



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A GASOLINA  
UTILIZANDO BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA  
PROVINCIA DE IMBABURA - ECUADOR”**

**PLAN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:**

**RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER**

**DIRECTOR:**

**ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSC.**

**IBARRA, 2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100364164-2
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER
<b>DIRECCIÓN:</b>	OTAVALO – CDL. 31 DE OCTUBRE CALLE ULPIANO BENITEZ Y LUIS E. CISNEROS
<b>E-MAIL:</b>	dxrodriguez@utn.edu.ec
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	
<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0992457035

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A GASOLINA UTILIZANDO BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA - ECUADOR”
<b>AUTOR:</b>	RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER
<b>FECHA: AAAA/MM/DD</b>	2017/12/07
<b>SOLO PARA TRABAJO DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSC.

## **2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.**

Yo, **RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER**, con cédula de identidad Nro. **172130302-0**; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3. CONSTANCIA.**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presenta autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de diciembre del 2017.

### **EL AUTOR:**

**Firma:** .....



**Nombre:** Rodríguez Arias Darío Xavier

**Cédula de Identidad:** 172130302-0



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER**, con cédula de identidad Nro. **172130302-0**; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra o trabajo de grado denominado: **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL MOTOR A GASOLINA UTILIZANDO BIOETANOL A PARTIR DE DESPOJOS DE MAÍZ EN LA PROVINCIA DE IMBABURA - ECUADOR”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 07 días del mes de diciembre del 2017.

Firma: 

Nombre: Rodríguez Arias Darío Xavier

Cédula de Identidad: 172130302-0

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por el señor: **Rodríguez Arias Darío Xavier**, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Ing. Hernández Rueda Erik Paúl Msc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco especialmente a mis padres, quienes desde inicios supieron orientar mi camino dentro de los lineamientos más acertados; agradezco por el sacrificio que hicieron a fin de que pudiera realizar mis estudios universitarios y poder ser una persona preparada para el futuro.

A mis hermanos, mis abuelos y mis tíos por el apoyo constante que me brindaron y porque siempre tuvieron fe en mí. Su apoyo fue de suma importancia en este logro tan importante en mi vida.

De igual manera un agradecimiento a las personas que han tomado parte en el desarrollo de esta investigación, especialmente a mi asesor de tesis, Ing. Hernández Paúl Msc. por el apoyo y por compartir sus conocimientos que me ayudaron en el desarrollo de la presente investigación. A Cristian Túquerrez por facilitarme el vehículo para realizar los ensayos del trabajado de grado.

**RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER**

## **DEDICATORIA**

Al culminar mis estudios quiero dedicar el presente trabajo de grado primeramente de manera especial a Dios, por haberme permitido terminar con esta etapa de mi vida con satisfacción y salud.

A toda mi familia, en especial a mis padres Miriam Arias y Remigio Rodríguez, por ser el pilar fundamental en mi vida ya que con su esfuerzo, apoyo y comprensión he logrado culminar este sueño tan anhelado en mi vida. A mis hermanos Katherine y Jhoan, por ser mi apoyo y mi motivación para seguir adelante.

A mi abuelito José Elías Arias, quