo nacional, y a su vez el uso de motocicletas como medio de transporte, debido al bajo consumo de combustible, facilidad de movilidad y poca emisión de gases contaminantes. Ya que se pretenderá demostrar con la investigación todos estos puntos citados.

### **1.5 Proyectos relacionados**

- “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL COLECTOR DE ADMISION PARA EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA YAMAHA FZR 600 CC PARA LA COMPETENCIA FORMULA SAE”

**Autores:** Diego Vinicio Díaz Sinche, José Ignacio Hurtado Matute, Paúl Andrés Molina Campoverde y Joe Fernando Valarezo Ordoñez.

**Carrera:** Carrera de Ingeniería Automotriz. Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

**Año:** 2014

**Observación:** El presente trabajo se presenta una investigación con enfoque a desarrollar un modelo matemático donde considera las variables y constantes que van a afectar el proceso de inducción de aire del motor para obtener un volumen adecuado del colector de admisión ya sea en bajas o altas revoluciones.

Pero cabe mencionar que el enfoque que le dan es a una competencia donde sólo utilizan el motor de la motocicleta para adaptarlo a otro tipo de vehículo.

- “ANÁLISIS DEL FLUJO DE AIRE EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN DE UN MOTOR”

**Autor:** Ana Francisca Rea Cabezas

**Carrera:** Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

**Año:** 2011

**Observación:** El presente trabajo se presenta una investigación donde se analiza el comportamiento del flujo de aire a través de los ductos que conducen el mismo hacia los cilindros del motor mediante construyen y prueban un múltiple además de obtener una modelación matemática del flujo de combustible, toda esta investigación manifestó que las presiones de flujo a través de los ductos de admisión, varían en función del diámetro y posición con respecto a la ubicación de la garganta.

- “DISEÑO EN LA MEJORA DE RENDIMIENTO DE UN MOTOR YAMAHA 125 REFRIGERADO POR AIRE”

**Autor:** Felipe Andrés Fiallo Meza

**Carrera:** Carrera de Ingeniería Automotriz. Escuela Politécnica del Ejército (ESPE).

**Año:** 2013

**Observación:** El presente trabajo se presenta una investigación y comparación de las modificaciones mecánicas hechas una motocicleta permitiendo observar el aumento de torque y potencia en la misma.

- “SISTEMA DE ADMISIÓN, REFRIGERACIÓN Y ESCAPE EN UNA MOTO DE COMPETICIÓN”

**Autores:** Gerardo Herce Gil de Muro y Pedro M<sup>a</sup> Diéguez Elizondo.

**Carrera:** Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones. Universidad Pública de Navarra (UPNA).

**Año:** 2012

**Observación:** El presente trabajo se presenta una investigación enfocada en estudiar y diseñar los sistemas de admisión, refrigeración y escape con el fin de optimizar el funcionamiento, obtener el máximo rendimiento y proporcionar la máxima potencia posible, para ello investiga, analiza y compara diferentes alternativas ya existentes en la actualidad, todo esto lo realiza para poder competir en la "Motostudent".

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

Analizar la incidencia en el desempeño mecánico de un motor de combustión interna de 200 cc mono cilíndrico al modificar el sistema de admisión de aire y combustible.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar información teórica para el desarrollo del proyecto de investigación considerando fuentes confiables como son bases de datos digitales, libros, tesis, manuales, fichas técnicas y normas.
2. Establecer los datos reales del sistema de admisión original de la motocicleta UM modelo DSR 200 y del motor de 200 cc mono cilíndrico.
3. Diseñar y construir el sistema de control ingreso de aire (cuerpo del acelerador) para el motor de 200 cc mono cilíndrico.

4. Adaptar el sistema de alimentación de combustible con control electrónico en el motor de 200 cc mono cilíndrico
5. Analizar los datos obtenidos, para determinar la factibilidad de la implementación diseñada para el motor de 200 cc.

### **1.7 Metas**

Con la implementación del nuevo sistema de alimentación se espera generar un documento de alto nivel académico que sustente las posibles variaciones en el desempeño de la motocicleta UM modelo DSR 200 con un motor mono cilíndrico de 200 cc refrigerado por aire al lograr:

- Reducir el consumo de combustible en un 15%.
- Incrementar la potencia de la motocicleta entre 5 – 10 %.
- Mejorar las prestaciones del motor de 200 cc trasladando el nivel disponible de torque y potencia hacia menores rangos de revolución.
- Disminuir el impacto ambiental de los gases contaminantes de escape al mejorar la mezcla de aire / combustible con una reducción entre el 2 y 5%

### **1.8 Hipótesis**

Mediante el diseño e implementación del sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible se estima mejorar las prestaciones del motor de 200 cc y por ende mejorar a la motocicleta UM modelo DSR.

### **1.9 Variables de investigación**

- **Variable Independiente:**  
Sistema de ingreso de aire y control de inyección de combustible.

**Tabla 1.**  
**Operacionalización de la variable independiente**

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los colectores de admisión y el sistema de inyección de combustible consiguen equilibrar el par motor con el número de revoluciones generando una potencia adecuada.	Académica tecnológica	Aire en el colector de admisión	m <sup>3</sup> /s	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Volumen del múltiple de admisión	cm <sup>3</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Masa de combustible	Relación aire / combustible	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Flujo de masa de aire	Kg/s	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Rendimiento volumétrico	%	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Densidad teórica	Kg/m <sup>3</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Flujo real de aire	gr/s	Cálculos	Ecuaciones
	Académica tecnológica	Masa teórica de aire aspirado	Kg	Cálculos	Ecuaciones

- **Variable Dependiente:**

Desempeño mecánico del motor de combustión interna de 200 cc mono cilíndrico

**Tabla 2.**  
**Operacionalización de la variable dependiente**

Concepto	Categoría	Indicadores	Items	Técnicas	Instrumentos	
Son las características fundamentales para analizar el rendimiento y estado de un motor	Parámetros característicos del motor de combustión interna	Torque	Nm	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas	
		Potencia	kW	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas	
		Consumo de combustible	Kg/h	Cálculos Medición	Protocolo de pruebas	
	Contaminación	Niveles de Emisiones		ppm HC		
				% CO	Medición	Protocolo de pruebas
				% CO <sub>2</sub>		
		% O <sub>2</sub>				



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

#### 2.1 Motocicleta

De acuerdo con el Ministerio del Interior de España y el Manual de Motocicletas del Distrito de Columbia (Washington D.C.) se define como motocicleta al vehículo que cumple con las siguientes características:

- Posee dos o tres ruedas.
- La rueda directriz es la delantera y la motriz la trasera.
- Tener una potencia al freno de más 1.5HP según norma SAE.
- Tener un motor con cilindrada superior a 50cc.
- Desplazarse con una velocidad máxima por construcción superior a 45km/h.
- Tener ruedas de menos de 16 pulgadas de diámetro.
- Poseer transmisión manual.

Si un vehículo no cumple con las características detalladas anteriormente, se considera dentro de la definición de bicicletas motorizadas.

#### 2.2 Fundamento Teórico de la mecánica de los fluidos

##### 2.2.1 Flujo volumétrico

Según (Cengel & Cimbala, 2006) "El volumen del fluido que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo se llama razón de flujo volumétrico o gasto volumétrico o simplemente flujo volumétrico  $\dot{V}$

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n \, dA_c = V_{prom} * A_c = \mathbf{V} * \mathbf{A}_c \quad (1)$$

Donde:

$\dot{V}$  = flujo volumétrico en **m<sup>3</sup>/s**

$v$  = velocidad del fluido en **m/s**

$A_c$  = área de una sección transversal en **m<sup>2</sup>**

### **2.2.2 Flujo másico**

Según (Cengel & Cimbala, 2006) “La cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo se llama razón de flujo de masa o simplemente flujo másico y se denota por  $\dot{m}$ ”

$$\dot{m} = \rho * v_{prom} * A_c \quad (2)$$

Donde:

$\dot{m}$  = flujo másico en **kg/s**

$\rho$  = densidad del fluido a lo largo del ducto en **kg/m<sup>3</sup>**

$v_{prom}$  = velocidad promedio del fluido a lo largo del ducto en **m/s**

$A_c$  = área de una sección transversal en **m<sup>2</sup>**

### **2.2.3 Densidad**

Según (Cengel & Cimbala, 2006) “La densidad se define como masa por unidad de volumen”

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

### **2.2.4 Volumen específico**

Según (Cengel & Cimbala, 2006) “se define como volumen por unidad de masa”.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

### **2.2.5 Ecuación de Bernoulli**

(Cengel & Cimbala, 2006) “(...) para el flujo estacionario, a lo largo de una línea de corriente, en las regiones no viscosas del flujo. El valor de la constante puede evaluarse en cualquier punto de la línea de corriente en donde se conozcan la presión, densidad, velocidad y elevación. La ecuación de Bernoulli también puede escribirse entre dos puntos cualesquiera sobre la misma línea de corriente como”

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (5)$$

Donde:

P = presión en un puntos determinado

$\rho$  = densidad del fluido

g = aceleración de la gravedad

h = altura en punto determinado

v = velocidad del fluido

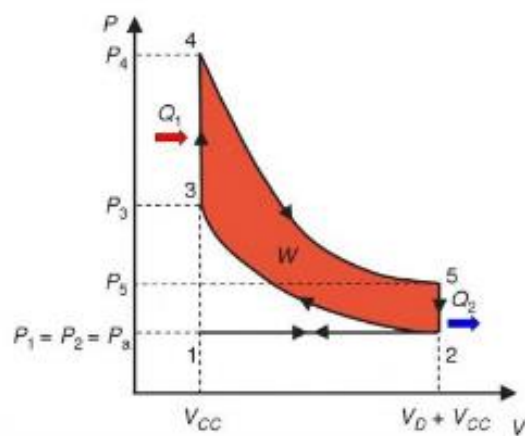
### **2.3 Fundamento teórico termodinámico del M.C.I.**

(Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015) “El motor, durante su funcionamiento, realiza una serie de procesos que se repiten periódicamente y constituyen un ciclo termodinámico abierto (no puede ser cerrado al ser un motor de combustión interna)”. Los cinco procesos básicos que tienen lugar en un M.C.I son:

1. Admisión: Proceso en el que tiene lugar la entrada del fluido de trabajo (mezcla aire-combustible o aire, dependiendo del tipo de motor).
2. Compresión: Proceso fundamental para incrementar el rendimiento termodinámico del motor.

3. Combustión: Mecanismo de reacciones químicas globalmente muy exotérmicas mediante las cuales se genera el estado térmico del fluido de trabajo (alta presión y temperatura)
4. Expansión: Proceso responsable de la producción de trabajo. En él, los gases producto de la combustión se expanden y desplazan al pistón, aumentando el volumen del cilindro. Dicha variación de volumen es la responsable de la producción de trabajo.
5. Escape: Proceso en el que se desalojan los gases producto de la combustión para que se pueda proceder a un nuevo proceso de admisión.

Los procesos de admisión y de escape constituyen lo que se denomina renovación de la carga y en ellos se intercambia masa con el exterior del motor. Los procesos de compresión, combustión y expansión constituyen el ciclo térmico del motor y son procesos confinados en los que no hay intercambio de materia con el exterior.



**Figura 2. Ciclo termodinámico de un motor de cuatro tiempos de ciclo Otto**

Fuente: (González, 2011)

Parte de la combustión dentro del motor se transforma de energía calórica a energía mecánica, pero para ello es necesario obtener una mezcla adecuada de un combustible (gasolina) y un comburente (oxígeno)

localizado en el aire atmosférico) el objetivo es tener una mezcla con las siguientes características:

- Homogénea dentro de la cámara de combustión.
- Gaseosa dentro de la cámara de combustión.
- Dosificada correctamente.

#### 2.4 Ecuación de Estado de un Gas ideal:

La ecuación de estado más sencilla es aquella que describe el comportamiento de un gas cuando éste se encuentra a una presión baja y a una temperatura alta. En estas condiciones la densidad del gas es muy baja, por lo que pueden hacerse las siguientes aproximaciones:

- no hay interacciones entre las moléculas del gas,
- el volumen de las moléculas es nulo.

La ecuación de estado que describe un gas en estas condiciones se llama ecuación de estado de un gas ideal.

La ecuación de estado de un gas ideal es el resultado de combinar dos leyes empíricas válidas para gases muy diluidos: la ley de Boyle y la ley de Charles, misma que expresada en función de la masa es:

$$PV = mRT \quad (6)$$

Donde:

P = presión del gas en un punto determinado

V = volumen del gas

m = masa del gas

R = constante universal de los gases  $(0,287 \text{ KPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K})$

T = temperatura del gas

## 2.5 Parámetros característicos del MCI.

El par o torque, la potencia y el consumo específico son los indicadores del funcionamiento del motor a combustión interna, proporcionando información de cuanta fuerza puede generar, cuanto combustible y con qué rapidez puede trabajar un motor.

### 2.5.1 Potencia.

(Sanz, 2011) Es el trabajo que produce un motor en la unidad de tiempo. La potencia se mide en caballos de vapor (C.V) o en Kilovatios y esta depende de: la cilindrada, la relación de compresión, el número de revoluciones del motor, hasta un límite; el llenado de los cilindros o relación volumétrica.

Aunque todos estos factores influyen o determinan la potencia de un motor, el que más influye de ellos es el número de revoluciones, hasta alcanzar las revoluciones de máxima potencia.

La potencia mecánica se define como la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo.

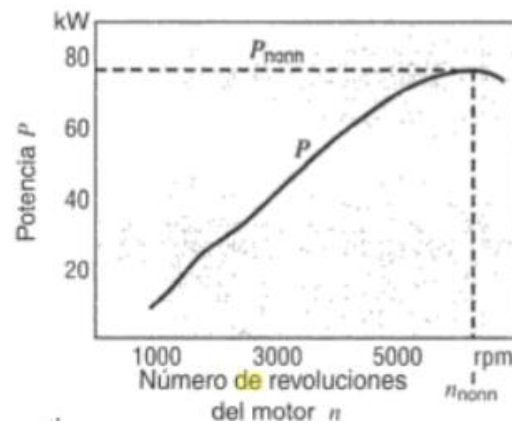
$$P = \frac{T}{t} \quad (7)$$

Dónde:

$P = potencia$

$T = trabajo$

$t = tiempo$



**Figura 3. Curva del par motor, indicando la relación entre par y velocidad**

Fuente: (Bosch, 2003)

### **2.5.2 Torque o par motor.**

(Sanz, 2011) “Se denomina par de giro o momento de giro al efecto de rotación que se obtiene cuando se aplica una fuerza sobre un brazo de palanca”.

El valor del par es el producto de la fuerza aplicada por la distancia desde donde se aplica hasta el punto de giro.

Multiplicando la presión obtenida en la combustión por la superficie de la cabeza del pistón se obtiene la fuerza que recibe la biela.

El par motor es en función de la fuerza ( $F$ ) aplicada sobre la biela, y de la longitud del codo del cigüeñal ( $d$ ), siendo esta igual a la mitad de la carrera. La fuerza que se aplica sobre el codo del cigüeñal es proporcional a la presión media efectiva sobre el pistón.

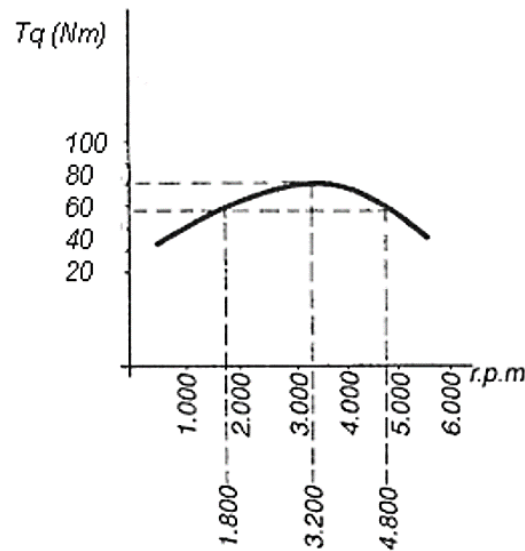
$$M = F * d \quad (8)$$

Dónde:

$M = \text{par}$

$F = \text{fuerza}$

$d = \text{distancia}$



**Figura 4. Curva característica del torque en relación al régimen de giro**

Fuente: (Panchi & Salazar, 2007)

### **2.5.3 Consumo específico de combustible.**

Explica (Bosch, 2003) el consumo específico de combustible, indica la masa de combustible (en gramos) que necesita un motor de combustión para ejecutar un trabajo determinado (kW-h). Esta magnitud, por tanto, enuncia más sobre el aprovechamiento de la energía del combustible que las indicaciones en l/h o l/100 km.

Además, define Sánchez, M. (2012), que el consumo de combustible para el cálculo de los motores térmicos suele expresarse generalmente por un consumo específico ( $G_{pe}$ ), el cual indica el consumo en gramos de combustible aportado al motor por cada caballo-hora ( $\frac{CV}{h}$ ) de potencia útil obtenida en el mismo. Se puede deducir que el consumo específico en función de rendimiento del motor y el calor específico del combustible empleado es igual a:

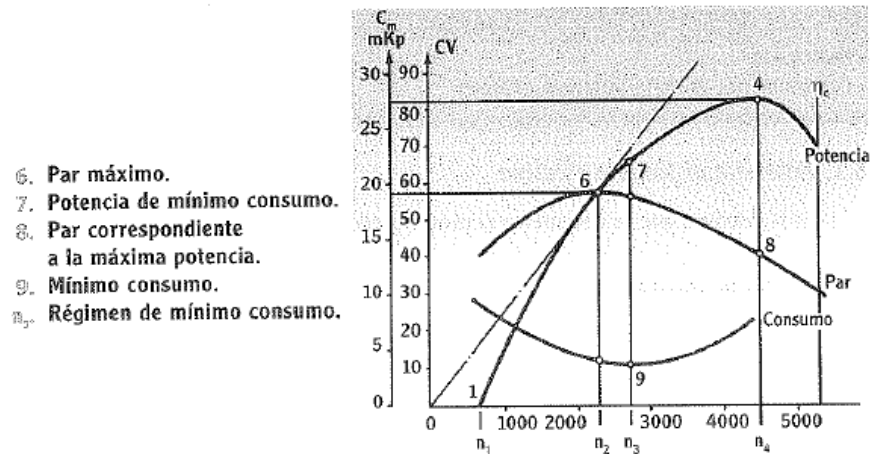
$$G_{pe} = \frac{B * 3600}{N_e} \quad (9)$$



Donde:

$B = \text{Consumo de combustible}$

$Ne = \text{Potencia efectiva del motor}$



**Figura 5. Curvas características del motor (potencia, torque, consumo)**

Fuente: (Ocaña, 2000)

#### 2.5.4 Rendimiento volumétrico

(González, 2011) Representa la eficiencia del llenado de los cilindros y se define como la relación entre la masa de mezcla o aire fresco que entra en el motor por ciclo y la que llenaría la cilindrada en unas condiciones de presión y temperatura de referencia, expresada en tanto por ciento.

Se puede definir como el grado de eficacia con que se logra llenar el cilindro. Se expresa como la relación entre la masa de gas que es introducida en el cilindro ( $M_a$ ) en un ciclo y la masa que teóricamente cabe en el volumen del cilindro ( $M_c$ ).

$$\eta_v = \frac{M_a}{M_c} * 100\% \quad (10)$$

(Sanz, 2011) El grado de llenado de los cilindros influye directamente sobre el par y, por tanto, sobre la potencia desarrollada por el motor, ya que cuanto mejor sea el llenado, más energía se obtiene de la combustión.

### 2.5.5 Rendimiento volumétrico en función de la masa de aire

Según (Viñuelas García, 2014) “El motor es alimentado por una mezcla de aire húmedo y combustible, que se forma en el conducto de admisión. Como en la práctica lo que se puede medir con mayor facilidad es el aire admitido, es conveniente expresar el rendimiento volumétrico en función de la masa de aire admitida”

Dicho lo anterior se demuestra que en la práctica el rendimiento volumétrico viene dado por la siguiente expresión:

$$\eta_V = \frac{\dot{m}_a}{\frac{n}{2} * V_T * \rho_{ia}} \quad (11)$$

Donde:

$\eta_V$  = Rendimiento volumétrico en función de la masa de aire admitida.

$\dot{m}_a$  = flujo másico de aire en **g/s**

$n$  = revoluciones por minuto del motor en **rad/s**

$V_T$  = Volumen total (cilindraje) en **cm<sup>3</sup>**

$\rho_{ia}$  = Densidad del aire de admisión en **g/cm<sup>3</sup>**

### 2.5.6 Rendimiento volumétrico en función del número MACH

El número MACH Z es utilizado por (Taylor, 1990) misma que se define así:

$$Z = \left(\frac{D}{D_v}\right)^2 * \frac{C_m}{C_D * a} \quad (12)$$

Donde:

Z = Número Mach

D = diámetro del pistón

$D_v$  = diámetro de la cabeza de la válvula

$C_m$  = velocidad lineal media del pistón

$\overline{C_D}$  = coeficiente de descarga medio

$a$  = velocidad del sonido

Por otra parte, la velocidad lineal media del pistón ( $C_m$ ) según (Viñuelas García, 2014) viene dado por la siguiente expresión:

$$C_m = 2 n S \quad (13)$$

Donde:

$C_m$  = velocidad lineal media del pistón

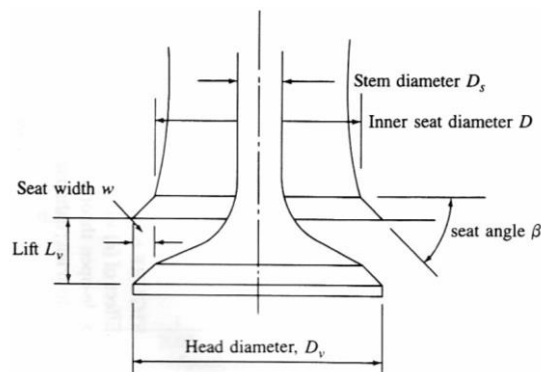
$n$  = número de revoluciones por minuto

$S$  = carrera

Además, el coeficiente de descarga medio ( $\overline{C_D}$ ) representa los efectos del flujo real determinado experimentalmente pero puede ser relacionado con el área característica que se elija teniendo como posibilidades las siguientes:

- Área nominal de la cabeza de la válvula
- Área de paso en el asiento de la válvula
- Área geométrica mínima.
- Área de cortina  $A_c = \pi * D_v * L_v$

Se puede elegir cualquiera de estas áreas, pero la recomendable es el área de cortina ya que varía linealmente con el levantamiento de la válvula.



**Figura 6. Parámetros geométricos característicos de una válvula**  
Fuente: (Viñuelas García, 2014)

Por último tenemos la velocidad del sonido ( $a$ ) que viene expresada por la siguiente ecuación.

$$a = \sqrt{\gamma R T} \quad (14)$$

Donde:

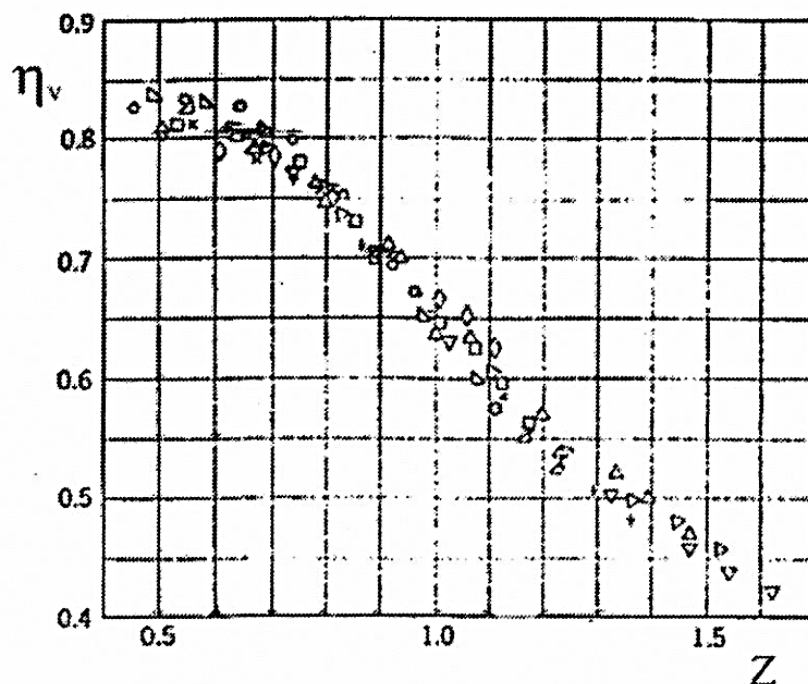
$a$  = velocidad del sonido

$\gamma$  = coeficiente de dilatación adiabática, para mezcla fresca de aire-gasolina (1,37) según (Viñuelas García, 2014)

$R$  = constante universal de los gases,  $(0,287 \text{ KPa} \cdot \text{m}^3 / \text{kg} \cdot \text{K})$

$T$  = temperatura.

Según experimentación de (Taylor, 1990) explica que el rendimiento volumétrico decrece rápidamente para valores mach  $> 0,6$  para obtener un rendimiento volumétrico en función del número mach se puede recurrir a esta figura.



**Figura 7. Rendimiento volumétrico en función del índice mach**  
Fuente: (Viñuelas García, 2014)

### 2.5.7 Flujo volumétrico de aire en función del régimen de giro

Para el cálculo teórico del flujo volumétrico de aire dentro los cilindros del motor a un determinado régimen de giro, según (Panchi & Salazar, 2007) es:

$$V_D = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k_2} * 3600 \quad (15)$$

Donde:

$V_D$  = volumen de aire teórico consumido por el motor, en **m<sup>3</sup>/h**

$n$  = número de cilindros del motor.

$D$  = diámetro del cilindro, en **m**

$L$  = carrera del pistón, en **m**

$N$  = revoluciones a las que gira el motor, en **rpm**

$k_2 = 2$  debido a que es un motor de 4 tiempos.

### 2.5.8 Relación de compresión

La relación de compresión representa el número de veces que el volumen de la cámara de combustión está contenida en el volumen del cilindro desde el PMI al PMS (cilindrada), dicha relación viene dada por la siguiente ecuación,

$$r = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{V_h}{V_c} + 1 = \quad (16)$$

Donde:

$r$  = relación de compresión

$V_h$  = volumen del cilindro

$V_c$  = volumen de la cámara de combustión

## 2.6 Formación de la mezcla AIRE / COMBUSTIBLE

### 2.6.1 El Aire y sus propiedades:

Para obtener una combustión dentro del cilindro es necesario la mezcla del oxígeno con el combustible, por lo que en la práctica el oxígeno es tomado del aire atmosférico. El aire es la mezcla de Nitrógeno, oxígeno y otros gases en menor cantidad los cuales se detalla a continuación:

**Tabla 3.**

**Composición del aire seco**

<b>Gas</b>	<b>% Volumen</b>	<b>% Masa</b>	<b>Peso molecular (g)</b>
N <sub>2</sub>	78,09	75,52	28,02
O <sub>2</sub>	20,95	23,15	32
Ar	0,93	1,28	39,95
CO <sub>2</sub>	0,03	0,05	44,01
Ne	0,0018	0,0012	20,18
He	0,0005	0,00007	4,0003
Kr	0,0001	0,003	83,80
Xe	0,000009	0,00004	131,3
H <sub>2</sub>	0,00005	0,000004	2,016
<b>Aire Seco</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>28,96</b>

**Fuente:** (Lenz, 1990) citado en (Nevot Cercós, 1999)

Según (Cerdeja Altamirano & Proaño Madrid, 2015) La densidad del aire húmedo viene determinada por la siguiente fórmula:

$$\rho_A = \frac{P_{atm}}{R_A * T_A} \quad ( 17 )$$

Donde:

$\rho_A$  = densidad del aire humedo en **kg/m<sup>3</sup>**

$P_{atm}$  = presión del aire atmosférico medida en **kPa**

$R_A$  = Constante del aire como gas ideal es **0,2870 (kPa m<sup>3</sup>/ kg K)** según (Cengel & Cimbala, 2006) cap.12 pg. 617

$T_A$  = temperatura del aire atmosférico medida en **K**

La presión atmosférica según su altura sobre el nivel del mar viene dado por la siguiente expresión según (Cengel & Boles, 2009) :

$$P_{atm} = 101325 \left( \frac{288 - 0,0065 * Z}{288} \right)^{5.256} \quad ( 18 )$$

Donde:

$P_{atm}$  = Presión atmosférica en **Pa**

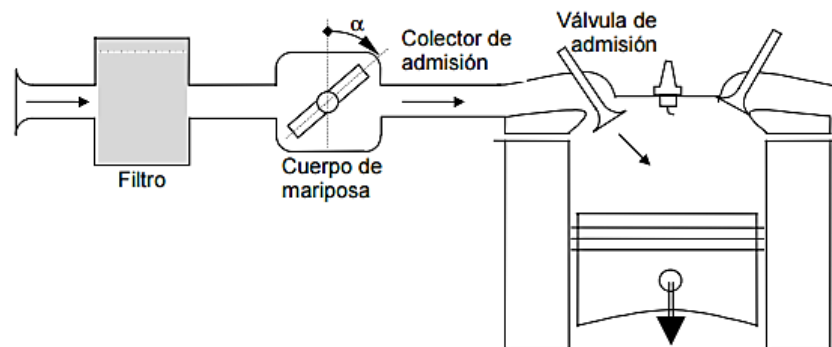
$Z$  = altitud sobre el nivel del mar medido en **m**

### **2.6.2 Dosificación del aire:**

En un motor de combustión interna el llenado de aire se lo realiza por aspiración esto ocurre con la válvula de admisión abierta y en la carrera descendente del pistón o comprimiendo previamente el aire a lo que han llamado sobrealimentación. La forma de regular la carga del motor es mediante la cantidad de mezcla introducida y quemada en el cilindro. Dado que se tiene una mezcla aire /combustible (dosado) constante la potencia desarrollada depende directamente del caudal másico de aire.

La forma más común de controlar el caudal másico de aire es mediante una placa redonda que gira dentro del colector o ducto de admisión (cuerpo

de aceleración misma que es accionada a voluntad por el conductor mediante un cable conectado al puño de acelerador, dicho sistema es llamado válvula de mariposa. La mariposa crea una pérdida de carga variable de modo que antes de la mariposa la presión es atmosférica y después de la mariposa la presión siempre será menor.



**Figura 8. Sistema de admisión de aire**

Fuente: (Nevot Cercós, 1999)

La pérdida de carga se determina según la siguiente fórmula:

$$\Delta h = K \frac{v^2}{2g} \quad (19)$$

Donde:

$\Delta h$  = pérdida de carga.

$K$  = factor de pérdida de carga.

$v$  = velocidad media en la sección normal del tubo.

$g$  = aceleración de la gravedad

El factor de pérdida de carga en la válvula de la mariposa varía según el ángulo de la misma. La Tabla 4 caracteriza dicho fenómeno



**Tabla 4.**  
**Factor de pérdida de carga en la válvula de la mariposa**

A	K	A	K	$\alpha$	K	$\alpha$	K
0	$\infty$	35	58,8	55	6,22	75	0,90
20	750	40	32,6	60	3,91	80	0,52
25	256	45	18,7	65	2,52	85	0,24
30	118	50	10,8	70	1,54	90	0

**Fuente:** (Nevot Cercós, 1999)

La válvula de mariposa es comúnmente utilizada para controlar la dosificación de motores debido a su buena estanqueidad y sencillez de accionamiento, aunque posee poca linealidad.

### **2.6.3 Gasolina y sus propiedades:**

Los combustibles son una mezcla de hidrocarburos en estado líquido que desde el punto de vista químico son parafinas, olefinas, naftenos y aromáticos. En el Ecuador se usa principalmente 3 tipos de combustibles denominados "Extra" con 87 octanos, "Super" con 92 octanos y "Ecopais" con 87 octanos siendo el más utilizado debido a su bajo costo la gasolina "Extra", aunque en los últimos años la gasolina Ecopais está reemplazando paulatinamente al consumo de extra debido a que en su composición existe un 5% de bioetanol con lo cual logran reducir las emisiones gases contaminantes de carbono.

### **Octanaje:**

El "Número de Octano" se refiere exclusivamente a la cualidad antidetonante de la gasolina. El octanaje no es otra cosa que la medida de la cualidad antidetonante que se requiere en el combustible para resistir la tendencia a la detonación o autoencendido, por lo que el número de octano requerido depende directamente de la relación de compresión del motor.

Con el nivel de octanaje adecuado se evita la detonación y se logra un solo foco de llama dado para el encendido en el momento preciso, con lo cual se logra una combustión pareja y efectiva. (Murrugarra Pelaez, 2009)

### Densidad

La densidad depende de la composición de la gasolina y aumenta con el número de carbonos, según (Nevot Cercós, 1999) a temperatura de 20 °C varía entre 0,73 a 0,78 kg/dm<sup>3</sup>.

Como ya se dijo el combustible más utilizado en el Ecuador debido a su bajo costo es el denominado “Extra” y según un estudio realizado por (Gallegos Murillo, 2005) en la tesis “Análisis termoquímico de los motores de combustión interna a gasolina mediante el antidetonante metil terbutil éter (MTBE)” en el capítulo 4 en la sección 4.3.3 donde toma una muestra de gasolina extra sin aditivo:

**Tabla 5.**  
**Muestra: Gasolina extra, súper sin aditivo**

			Extra	Súper
8	Peso de combustible	gr.	0.7	0.7
9	Temperatura inicial	°C	21.16	21.44
10	Temperatura final	°C	23.98	24
11	Variación de temperatura puntos (9-10)	°C	2.51	2.56
12	Energía total liberada (11*7)	J	33199.77	33861.12
13	Valor calorífico de la muestra (12/8)	J/gr	47373.02	48373.02

**Fuente:** (Gallegos Murillo, 2005)

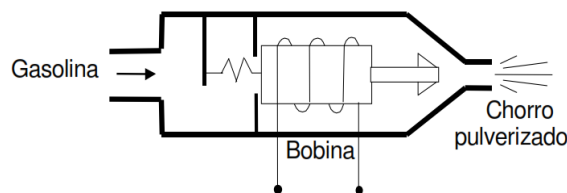
Y mediante la utilización de los siguientes equipos:

- Balanza
- Picnómetro

Determinan que el combustible “Extra” posee una densidad igual a **0,73508 gr/cm<sup>3</sup>**

#### **2.6.4 Dosificación de la gasolina**

Existen 2 dispositivos para agregar gasolina a la mezcla siendo primero el carburador mismo que en la actualidad es obsoleto y segundo el inyector representada de forma esquemática en la Figura 9. La característica principal que diferencian a estos 2 dispositivos es la forma de aportar dicho combustible a la mezcla, el primero lo hace ligando el caudal de aire y gasolina mediante leyes físicas mientras que en el segundo la cantidad de combustible es independiente al caudal de aire.



**Figura 9. Inyector de Gasolina**

Fuente: (Nevot Cercós, 1999)

Para obtener un chorro pulverizado es necesario situar una bomba eléctrica en el depósito la cual proporcionará combustible a alta presión. El inyector elementalmente se compone de una aguja cuya punta esta presionada al orificio de salida impidiendo el paso de combustible, dicha aguja mantiene su posición gracias a un muelle el cual se levanta debido a la acción de un electroimán mismo que es activado por una señal eléctrica enviada desde el módulo de control. La presión de combustible proporcionada por la bomba es importante mantenerla a todo momento por lo que es necesario un regulador de presión.

De acuerdo con criterios diferentes se puede clasificar al sistema de inyección de las siguientes formas:

- Por el Número de Inyectores:
  - **Mono punto:** refiere a un solo inyector para todos los

cilindros colocado antes de la válvula mariposa en el múltiple de admisión

- **Multipunto:** refiere a un inyector para cada cilindro colocado después de la mariposa lo más cerca de la cámara de combustión los cuales van alojados dentro de un riel el cual distribuye el combustible a todos los inyectores con la misma presión.
- Por el sincronismo de la inyección:
  - **Simultanea:** Sucede cuando todos los inyectores se activan al mismo tiempo, esto ocasiona que la mezcla no sea efectiva pero
  - **Secuencial:** el inyector se activa para cada cilindro un tiempo antes de que se abra la válvula de admisión con lo cual se logra una mezcla más exacta.
  - **Semi secuencial:** sucede cuando se activan los inyectores de 2 en 2.
- Por la posición del inyector:
  - **Directa:** cuando el inyector se localiza dentro de la cámara de combustión.
  - **Indirecta:** cuando el inyector se localiza en el múltiple de admisión.
- Por la regulación de caudal:
  - **Continua:** el inyector produce un caudal variable continuo.
  - **Discontinua:** el inyector está totalmente abierto o totalmente cerrado, esto debido a que recibe un tren de pulsos.

Para la correcta dosificación de combustible (gasolina) se debe tomar en cuenta el "límite de inflamabilidad" el cual representa el punto mínimo y máximo de dosificación de combustible con el fin de no llegar a un punto donde la mezcla ya no combustione.

Según (Lema Romero & Tobar Arizaga , 2011) el dosado debe ser el siguiente:

- dosificación mínima para ralentí  $1/22$  (  $r=0,7$ )
- dosificación máxima para arranque en frío  $1/4,5$  ( $r=3,3$ )
- dosificación para potencia máxima  $1/12,5$  ( $r=1,2$ )
- dosificación para máximo rendimiento  $1/18$  ( $r=0,85$ )

### 2.6.5 Dosado

Es la relación entre el caudal másico de combustible y el caudal másico de aire.

$$F = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} = \frac{m_f}{m_a} \quad ( 20 )$$

Donde:

F = Dosado

$\dot{m}_f$  = caudal másico de combustible.

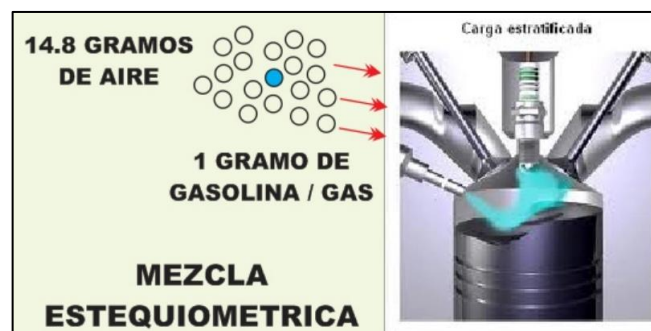
$\dot{m}_a$  = caudal másico de aire.

### 2.6.6 Dosado estequiométrico

Es la relación entre el caudal másico de aire con el caudal másico de combustible con la finalidad de tener una combustión completa de la mezcla, en otras palabras, esta relación no permite que haya exceso de aire ni de combustible.

Según (Nevot Cercós, 1999) el dosado estequiométrico está comprendido entre 1/14 y 1/15, típicamente 1/14,7.

Lo cual se lee de la siguiente manera: la mezcla ideal es por cada 1 parte de combustible en peso debe existir 14,7 partes de aire en peso.



**Figura 10. Mezcla estequiométrica**

Fuente: <http://blog.ausingo.es/mezcla-rica-y-mezcla-pobre/>

### 2.6.7 Dosado relativo

Es la relación entre el dosado y el dosado estequiométrico

$$F_r = \frac{F}{F_e} \quad (21)$$

Donde:

$F_r$  = Dosado relativo

$F$  = Dosado

$F_e$  = Dosado estequiométrico (1/14,7)

La condición usual de dosado relativo oscila entre 0,04 a 0,7

$$F_r = \begin{cases} > 1 \text{ Mezcla RICA (exceso de combustible o falta de aire)} \\ = 1 \text{ Mezcla estequiometrica} \\ < 1 \text{ Mezcla POBRE (falta de combustible o exceso de aire)} \end{cases}$$

### 2.6.8 Coeficiente de aire

Es la inversa del dosado

$$\lambda = \frac{1}{F_r} \quad (22)$$

Donde:

$\lambda$  = Coeficiente de aire

$F_r$  = dosado relativo

La condición usual en los motores OTTO el coeficiente de aire oscila entre 1,05 y 1,15

$$\lambda = \begin{cases} > 1 \text{ Mezcla POBRE (exceso de aire o falta de combustible)} \\ = 1 \text{ Mezcla estequiometrica} \\ < 1 \text{ Mezcla RICA (falta de aire o exceso de combustible)} \end{cases}$$

## 2.7 Sistema de admisión de la mezcla aire / combustible

Son un conjunto de elementos colocados en serie desde la culata del motor hasta el aire atmosférico mismos que interactúan entre sí para lograr llenar la cámara de combustión con una mezcla lo más próxima a la estequiométrica.

El aire ingresa al ducto de admisión a través del filtro y se dosifica mediante la válvula mariposa ubicada en el cuerpo de aceleración, misma que es dirigida directamente por el puño del acelerador mediante un cable.

El combustible llega al ducto de admisión para unirse al aire y formar la mezcla que ingresa en la cámara de combustión mediante la activación de un inyector el cual es manejado por el módulo de control, mismo que recibe la información de todos los sensores y elabora la señal adecuada para la aportación necesaria de combustible.

Hay que tomar en cuenta que el utilizar un alto número de sensores beneficia al control de la mezcla, pero también provoca una serie de problemas:

- No proporcionan el valor real de la variable medida, sino una aproximación.
- El valor no se obtiene de forma instantánea, sino tras un cierto retardo.
- Con el envejecimiento, se des calibran.
- A veces, por dificultades físicas, no pueden colocarse en el punto exacto donde interesa medir, sino en una posición diferente.

Por tal motivo los componentes más elementales para la formación de una buena mezcla son los siguientes:

- a. Filtro de aire
- b. Cuerpo de aceleración (válvula mariposa)
- c. Ducto de admisión de aire.
- d. Sensor de posición de la mariposa (TPS).
- e. Sensor de presión absoluta en la admisión (MAP).
- f. Sensor de posición del cigüeñal (CKP).

- g. Sensor LM35 para la temperatura de ingreso del aire y temperatura del motor.
- h. Depósito de Combustible.
- i. Electrobomba de gasolina
- j. Filtro de combustible
- k. Ductos o líneas de combustible.
- l. Regulador de presión de combustible.
- m. Inyector de combustible.
- n. Unidad de Control del Motor (ECU).

### **2.7.1 Filtro de aire:**

Según (Widman, 2009) en el boletín informativo de mantenimiento No. 70 explica lo siguiente:

“El sistema de filtración del aire está diseñado para permitir la entrada del aire necesario para una combustión completa, mientras bloquea las partículas de polvo. Ahora, tenemos que entender que las partículas de polvo más dañinas son tan pequeñas que se necesita juntar 4 o 5 solo para poder verlas. El propósito del filtro es muy simple: Proteger el motor, para eso tiene que bloquear todo el polvo posible, aunque sea tan pequeño que no es visible al ojo humano. Queremos eliminar el máximo posible de contaminantes mientras dejamos pasar bastante aire para una combustión eficiente.” (p. 1)



**Figura 11. Filtro de aire**

Fuente: <http://www.fierrosclasicos.com/el-filtro-de-aire-para-que-sirve/>

La mayoría de los filtros de aire son fabricados con celulosa (papel), según la marca y la calidad de la celulosa (papel filtrante) dichos filtros pueden ser eficientes o no. Lo esencial es que el filtro atrape la mayor



cantidad de polvo dentro de sus fibras por lo que el papel no puede ser muy delgado.

Según (Widman, 2009) se sabe que: “las partículas entre 2μ a 15μ (micrones/micras) hacen el mayor daño y que 1 mg de polvo es 20 veces el máximo permisible para tener una vida útil “normal” del motor”.

Para calcular el tamaño mínimo de un filtro específico es necesario saber el área efectiva de filtrado, según (K&N Engineering, Inc., 2017) la fórmula es la siguiente:

$$A = \frac{CID * RPM}{20839} \quad (23)$$

Donde:

A = área efectiva de filtrado

CID = volumen de desplazamiento (cilindrada)

RPM = revoluciones por minuto a máxima potencia

$$H = \frac{A}{D * \pi} + 0,75 \quad (24)$$

Donde:

H = altura del filtro

A = área efectiva de filtrado

D = diámetro exterior del filtro

0,75 = pérdida por los tapones de goma

### **2.7.2 Cuerpo de aceleración:**

Según (Viñuelas García, 2014) “El cuerpo de aceleración se puede considerar como una válvula colocada en la entrada del sistema de admisión de aire, y es el principal medio para controlar el comportamiento

de un motor. El mecanismo del cuerpo de aceleración controla el volumen de aire que entra por el colector de admisión”.



**Figura 12. Cuerpo de aceleración**

Fuente: <http://activatemotos.blogspot.com/>

### **2.7.3 Ducto de admisión de aire**

“La energía (par) que un motor entrega depende de la cantidad de gases frescos que entran en los cilindros durante la admisión, a mayor cantidad (masa) de gases admitidos más fuerte serán las combustiones y el empuje consecuente sobre cada pistón. Lo ideal sería que entrase en el motor tanta cantidad de gases frescos como capacidad de los cilindros pero los rozamientos internos, la geometría, forma y tamaño de los colectores entre otras razones impiden que se logre un llenado del 100%” (Orovio Astudillo, 2010) citado en (Hinojosa Jácome & Piña Guaman, 2015)

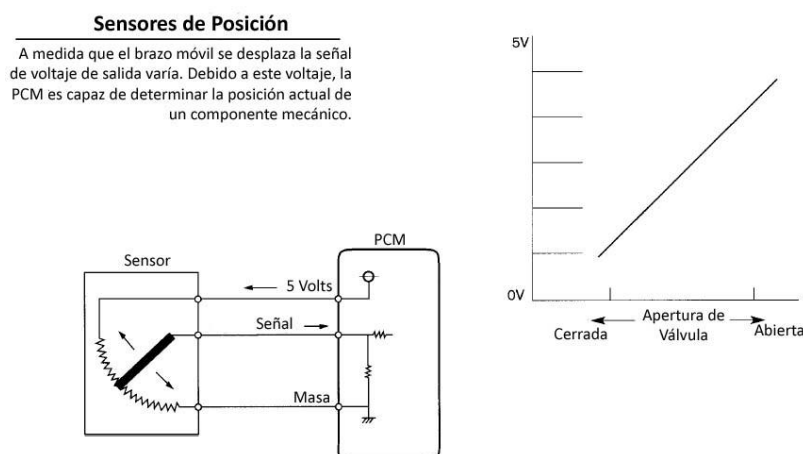
Las funciones principales de un sistema de admisión de aire son las siguientes:

- Filtrar el aire atmosférico que está ingresado a la cámara de combustión.
- Regular la cantidad de aire atmosférico para formar una buena mezcla.
- Medir la cantidad, presión y temperatura de aire que está ingresando a la cámara de combustión.

### **2.7.4 Sensor de posición de la mariposa (TPS)**

Según (Nevot Cercós, 1999) “Consiste en un potenciómetro de tipo lineal, fijado al cuerpo de mariposa, cuyo cursor gira solidario a la válvula. La señal

proporcionada es la recogida por el cursor, el cual al desplazarse sobre una resistencia, actúa como un divisor de tensión entre la masa y una tensión de referencia. Para mayor precisión en los ángulos pequeños. A veces se utiliza una segunda pista, de menor recorrido pero mayor precisión. El error en la medida es normalmente menor del 3% aunque la respuesta es inmediata”.



**Figura 13. Sensor de posición de la mariposa**

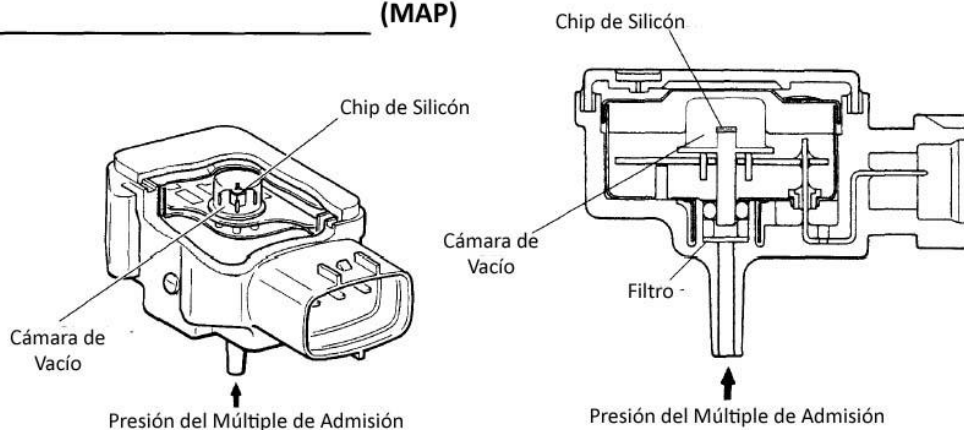
Fuente: (Booster, 2015)

### **2.7.5 Sensor de presión absoluta en la admisión (MAP)**

(Nevot Cercós, 1999) “Los sensores de presión utilizados para la gestión de motores consisten en un chip con un conector, el cual se une mediante un tubo flexible al punto donde se desea medir la presión absoluta. En su interior hay una cápsula de vacío que sirve como referencia de la presión nula. La deformación de un diafragma por efecto de la diferencia de presión se detecta gracias a unos captadores piezoeléctricos, montados sobre el mismo diafragma, en configuración de puente de Wheatstone. El sensor puede ir encapsulado, lo que permite montarlo cerca del punto de medición, o incluso puede integrarse a la placa de la centralita. La precisión obtenida es del orden del 0,5%, que puede mejorarse hasta un 0,05% mediante compensación de la tensión de referencia en función de la temperatura, para un rango de medición de 170 a 1050 bar. El valor de histéresis, en el

límite de la escala, es de  $\pm 0,6\%$ . El tiempo de respuesta suele estar por debajo de los 10 ms”.

### Sensor de Presión Absoluta del Múltiple (MAP)

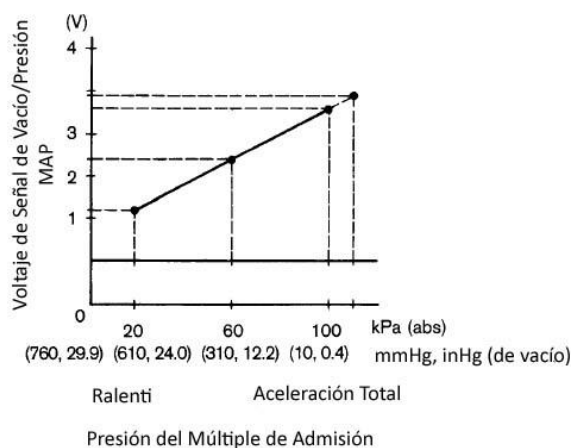


**Figura 14. Sensor de presión absoluta en la admisión**  
Fuente: (Booster, 2015)

### Presión vs. Señal de Voltaje MAP

A medida que la presión dentro del múltiple de admisión se incrementa, el voltaje de la señal proveniente del sensor disminuye.

La interpretación de esta gráfica nos esclarece con facilidad la dinámica del Sensor MAP ; un vacuómetro físico nos ayuda a comprobar la lectura real del sensor.

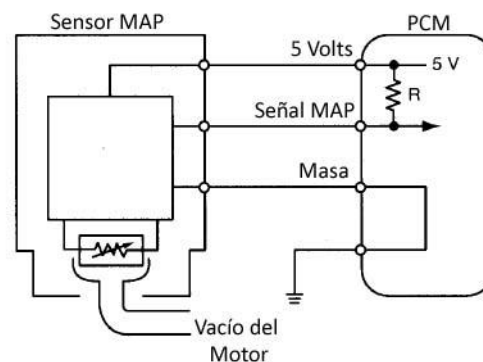


**Figura 15. Gráfica Presión vs Señal de Voltaje MAP**  
Fuente: (Booster, 2015)

### Círculo del Sensor MAP

La PCM mide esta señal de voltaje en la terminal. El sensor recibe 5 Volts de la PCM para que funcione. También recibe masa controlada por la PCM.

El voltaje reportado en la terminal de la señal será de 5 Volts si el sensor se llegase a desconectar.

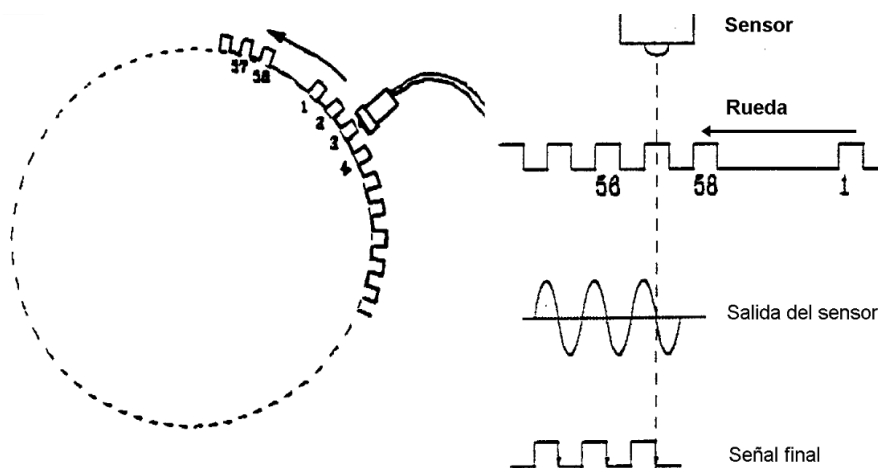


**Figura 16. Circuito del sensor MAP**

Fuente: (Booster, 2015)

### 2.7.6 Sensor de posición del cigüeñal (CKP)

(Nevot Cercós, 1999) "Consiste en una rueda metálica con 60 dientes rectangulares, a la que se le han suprimido dos contiguos. Un captador magnético situado a poca distancia de la rueda, la cual gira solidaria al cigüeñal, detecta el paso de un diente y produce una señal ondulada. El doble hueco permite referenciar el ángulo respecto al punto muerto superior, así como compensar las posibles faltas de sincronismo, durante cada vuelta de la rueda. Con este procedimiento, se puede calcular no sólo la posición instantánea del cigüeñal, sino también el régimen del motor, por derivación.



**Figura 17. Sensor de ángulo del cigüeñal mediante rueda fónica**

Fuente: (Magneti Marelli) citado en (Nevot Cercós, 1999)

### 2.7.7 Sensor LM35 para la temperatura de ingreso del aire y del motor.

Es un sensor de temperatura analógico con una tensión de salida linealmente proporcional a la temperatura empaquetado en un transistor hermético TO.

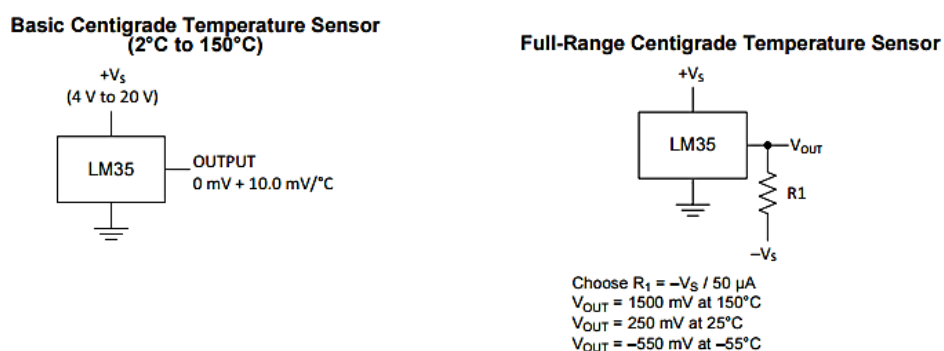
El sensor LM35 consume 60  $\mu\text{A}$  del suministro por lo que posee un auto calentamiento de menos de 0,1  $^{\circ}\text{C}$  en aire estancado.

El sensor LM35 está diseñado para operar entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$  y es compatible con Arduino, PIC, EMBED, AVR o cualquier microcontrolador.

Para el caso de la temperatura de admisión del aire el sensor está ubicado en el ducto de admisión.

Para el caso de la temperatura del motor el sensor está ubicado en la parte externa del cabezote lo más próximo a la cámara de combustión.

Estos sensores son utilizados para determinar si el vehículo está siendo encendido en una condición de arranque en frío. El módulo de control compara las dos señales, tanto la del motor como la del ducto.



**Figura 18. Sensor de temperatura LM35 formas de conexión**  
Fuente: (Texas Instruments, 2016)

### **2.7.8 Depósito de combustible**

El depósito de combustible de una motocicleta es el encargado de almacenar y alimentar a la inyección o a la carburación en cantidad suficiente para el correcto funcionamiento en el caso de la inyección dentro del depósito se encuentra la bomba.

El depósito de combustible debe cumplir con ciertas condiciones de seguridad y de fiabilidad.

- Lo primero que un depósito tiene que ofrecer es estanqueidad, pues lo contrario podría resultar peligroso.
- Es importante que el depósito se sujete al resto de la moto.
- optimizar el espacio libre disponible

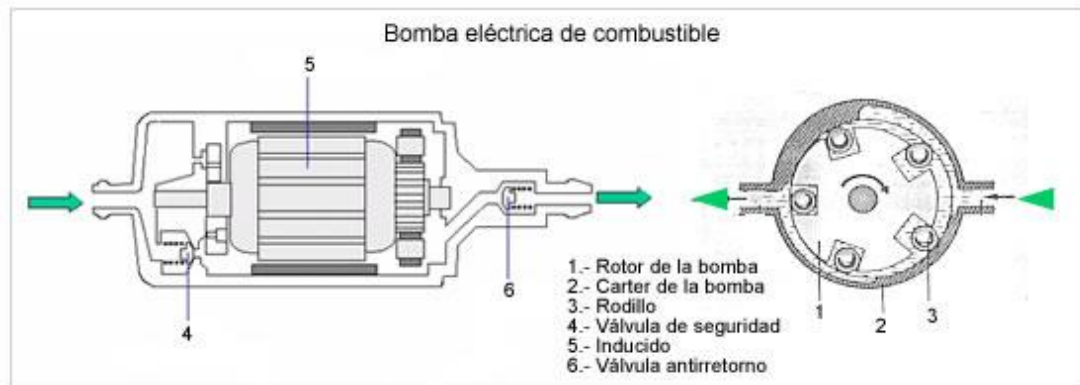
El depósito de combustible se diseña de forma específica para cada automotor optimizando el espacio libre disponible.

Existen 2 tipos de materiales principales para la construcción de los depósitos de combustible en automóviles:

- **Plástico**, o polietileno de alta densidad (HDPE) fabricados por medio de inyección, este material es usado por contar con emisiones de combustible reducidas y por posibilitar geometrías complejas.
- **Metal (acero o aluminio)**, son láminas soldadas una a la otra.

### **2.7.9 Electrobomba de gasolina**

La bomba de gasolina es la encargada de hacer que el sistema de inyección reciba de manera constante el combustible mediante la succión del líquido dentro del tanque, la bomba se acciona a través de un relé.



**Figura 19. Esquema de la bomba de combustible**

Fuente: (Meganeboy, 2014)

### Dimensionamiento de la bomba

(Banish, 2007) dice que, conociendo la cantidad necesaria de combustible del inyector, se puede dimensionar el requerimiento mínimo de la bomba por medio de:

$$RB = RC * N_i \quad (25)$$

Donde:

RB = Ración total de combustible en **kg/h**

RC = Ración de combustible en **kg/h**

$N_i$  = Número de inyectores

#### **2.7.10 Filtro de combustible**

(Diaz Sinche, Hurtado Matute, Molina Campoverde, & Valarezo Ordoñez, 2014) “Instalado después de la bomba, su función es retener las impurezas contenidas en el combustible. Como los orificios de las válvulas de inyección son minúsculos (alrededor de 0,14 mm) se necesita combustible completamente bien filtrado (...)”

#### **2.7.11 Ductos o líneas de combustible.**

Son los encargados de transportar el combustible desde la bomba hasta el inyector pasando por el regulador de presión están unidas a los

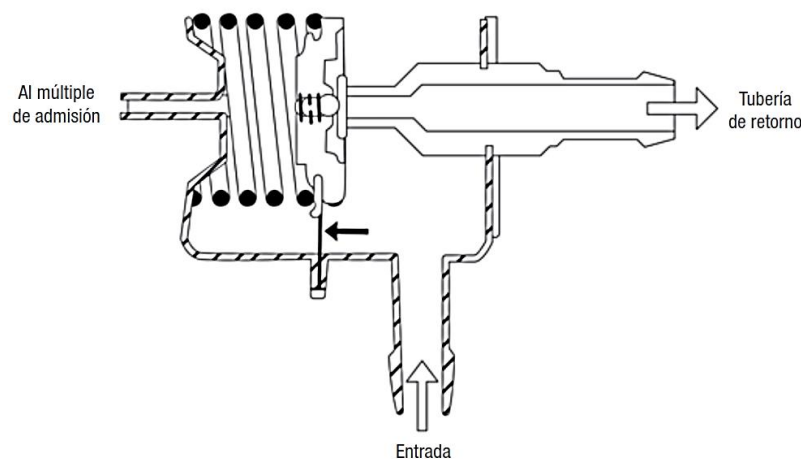


diferentes elementos del sistema mediante acoples. Las mangueras de combustible deben poseer las siguientes características:

- Resistentes a presiones altas dentro de la línea de alimentación de combustible.
- Resistentes a las inclemencias del medio ambiente.

### **2.7.12 Regulador de presión de combustible.**

(Diaz Sinche, Hurtado Matute, Molina Campoverde, & Valarezo Ordoñez, 2014) “Instalado en el tubo donde están montadas las válvulas de inyección, o dentro del tanque, su función es regular la presión producida por la bomba, garantizando la perfecta pulverización del combustible (...)”.



**Figura 20. Esquema de un regulador de presión**

Fuente: (AC Delco, 2009)

### **2.7.13 Inyector de combustible.**

Componente de extremada precisión, la válvula de inyección (inyector) es el componente responsable por pulverizar el combustible para la combustión. Por ser un componente sensible, necesita recibir combustible bien filtrado. La impedancia del inyector describe la resistencia eléctrica de la bobina del mismo.

Estos se agrupan generalmente en dos categorías

- Baja impedancia (convencionales): de 1,7 a 3 ohmios

- Alta impedancia (de competición): de 10 a 16 ohmios



**Figura 21. Inyector de IWP143**

### **Dimensionamiento del inyector**

(Banish, 2007) “La cantidad necesaria de combustible para satisfacer los requerimientos de potencia en un punto dado se puede estimar por medio del Consumo específico de Combustible al Freno o BSFC por sus siglas en inglés”.

Sin embargo, para tener un valor adecuado que no obligue al inyector a trabajar al 100%, considerando la potencia del motor y el número de cilindros, se establece la siguiente relación:

$$RC = \frac{P * BSFC}{N_i * \% \text{ trabajo inyector}} \quad ( 26 )$$

Donde:

RC = Ración de combustible en **kg/h**

P = Potencia máxima del motor

BSFC = Consumo de combustible especifico al freno **kg/hp-h**

$N_i$  = Cantidad de inyectores

% trabajo inyector = ciclo de trabajo

### **2.7.14 Unidad de Control del MOTOR (ECU)**

La Unidad de Control de Motor (ECU), conocida también como módulo de control del tren de potencia, es un tipo de unidad de

control electrónico que ajusta una serie de actuadores en el motor de combustión interna para asegurar su óptimo desempeño. Para un motor con inyección de combustible, la unidad de control del motor es la que determina la cantidad de combustible a inyectarse con base a un número de parámetros. El ECU puede también ajustar el tiempo adecuado para que la chispa en una bujía provea la mejor potencia y economía. También es importante mencionar que la mayoría de motores tienen un control de velocidad ralentí en el ECU por lo que las revoluciones por minuto del motor están monitoreadas por el sensor de posición del cigüeñal que juega el rol principal en las funciones del tiempo del motor para la inyección del combustible. (Roshfrans, 2015)

## **2.8 Banco de pruebas (Dinamómetro de rodillos o chásis).**

Los dinamómetros de rodillos se utilizan para obtener las curvas de potencia, torque y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento.

Con un banco de rodillos, se puede determinar si el motor de un vehículo cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, así como también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o electrónicas, sobre el rendimiento del motor, sin tener que desmontarlo.

### **2.8.1 Dinamómetro “DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems – Auto - 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K”**

Este dinamómetro es de propiedad de “*Dinamyca competición*” ubicado en el Labrador – Quito D.M.



**Figura 22. Dinamómetro de chasis "Dyno-Max PRO"**

Fuente: (DYNO mite Dynamometer, 2017)

### **2.8.2 Características técnicas**

Adquisición de datos al ordenador DYNOmite:

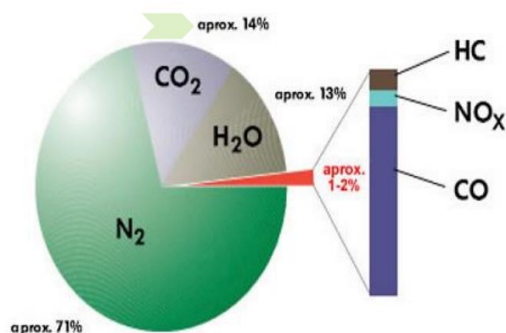
Montaje en superficie con un voltaje de alimentación de 120 voltios a 60 Hz, 240 voltios a 50 Hz, o 12 voltios DC.

Posee 3 canales con hasta 1.000 grabaciones de datos por segundo en cada canal, rápida desconexión aprovechando la memoria de configuración.

El transductor de par posee el 1% de precisión a gran escala a condiciones ambientales, calibración semiautomática de desplazamiento y temperatura compensada en cero.

### **2.9 Analizador de gases de escape.**

El analizador de gases es un elemento que, mediante su tecnología de medición de la emisión de residuos de la combustión de carburantes como la gasolina o el diésel, permitiendo al usuario tanto una aplicación como comprobador de gases, como múltiples posibilidades para el diagnóstico de gases de escape.



**Figura 23. Emisiones del motor de combustión ciclo otto**

En nuestro país, para motores ciclo OTTO (gasolina) el monitoreo se lo realiza bajo los reglamentos RTE INEN 017-2008, NTE INEN 2203:2000 (vehículos ya en circulación), NTE INEN 2204:2002 (vehículos importados o ensamblados aún no en circulación).

### **2.9.1 Analizador de gases CARTEK modelo 50-100**



**Figura 24. Analizador de gases CARTEK modelo 50-100**  
Fuente: (CARTEK, 2001)

Según (Chiliquina Bustos & Ruiz Ruiz, 2016) el analizador de gases CARTEK modelo 50-100 puede medir simultáneamente las concentraciones de HC en ppm, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> en porcentaje (%), a valores 87 de régimen calibrado del equipo de medición Cartek para condiciones de ralentí (500-1100 rpm) y velocidad cruceo (2000-2750 rpm),

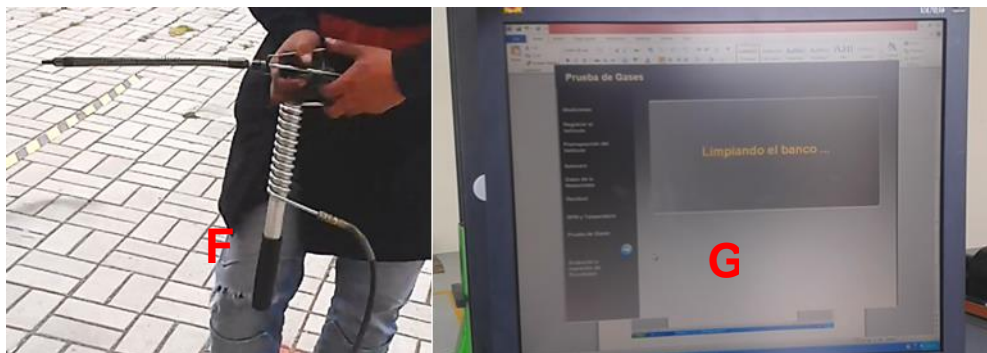
permitiendo realizar un diagnóstico del grado de emisiones en procura de vigilar la calidad del aire.

Las partes que conforman el equipo son las siguientes:

- A. Filtro de partículas de carbón activo
- B. Trampa de agua.
- C. Sensor de oxígeno.
- D. Puertos de calibración de alta (acople inferior) y baja (acople superior).
- E. Módulo de revoluciones para batería de 12 v con sus respectivas pinzas.
- F. Sonda de gases
- G. Interfaz con el analizador de gases PC



**Figura 25. Partes que conforman el equipo CARTEK modelo 50-100**  
Fuente: (Chiliquinga Bustos & Ruiz Ruiz, 2016)



**Figura 26. Sonda de gases (F) e Interfaz PC (G)**

## **2.10 Normativa ecuatoriana para medición de gases contaminantes.**

En el Ecuador los controles de las emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres están bajo ensayos descritos en las siguientes normas:

### **2.10.1 NTE INEN 2 203 : 2000.**

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "ralentí". Prueba estática.

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o "ralentí".

Esta norma es utilizada para vehículos en circulación.

### **2.10.2 NTE INEN 2 204 : 2002**

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

Esta norma es utilizada para vehículos importados o ensamblados en el país que no estén en circulación.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE INGRESO DE AIRE Y CONTROL DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE**

#### **3.1 Generalidades**

##### **3.1.1 Características del motor a implementar el sistema de aire / combustible**

El motor de 200 cc utilizado para la implementación del sistema de ingreso de aire control de inyección de combustible pertenece a la Motocicleta UM DSR 200 el cual posee las siguientes características, según ficha técnica del fabricante (UM Global, 2014):

- Ciclo termodinámico OTTO de 4 tiempos OHV
- Cilindrada: 196,3 cc
- Diámetro x carrera: 67 x 55.7 mm
- Relación de compresión: 9,2 : 1
- Refrigerado por aire.
- Encendido por descarga de capacitor (CDI)
- Caja de velocidad de 5 cambios
- Transmisión final por cadena (428H)
- Sistema de arranque eléctrico / pedal
- Potencia máxima al freno: 14,5 Hp @ 8000 rpm
- Torque máximo: 15,58 Nm @ 5400 rpm
- Sistema de alimentación original de aire/combustible: carburador
- Tanque de combustible 14 litros (3,69 Gal)

##### **3.1.2 Modelo desarrollado**

El modelo que se ha desarrollado corresponde a un sistema de alimentación de aire / combustible en un solo cuerpo, esto quiere decir que el inyector, el cuerpo de aceleración y los sensores vendrán montados en un mismo ducto el cual fue diseñado bajo parámetros de generar una mezcla lo más próxima a la estequiométrica y con ello lograr un rendimiento volumétrico suficiente para alimentar al motor.



Debido a la complejidad del proceso real de admisión aire / combustible el cual no es objeto de este estudio, el modelo a utilizar para el diseño del sistema de admisión de la mezcla se asume las siguientes consideraciones:

- El aire en el ducto de admisión actúa como gas ideal.
- La variación de temperatura del aire en el ducto de admisión es pequeña, por lo que se considera despreciable.
- El flujo de aire será compresible, a lo largo de una línea de corriente.
- El flujo será laminar.

Estas consideraciones se toman debido a que cualquier variación que impliquen en el cálculo final será pequeña y por ende despreciables para este estudio.

En cuanto a la determinación del caudal de mezcla que entra en el cilindro o grado de carga se determinará mediante la medición de los siguientes parámetros:

- Presión absoluta del colector de admisión y régimen con el sensor MAP.
- Ángulo de posición de la válvula mariposa y régimen con el sensor TPS.

En relación al tipo de inyección se optó por un sistema:

- Mono punto, debido a que es un motor de un cilindro.
- Indirecta, el inyector estará ubicado aguas abajo de la mariposa de admisión.

### **3.2 Determinación de parámetros iniciales**

#### **3.2.1 Cálculo de la densidad del aire al ingreso del ducto de admisión:**

Para el cálculo de la densidad del aire al ingreso del ducto de admisión se tomará las siguientes consideraciones:

- Aire atmosférico
- A una altura de 2850 msnm. (altura promedio de Quito)
- A una temperatura de 15 °C (temperatura promedio de Quito)

La presión atmosférica viene dada por la siguiente expresión:

$$P_{atm} = 101325 \left( \frac{288 - 0,0065 * Z}{288} \right)^{5.256}$$

Donde:

$P_{atm}$  = Presión atmosférica en **Pa**

Z = altitud sobre el nivel del mar medido en **m**

Si reemplazamos en Z la altitud de 2850 msnm, tenemos:

$$P_{atm} = 101325 \left( \frac{288 - 0,0065 * 2850}{288} \right)^{5.256}$$

$$P_{atm} = 71442,20 \text{ Pa} = \mathbf{71,44 \text{ kPa}}$$

Como se mencionó en el capítulo anterior la densidad del aire húmedo viene dado por la siguiente ecuación:

$$\rho_A = \frac{P_{atm}}{R_A * T_A}$$

Donde:

$\rho_A$  = densidad del aire humedo en **kg/m<sup>3</sup>**

$P_{atm}$  = presión del aire atmosférico medida en **71,77 kpa**

$R_A$  = Constante de los gases ideales **0,2870 (kPa m<sup>3</sup>/ kg K)**

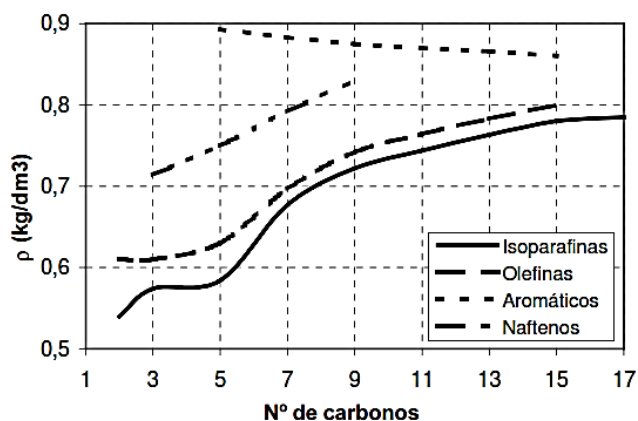
$T_A$  = temperatura del aire atmosférico medida en **K**

Reemplazando todos estos datos en la ecuación anterior tenemos como resultado lo siguiente:

$$\rho_A = 0,864 \text{ kg/m}^3 = 8,64 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$$

### 3.2.2 Densidad del combustible

La densidad de un hidrocarburo depende de su composición, y aumenta con el número de carbonos



**Figura 27. Densidad de un hidrocarburo en función del número de carbonos a 20 °C**

Fuente: (Nevot Cercós, 1999)

Según (Gallegos Murillo, 2005) mediante experimentación donde utiliza un picnómetro y una balanza sobre una muestra de gasolina extra sin aditivos considerando lo siguiente:

- $V = 50 \text{ cm}^3$
- $m_{\text{picnómetro}} = 16,708$  (masa del picnómetro medido con la balanza)
- $m_{\text{picgas}} = 53,412$  (masa del combustible dentro del picnómetro)
- $m_{\text{extra}} = 36,754 \text{ gr}$  (masa del combustible)
- $\rho_{\text{extra}} = 36,754 / 50$  (densidad del combustible)
- $\rho_{\text{extra}} = 0,73508 \text{ g / cm}^3$

Obtiene el siguiente valor para la densidad de la gasolina extra:

$$\rho_{\text{extra}} = 735,08 \text{ Kg/m}^3 = 0,73508 \text{ g/cm}^3$$

### 3.2.3 Cálculo del volumen de la cámara de combustión.

El volumen ocupado por la cámara de combustión, viene expresado por la ecuación de la relación de compresión,

$$r = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{V_h}{V_c} + 1$$

Donde:

$r$  = relación de compresión según el fabricante es **9,2**

$V_h$  = volumen del cilindro según el fabricante es **196,3 cm<sup>3</sup>**

$V_c$  = volumen de la cámara de combustión

Si, se despeja el volumen de la cámara queda,

$$V_c = \frac{V_h}{(r - 1)}$$

Reemplazando los datos

$$V_c = \frac{196,3 \text{ cm}^3}{(9,2 - 1)}$$

El resultado del volumen cámara de combustión es el siguiente,

$$V_c = 23,93 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, el volumen total  $V_T$  es:

$$V_T = V_c + V_h$$

$$V_T = 196,3 + 23,93 = 220,23 \text{ cm}^3$$

### **3.2.4 Cálculo de la masa de aire y masa de combustible consumido por el motor teóricamente.**

Para el cálculo de la masa de aire y masa de combustible es necesario conocer primero el volumen de aire que aspira el cilindro también denominado volumen de desplazamiento del pistón desde el PMS al PMI, todo esto cuando el cigüeñal ha desarrollado 2 vueltas (1 ciclo).

El volumen de aire que aspira el cilindro ( $V_u$ ) es la cilindrada unitaria del motor expresada en la siguiente ecuación:

$$V_T = V_u * \#cil$$

Donde:

$V_T$  = cilindrada o volumen de desplazamiento total del motor

$V_u$  = cilindrada unitaria

#cil = número de cilindro.

Debido a que el motor es mono cilíndrico la cilindrada es igual a la cilindrada unitaria (196,3 cm<sup>3</sup>)

Como ya sabemos el volumen de aire que se necesita teóricamente para alimentar el motor de la ecuación de la densidad,

$$\rho_a = \frac{m_a}{V_u}$$

Despejamos la masa de aire ( $m_a$ ) donde;  $V_u$  es el volumen total de aire que aspira el cilindro (196,3 cm<sup>3</sup>) y por el cálculo realizado en el literal "a" de esta sección sabemos que la densidad es (8,64 x 10<sup>-4</sup> g/cm<sup>3</sup>) por lo que tenemos:

$$m_a = \rho_a * V_T$$

$$m_a = 8,64 \times 10^{-4} * 196,3 = 0,17 \text{ g}$$

Lo que indica que el motor consume **0,17 g** de aire por cada ciclo.

Ahora, para saber cuánta gasolina se consume en cada ciclo aplicaremos la relación de dosado estequiométrico

$$F_e = \frac{m_f}{m_a}$$

Donde:

$F_e$  = dosado estequiométrico, **1/14,7**

$m_a$  = masa de aire que el motor consume, **0,17 g**

$m_f$  = masa de combustible en **g**

Tenemos lo siguiente:

$$m_f = F_e * m_a$$

$$m_f = 1/14,7 * 0,17 = 0,012 \text{ g}$$

Lo que indica que el motor consume **0,012 g** de gasolina por cada ciclo.

Si, los valores de consumo de aire y gasolina extrapolamos a los diferentes regímenes del motor obtenemos las siguientes tablas:

**Tabla 6.**  
**Consumo teórico de masa de aire a diferentes regímenes del motor**

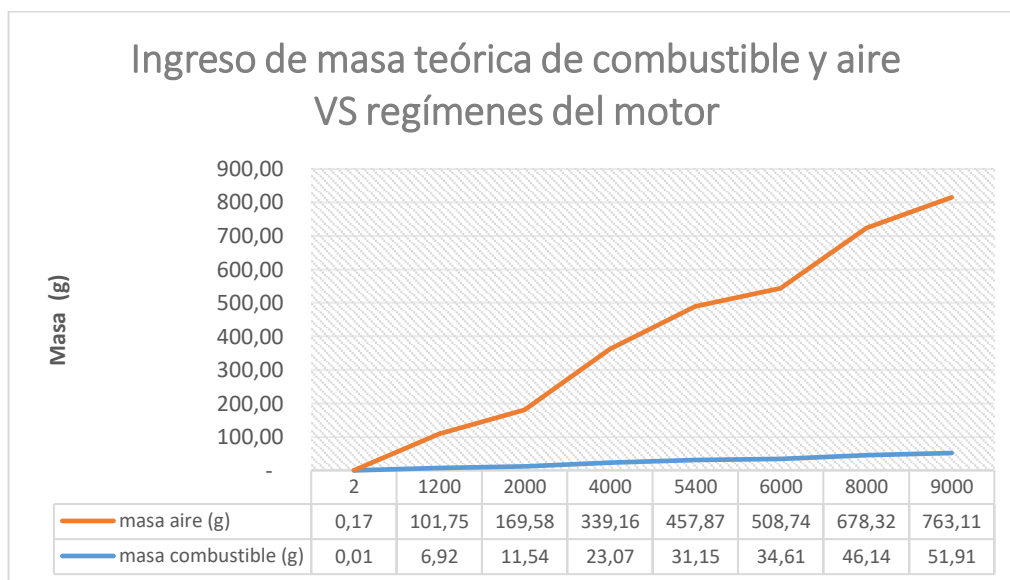
$m_a$ (kg)	$m_a$ (g)	RPM	Tipo de Régimen
<b>1,70E-04</b>	<b>0,17</b>	<b>2</b>	<b>1 Ciclo</b>
0,10	101,75	1200	Ralentí
0,17	169,58	2000	
0,34	339,16	4000	
0,46	457,87	5400	Torque Max
0,51	508,74	6000	
0,68	678,32	8000	Potencia Máxima
0,76	763,11	9000	Plena carga

El cálculo realizado para obtener el consumo teórico de aire fue una regla de 3 simple partiendo de los valores en 1 ciclo.

**Tabla 7.**  
**Consumo teórico de combustible a diferentes regímenes del motor**

$m_f$ (kg)	$m_f$ (g)	RPM	Tipo de Régimen
<b>1,15E-05</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>1 Ciclo</b>
0,01	6,92	1200	Ralentí
0,01	11,54	2000	
0,02	23,07	4000	
0,03	31,15	5400	Torque Max
0,03	34,61	6000	
0,05	46,14	8000	Potencia Máxima
0,05	51,91	9000	Plena carga

El cálculo realizado para obtener el consumo teórico de combustible fue una regla de 3 simple partiendo de los valores en 1 ciclo.



**Figura 28. Ingreso de masa teórica de combustible y aire VS régimen del motor**

### 3.2.5 Cálculo de flujo másico teórico de aire consumido por el motor:

En motores de aspiración natural se considera el rendimiento volumétrico en función de la densidad en condiciones exteriores, en este caso como la necesidad es estudiar la influencia de todos los elementos del sistema de admisión, la densidad se consideró a Temperatura y Presión ambiente.

Para obtener el flujo másico teórico partimos del flujo volumétrico teórico expresado en la siguiente ecuación:

$$V_D = n * \frac{\pi * D^2}{4} * L * \frac{N}{60 * k2} * 3600$$

Donde:

$V_D$  = flujo volumétrico teórico de aire consumido por el motor, en **m<sup>3</sup>/h**

$n$  = número de cilindros del motor, 1.

$D$  = diámetro del cilindro según el fabricante, **0,067 m**

L = carrera del pistón según el fabricante, **0,0557 m**

N = revoluciones a las que gira el motor, Ralentí **1200 rpm**

k2 = 2 debido a que es un motor de 4 tiempos.

$$V_D = 1 * \frac{\pi * 0,067^2}{4} * 0,0557 * \frac{1200}{60 * 2} * 3600$$

$$V_D = 7,07 \text{ m}^3/\text{h} = 1963,79 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Una vez conocido el flujo volumétrico podemos calcular el flujo másico teórico por medio de la densidad del aire, despejando de la siguiente fórmula:

$$\rho_{ia} = \frac{m_a}{V} = \frac{\dot{m}_{at}}{\dot{V}} = \frac{\dot{m}_{at}}{V_D}$$

Donde:

$\rho_{ia}$  = Densidad del aire de admisión a temperatura y presión ambiente es  **$8,64 \times 10^{-4} \text{ g}/\text{cm}^3$**

$\dot{m}_{at}$  = flujo másico teórico de aire en **g/s**

$V_D$  = flujo volumétrico teórico de aire, **1963,79 cm<sup>3</sup>/s**

Si, despejamos el flujo másico teórico de aire ( $\dot{m}_{at}$ ), se tiene como resultado:

$$\dot{m}_{at} = \rho_{ia} * V_D$$

$$\dot{m}_{at} = 8,64 \times 10^{-4} * 1963,79$$

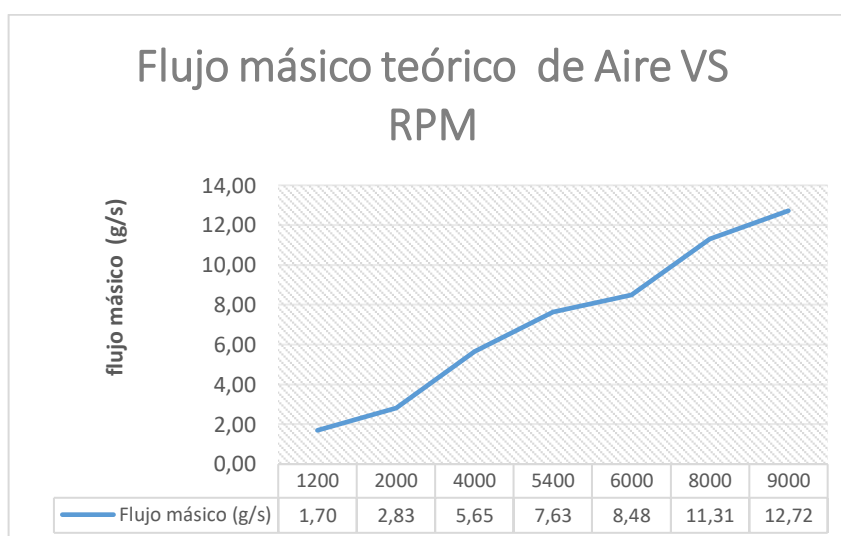
$$\dot{m}_{at} = 1,70 \frac{\text{g}}{\text{s}} = 6,11 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

A continuación, se calculó el flujo másico a diferentes regímenes, lo cual esta expresado en la siguiente tabla:



**Tabla 8**  
**Flujo másico teórico de aire a diferentes regímenes del motor**

Tipo de Régimen	Régimen, N (RPM)	Flujo volumétrico $V_D$ (m <sup>3</sup> /h)	Flujo volumétrico $V_D$ (cm <sup>3</sup> /s)	Flujo másico mat (Kg/h)	Flujo másico mat (g/s)
Ralentí	1200	7,07	1963,79	6,11	1,70
	2000	11,78	3272,98	10,18	2,83
	4000	23,57	6545,96	20,36	5,65
Torque Max	5400	31,81	8837,05	27,48	7,63
	6000	35,35	9818,94	30,54	8,48
Potencia Máxima	8000	47,13	13091,92	40,72	11,31
Plena carga	9000	53,02	14728,41	45,80	12,72



**Figura 29. Flujo másico teórico de aire VS regímenes del motor**

### 3.2.6 Cálculo del flujo másico real de aire con el sistema de admisión original

El primer dato que se necesita para dicho cálculo es la velocidad de ingreso del aire en el ducto de admisión después del filtro, para ello se utilizamos un anemómetro, cabe mencionar que es necesario que el motor haya alcanzado la temperatura de funcionamiento (90°C).



Figura 30. Anemómetro SUNRAY-SR-A9819



Figura 31. Medición de la velocidad del aire al ingreso de la admisión.

Tabla 9.

Velocidad del aire al ingreso del ducto a diferentes regímenes del motor con el sistema original de admisión

Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	(V <sub>1</sub> ) Velocidad del aire al ingreso del ducto (m/s)
Ralentí	1200	0,04
	2000	0,48
	4000	1,63
Torque Max	5400	2,80
	6000	3,18
Potencia Máxima	8000	6,71
Plena carga	9000	8,93
<b>PROMEDIO</b>		<b>3,42</b>

La velocidad medida es después del filtro de aire.

El segundo dato necesario es la velocidad del aire a la salida del ducto o lo que es lo mismo, al ingreso del motor, tomando en cuenta que se está analizando el flujo de aire dentro del ducto como ideal, se puede utilizar la ecuación de continuidad donde el caudal o flujo volumétrico se mantiene constante, o lo mismo que decir:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2$$

De otra forma,

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

Donde:

$A_1$  = área en la sección inicial del ducto (**m<sup>2</sup>**)

$v_1$  = velocidad de ingreso del aire en el ducto (**m/s**)

$A_2$  = área de estrechamiento del ducto (**m<sup>2</sup>**)

$v_2$  = velocidad de ingreso del aire en el motor (**m/s**)

Despejando la velocidad de ingreso del aire en el motor ( $v_2$ ) tenemos,

$$v_2 = \frac{A_1 * v_1}{A_2}$$

El ducto se lo considera totalmente cilíndrico por lo que el área en la sección inicial  $A_1 = 1,96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  y en la sección más estrecha  $A_2 = 7,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , ahora bien, la velocidad de ingreso de aire al motor según el régimen se expresa en la siguiente tabla:

**Tabla 10.**  
**Velocidad del aire al ingreso del motor a diferentes regímenes con el sistema original de admisión**

Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	(V <sub>2</sub> ) Velocidad del aire a la salida del ducto m/s
Ralentí	1200	0,07
	2000	0,85
	4000	2,90
Torque Max	5400	4,98
	6000	5,65
Potencia Máxima	8000	11,93
Plena carga	9000	15,88
	<b>PROMEDIO</b>	<b>10,62</b>

El tercer dato es el flujo másico de aire al ingreso del motor, la cual viene dada por la ecuación:

$$\dot{m}_{ar} = \rho * v_{prom} * A_c$$

Donde:

$\dot{m}_{ar}$  = flujo másico real de aire al ingreso del motor

$\rho$  = Densidad del aire de admisión a temperatura y presión ambiente es  $8,64 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^3$

$v_{prom}$  = velocidad del aire a la salida del ducto (ver Tabla 10)

$A_c$  = sección estrecha en el ducto de admisión

Realizando el cálculo con las diferentes velocidades de aire a la salida del ducto en función de las RPM, se obtuvo como resultado la siguiente tabla:

**Tabla 11**  
**Flujo másico real del aire al ingreso del motor a diferentes regímenes con el sistema original de admisión.**

Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	Flujo másico a la salida del ducto $\dot{m}_{ar}$ (Kg/h)	Flujo másico a la salida del ducto $\dot{m}_{ar}$ (g/s)
Ralentí	1200	0,16	0,04
	2000	1,88	0,52
	4000	6,37	1,77
Torque Max	5400	10,94	3,04
	6000	12,43	3,45
Potencia Máxima	8000	26,22	7,28
Plena carga	9000	34,90	9,69

### 3.2.7 Rendimiento Volumétrico con el sistema de admisión original

Tomando en cuenta que una de las relaciones del rendimiento volumétrico es la masa de aire que entra realmente en el cilindro con la que podría entrar teóricamente, se convierte en un parámetro importante para medir la eficacia del sistema de alimentación.

Por lo que es necesario calcular dicho rendimiento con el sistema de admisión original con la finalidad de comparar los resultados con el nuevo sistema de admisión diseñado.

Para el cálculo del rendimiento volumétrico real que ingresa al motor a diferentes regímenes se tomó en cuenta los diferentes flujos máxicos en función de las RPM (ver Tabla 11), con la siguiente ecuación:

$$\eta_V = \frac{\dot{m}_{ar}}{\dot{m}_{at}}$$

Donde:

$\eta_V$  = rendimiento volumétrico

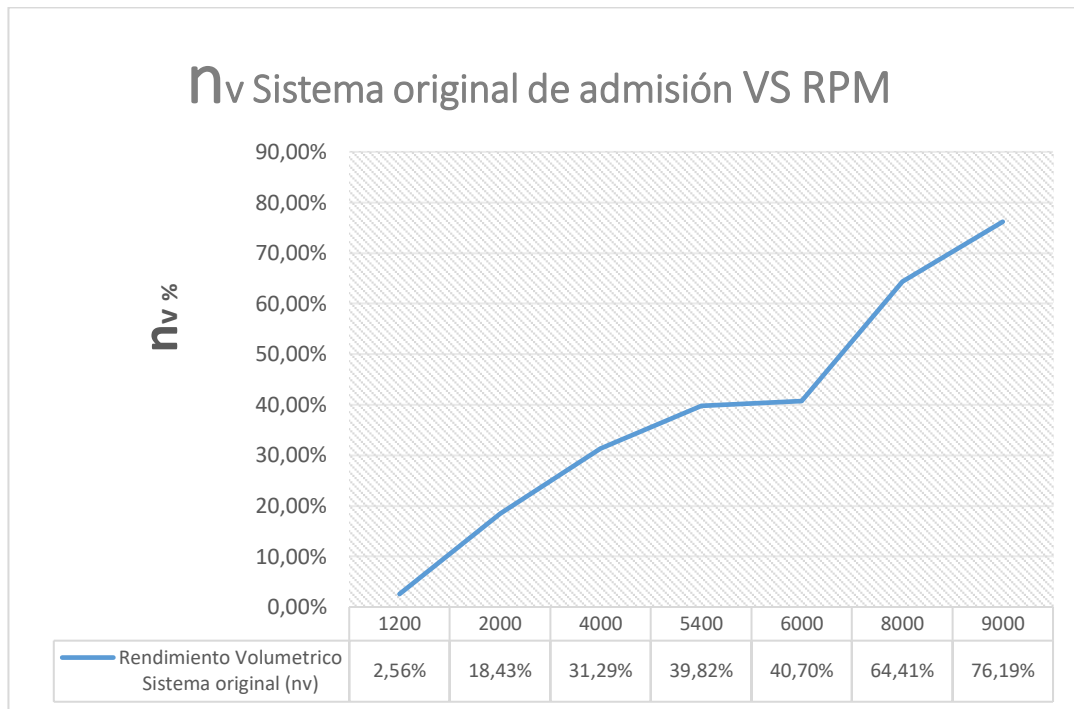
$\dot{m}_{ar}$  = flujo máxico real del aire (ver Tabla 11)

$\dot{m}_{at}$  = flujo máxico teórico o ideal del aire (ver Tabla 8)

Reemplazando los valores de flujo máxico real y teórico en función de las RPM en la expresión antes descrita se obtuvo como resultado los siguientes rendimientos volumétricos a diferentes regímenes del motor:

**Tabla 12.**  
**Rendimiento volumétrico a diferentes regímenes con el sistema original de admisión**

Tipo de Régimen	Régimen, N (RPM)	Flujo máxico TEÓRICO, maT (g/s)	Flujo máxico TEÓRICO, maT (kg/h)	Flujo máxico REAL, maR (g/s)	Flujo máxico REAL, maR (Kg/h)	Rendimiento Volumétrico TEÓRICO ( $\eta_V$ )
Ralentí	1200	1,70	6,11	0,04	0,16	<b>2,56%</b>
	2000	2,83	10,18	0,52	1,88	<b>18,43%</b>
	4000	5,65	20,36	1,77	6,37	<b>31,29%</b>
Torque Max	5400	7,63	27,48	3,04	10,94	<b>39,82%</b>
	6000	8,48	30,54	3,45	12,43	<b>40,70%</b>
Potencia Máxima	8000	11,31	40,72	7,28	26,22	64,41%
Plena Carga	9000	12,72	45,80	9,69	34,90	76,19%



**Figura 32. Rendimiento volumétrico con el sistema original de admisión – RPM**

Como se puede observar el sistema de admisión original presenta una gran deficiencia de rendimiento volumétrico a bajas revoluciones desde 1200 rpm – 6000 rpm, después de cruzar este régimen el rendimiento volumétrico aumenta considerablemente hasta llegar a encontrarse en plena carga (9000 rpm)

### 3.3 Sistema de admisión de combustible

#### 3.3.1 Dimensionamiento del inyector

Para poder determinar el tamaño adecuado del inyector, es necesario establecer el consumo específico que tendrá el motor o el consumo específico de Combustible al Freno (BSFC).

Para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$RC = \frac{P * BSFC}{\#inyectores * \%trabajo}$$

Donde:

RC = Ración de combustible en **kg/h**

P = Potencia máxima del motor según el fabricante, **14,5 Hp**

BSCF = Consumo de combustible específico al freno **kg/hp-h**

$N_i$  = Cantidad de inyectores, **1 inyector**

% trabajo inyector = ciclo de trabajo

Como se mencionó en el capítulo anterior, para motores de aspiración natural el rango del BSFC está entre 0.136 y 0.227 kg/hp-h por lo que, tomando un valor promedio se tiene **0,1815 kg/hp-h**.

En cuanto al % de trabajo del inyector se tomó un 20% o 0,20 como factor de seguridad dando como resultado un ciclo de trabajo de **80% o 0,80**

Si reemplazamos los datos anteriores en la ecuación de Ración de combustible, se obtuvo lo siguiente:

$$RC = \frac{14.5 * 0.1815}{1 * 0.80}$$

$$RC = 3.28 \text{ kg/h}$$

De igual forma en el capítulo anterior se estableció que la densidad del combustible toma el valor de  $\rho_{extra} = 735,08 \text{ Kg/m}^3 = 0,73508 \text{ g/cm}^3$  con este valor determinaremos el caudal en  $\text{cm}^3/\text{min}$  requerido mediante la siguiente forma:

$$RC = 3.28 * \frac{1}{7,3508 \times 10^{-4} * 60 \text{min}}$$

$$RC = 75.93 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Este es el caudal mínimo que debe proporcionar el inyector, trabajando a un con un margen de seguridad del 20%.

Para seleccionar el inyector se tomó en consideración lo siguiente:

- Caudal mínimo calculado anteriormente.
- Dimensiones del inyector lo que se busca es colocar un inyector lo más pequeño posible en cuanto a tamaño se refiere, debido a que el espacio disponible para ubicarlo es muy limitado.
- Disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

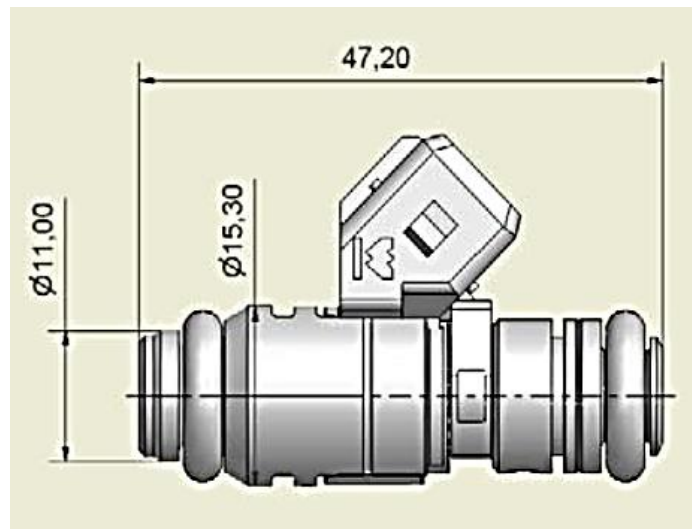
Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionó el siguiente inyector,

**Tabla 13**  
**Característica técnicas del inyector seleccionado**

<b>Característica Técnica</b>	<b>Medida</b>
Marca	Magneti Marelli
Modelo	IWP 043
Corriente de operación	0,8 A
Voltaje de alimentación	12 V
Rango de temperatura de operación	-30 a 110 °C
Peso	35 g
Presión nominal	500 kPa
Caudal estático	421,1 cm <sup>3</sup> / min
Forma de pulverización	Simple pulverización
Ángulo de conexión con el cuerpo	45°

**Fuente:** (Magneti Marelli S.p.A, 2010)





**Figura 33. Dimensiones del Inyector en mm**

Fuente: (Magneti Marelli S.p.A, 2010)

### 3.3.2 Dimensionamiento de la bomba

Para determinar el caudal de la bomba se utiliza el caudal del inyector y el número de inyectores presentes, que en este caso es uno, mediante la siguiente expresión:

$$RB = RC * \#_{inyectores}$$

Donde:

RB = Ración total de combustible

RC = Ración de combustible en  $75.93 \frac{cm^3}{min}$

$N_i$  = Número de inyectores

Reemplazando se tiene,

$$RB = 75.93 * 1$$

$$RB = 75.93 \frac{cm^3}{min}$$

Este es el valor mínimo que debe proporcionar la bomba para satisfacer las necesidades del inyector.

Para seleccionar la bomba se tomó en consideración lo siguiente:

- Caudal mínimo calculado anteriormente.
- Dimensiones de la bomba.
- Disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionó la siguiente bomba,

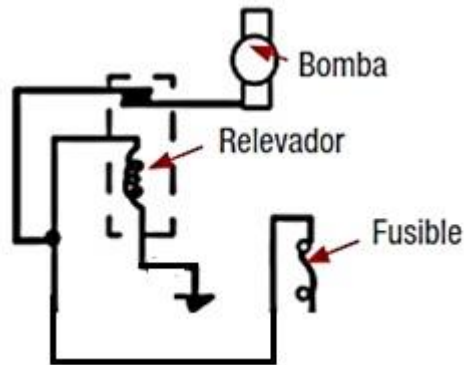
**Tabla 14**  
**Características Técnicas de la bomba de combustible**

Característica Técnica	Medida
Marca	AC Delco
No. Parte AC Delco Value line	BGV00244
No. GM	96899981
Cruce de referencia GM	19114268
Voltaje de alimentación	13,5 V
Presión	100 psi / 689,48 kpa
Flujo mínimo Presión del sistema	830 (ml/30seg) 1660 cm <sup>3</sup> /min

**Fuente:** (AC Delco, 2009)

La bomba eléctrica está ubicada dentro del tanque y funciona independientemente del motor.

El circuito eléctrico para alimentar la bomba está compuesto de un relé y un fusible, la bomba es activada mediante el swicht de arranque en su posición de encendido.



**Figura 34. Conexión eléctrica de la bomba**

Fuente: (AC Delco, 2009)

### 3.3.3 Selección del regulador de presión de combustible

Como se explicó en el capítulo anterior la principal función del regulador es controlar la presión que envía la bomba al inyector y teniendo en cuenta que la bomba seleccionada envía el flujo a una presión de 689,48 kpa mientras que la presión máxima de operación del inyector es de 500 kpa, es necesario instalar un regulador de presión que cumpla con las siguientes características:

- Poseer presión ajustable, ya que es necesario regular la presión que envía la bomba al inyector.
- Funcionamiento mecánico para evitar sobrecargar el sistema eléctrico de la motocicleta.
- Poseer un manómetro para medir con facilidad la presión de salida hacia el inyector.

Siguiendo los requerimientos anteriores se eligió un Kit completo detallado a continuación:

**Tabla 15.**  
**Características Técnicas del regulador de presión**

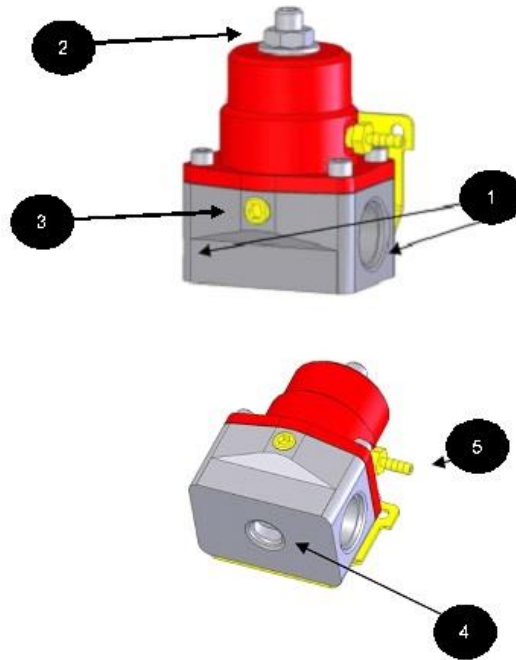
Característica Técnica	Medida
Marca	Aeromotive
Modelo	13101
Material	Aluminio
Peso aproximado	1500 g
Ajuste de presión	JDM de 0-160 psi 0- 1103,16 kpa
Medidor de presión	Manómetro tipo reloj (psi y bares)
Mangueras	680 mm, 395 mm, 185 mm
Acoples	6AN (3 en 90° y 3 rectos)

**Fuente:** (Aeromotive Inc., 2003)



**Figura 35. Kit de regulador de presión**

### Partes del regulador de presión

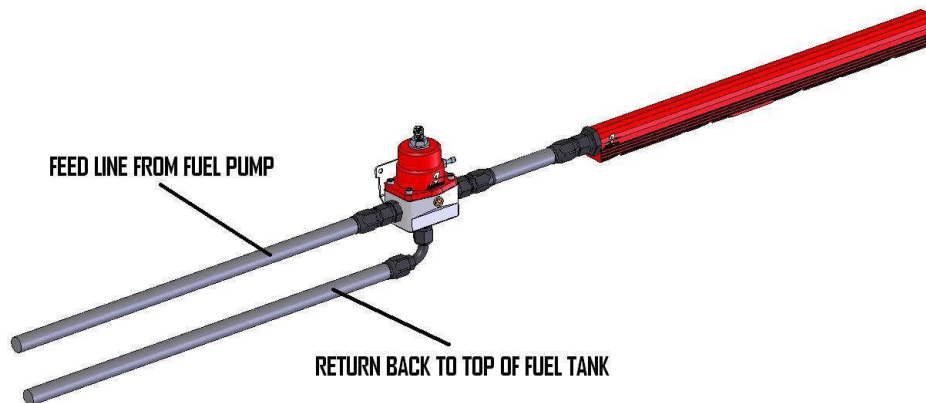


**Figura 36. Partes del regulador de presión**

Fuente: (Aeromotive Inc., 2003)

1. Puertos de Ingreso o salida del flujo de gasolina (según la conexión)
2. Ajuste de presión
3. Conexión del manómetro tipo reloj
4. Puerto de retorno de combustible
5. Línea de vacío (si el sistema no posee vacío dejar desconectada)

A continuación, se indica la forma de conexión del regulador recomendada por el fabricante; la Figura 37 representa un riel común con una sola de línea de combustible conectada,



**Figura 37. Configuración de los puertos del regulador de presión**

Fuente: (Aeromotive Inc., 2003)

El Regulador para nuestro caso está configurado de la siguiente manera:

- El puerto lateral izquierdo como ingreso de combustible desde la bomba.
- El puerto lateral derecho como salida de combustible hacia el inyector.
- El puerto inferior como retorno hacia el depósito de combustible
- El puerto de vacío está sin conexión.

### 3.3.4 Ductos o líneas de combustible

Las mangueras utilizadas son de nitrilo sintético resistentes al combustible recubierto de tela trenzada, con capacidad de resistir temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $90^{\circ}\text{C}$ , diámetro interior 9 mm, diámetro exterior 14 mm, presión de trabajo de 10 a 145 psi y un peso 130 g/m.

Las mangueras estaban incluidas en el kit del regulador de presión.



**Figura 38. Mangueras para la línea de combustible**

### 3.3.5 Filtro de combustible

La capacidad de tamizaje del filtro es 25 micrones. Este filtro es de vidrio y metal cromado, se puede abrir para la limpieza y posee acoples diferentes para adaptarlos a nuestro sistema.



**Figura 39. Filtro de combustible**

### 3.3.6 Adaptación del depósito secundario de combustible

Debido a que la bomba de combustible es sumergible la ubicación de la bomba es dentro del tanque de combustible, pero la limitada geometría del mismo imposibilita que la bomba vaya dentro del tanque, por lo que es necesario ubicarla en un depósito secundario el cual cumpla las siguientes características:

- Tener un sistema de sujeción para la bomba
- Las dimensiones no pueden sobrepasar el espacio en la motocicleta
- Poseer 3 acoples: 1 para el ingreso de combustible desde el tanque principal, 1 para la salida de combustible desde la bomba hasta el regulador de presión y 1 para el retorno de combustible.
- Poseer 1 acople para los cables de alimentación eléctrica de la bomba.
- Poseer una tapa para poder cambiar la bomba en caso de requerirlo.
- Un tapón de desfogue

Tomando en cuenta lo anterior y debido a que en la motocicleta no existe un espacio suficiente donde colocar este nuevo tanque, se procedió a adaptar el depurador de aire original de la motocicleta ya que el mismo no será utilizado en el nuevo ducto de admisión.

El depurador que de ahora en adelante será el nuevo tanque de combustible está ubicado debajo del asiento, el procedimiento para la adaptación fue el siguiente:

1. Se selló con fibra de vidrio el orificio donde estaba conectado el ducto de admisión de aire.



**Figura 40. Depósito de combustible secundario**

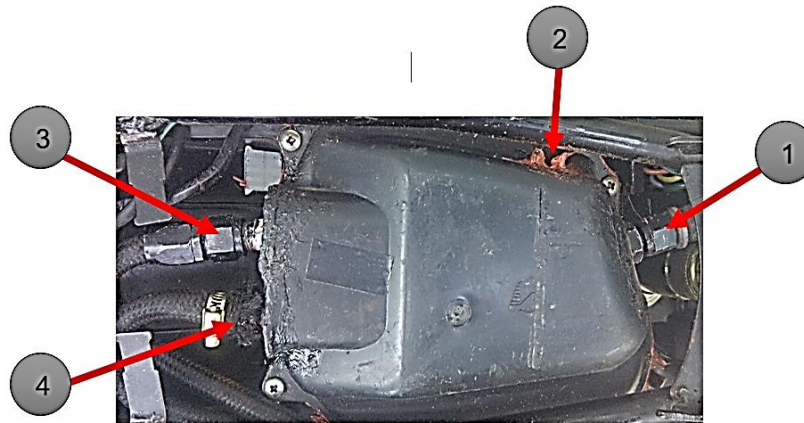
2. Se diseñó un sistema de sujeción para la bomba con la tapa secundaria del depósito misma que va sujeta con tornillos y resina epoxi para evitar fugas de combustible.



**Figura 41. Tapa secundaria del depósito con el sistema de sujeción de la bomba. (Desde la izq. vista posterior de la tapa y vista frontal de la tapa con la bomba ya ubicada.)**



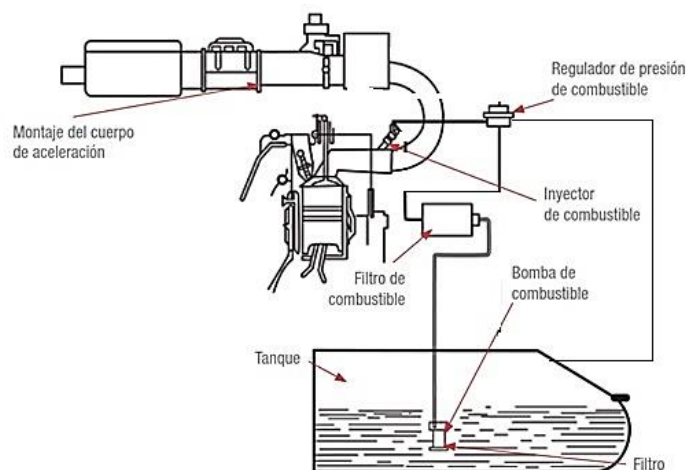
3. Por último, se adaptó los 3 acoples y el espacio para que salgan los cables de alimentación eléctrica de la bomba en la tapa principal o de servicio, esta tapa viene sellada con un empaque de caucho tipo "O-Ring" y sujeta con tornillos a la tapa secundaria.



**Figura 42. Tapa de servicio del tanque secundario de combustible; 1. Acople para ingreso de combustible desde el tanque principal, 2. Cables para la alimentación eléctrica de la bomba 3. Acople de salida de combustible, 4. Acople de retorno de combustible.**

### 3.3.7 Circuito de alimentación de combustible

En el siguiente esquema se puede visualizar el circuito que recorre el combustible desde el tanque secundario hasta el inyector.



**Figura 43. Esquema del circuito de combustible**



**Figura 44. Sistema de alimentación de combustible instalado en la motocicleta (Vista superior y Vista lateral)**

### **3.4 Implementación del sistema electrónico de control**

#### **3.4.1 Punto de funcionamiento del motor**

La motocicleta está sometido a diferentes modos de trabajo y debido al comportamiento dinámico del motor se vuelve necesario cuantificar constantemente los valores por parte del módulo de control, siendo 2 parámetros los esenciales:

- Régimen de giro o revoluciones por minuto
- El Caudal de mezcla que ingresa al cilindro partiendo del cálculo teórico de la densidad mediante la medición de la presión en el colector de admisión, temperatura en el colector de admisión, temperatura del motor.

En nuestro caso estos parámetros serán calculados por los siguientes componentes electrónicos.

#### **3.4.2 Módulo de control**

El módulo de control es objeto de estudio de la tesis de pregrado “Diseño y construcción de un módulo de control electrónico del encendido y la

inyección de combustible para investigar la incidencia en los parámetros mecánicos del motor de combustión interna de 200cc mono cilíndrico” Realizada por los Sres. Fernando López y Jonathan Lozada.

### 3.4.3 Sensor CKP

El sensor es del tipo inductivo y está colocado en la tapa izquierda del motor, este sensor es activado mediante un diente colocado en el volante magnético



Figura 45. Diente en el volante magnético que activa el sensor CKP

### 3.4.4 Sensor MAP

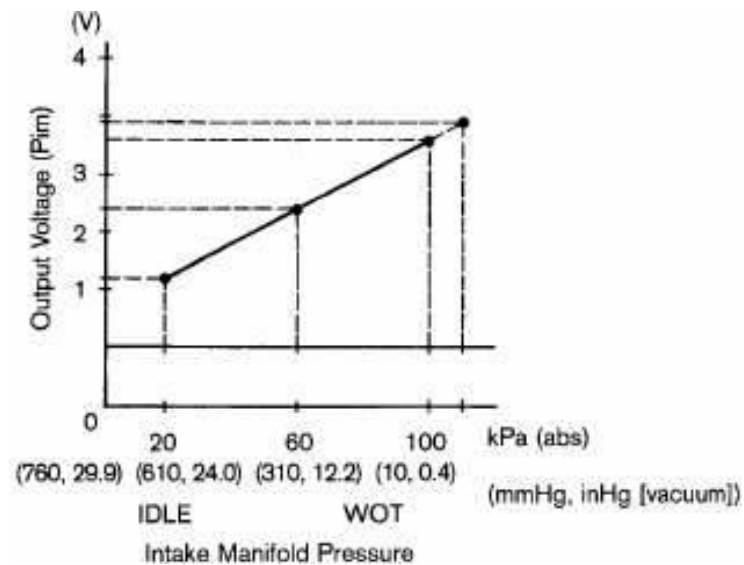
Este sensor como se habló en el capítulo anterior mide la presión absoluta en el ducto de admisión. La ubicación será en la mitad de la distancia entre la válvula de mariposa y el cilindro dentro del ducto de admisión.

El sensor seleccionado pertenece a la familia de GM y su número es 96330547



Figura 46. Sensor MAP, GM 96330547

La curva característica es:



**Figura 47. Voltaje de salida Vs. Presión del sensor MAP**

### 3.4.5 Sensor TPS

El sensor adaptado a nuestro sistema es el TPS No. 159 mismo que pertenece a un vehículo Suzuki, para la adaptación se toma en cuenta el sentido de giro de la válvula mariposa al abrirse cuando se acciona el puño del acelerador, que en este caso es izquierdo, la ubicación del sensor va al lado derecho del ducto en el eje saliente de la válvula mariposa, cabe mencionar que el mecanismo de aceleración consta con un resorte de torsión adicional al del TPS con la finalidad de ayudar al retorno de la mariposa a su posición inicial.



**Figura 48. Sensor TPS 159**

### 3.4.6 Sensores de temperatura

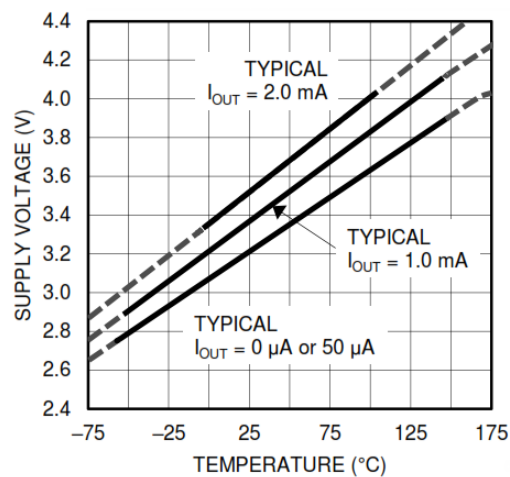
Para el caso de la temperatura de admisión del aire el sensor está ubicado en el ducto de admisión después del filtro

Para el caso de la temperatura del motor el sensor está ubicado en la parte externa del cabezote lo más próximo a la cámara de combustión, entre las aletas de refrigeración pegado al cilindro.



**Figura 49. Sensor LM35**

Fuente: (Texas Instruments, 2016)



**Figura 50. Tensión de alimentación mínima vs Temperatura**

Fuente: (Texas Instruments, 2016)

## 3.5 Sistema de admisión de aire

### 3.5.1 Consideraciones Generales para el diseño

Para conseguir elevados rendimientos volumétricos o mejor aspiración del motor, el ducto de admisión debe permitir el paso del máximo flujo de aire

posible. También debe cumplir la condición de tener las paredes con la superficie interior lo más lisa posible y un poco inclinadas en dirección a la culata, para favorecer así el arranque en frío a temperaturas muy bajas ya que la gasolina que se condensa en las paredes del ducto tenga tendencia a bajar por gravedad y así alimente al cilindro.

El ducto de admisión en el sistema con inyección electrónica de combustible permite el paso únicamente de aire previamente filtrado, ya que el combustible es pulverizado por medio del inyector.

El ducto de admisión debe diseñarse teniendo en cuenta lo siguiente:

- Ubicación del inyector, tratando de disminuir la distancia de este con el cilindro.
- Ubicación del sensor MAP
- Ubicación del señor TPS
- Ubicación del mecanismo para la aceleración (válvula de mariposa)
- Ubicación del filtro de aire

### **3.5.2 Selección del material para el ducto**

Para la selección de un material adecuado se debe considerar lo siguiente:

- Temperatura de funcionamiento al que va estar sometido el ducto.
- Facilidad de mecanizado ya que en el ducto se integrará el mecanismo de aceleración, los sensores y el inyector lo cual genera una geometría muy irregular.
- Disponibilidad en el mercado ecuatoriano.
- Costo y tiempo de fabricación.

Tomando en cuenta estas consideraciones el material a utilizar es el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) que es un plástico el cual se utiliza en la impresión 3D con una temperatura a la distorsión de 96 °C, una resistencia a la gasolina “condicional constante” y un módulo de elasticidad de 2,3 kN / mm<sup>2</sup>

Este material es escogido debido a su bajo costo y facilidad de mecanizado, además de que el ducto no será sometido a temperaturas más allá de

85 °C y no soportará esfuerzos considerables, sin embargo, como este material no posee una gran resistencia mecánica se reforzará los puntos críticos con un polímero termoestable (resina epoxi).

### **3.5.3 Geometría del ducto**

Tomando en cuenta que en una motocicleta los espacios son muy reducidos la geometría del ducto está sometida a diferentes limitaciones importantes:

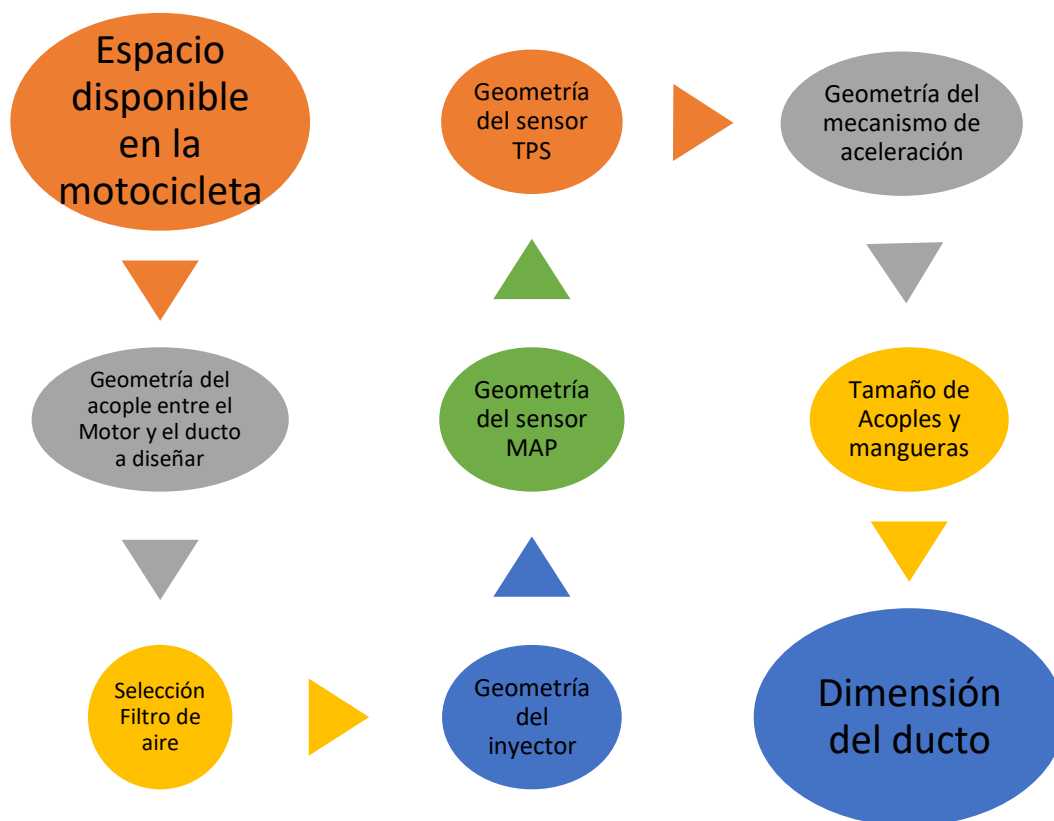
- La altura que se tiene entre el tanque de combustible y la toma de aire de la culata.
- El espacio entre el chasis y el motor.
- El diámetro del acople que va ubicado entre la culata y el ducto de admisión.
- Tamaño y Ubicación del inyector, sensores y mecanismo de aceleración.

Además, hay que tener en cuenta que la geometría del ducto deberá producir la menor cantidad de caída de presión posible.

El ducto de admisión debe estar proyectado para que sean atornillados a la culata por medio de un acople el cual tiene unos espárragos. Entre las superficies de contacto del colector y culata siempre deben existir juntas de estanqueidad, porque la entrada de aire después de haber sido preparada la mezcla produciría un notable empobrecimiento de la misma y por consiguiente un mal funcionamiento del motor.

### **3.5.4 Proceso para el diseño del ducto de admisión**

Debido a que el ducto de admisión será quien soporte el inyector, el mecanismo de aceleración y los sensores es necesario seguir el siguiente proceso para dimensionar de una forma adecuada el ducto de tal manera no tener problemas al instalar cada componente, dicho proceso está representado en el siguiente flujograma:



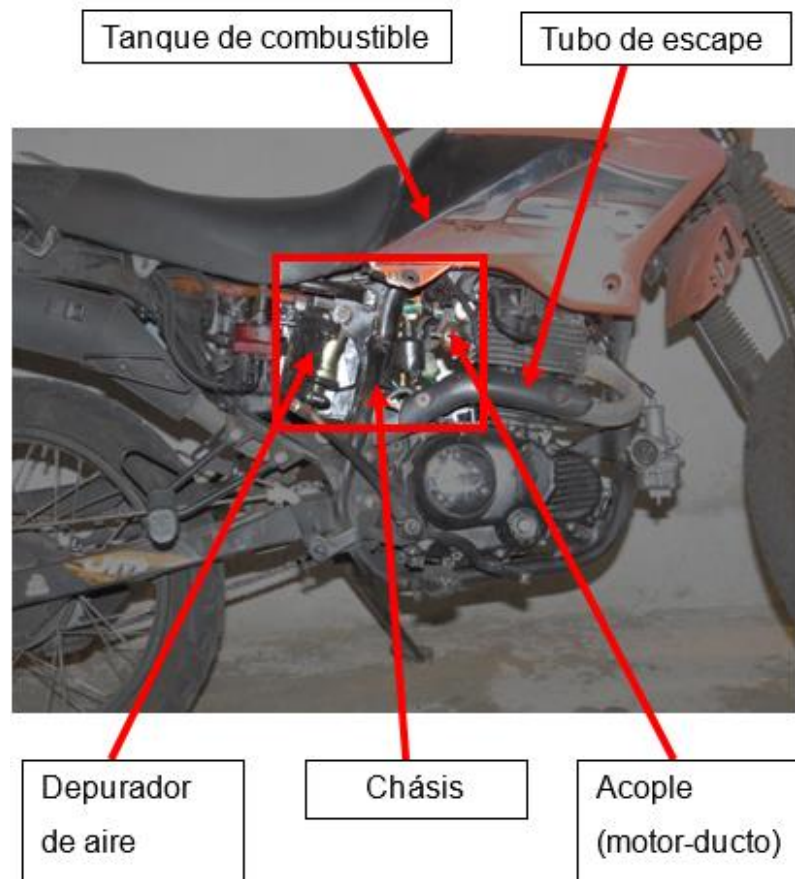
**Figura 51. Proceso para el dimensionamiento del ducto de admisión**

- Para el espacio disponible en la motocicleta se midió las longitudes en ancho, largo y alto los resultados están expuesto en la siguiente tabla:

**Tabla 16**  
**Espacio disponible en la motocicleta**

Dimensión	Punto crítico	Medida (mm)
Ancho	Desde el chásis hasta el lugar donde va la pierna del conductor.	90
Largo	Desde el acople (motor-ducto) hasta la punta más saliente del depurador de aire.	180
Alto	Desde el tanque de combustible hasta el tubo de escape	105

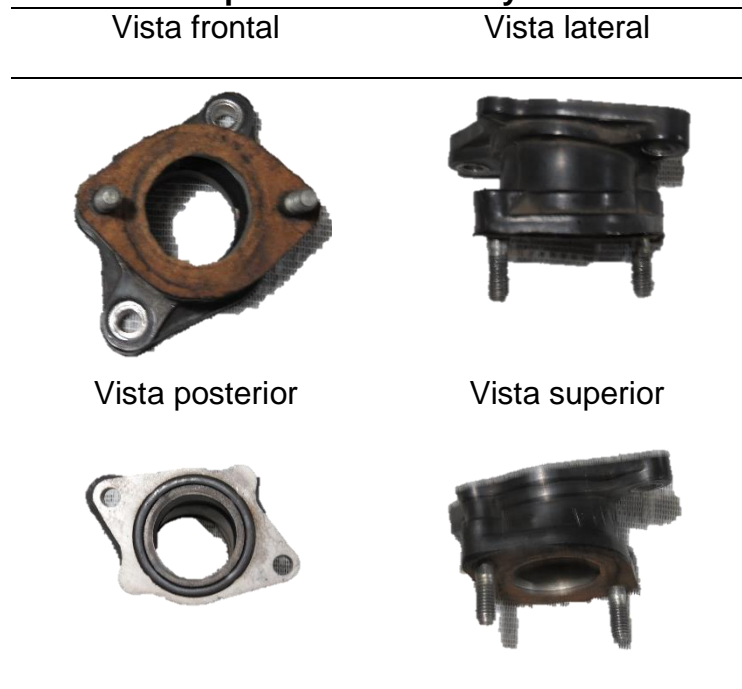




**Figura 52. Espacio disponible para el ducto, dentro de la motocicleta**

- El acople entre el motor y ducto es de sección circular con un ángulo de inclinación de 15 grados medidos con punto de referencia al motor, gracias a esta inclinación se tiene más espacio entre el motor y el chásis para colocar el ducto. Este acople tiene como diámetro interno 32,91 mm

**Tabla 17.**  
**Vistas del acople entre el motor y el ducto**



### 3.5.5 Selección del filtro de aire

Según lo mencionado en la sección anterior la fórmula para calcular el área efectiva de filtrado es la siguiente:

$$A = \frac{CID * RPM}{20839} = \frac{196,3 * 9000}{20839} = 84,77 \text{ mm}^2$$

Donde,

A = área efectiva de filtrado, **mm<sup>2</sup>**

CID = volumen de desplazamiento (cilindrada), **cm<sup>3</sup>**

RPM = máximas revoluciones por minuto, **9000 rpm**

$$H = \frac{A}{D * c} + 0,75 = \frac{84,77 \text{ mm}^2}{40 \text{ mm} * 3,14} + 0,75 = 1,42 \text{ mm}$$

Donde:

H = altura del filtro cónico

A = área efectiva de filtrado

D = diámetro exterior del filtro

0,75 = pérdida por los tapones de goma

Según los resultados el filtro a seleccionar debe tener una altura mínima de 1,42 mm para abastecer los requerimientos de flujo de aire que necesita el motor.

Tomando en cuenta lo anterior y la disponibilidad en el mercado se seleccionó un filtro con una altura de 60 mm con lo que satisface la necesidad en demasía.



**Figura 53. Filtro cónico**

### **3.5.6 Consideraciones para el diseño del ducto de admisión**

Finalmente, toda la implementación del sistema de ingreso de aire termina con el diseño del ducto considerando las dimensiones de todos los componentes seleccionados anteriormente, lo cual esta resumido en la siguiente tabla:

**Tabla 18.**  
**Tabla de dimensiones de los diferentes componentes acoplados al ducto**

<i>Componente</i>	<i>Largo (mm)</i>	<i>Ancho (mm)</i>	<i>Alto (mm)</i>	<i>Diámetro interior (mm)</i>	<i>Diámetro Exterior (mm)</i>
<i>Inyector</i>	47,20	-	-	11	15,30
<i>Sensor MAP</i>	40	40	25	4	9
<i>Sensor TPS</i>	58	50	25	-	5
<i>Sensor de temperatura</i>	5,34	5,21	2,5	-	-
<i>Acople (motor-ducto)</i>	-	-	-	32,91	-
<i>Espacio disponible en la motocicleta</i>	180	90	105	-	-
<i>Filtro de aire</i>	-	-	70	50	75

Los datos anteriores son necesarios para poder dimensionar un ducto adecuado sin sobre pasar las limitaciones en cuanto a espacio dentro de la motocicleta.

El motor objeto de este estudio posee un acople como se indicó anteriormente (ver Tabla 17), el diámetro interior de este acople es el mismo diámetro que el del ingreso de aire en la culata por lo que será un dato fijo dentro de los modelos de ductos que se pueda trabajar.

El mecanismo del conjunto acelerador es adaptado del sistema de “choke” de la motocicleta por lo que sus dimensiones no se pueden modificar.

Por último para la determinación del rendimiento volumétrico se utilizó la simulación de flujo proporcionado por el software SOLID WORKS.

### 3.5.7 Creación del modelo

El ducto a diseñar tiene como objetivo abastecer con suficiente aire al motor de 200 cc para su correcto funcionamiento, a la vez que soporte los sensores, el mecanismo de aceleración y el inyector, por lo que fue necesario generar diferentes modelos de ductos donde se analizó la variación del flujo volumétrico entre ellos, en función de las siguientes variables:

- Longitud del ducto (L)
- Diámetro de admisión de aire del ducto (D)

Y como constante:

- Diámetro de salida de aire del ducto (d)

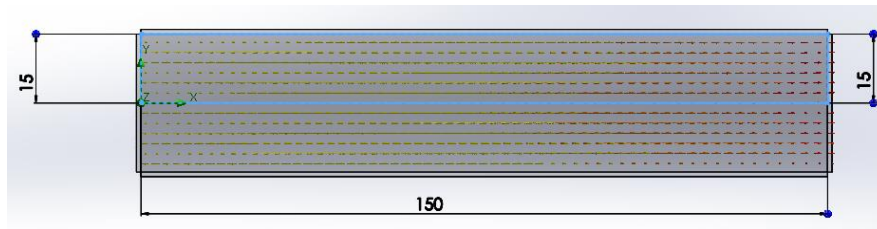
Los valores establecidos para cada variable son el resultado del estudio en cuanto a las limitaciones generadas por la geometría de la motocicleta y los diferentes componentes que van acoplados al ducto, a saber:

**Tabla 19.**  
**Variables para la modelación de los ductos**

Tipo	Diámetro (d) mm	Diámetro (D) mm	Longitud (L) mm
Modelo 1	30	30	150
Modelo 2	30	30	100
Modelo 3	30	40	150
Modelo 4	30	40	100
Modelo 5	30	50	150
Modelo 6	30	50	100

#### Modelo 1

El primer modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 30 mm y una longitud de 150 mm

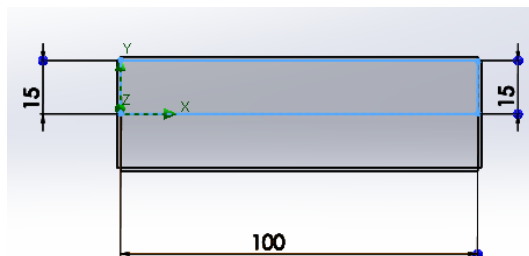


**Figura 54. Modelo No. 1 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 1 del ducto diseñado en Solid Works

### **Modelo 2**

El segundo modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 30 mm y una longitud de 100 mm

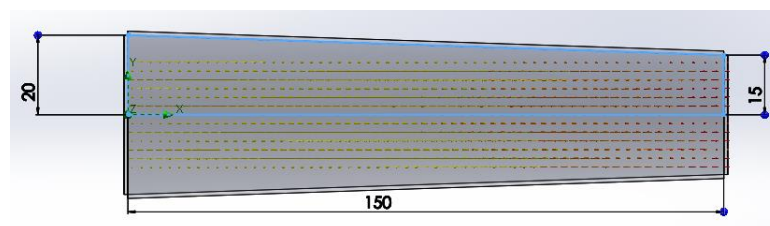


**Figura 55. Modelo No. 2 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 2 del ducto diseñado en Solid Works

### **Modelo 3**

El tercer modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 40 mm y una longitud de 150 mm

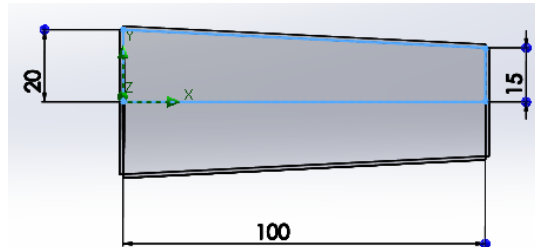


**Figura 56. Modelo No. 3 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 3 del ducto diseñado en Solid Works

#### Modelo 4

El cuarto modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 40 mm y una longitud de 100 mm

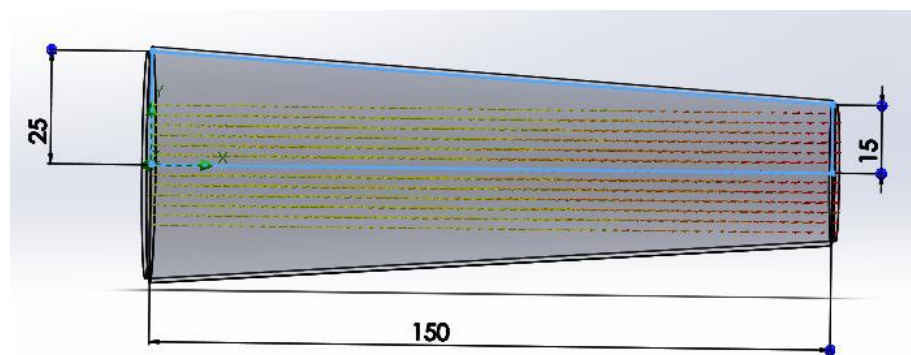


**Figura 57. Modelo No. 4 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 4 del ducto diseñado en Solid Works

#### Modelo 5

El quinto modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 50 mm y una longitud de 150 mm

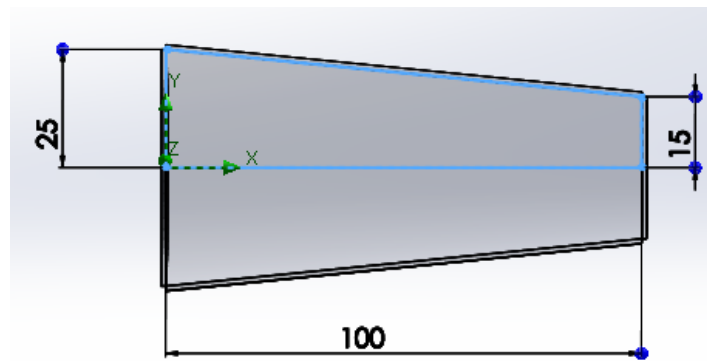


**Figura 58. Modelo No. 5 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 5 del ducto diseñado en Solid Works

#### Modelo 6

El sexto modelo se analiza la influencia del diámetro del ducto al ingreso del flujo con el valor de 50 mm y una longitud de 100 mm

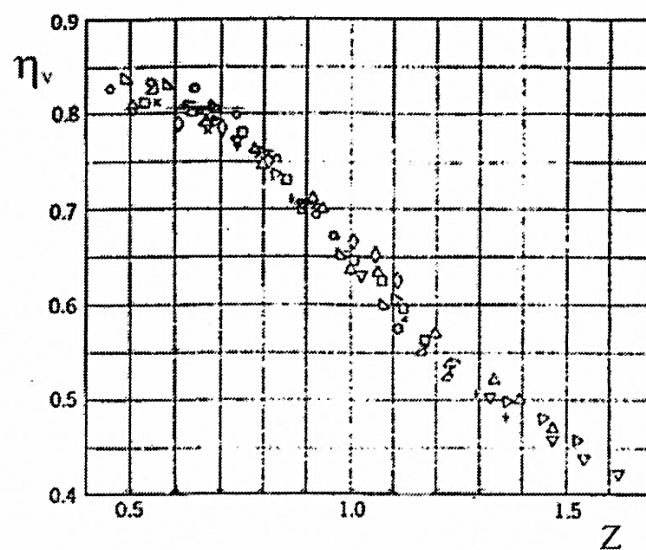


**Figura 59. Modelo No. 6 del ducto**

La figura anterior visualiza el modelo 5 del ducto diseñado en Solid Works

### 3.5.8 Análisis de flujo de aire con “FLOW SIMULATION de Solid Works”

La medida de rendimiento volumétrico que puede generar el ducto al motor a plena carga será obtenida del diagrama de (Taylor, 1990) la cual relaciona el índice MACH con el rendimiento volumétrico, este número mach fue generado mediante la simulación en Solid Works



**Figura 60. Rendimiento volumétrico en función del índice mach**  
Fuente: (Viñuelas García, 2014)



Como se puede observar la curva característica de esta relación se asemeja a una recta, por lo que para obtener el rendimiento volumétrico teniendo como dato el índice mach se utilizó la interpolación de datos,

$$\eta_v = \eta_{v0} + \frac{\eta_{v1} - \eta_{v0}}{z_1 - z_0} (z - z_0)$$

Donde:

$\eta_v$  = rendimiento volumétrico

Z = índice mach

Para la interpolación se utilizó los siguientes límites mismos que fueron adquiridos por la Figura 74

**Tabla 20. Límites para la interpolación del rendimiento volumétrico en función del número mach**

	Z	$\eta_v$
0	0,5	0,85
1	1,5	0,45

Si reemplazamos los valores de la Tabla 20 en la ecuación de rendimiento volumétrico anterior, tenemos:

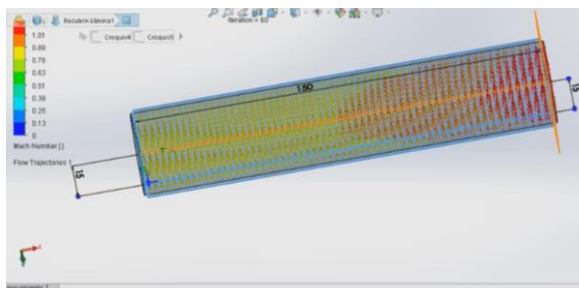
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (z - 0,5)$$

La simulación de flujo en Solid Works se trabajó bajo los siguientes parámetros:

- Gas ideal
- Presión atmosférica, **71,44 kPa**
- Temperatura atmosférica, **288,15 K**
- Flujo laminar
- Plena carga (mariposa totalmente abierta)

## Modelo 1

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 1 arrojó un número mach máximo (Z) de 1,14 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 61. Análisis de flujo de aire en el Modelo 1**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:

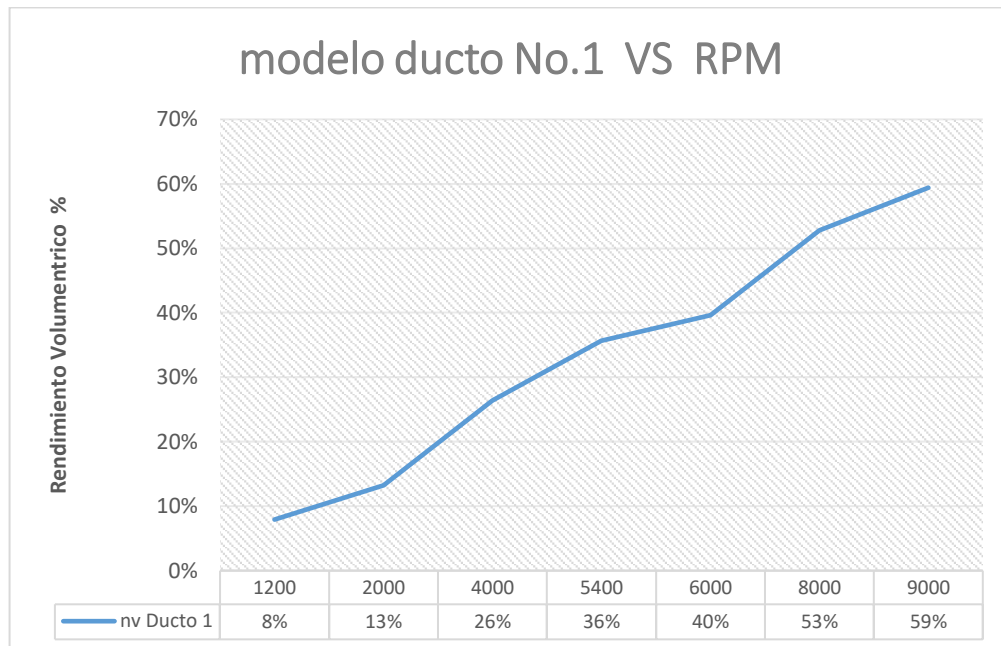
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (1,14 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,59 * 100\% = 59 \%$$

El valor de 59% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 21. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 1 vs RPM**

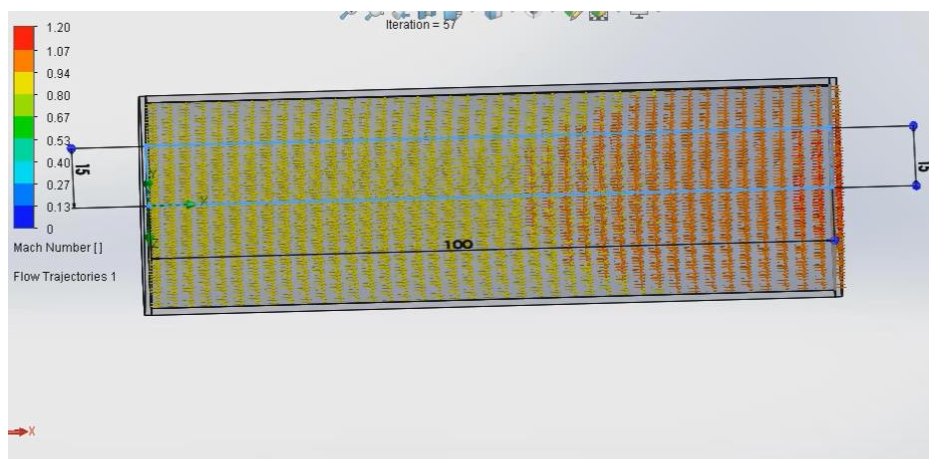
RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 1 (30-30-150)			
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$\eta_v$ Ducto 1
Ralentí	1200		8%
	2000		13%
	4000		26%
Torque Max	5400	1,14	36%
	6000		40%
Potencia Máxima	8000		53%
Plena carga	9000		59%



**Figura 62. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 1 vs RPM**

## Modelo 2

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 1 arrojó un número mach promedio ( $Z$ ) de 1,135 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 63. Análisis de flujo de aire en el Modelo 2**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:

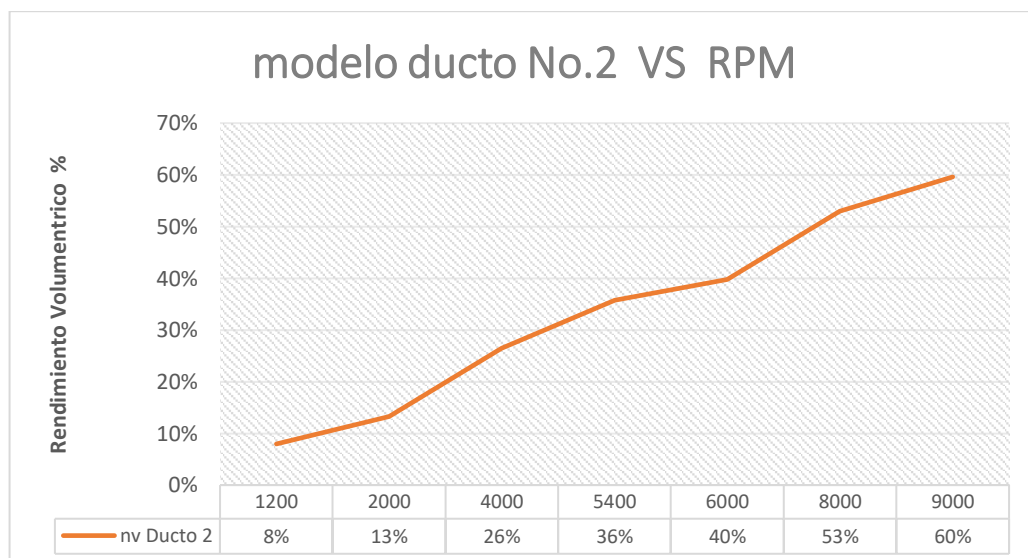
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (1,135 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,60 * 100\% = 60 \%$$

El valor de 60% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 22. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 2 vs RPM**

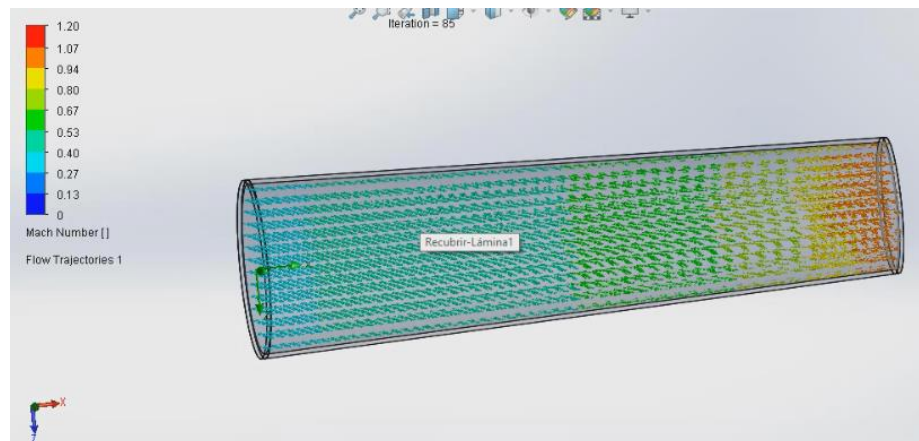
RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 2 (30-30-100)			
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$\eta_v$ Ducto 2
Ralentí	1200	1,135	8%
	2000		13%
	4000		26%
Torque Max	5400		36%
	6000		40%
Potencia Máxima	8000		53%
Plena carga	9000		60%



**Figura 64. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 2 vs RPM**

### Modelo 3

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 3 arrojó un número mach promedio (Z) de 0,80 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 65. Análisis de flujo de aire en el Modelo 3**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:

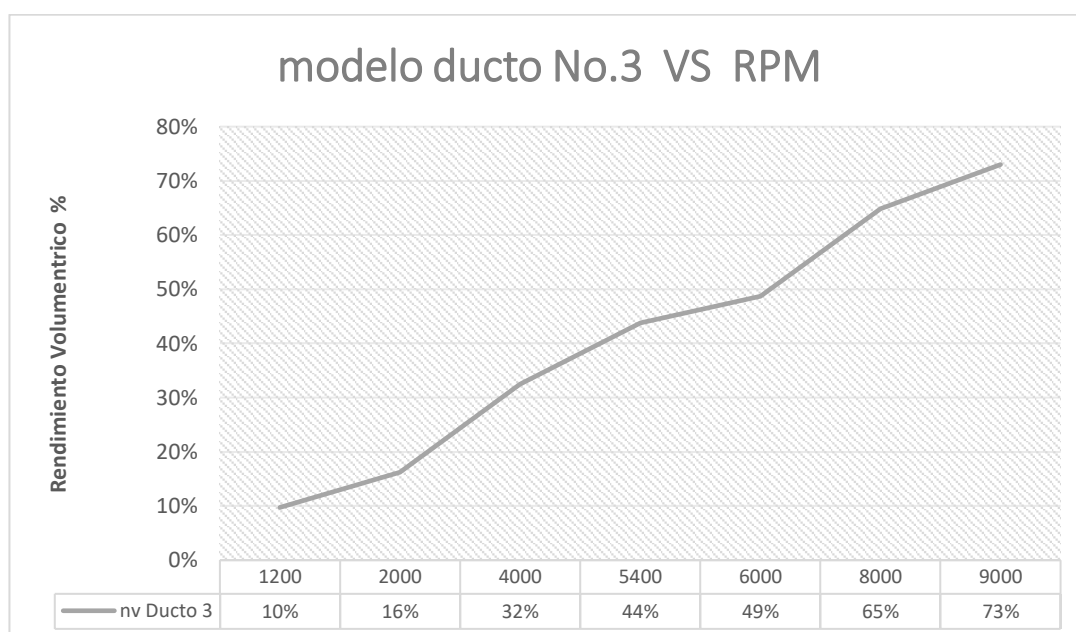
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (0,80 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,73 * 100\% = 73 \%$$

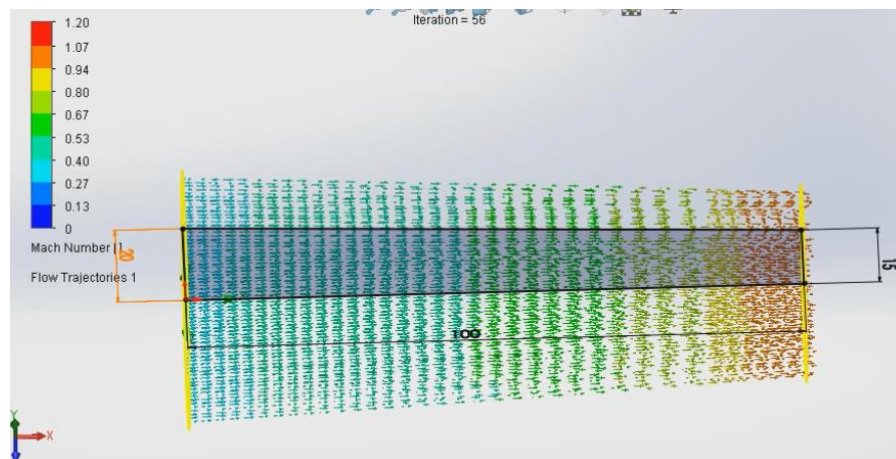
El valor de 72% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 23. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 3 vs RPM**

RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 3 (30-40-150)			
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$n_v$ Ducto 3
Ralentí	1200	0,8	10%
	2000		16%
	4000		32%
Torque Max	5400		44%
	6000		49%
Potencia Máxima	8000		65%
Plena carga	9000		73%

**Figura 66. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 3 vs RPM****Modelo 4**

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 4 arrojó un número mach promedio ( $Z$ ) de 1,005 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 67. Análisis de flujo de aire en el Modelo 4**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:

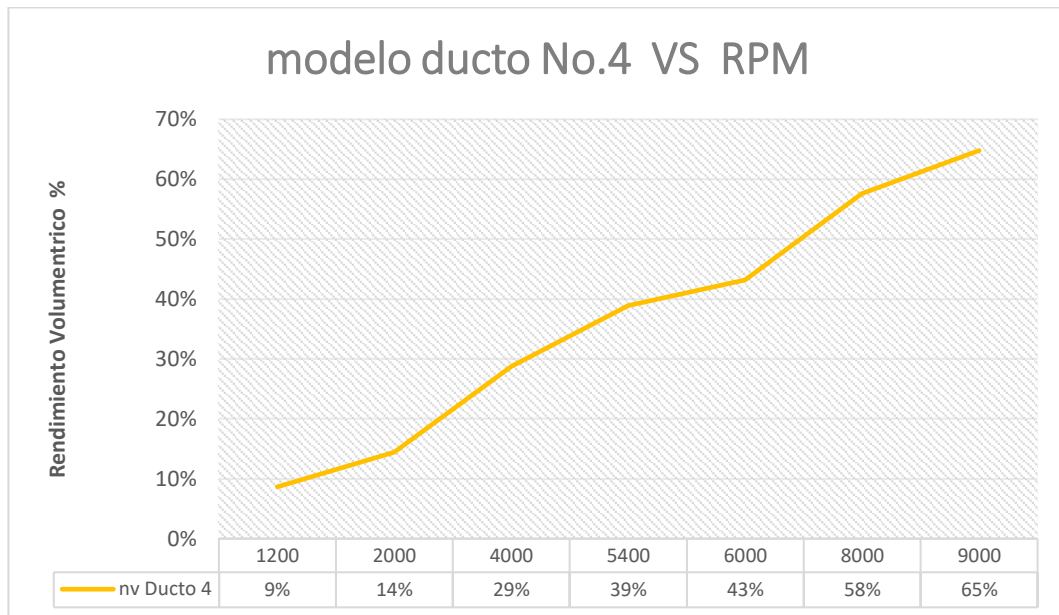
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (1,005 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,65 * 100\% = 65 \%$$

El valor de 65% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 24. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 4 vs RPM**

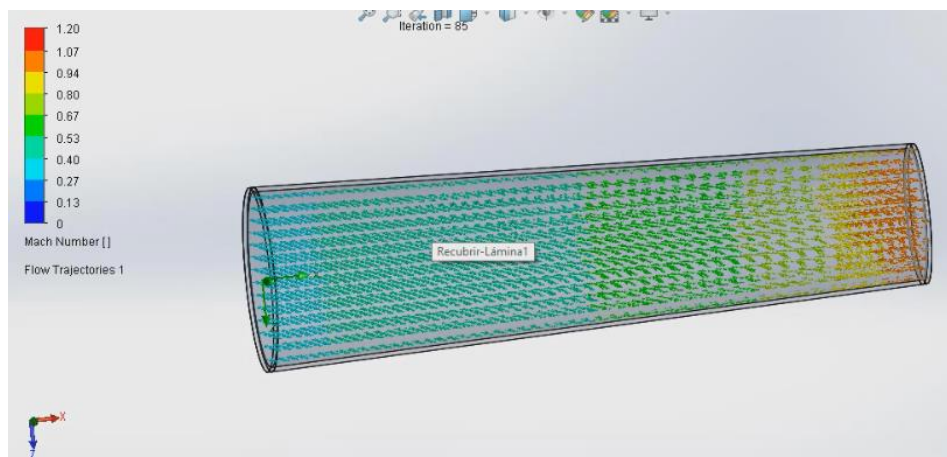
RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 4 (30-40-100)			
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$n_v$ Ducto 4
Ralentí	1200	1,005	9%
	2000		14%
	4000		29%
Torque Max	5400		39%
	6000		43%
Potencia Máxima	8000		58%
Plena carga	9000		65%



**Figura 68. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 4 vs RPM**

### Modelo 5

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 5 arrojó un número mach promedio (Z) de 0,94 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 69. Análisis de flujo de aire en el Modelo 5**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:



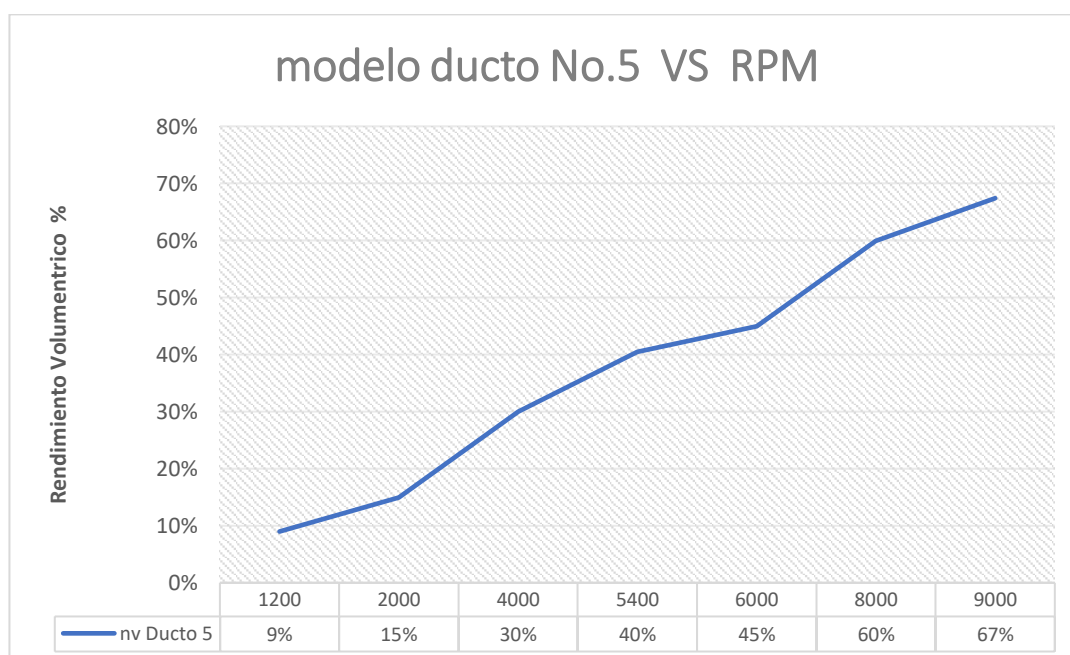
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (0,94 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,67 * 100\% = 67 \%$$

El valor de 67% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 25. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 5 vs RPM**

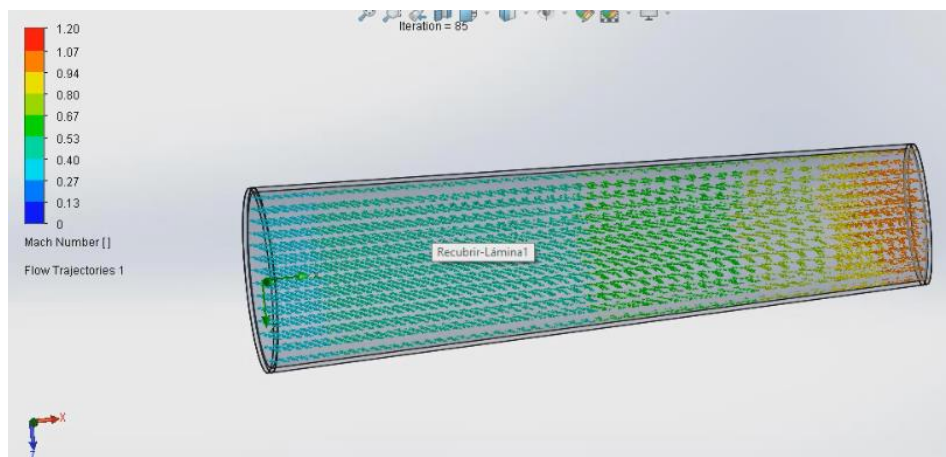
RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 5 (30-50-150)			
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$\eta_v$ Ducto 5
Ralentí	1200		9%
	2000		15%
	4000		30%
Torque Max	5400	0,94	40%
	6000		45%
Potencia Máxima	8000		60%
Plena carga	9000		67%



**Figura 70. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 5 vs RPM**

## Modelo 6

El análisis de flujo dentro del ducto con las medidas del modelo 6 arrojó un número mach promedio (Z) de 0,84 a plena carga a la salida del ducto:



**Figura 71. Análisis de flujo de aire en el Modelo 6**

Se realizó el cálculo de rendimiento volumétrico en función del número mach, lo cual dio como resultado lo siguiente:

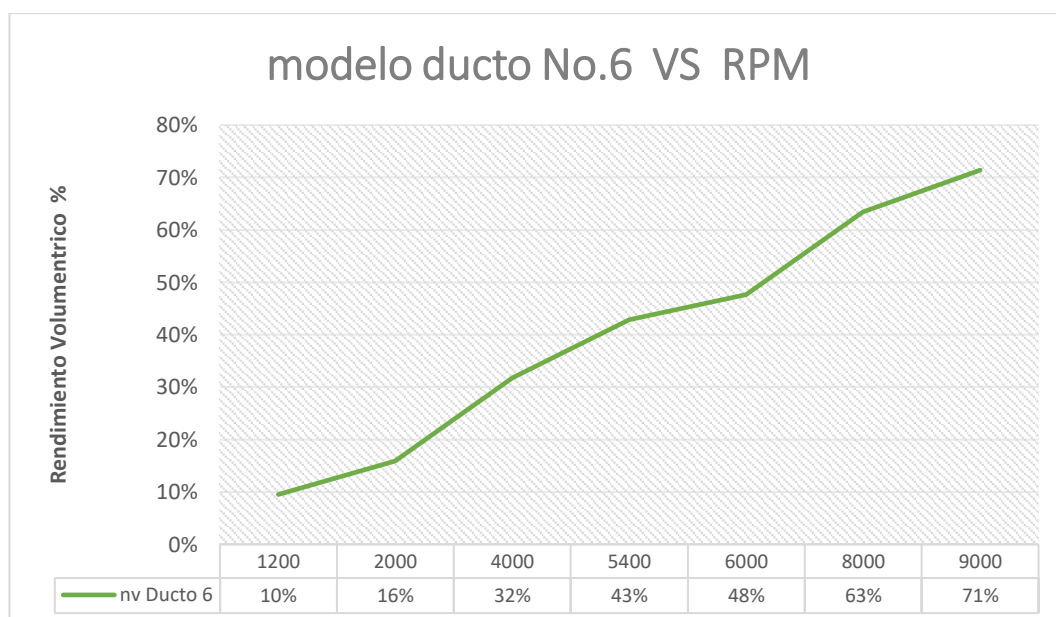
$$\eta_v = 0,85 + \frac{0,45 - 0,85}{1,5 - 0,5} (0,84 - 0,5)$$

$$\eta_v = 0,71 * 100\% = 71 \%$$

El valor de 71% de rendimiento volumétrico a plena carga se lo relacionó con el régimen de giro del motor de 9000 rpm (dato obtenido por experimentación), partiendo de esta relación se puede obtener los diferentes rendimientos volumétricos en función de las rpm.

**Tabla 26. Rendimiento volumétrico modelo ducto No. 6 vs RPM**  
**RENDIMIENTO VOLUMETRICO Modelo DUCTO No. 6**  
**(30-50-100)**

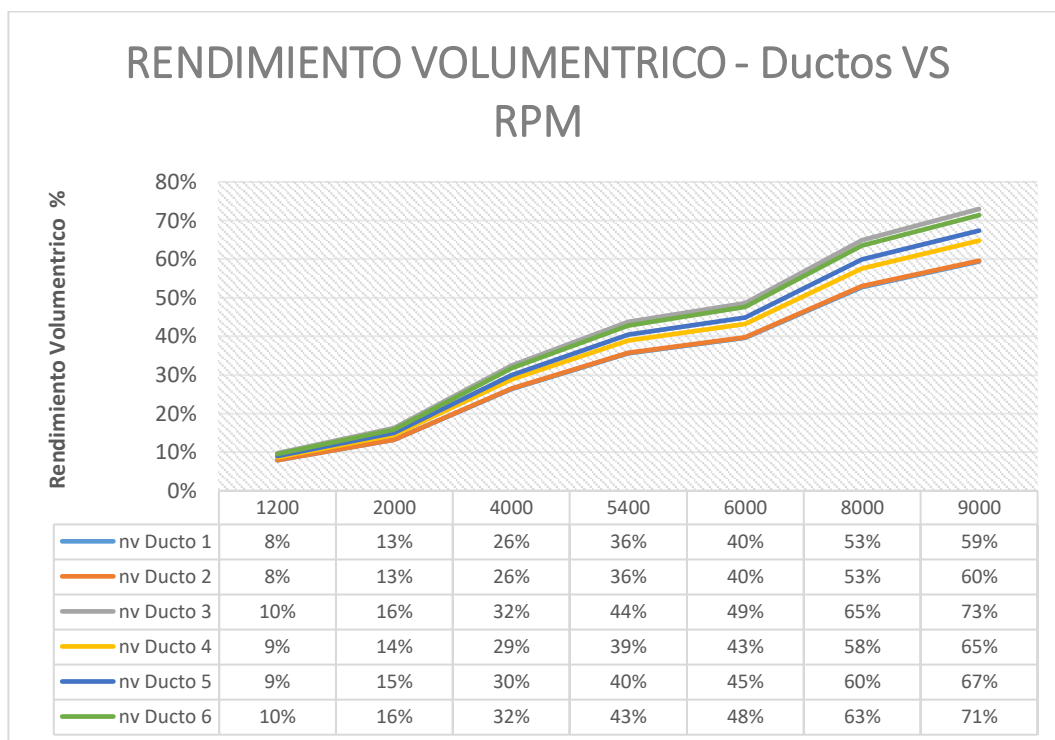
Tipo de Régimen	Régimen (RPM)	No. MACH	$n_v$ Ducto 6
Ralentí	1200	0,84	10%
	2000		16%
	4000		32%
Torque Max	5400		43%
	6000		48%
Potencia Máxima	8000		63%
Plena carga	9000		71%



**Figura 72. Gráfica de rendimiento volumétrico modelo ducto No. 6 vs RPM**

### 3.5.9 Selección de la geometría del ducto

Comparando los diferentes rendimientos volumétricos calculados para cada modelo se obtiene el siguiente gráfico:



**Figura 73. Rendimiento volumétrico de los diferentes modelos de ducto VS rpm**

Según la gráfica anterior se puede observar que la variación del diámetro del ducto al ingreso de aire y la longitud del mismo:

- En los modelos No. 1 y 2 no es significativo puesto que poseen el mismo rendimiento volumétrico en los diferentes regímenes del motor.
- No afecta de manera significativa en el rendimiento volumétrico hasta las 2000 rpm ya que la variación entre los modelos no sobre pasa el 3%.
- Se vuelve considerable al tener un torque máximo @5000 rpm, puesto que el rendimiento volumétrico varía de 4% a 8% entre los modelos, con excepción del No. 3 y No. 6 donde se puede ver que la variación es de apenas 1%
- Para máxima potencia @8000 rpm influyen considerablemente en el rendimiento volumétrico ya que existe hasta 12 puntos de diferencia

entre cada modelo, con excepción de los modelos No. 3 y 6 donde la variación es de apenas 2 puntos.

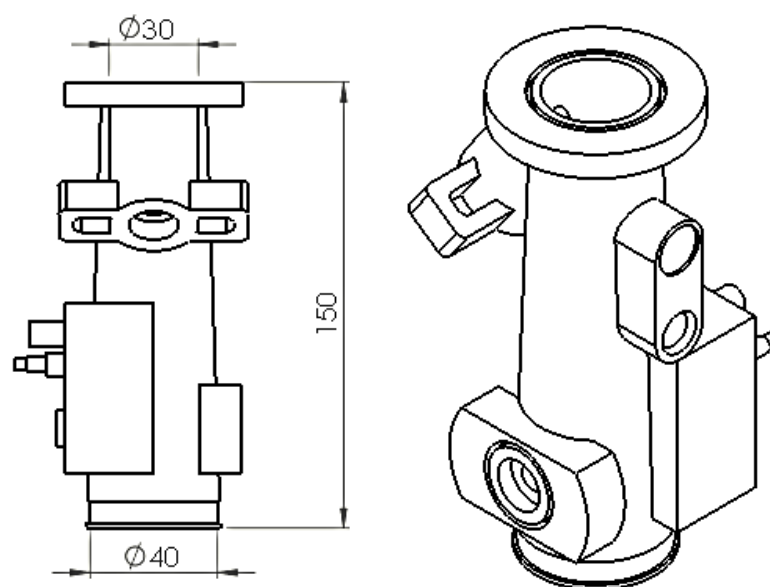
- Para plena carga @9000 rpm la influencia es más notoria ya que el rendimiento volumétrico entre cada modelo varía hasta 13 puntos aunque de igual manera que los casos anteriores los modelos No. 3 y 6 poseen una variación de 2 puntos.

Esta escasa variación de rendimiento volumétrico en los modelos No. 3 y 6 permite realizar una elección adecuada entre ellos en función del espacio disponible en la motocicleta. Para este caso se seleccionó el modelo de ducto No. 3

### 3.5.10 Diseño del ducto seleccionado

Tomando en cuenta el análisis anterior se procedió a diseñar el ducto de admisión de un solo cuerpo en forma de un cono truncado con las siguientes dimensiones:

- Diámetro (D) de la sección de ingreso de aire es 40 mm
- Diámetro (d) de la sección de salida de la mezcla (aire / combustible) es de 30 mm
- Altura (h) de 150 mm

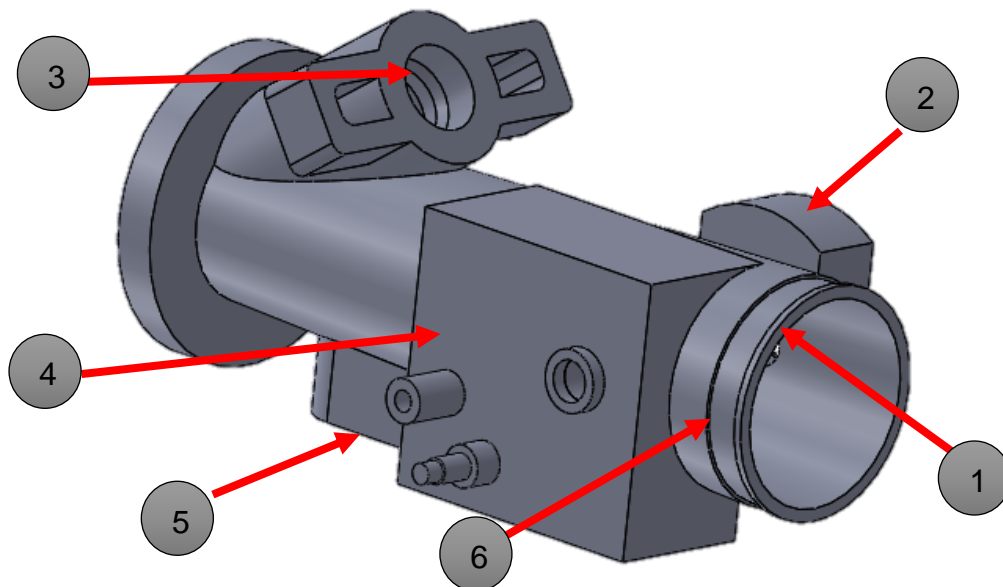


**Figura 74. Dimensiones del ducto diseñado en SOLID WORKS**

Para lograr una correcta unión de los siguientes elementos:

- Sensor TPS
- Inyector con una inclinación de 30° con respecto al ducto.
- Cuerpo de aceleración (mecanismo de accionamiento y mariposa)
- Sensor MAP
- Sensor de temperatura LM35

Se diseñó por separado 1 acople para el inyector, 1 eje para transmitir el movimiento desde el mecanismo de aceleración hasta el sensor TPS pasando por la válvula mariposa, 1 válvula mariposa y 1 acople para la el mecanismo de aceleración estos diseños están detalladas en los anexos.

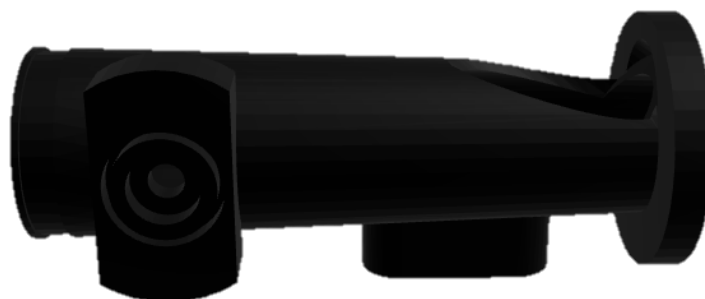


**Figura 75. Ducto de admisión de aire en SOLID WORKS (1. Acoplamiento del filtro de aire, 2. Acoplamiento para sensor TPS, 3. Acoplamiento para inyector, 4. Acoplamiento para mecanismo de aceleración y válvula mariposa, 5. Acoplamiento del sensor MAP, 6. Acoplamiento del sensor LM35)**

### 3.5.11 Fabricación del ducto diseñado

Para la fabricación del ducto junto con sus acoples, diseñados anteriormente, se recurrió a la tecnología de impresión en 3D, debido a que su proceso de manufactura es más económico, rápido y vanguardista en relación a los procesos convencionales utilizados en este tipo de piezas,

además el material ABS empleado posee propiedades mecánicas y térmicas aceptables para la función que se va a dar a la pieza.



**Figura 76. Ducto de admisión de aire impreso en 3D**



**Figura 77. Ducto de admisión con todos sus componentes**

La Figura 77 muestra el acabo final del ducto impreso en 3D con material ABS y reforzado los puntos de sujeción con resina epoxi.

### **3.6 Protocolo de pruebas para el Dinamómetro DYNOMite**

#### **3.6.1 Toma de muestra**

Tomamos tres pruebas para poder realizar la comparación de la misma.



**Figura 78. Colocación de correas de seguridad para la moto en el dinamómetro**

Las RPM son tomadas del tacómetro de la motocicleta.

Realizar un RESET de datos en los cuales se coloca tamaño de la rueda para calcular relación de transmisión final.

Se Realiza la prueba en 4ta marcha, desde los 2000 rpm hasta el corte que son 9000 o 10000 rpm, allí se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio

Al final tenemos el registro de los resultados de la potencia, el par motor, mezcla de aire combustible y presión barométrica en una memoria con cada tope de cada medida un software especializado muestra en la pantalla de una computadora los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas



**Figura 79. Software DYNO MAX Pro para el control del dinamómetro**



### 3.7 Protocolo de pruebas para el medidor de gases Cartek

Esta máquina ofrece 2 tipos de pruebas, de ralentí (500-1100 rpm) y velocidad crucero (2000-2750 rpm), para nuestra investigación utilizaremos la prueba de ralentí.

#### 3.7.1 Prueba ralentí

La prueba de ralentí es una opción más que ofrece el equipo, donde en la cual se realiza mediciones de todos los gases.

En el reporte final para esta opción de prueba continua se visualizará datos tales como: datos del taller, datos del vehículo, valores obtenidos en ese momento como:

- Temperatura del motor
- RPM
- CO
- CO2
- HC
- O2

Además, finalmente se visualizará fecha y hora que se realizó la prueba y la aprobación del taller o el operador autorizado.

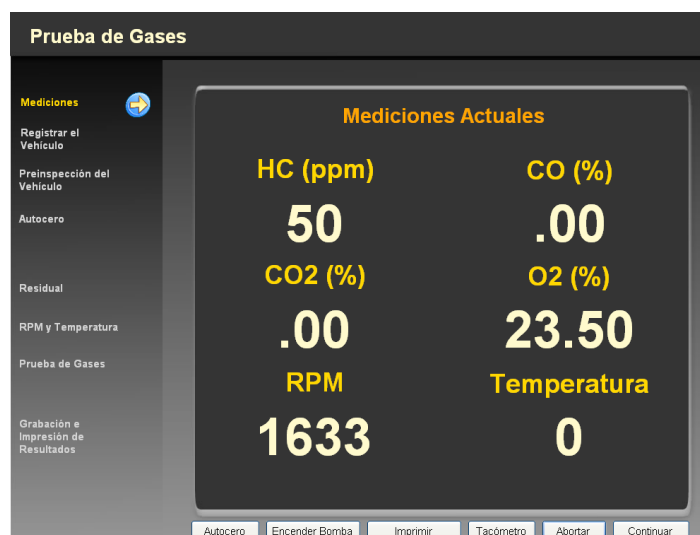


Figura 80. Software del analizador CARTEK 50-100

### **3.7.2 Procedimiento de medición según NTE INEN 2 203:2000**

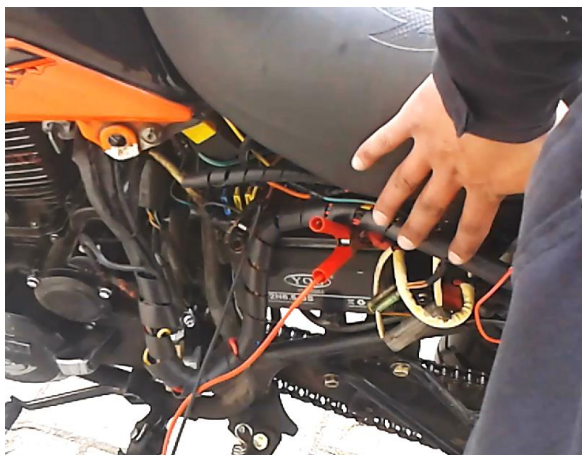
Para obtener resultados sin alteraciones de la medición de gases de escape del motor 200 cc, se utilizó como referencia la norma técnica ecuatoriana 203:2000, misma que detalla una serie de verificaciones antes de realizar la prueba y el correcto procedimiento para ejecutar la prueba.

#### **Antes de la prueba:**

1. Verificar que el equipo medidor de gases se encuentre calibrado a cero.
2. Limpiar la sonda de prueba de cualquier partícula o sustancia extraña la cual altere las lecturas de las muestras.
3. Verificar que la transmisión de la motocicleta se encuentre en neutro.
4. El control manual del ahogador (choque), no debe estar activado, igual que los accesorios de la motocicleta (luces, radio, etc.)
5. Revisar el sistema de escape no posea salidas adicionales a las del diseño.
6. El nivel de aceite en el cárter debe estar entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y la motocicleta en posición horizontal.
7. El motor de la motocicleta se debe encontrar a temperatura normal de funcionamiento.

#### **Para la ejecución de la prueba:**

1. Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o "ralentí".



**Figura 81. Conexión del equipo de medición de rpm**

2. Estabilizadas las rpm seleccionar “Test”, lo cual abrirá otra ventana, donde se verifica que la velocidad del motor a ralentí sea la correcta.
3. Elegir “Continuar”, e ingresar los datos solicitados en la ventana que aparece, tales como información del vehículo y del propietario, seguido elegir “Guardar y Continuar”.

**Prueba de Gases**

Mediciones

Registrar el Vehículo

Preinspección del Vehículo

Autocero

Residual

RPM y Temperatura

Prueba de Gases

Grabación e Impresión de Resultados

**Información del Vehículo**

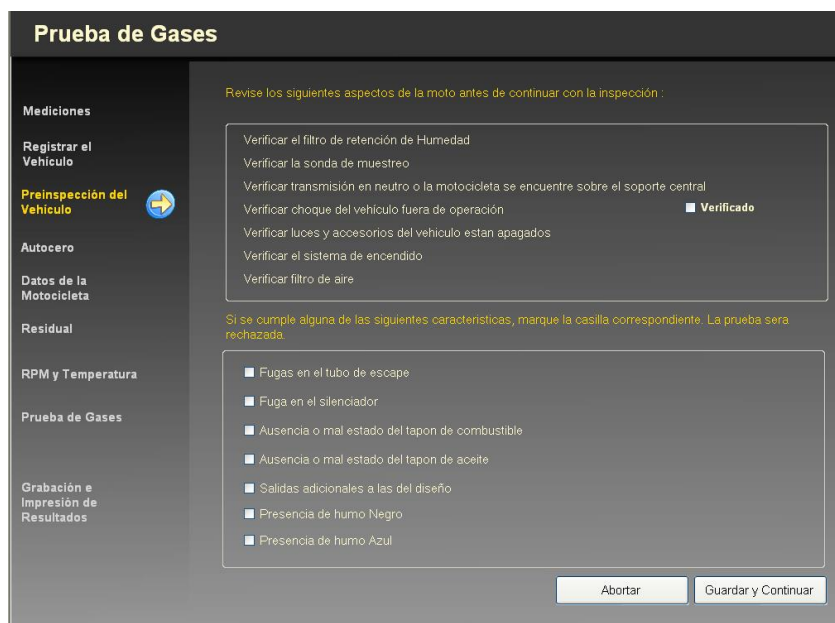
Placa	<input type="text" value="IG610V"/>	Número de motor	<input type="text"/>
Marca	<input type="text" value="UM"/>	Número de Chasis	<input type="text" value="LB420YC8CC1B22"/>
Línea	<input type="text" value="DSR 200"/>	Combustible	<input type="text" value="Gasolina"/>
Modelo	<input type="text" value="2011"/>	Cilindraje	<input type="text" value="0"/>
Servicio	<input type="text" value="PARTICULAR"/>	Kilometraje	<input type="text" value="0"/>
Clase	<input type="text" value="MOTOS Y SIMILARES"/>	Número Cilindros	<input type="text" value="1"/>

**Información del Propietario**

Identificación	<input type="text" value="1723883490"/>	Ciudad	<input type="text" value="QUITO"/>
Tipo de identificación	<input type="text" value="CC"/>	Teléfono	<input type="text" value="0995299565"/>
Nombre	<input type="text" value="JULIO"/>		
Apellidos	<input type="text" value="RAMIREZ"/>		
Dirección	<input type="text" value="POMASQUI"/>		
Contacto	<input type="text"/>		
Correo Electrónico	<input type="text"/>		

**Figura 82. Datos del vehículo y propietario**

4. A continuación dar clic en la opción “Verificado” siempre y cuando se haya cumplido con todos los ítems de inspección.



**Figura 83. Verificaciones antes de la prueba**

5. Seleccionar “Guardar y Continuar”, si se cumple con todas las consideraciones previas a la prueba y esperar a que el equipo se auto encere.



**Figura 84. Auto cero del banco**

6. Llenar los datos técnicos de la motocicleta e insertar la sonda de muestro de gas para motocicletas de 4 tiempos.


**Prueba de Gases**

Mediciones

Registrar el Vehículo

Preinspección del Vehículo

Autocero

Datos de la Motocicleta 

Residual

RPM y Temperatura

Prueba de Gases

Grabación e Impresión de Resultados

**MOTOR**

- 2 Tiempos
- 4 Tiempos

**TRANSMISION**

- Automática
- Semiautomática
- Mecánica

**TEMPERATURA**

- Aceite
- Embrague
- Tipo Scooter

**Inserte la sonda de muestreo de gas para motocicletas de 4 tiempos.**

Iniciar Residuales

**Figura 85. Ingreso de datos técnicos de la motocicleta**



**Figura 86. Sonda de gases en el escape**

7. Remover la sonda de muestreo del tubo de escape y esperar a que se realice la verificación de HC residuales.



**Figura 87. Verificación automática de HC residuales**

8. Con la sonda fuera del tubo de escape realizar las 2 pruebas de aceleración, en ralentí (1350 – 1650 rpm) y (1750 – 2500 rpm) aguardar por 2 segundos mientras se estabiliza la muestra.



**Figura 88. Prueba de aceleración a ralentí (1350 - 1650 rpm)**



**Figura 89. Prueba de aceleración (1750 y 2500 rpm)**

9. Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o "ralentí", introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba, 30 segundos.



**Figura 90. Prueba en progreso**

10. Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

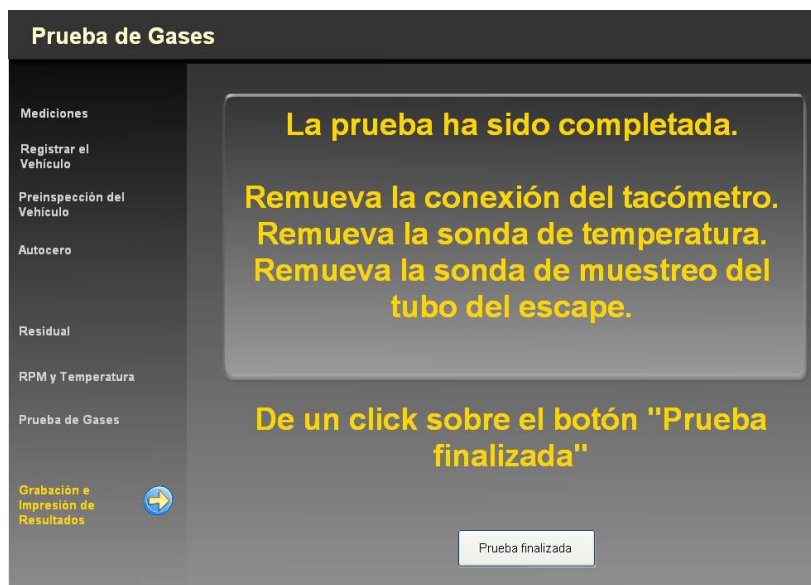


Figura 91. Prueba finalizada

11. Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

<b>ESPE</b> LATACUNGA Tel: 0000000		Email:					
<b>DATOS DEL CLIENTE</b> NOMBRE: JULIO APELLIDO: RAMIREZ IDENTIFICACION: 1723883490 DISPOSITIVO: COD001				<b>DATOS DEL VEHICULO</b> PLACA: IG610V      MODELO: 2011 MARCA: UM      LINEA: DSR 200 MOTOR:      COMBUSTIBLE: GASOLINA VIN: LB420YC09CC102260			
<b>DATOS DE LA PRUEBA</b>							
<b>RALENTI</b>							
<b>RESULTADOS</b>		<b>NORMA</b>					
HC:	827.00	HC LIMITE:	0.00 ppm				
CO:	6.02	CO LIMITE:	0.00 %				
CO2:	4.32	CO2 MINIMO:	7.00 %				
O2:	15.23	O2 MAXIMO:	5.00 %				
RPM:	5,379	RPM MIN:	500 rpm				
TEMP:	0	TEMP MIN:	0.00 °	MOTIVO: Vehículo rechazado por Dilusion excesiva.			
RESULTADO RECHAZADA							
FECHA DE LA PRUEBA: 8/1/2017 11:54:57				FECHA VALIDEZ:			
				<b>RESULTADO GENERAL:</b>		<b>RECHAZADA</b>	
OPERARIO RESPONSABLE: _____							
LEONIDAS QUIROZ							

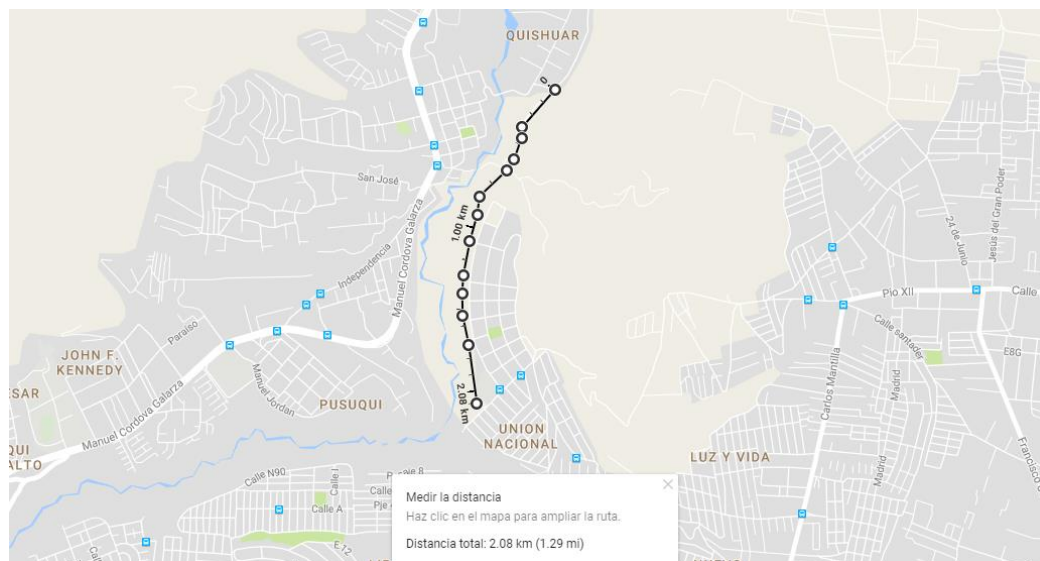
Figura 92. Hoja de resultado de la prueba

### 3.8 Protocolo de pruebas para el consumo de combustible

Para conocer un consumo real de combustible con los diferentes sistemas de alimentación (carburador e inyección), necesitamos realizar mediciones



en una ruta determinada la cual posee sectores planos y pendientes de poca pronunciación y una longitud de 2,08 km:



**Figura 93. Ruta para la prueba de consumo de combustible**

### 3.8.1 Equipos a utilizar.

- Termómetro laser.
- Cronómetro.
- Cámara en el casco.
- Tanque de combustible de la motocicleta 14 litros (3,69 Gal)

### 3.8.2 Procedimiento para la medición

Para que la prueba pueda compararse se debe realizar en las mismas condiciones para los 2 sistemas (carburador – inyección).

- Clima sin lluvias, cielo despejado y pista seca.
- Es importante que el conductor sea el mismo.
- Tener combustible en un reservorio aparte.
- Realizar 1 circuito completo con lo que se recorre 2,08 km.
- La prueba se debe realizar con un mínimo de 2 personas (1 conductor y 1 ayudante para la medición del cronómetro)

Si se cumple con lo anteriormente mencionado procedemos con los siguientes pasos:

1. Poner en funcionamiento el motor hasta llegar a la temperatura de trabajo.
2. Una vez llegada a la temperatura de trabajo del motor apagarlo y llenar el tanque con 500 ml (medidos con depósito aparte)
3. Calibrar a cero el odómetro y el cronómetro.
4. Encender la motocicleta y empezar a rodar a una velocidad crucero (60 km/h)
5. Al llegar al punto de partida después de realizar el circuito completo apagar inmediatamente la motocicleta y medir la cantidad de combustible sobrante.
6. Calcular la diferencia entre el consumo y tabularlo.
7. Realizar este procedimiento 4 veces para tener una tendencia en los resultados.

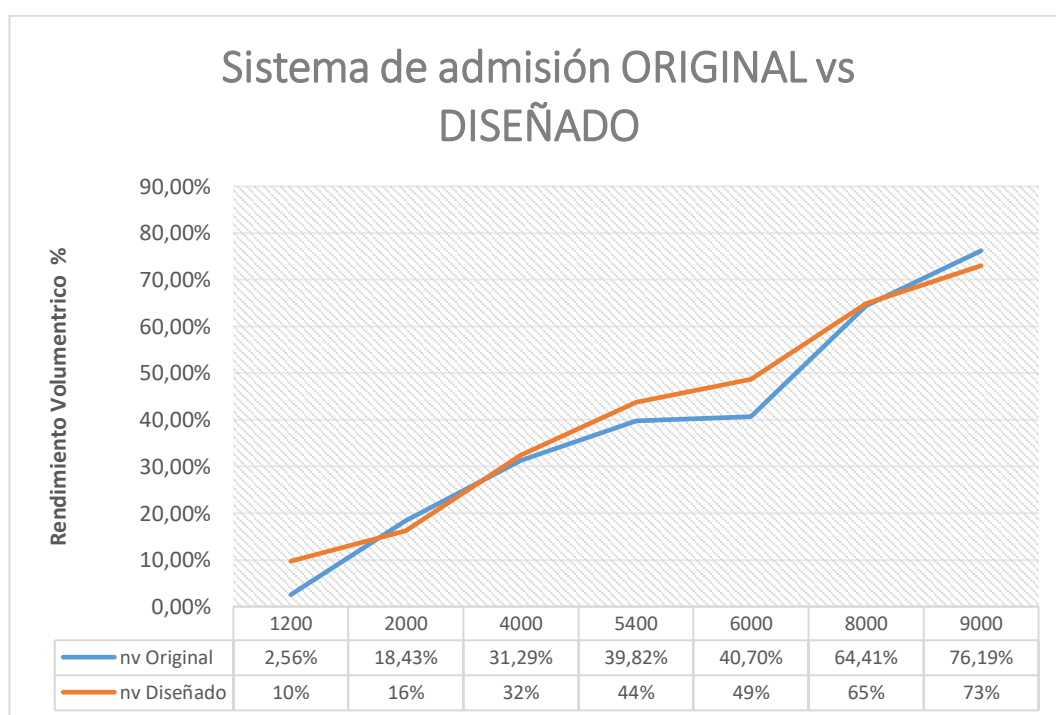
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Rendimiento volumétrico

##### 4.1.1 Sistema de admisión original vs diseñado en función de las RPM

Los siguientes datos reflejan el rendimiento volumétrico a diferentes regímenes del motor de 200 cc que proporcionan los 2 sistemas de admisión de la mezcla, tanto a carburador como a inyección.



**Figura 94. Rendimiento volumétrico con el sistema original de admisión**

Como se puede apreciar en la gráfica anterior el rendimiento volumétrico se comporta de la siguiente manera:

- Con el motor a ralentí @1200 rpm el ducto diseñado mejora sustancialmente de 7% al sistema original.

- Con el motor @2000 rpm el ducto diseñado no logra mejorar al sistema original, aunque la diferencia es mínima, 2%.
- Con el motor @4000 rpm el ducto diseñado mejora al sistema original, pero el margen de diferencia es mínima, 1%.
- Con el motor a máximo torque @5400 rpm el ducto diseñado empieza a mejorar significativamente con respecto al sistema original en este caso el incremento es de 4%.
- Con el motor @6000 rpm el ducto diseñado el ducto diseñado incrementa 9% con respecto al sistema original.
- Con el motor a máxima potencia @8000 rpm el ducto diseñado es similar al sistema original, aunque tiene una pequeña mejoría de 0,5 %.
- Con el motor a plena carga @9000 rpm el ducto diseñado sufre un descenso de 3% con relación al sistema original.

#### **4.1.2 Resultado**

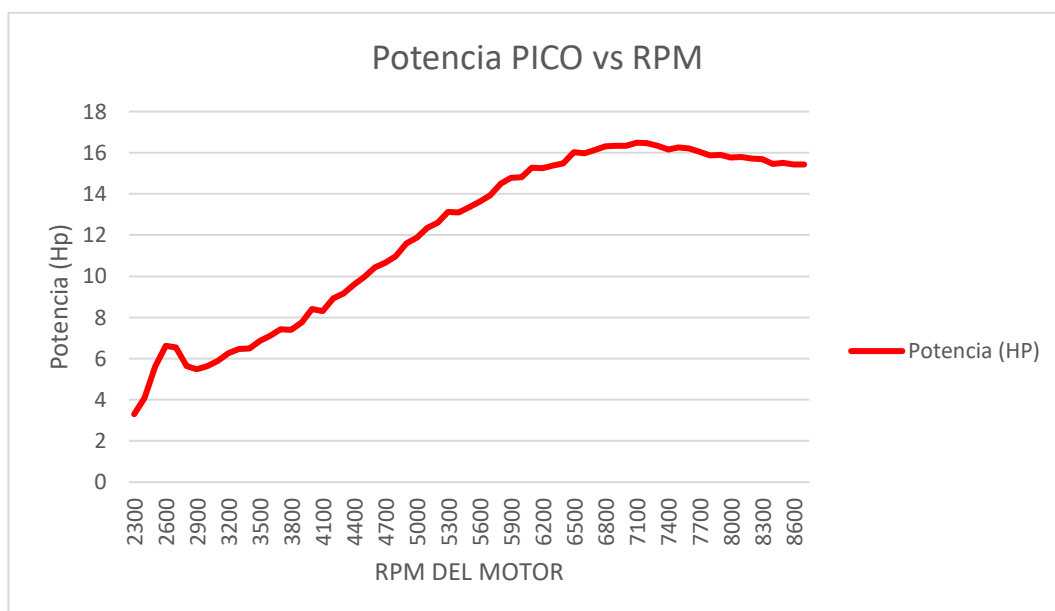
Pese a que el sistema diseñado no logra mejorar el rendimiento volumétrico con relación al sistema original de admisión con el motor a plena carga, es importante destacar que:

- En ralentí el sistema de admisión diseñado experimenta un incremento considerable de 7,44%
- En máximo torque y potencia de igual forma el sistema de admisión diseñado experimenta un incremento de 4,18% y 0,59% respectivamente.
- El sistema de admisión diseñado otorga una uniformidad en los valores de rendimiento volumétrico a los diferentes regímenes del motor, lo cual se vería reflejado en la estabilidad del motor.

## 4.2 Potencia generada por la motocicleta

### 4.2.1 Motor con sistema de admisión diseñado

Los resultados obtenidos a continuación pertenecen al motor con el sistema de admisión diseñado mismos que fueron medidos con el dinamómetro de chasis DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems – Auto - 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K



**Figura 95. Curva de potencia del motor 200 cc con el sistema de admisión diseñado**

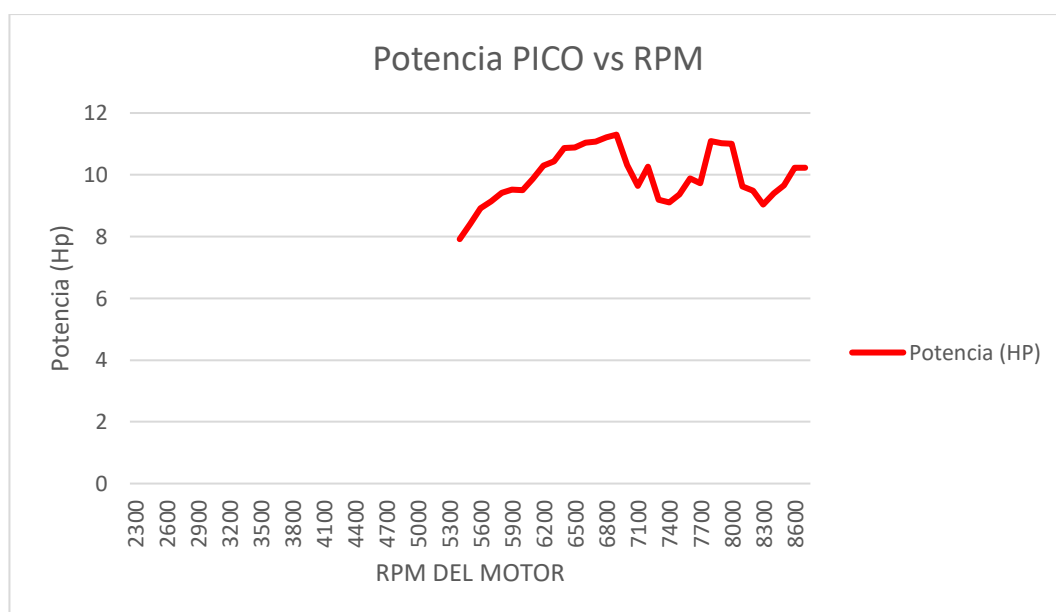
Como se puede observar en la figura anterior se tiene la curva de potencia corregida SAE a nivel del mar lo cual nos arroja lo siguiente:

- Desde que se estabiliza la medición a las 2900 rpm el motor varía su potencia desde los 5,48 Hp hasta los 15,44 Hp @8600 rpm
- La potencia máxima que genera el motor es de 16,49 Hp @7100 rpm
- La potencia aumenta gradualmente desde los regímenes bajos hasta llegar a su máximo valor en los regímenes altos, después de esto la potencia disminuye 1,05 Hp en plena carga @8600 rpm.

El pico generado al inicio de la curva a las 2600 rpm es ocasionado por una caída de par debido al accionamiento rápido del embrague por parte del conductor para que el motor no se apague, también se distinguen pequeños picos debido a una deformación en el neumático de la rueda de tracción.

#### 4.2.2 Motor con sistema de admisión original

De igual manera que con el sistema anterior los resultados obtenidos fueron medidos con el dinamómetro de chásis DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems – Auto - 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K



**Figura 96. Curva de potencia del motor 200 cc con sistema de admisión original**

Como se puede observar en la figura anterior se tiene la curva de potencia corregida SAE a nivel del mar, mismo que arroja lo siguiente resultados:

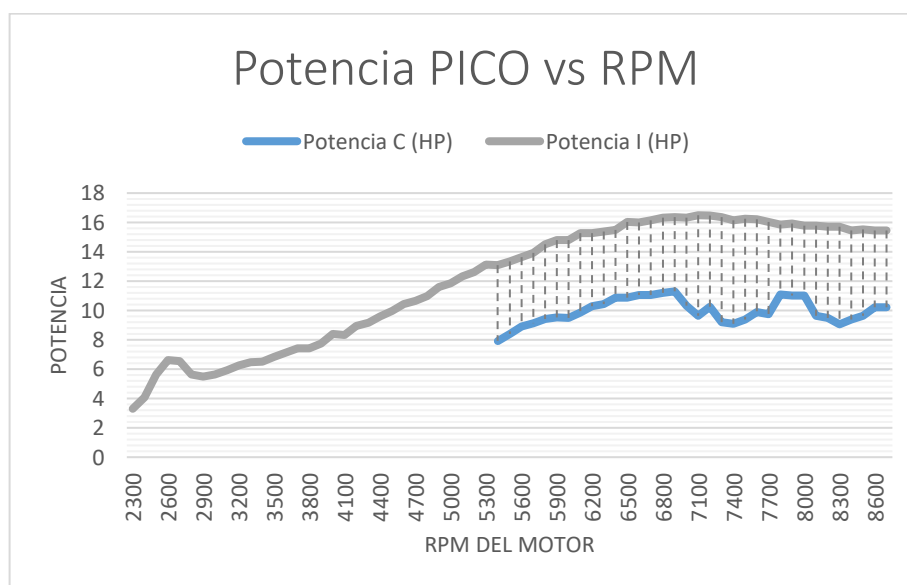
- Desde que se estabiliza la medición a las 5400 rpm el motor varía su potencia desde los 7,92 Hp hasta los 10,22 Hp @8700 rpm
- La potencia máxima que genera el motor es de 11,30 Hp @6900 rpm

- La potencia hasta antes de las 5400 rpm no es registrada por el dinamómetro debido a que la motocicleta no logra vencer la inercia del rodillo.
- La potencia después de llegar a su pico máximo a los 6900 rpm sufre una caída de 1,57 Hp @7700 rpm.
- Después de las 7700 rpm la potencia tiene un repunte de 1,36 Hp hasta las 8000 rpm para nuevamente sufrir una caída de 2 Hp @8500 rpm

Los picos generados durante la curva son ocasionados por una caída de par debido al accionamiento rápido del embrague por parte del conductor para que el motor no se apague, también se distinguen pequeños picos debido a una deformación en el neumático de la rueda de tracción.

#### 4.2.3 Comparación de la potencia con los 2 sistemas de admisión de aire

A continuación se elaboró una gráfica donde se puede evidenciar el comportamiento de la potencia del motor con el sistema de admisión original y el diseñado.



**Figura 97. Comportamiento de la potencia con el sistema de admisión diseñado (Pi) y el original (Pc)**

Como se puede apreciar la potencia generada con el sistema de admisión diseñado es mayor en cualquier régimen con relación a la potencia generada con el sistema de admisión original.

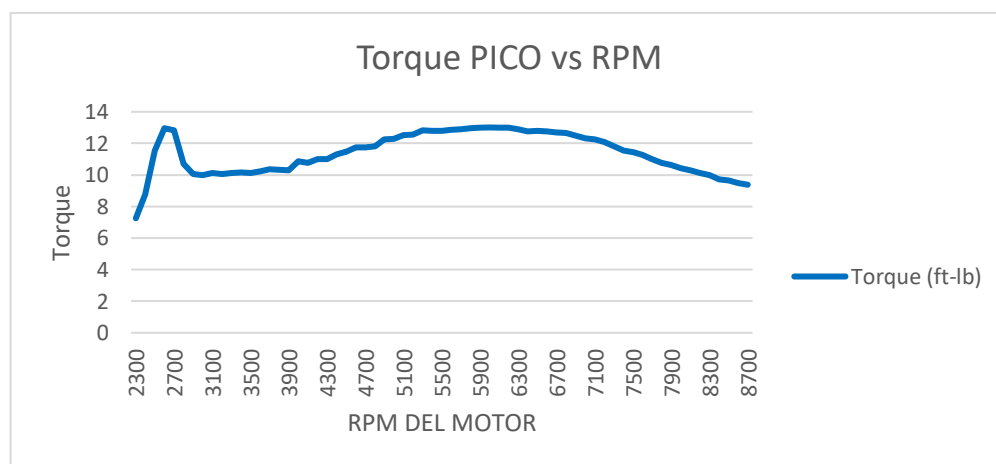
Mientras el pico de potencia con el sistema diseñado (Pi) se alcanza a las 7100 rpm, con el sistema original (Pc) se alcanza a las 6900 rpm, esto significa una mejoría en la potencia de Pi en 5,19 Hp

El registro de la potencia Pc empieza a las 5400 rpm, mientras que la potencia Pi empieza a las 2300 rpm, lo cual indica que debido a la dificultad de la motocicleta en vencer la inercia del rodillo del dinamómetro, no fue posible realizar las mediciones en los rangos antes mencionados.

### 4.3 Torque generada por la motocicleta

#### 4.3.1 Motor con sistema de admisión diseñado

Los resultados obtenidos a continuación pertenecen al motor con el sistema de admisión diseñado mismos que fueron medidos con el dinamómetro de chásis DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems – Auto - 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K



**Figura 98. Curva de torque del motor 200 cc con el sistema de admisión diseñado**

Como se puede observar en la figura anterior se tiene la curva de torque corregida SAE a nivel del mar lo cual nos arroja lo siguiente:

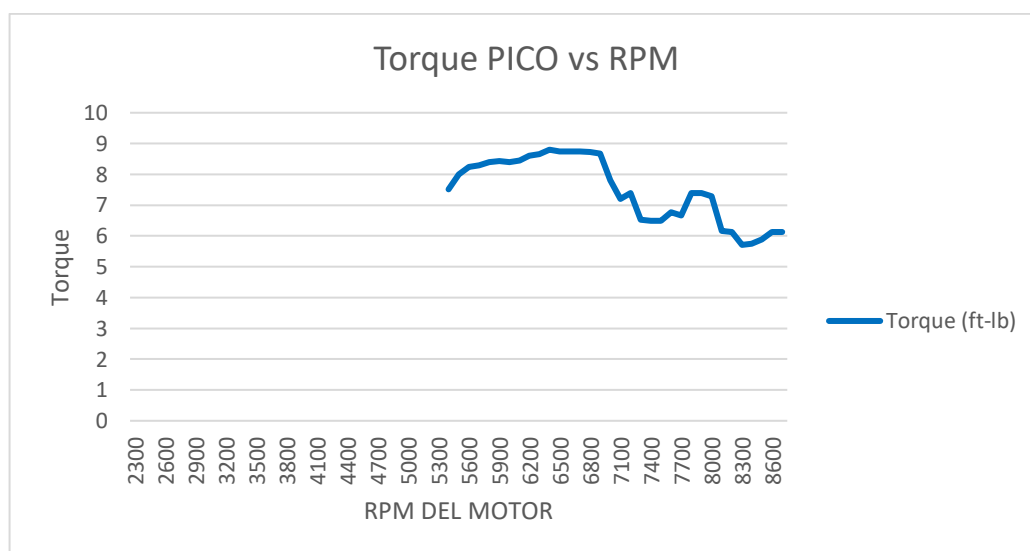


- Desde que se estabiliza la medición a las 3000 rpm el motor varía su torque desde los 13,56 N-m (10,00 ft-lb) hasta los 12,72 N-m (9,38 ft-lb) @8700 rpm
- El torque máximo que genera el motor es de 17,64 N-m (13,01 ft-lb) @ 6000 rpm
- El torque aumenta gradualmente desde los regímenes bajos hasta llegar a su máximo valor en los regímenes medios, después de esto el torque disminuye 4,92 N-m (3,63 ft-lb) en plena carga @8700 rpm.

El pico generado al inicio de la curva a las 2600 rpm es ocasionado por una caída de par debido al accionamiento rápido del embrague por parte del conductor para que el motor no se apague, también se distinguen pequeños picos debido a una deformación en el neumático de la rueda de tracción.

#### 4.3.2 Motor con sistema de admisión original

De igual manera que con el sistema anterior los resultados obtenidos fueron medidos con el dinamómetro de chasis DYNO mite™ Chassis Dynamometer Systems – Auto - 4425 2WD 2EC-D Chassis Dyno #036-4425-5K



**Figura 99. Curva de torque del motor 200 cc con sistema de admisión original**

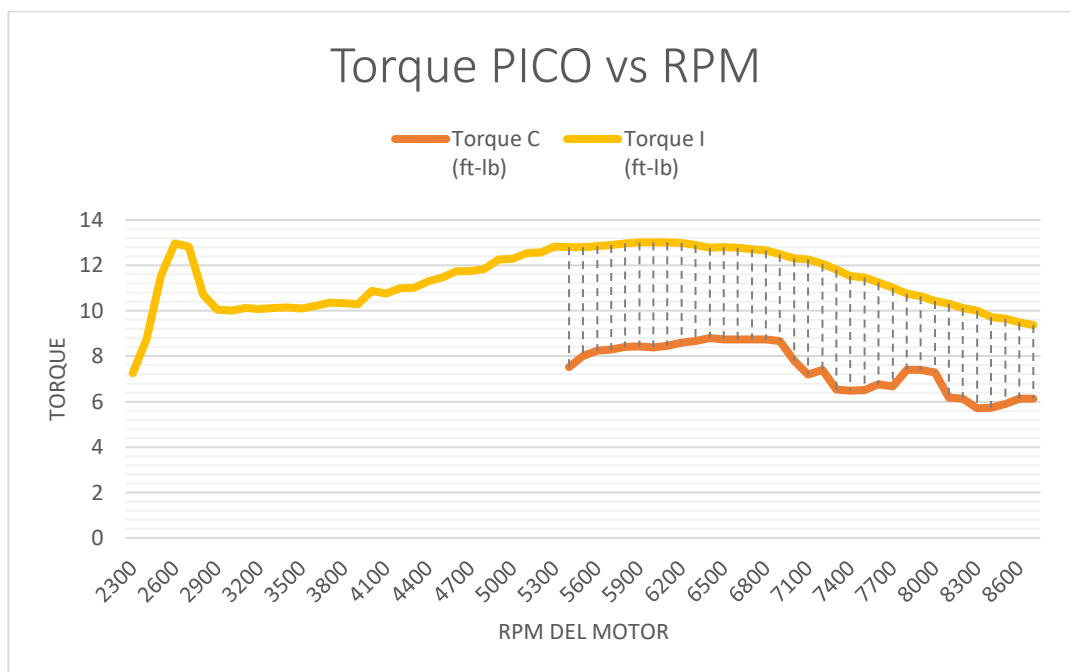
Como se puede observar en la figura anterior se tiene la curva de torque corregida SAE a nivel del mar, mismo que arroja los siguientes resultados:

- Desde que se estabiliza la medición a las 5400 rpm el motor varía su torque desde los 10,2 N-m (7,52 ft-lb) hasta los 8,31 N-m (6,13 ft-lb) @8700 rpm
- El torque máximo que genera el motor es de 11,93 N-m (8,80 ft-lb) @ 6400 rpm
- El aumento de torque es mínimo (1,73 N-m) desde los regímenes medios hasta llegar a su máximo valor en los regímenes altos, después de esto el torque disminuye 4,19 N-m (3,09 ft-lb) en plena carga @8600 rpm.

Los picos generados durante la curva son ocasionados por una caída de par debido al accionamiento rápido del embrague por parte del conductor para que el motor no se apague, también se distinguen pequeños picos debido a una deformación en el neumático de la rueda de tracción. .

#### **4.3.3 Comparación del torque con los 2 sistemas de admisión de aire**

A continuación se elaboró una gráfica donde se puede evidenciar el comportamiento del torque del motor con el sistema de admisión original y el diseñado.



**Figura 100. Comportamiento del torque con el sistema de admisión original y el diseñado**

Como se puede apreciar el torque generado con el sistema de admisión diseñado es mayor en cualquier régimen en relación al torque generado con el sistema de admisión original.

El pico de torque con el sistema diseñado ( $T_i$ ) 17,64 N-m (13,01 ft-lb) se alcanza a las 6000 rpm, mientras que con el sistema original ( $T_c$ ) 11,93 N-m (8,80 ft-lb) se alcanza a las 6400 rpm, lo que resulta un aumento en el torque en 5,71 N-m (4,21 ft-lb).

El registro del torque  $T_c$  empieza a las 5400 rpm, mientras que el torque  $T_i$  empieza a las 2300 rpm, lo cual indica que debido a la dificultad de la motocicleta en vencer la inercia del rodillo del dinamómetro, no fue posible realizar las mediciones en los rangos antes mencionados.

## 4.4 Consumo de combustible

### 4.4.1 Motor con sistema de admisión original

Con el motor a temperatura de trabajo se vació por completo el tanque y se volvió a llenar con 500 ml (medidos con un depósito aparte), se calibró a cero el odómetro y el cronómetro, se encendió la motocicleta y se empezó a rodar a una velocidad cruceo (60 km/h)

Al llegar al punto de partida después de realizar el circuito completo (2,08 km) se apagó inmediatamente la motocicleta y se procedió a medir la cantidad de combustible sobrante, esto se repitió por 4 veces.

Finalmente se calculó la diferencia de consumo en las diferentes pruebas lo cual arrojó el siguiente resultado:

**Tabla 27.**  
**Prueba de consumo con el sistema original de admisión**

No. Prueba	Sistema Original Vo		
	Kilómetros recorridos	Volumen sobrante Vs (ml)	Volumen consumido Vc (ml)
1	2,08	1650	350
2	2,08	1643	357
3	2,08	1641	359
4	2,08	1646	354

### 4.4.2 Motor con sistema de admisión diseñado

De igual forma que la anterior prueba, con el motor a temperatura de trabajo se vació por completo el tanque y se volvió a llenar con 500 ml (medidos con un depósito aparte), se calibró a cero el odómetro y el cronómetro, se encendió la motocicleta y se empezó a rodar a una velocidad cruceo (60 km/h)

Al llegar al punto de partida después de realizar el circuito completo (2,08 km) se apagó inmediatamente la motocicleta y se procedió a medir la cantidad de combustible sobrante, esto se repitió por 4 veces.

Finalmente se calculó la diferencia de consumo en las diferentes pruebas lo cual arrojo el siguiente resultado:

**Tabla 28**  
**Prueba de consumo con el sistema de admisión diseñado**

No. Prueba	Sistema Diseñado Vd		
	Kilómetros recorridos	Volumen sobrante Vs (ml)	Volumen consumido Vc (ml)
1	2,08	1660	340
2	2,08	1673	327
3	2,08	1670	330
4	2,08	1655	345

#### 4.4.3 Comparación del consumo de combustible con los 2 sistemas de admisión de aire/combustible

Después de realizar las pruebas de consumo con cada sistema de admisión de aire / combustible (Original y diseñado), se realizó una tabla estadística del consumo de combustible de la motocicleta UM DSR200, los que permitió determinar la variación del consumo de combustible entre los 2 sistemas.

**Tabla 29.**  
**Consumo de combustible con los 2 sistemas de admisión de aire/combustible**

Valores	Volumen consumido Vc (ml)	
	Sistema Original Vo	Sistema Diseñado Vd
1	350	340
2	357	327
3	359	330
4	354	345
Mínimo	350	327
Máximo	359	345
Promedio	355	335,5
<b>% variación</b>	<b>5,49%</b>	

La anterior tabla indica una variación promedio de combustible de 19,5 ml, siendo el valor más alto (359 ml) con el sistema original en una distancia

total de 2.08 km, este análisis equivale a una reducción de consumo del 5,49% utilizando el sistema de admisión diseñado.

#### 4.4.4 Consumo de combustible por kilometro

A continuación, los resultados obtenidos anteriormente se los relacionó entre la distancia recorrida por la motocicleta y el volumen de combustible consumido, lo cual fue expresado en kilómetros por litro (ml/km)

**Tabla 30**  
**Indicador de consumo de combustible por cada kilómetro**

Km recorridos	Sistema Original Vo		Sistema Diseñado Vd	
	Consumo Vc (ml)	Consumo Vc (l)	Consumo Vip (ml)	Consumo Vip (l)
1	170,67	0,17	161,30	0,16
1,1	187,74	0,19	177,43	0,18
1,2	204,81	0,20	193,56	0,19
1,3	221,88	0,22	209,69	0,21
1,4	238,94	0,24	225,82	0,23
1,5	256,01	0,26	241,95	0,24
1,6	273,08	0,27	258,08	0,26
1,7	290,14	0,29	274,21	0,27
1,8	307,21	0,31	290,34	0,29
1,9	324,28	0,32	306,47	0,31
2	341,35	0,34	322,60	0,32
<b>2,08</b>	<b>355,00</b>	<b>0,36</b>	<b>335,50</b>	<b>0,34</b>

El resultado obtenido se lo interpreta de la siguiente manera:

- Consumo con el sistema original = 170,67 (ml/km) = 0,17 (l/km)
- Consumo con el sistema diseñado = 161,30 (ml/km) = 0,16 (l/km)

#### 4.5 Gases de escape

##### 4.5.1 Resultados con el sistema de admisión original

A continuación, se refleja los niveles de emisiones contaminantes que se producen en la motocicleta después de realizar 2 pruebas.

**Tabla 31.**  
**Resultados de las emisiones contaminantes con el sistema de admisión original**

No. Prueba	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	REGIMEN MOTOR	TEMPERATURA
UNIDAD	(ppm)	(%Vol)	(%Vol)	(%Vol)	(RPM)	(°C)
1	899,00	9,06	2,09	1,10	1403-1472	87-88
2	305,00	6,95	1,24	1,33	1556-1547	89-90

Como se puede ver en la tabla anterior ninguna de las 2 pruebas realizadas están fuera del rango de la normativa,

- La primera prueba el valor de HC y CO en Ralentí están fuera del límite.
- La segunda prueba el valor de CO Ralentí esta fuera del límite.

#### 4.5.2 Resultados con el sistema de admisión diseñado

A continuación, se refleja los niveles de emisiones contaminantes que se producen en la motocicleta después de realizar 2 pruebas.

**Tabla 32.**  
**Resultados de las emisiones contaminantes con el sistema de admisión diseñado**

No. Prueba	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	REGIMEN MOTOR	TEMPERATURA
UNIDAD	(ppm)	(%Vol)	(%Vol)	(%Vol)	(RPM)	(°C)
NORMA	2000,00	4,50	7,00	5,00	1350 - 1650	80 – 90
1	991,00	4,32	5,48	2,60	1472	88
2	1421,00	4,05	6,60	3,27	1547	90

Como se puede ver en la tabla anterior ninguna de las 2 pruebas realizadas están fuera del rango de la normativa,

- La primera prueba el valor de CO en Ralentí esta fuera del límite.
- La segunda prueba el valor de CO en Ralentí esta fuera del límite.

#### 4.5.3 Comparación de los resultados de gases contaminantes de la motocicleta con el sistema de admisión original y el diseñado

La variación de los diferentes gases de escape se ve reflejado en la siguiente tabla:

**Tabla 33.**  
**Variación de los gases de escape entre el sistema de admisión original y el diseñado en las diferentes pruebas**

No. Prueba	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	REGIMEN MOTOR	TEMPERATURA
UNIDAD	(ppm)	(%Vol)	(%Vol)	(%Vol)	(RPM)	(°C)
1	1785,00	0,34	-1,86	2,72	1403-1472	87-88
2	305,00	-3,05	0,24	1,33	1556-1547	89-90

Como se puede observar el CO<sub>2</sub> en la primera prueba no disminuye con el sistema de admisión diseñado, mientras que en la segunda prueba el gas que no disminuye es el CO

**Tabla 34.**  
**Porcentaje de variación de los gases contaminantes entre el sistema de admisión original y el diseñado en las diferentes pruebas**

Gas contaminante	Prueba 1	Prueba 2	PROMEDIO
HC	47,57%	17,67%	32,62%
CO	67,71%	63,18%	65,45%
CO <sub>2</sub>	27,61%	15,82%	21,71%
O <sub>2</sub>	29,73%	28,91%	29,32%

Como se puede observar en la tabla anterior en ambas pruebas refleja una mejoría en el HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> con el sistema de admisión diseñado.



## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1 Recursos

Este capítulo aborda sobre los diferentes recursos que fueron necesario para dar un pleno cumplimiento con lo propuesto en el capítulo 1, a continuación se detallan cada uno de esto.

##### 5.1.1 Recursos humanos

El recurso humano es el primero en utilizar ya que si tomamos en cuenta la necesidad de respaldar la investigación científica realizada, en necesario contar con personas que tengan un vasto conocimiento sobre el tema tratado.

**Tabla 35.**  
**Recursos Humanos**

Nombre	Función
Ing. Luis Mena	Director/supervisor de diseño
Sr. Julio Ramírez	Desarrollador/investigador de diseño

##### 5.1.2 Recursos físicos

La ejecución de la investigación necesita de un medio físico libre de contaminación, con las herramientas y equipos necesarios para obtener los mejores resultados.

**Tabla 36.**  
**Recursos físicos**

Actividad	Lugar
Fase práctica de la investigación	-Dynamica Competicion, Pasaje Godoy E152 Isaac Albeniz, Quito Ecuador
	-Taller de preparación de motocicletas "FELU", Av. La Esperanza y Luis Félix López, Manabí-Ecuador
	Taller de motocicletas "Pegazo Moto Club", Av. Jipijapa y Francisco Ballesteros, Quito-Ecuador
Fase teórica de la investigación	-Laboratorio de Autotrónica, Universidad de las fuerzas Armadas ESPE-L, Campus Belisario Quevedo.
	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L

### 5.1.3 Recursos financieros

En la investigación científica fue necesario de materiales, equipos herramientas y partes automotrices, lo cual implico de una inversión para poder adquirirlos, misma que es detallada a continuación:

**Tabla 37.**  
**Recursos financieros**

<b>No.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cant.</b>	<b>Valor Unitario (U.S.D)</b>	<b>Valor Total (U.S.D)</b>
1	Bomba de combustible	1	35,00	35,00
2	Kit Regulador de presión	1	60,00	60,00
3	Acoples, abrazaderas y mangueras	1	40,00	40,00
4	Filtro de combustible	1	25,00	25,00
5	Ducto con sus acoples	1	100,00	100,00
6	Sensor MAP	1	40,00	40,00
7	Sensor TPS	1	30,00	30,00
8	Sensor temperatura	2	2,50	5,00
9	Inyector	1	40,00	40,00
10	Filtro de aire cónico	1	15,00	15,00
11	Kit Fibra de vidrio	1	40,00	40,00
12	Pegamento Epoxi	2	7,00	14,00
13	Uso dinamómetro	2	100,00	200,00
14	Combustible	2gal	2,05	4,10
15	Cables y sockets	1	25,00	25,00
16	Movilización	1	80,00	80,00
17	Suministros de oficina	1	30,00	30,00
18	Imprevistos	1	100,00	100,00
			<b>TOTAL</b>	<b>883,10</b>

#### **5.1.4 Recursos materiales**

La investigación por su naturaleza requirió de dos tipos de recursos materiales detallados a continuación:

**Tabla 38.**  
**Recursos materiales**

<b>Tipo</b>	<b>Material</b>
Práctica de la investigación	Equipo de protección personal EPP
	Herramientas automotrices Cargador de batería
Teórica de la investigación	Papel bond
	Manuales técnicos de los fabricantes
	Libreta de apuntes
	Memoria portátil

### 5.1.5 Recursos tecnológicos

Para la ejecución de la investigación se requirió el empleo de equipos que permitieron obtener y almacenar datos técnicos necesarios para su análisis, mismo que están detallados a continuación:

**Tabla 39**  
**Recursos tecnológicos**

<b>Actividad</b>	<b>Equipo</b>
Fase práctica	Osciloscopio DSO-2250
	Multímetro
	Dinamómetro de chásis DYNOMite
	Computador portátil
Fase teórica	Cámara Go pro
	Impresora
	Internet

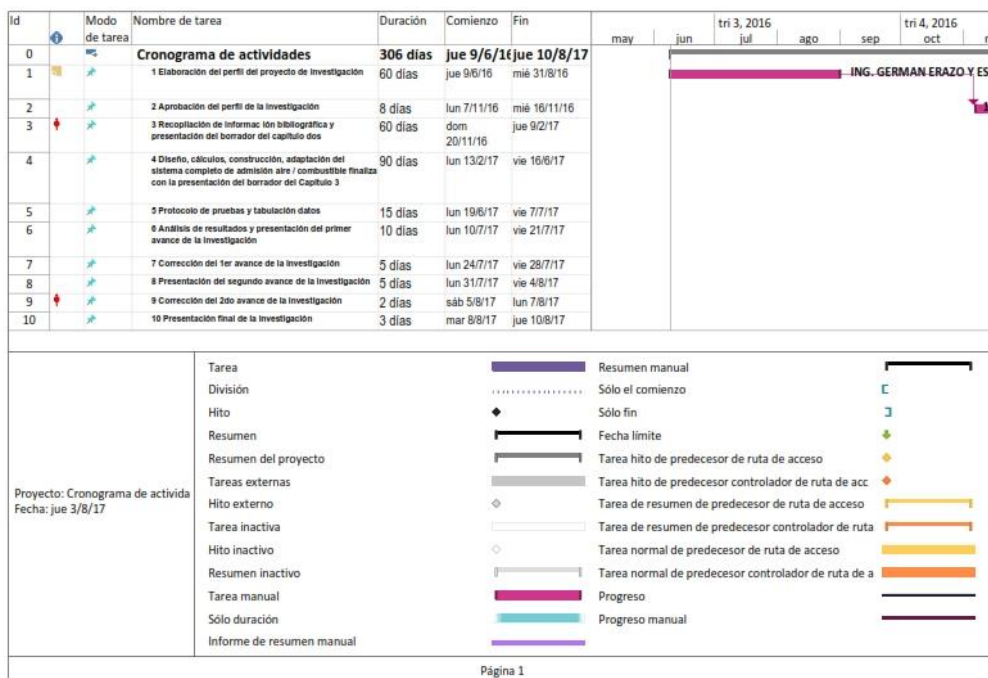
## **5.2 Análisis de costo del proyecto**

Para la ejecución del presente proyecto e investigación se procedió a realizar una cotización rápida de los diferentes componentes que se iban a utilizar además del mantenimiento de la motocicleta UM DSR 200 cc objeto de este estudio también se cotizó la utilización del dinamómetro para la toma de los distintos parámetros característicos del motor, el costo total fue de 883,10 U.S.D, mismo que fue costado por el investigador.

## **5.3 Análisis del costo beneficio**

Finalizado el proyecto de investigación se evidenció varios beneficios desde lo personal hasta lo social, en cuanto a lo personal refiere se puede explicar con la ampliación de los conocimientos y la experiencia adquirida al estar al día con un sistema automotriz que ha evolucionado para mejorar las prestaciones de los vehículos al mejorar el sistema de admisión de la mezcla aire / combustible; por otro lado, socialmente la investigación puede ser utilizada para estudiantes y profesionales que necesiten saber más sobre el cambio de sistema de admisión con los recursos disponibles en el país.

### 5.4 Cronograma de actividades



## CONCLUSIONES

- La investigación teórica se basó en tesis de doctorado y en libros en idioma inglés, esto debido a la complejidad de los fenómenos físicos que ocurren durante la admisión de aire y combustible.
- Para la selección de los componentes en la implementación del sistema de inyección se tomó como base las características del motor mono cilíndrico 200 cc dadas por el fabricante y la disponibilidad en el mercado local.
- Se demostró que el material Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) utilizado en la fabricación del ducto de admisión es lo suficientemente resistente y la mejor opción, ya que su costo es bajo y la disponibilidad en el mercado es variada.
- La tecnología de impresión 3D utilizada para la fabricación del ducto de admisión permitió la capacidad de diseñar partes con geometrías totalmente irregulares, tolerancias mínimas, además de ahorrar tiempo y dinero.
- El aire que ingresa al cilindro por el ducto de admisión tiene una relación directa con el rendimiento volumétrico.
- El rendimiento volumétrico calculado con el sistema original de admisión posee una curva irregular a lo largo de los diferentes regímenes del motor, a tal punto que presenta una gran deficiencia de rendimiento volumétrico a bajas revoluciones desde 1200 rpm – 6000 rpm, después de cruzar este régimen el rendimiento volumétrico aumenta considerablemente hasta llegar a encontrarse en plena carga (9000 rpm)
- El rendimiento volumétrico simulado con el sistema diseñado de admisión posee una curva regular a lo largo de los diferentes regímenes del motor, logrando así una mejoría en promedio de 3,79%

- La elaboración de diferentes modelos de ductos de admisión analizados en Solid Works fluid simulation, permite desarrollar análisis del flujo de aire a una presión y temperatura determinada para poder entender cómo se comportan las líneas de este flujo desde el ingreso hasta la salida de los diferentes ductos, pudiendo así seleccionar el que mejor rendimiento volumétrico entregue a la salida.
- Al cambiar el sistema de carburación (original de la motocicleta) por el sistema de inyección electrónica (objeto de este estudio) evidenció una reducción de 5,49% en cuanto al consumo de combustible.
- El sistema de admisión aire / combustible diseñado permitió una reducción promedio de 32,62% en los Hidrocarburos (HC), 65,45% en el monóxido de carbono (CO), 29,32% en el oxígeno (O<sub>2</sub>), 21,71% en el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) todo esto con relación al sistema de admisión original.
- La puesta en marcha de la motocicleta evidenció que el sistema de inyección por Velocidad-Densidad no es adecuado para su implementación en motores de baja cilindrada debido a que la variación de presión dentro del ducto es muy pequeña y por lo tanto no puede ser detectada por el sensor MAP provocando que el motor se encuentre acelerado.
- El sistema de inyección por Alfa-N presentó una mejoría en el desempeño del motor a pesar de presentar inestabilidad a altos regímenes, esto debido a que el caudal de aire que ingresa no es posible medir con el sistema adoptado en este estudio.
- La potencia con el sistema de admisión diseñado presenta un aumento de 5,19 Hp con relación al sistema de admisión original a 7100 rpm.
- El torque con el sistema de admisión diseñado presenta un aumento 5,71 N-m (4,21 ft-lb) con relación al sistema de admisión original a las 6000 rpm.



## RECOMENDACIONES

- Realizar comprobaciones y ajustes a todos los equipos de medición antes de iniciar las prueba
- Para calibrar el sistema Alfa-N es necesario contar con un dinamómetro para realizar numerosas pruebas con el fin de calibrar el sistema adecuadamente y tener incrementos en la potencia y torque.
- Para implementar el sistema de inyección Velocidad-Densidad de aire es necesario contar con un sensor MAF de tamaño adecuado en cuanto a la toma de admisión del motor.
- Utilizar una bomba de alimentación de combustible externa, para evitar realizar adaptaciones en el tanque de combustible.
- Aislar de forma correcta el arnés de cables con el fin de no tener cortocircuitos.
- Utilizar acoples a diferentes grados de inclinación para evitar doblar mangueras y ocasionar una obstrucción en las líneas de alimentación de combustible.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AC Delco. (2009). Catálogo de Bombas de gasolina 2009. México, D.F.:
- Aeromotive Inc. (2003). 13101 / 13151-13109 / 13159 and 13114 Installation Instructions. *Aeromotive Fuel Systems*. Lenexa, Kansas, Estados Unidos.
- Banish, G. (2007). *Engine Managment - Advanced Tunning*. Minnesota: CarTech.
- Booster, B. (2015). *Encendidoelectrónico*. Recuperado el 15 de Abril de 2017, obtenido de: <https://encendidoelectronico.com/sensores-tps/sensores-tps-parte-1/>
- Bosch, R. (2003). *Técnica de los gases de escape para motores de gasolina*. Alemania.
- Brain Bee. (2016). *Manual de uso AGS-688*. Italia: Brain bee S.A.
- Cartek. (2001). *gnrepresentaciones.c*. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, obtenido de: <http://gnrepresentaciones.co/index.php/Analizador-de-Gases/Analizador-de-gases-para-gasolina-50-100-CARTEK.html>
- Cengel , Y. A., & Boles, M. A. (2009). *Termodinámica*. México, D.F.: McGraw-Hill / Interamericana editores S.A. de C.V.
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México, D.F.: McGraw-Hill / Interamericana editores S.A. de C.V.
- Cerda Altamirano, B. S., & Proaño Madrid, D. A. (9 de Diciembre de 2015). Diseño y construcción de un deshidratador rectangular de inducción para la obtención de pasa de uvilla con capacidad de 300 kg/día para la empresa Equinox Business Limeted (Tesis de pregrado). Sangolqui, Escuela Politécnica del Ejército, Pichincha, Ecuador.
- Chiliquinga Bustos, J. L., & Ruiz Ruiz, C. M. (2016). Análisis del potencial energético del metanol y etanol como aditivo orgánico de la gasolina extra, para su utilización en el motor de combustión ciclo otto en proporciones del 5%, 10% y 15% (Tesis pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- Diaz Sinche, D. V., Hurtado Matute, J., Molina Campoverde, P. A., & Valarezo Ordoñez, J. F. (Enero de 2014). Diseño, construcción e implementación del colector de admisión para el motor de combustión interna Yamaha FZR 600 cc para la competencia SAE (Tesis de pregrado). Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Azuay, Ecuador.
- DYNO mite Dynamometer. (2017). Land & Sea's DYNOMite Chassis Dynamometer Systems. Estados Unidos. Obtenido de <http://www.dynomitedynamometer.com/chassis-dyno/chassis-dyno.htm>
- Gallegos Murillo, M. A. (2005). Análisis térmico de los motores de combustión interna a gasolina mediante el antidetonante metil terbutil eter (MTBE) (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

- González Calleja, D. (2015). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Madrid: Paraninfo.
- González, D. (2011). *Motores*. Madrid: Paraninfo.
- Hinojosa Jácome, D. E., & Piña Guaman, D. A. (2015). Diseño y construcción del sistema de control de ingreso y salida de gases del motor honda CBR 600 F4i para el prototipo formula SAE 2014 (Tesis de pregrado). Latacunga, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Cotopaxi, Ecuador.
- INEN, I. E. (2000). Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o "Ralentí". Prueba estática. *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000, Primera*.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2010). GASOLINA. REQUISITOS. *NTE INEN 935:2010*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.
- K&N Engineering, Inc. (2017). *K&N Filtros de rendimiento*. Recuperado el 10 de mayo de 2017, obtenido de [https://www.knfiltr.com/filter\\_facts.htm](https://www.knfiltr.com/filter_facts.htm)
- Lema Romero, C. F., & Tobar Arizaga, G. J. (2011). Diseño de los colectores de admisión y escape con análisis comparativo para un motor estandar G10 de un vehículo suzuki forza (tesis de pregrado). Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Lenz, H. P. (1990). *Gemischbildung bei ottomotoren*. New York: Springer-Verlag, Wien.
- Magneti Marelli S.p.A. (Noviembre de 2010). Inyector. *Inyector SF IWP rev7.0 p*. Milano, Italia .
- Meganeboy, D. (2014). Inyección gasolina. *Aficionados a la mecánica*. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, Obtenido de: <http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion-k-jetronic.htm>
- Murrugarra Pelaez, F. (2009). *Obtención de gasolinas de alto octano vía rectificación de una nafta craqueada*.
- Nevot Cercós, J. (Diciembre de 1999). Diseño de un controlador avanzado basado en redes neuronales para la gestión de la mezcla aire - gasolina en un motor alternativo (tesis de doctorado). Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Ocaña, A. (2000). *Tratado del automóvil: La técnica en los siglos XX-XXI*. España: Inversiones Editoriales.
- Olivera, M. A. (2013). *Diseño de un Dinamómetro de Chasis*. Mexico, D.F.: UNAM.
- Orovio Astudillo, M. (2010). Tecnología del Automovil. Madrid: Paraninfo.
- Panchi, F., & Salazar, D. (2007). Adaptación de un sistema de inyección electrónica de combustible multipunto MPFI en un vehículo lada modelo 2104 fabricado en el año 1994, (Tesis de pregrado). Latacunga, Escuela Politecnica del Ejército ESPE, Cotopaxi, Ecuador.

- Pontificia Universidad Católica de Chile. (s.f.). *quimica.uc.cl*. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, Obtenido de: [http://www.quimica.uc.cl/uploads/commons/images/f\\_indice%20de%20octano.pdf](http://www.quimica.uc.cl/uploads/commons/images/f_indice%20de%20octano.pdf)
- Roshfrans. (9 de Septiembre de 2015). ¿Qué es la Unidad de Control de Motor (ECU)? Recuperado el 25 de Mayo de 2017, Obtenido de: <http://www.roshfrans.com/que-es-la-unidad-de-control-de-motor-ecu/>
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de Combustión Interna*. Madrid: Universidad Nacional De Educación A Distancia.
- Sánchez Gutiérrez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Málaga: IC Editorial.
- Sanz, S. (2011). *Motores*. EDITEX.
- Taylor, C. F. (1990). *The internal-Combustion Engine in Theory and Practice. Vol1: Thermodynamics, Fluid Flow, Performance; Vol. 2; Combustion, Fuels, Materials, Design* (Vol. 1 y 2). The M.I.T. Press.
- Texas Instruments. (2016). *Data Sheet LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Texas, Estados Unidos.
- UM Global. (2014). Especificaciones técnicas Moto DSR 2011. Recuperado el 1 de 12 de 2016, Obtenido de: <http://umglobal.com/es/index.php/company>
- Viñuelas García, F. (2014). Diseño y análisis del sistema de admisión de un motor encendido provocado para su implantación en un vehículo de fórmula SAE (Tesis de pregrado). Sevilla, Universidad de Sevilla, España.
- Widman, R. (1 de Junio de 2009). *Widman International SRL*. Recuperado el 10 de Marzo de 2017, Obtenido de: <http://widman.biz/boletines/boletines.html>

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor:

**JULIO ANDRÉS RAMÍREZ MORALES**

En la ciudad de Latacunga, a los **4 días del mes de agosto de 2017.**

Ing. Luis Meña

DIRECTOR DEL PROYECTO

**Aprobado por:**

Ing. Dapilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Freddy Jaramillo

SECRETARIO ACADÉMICO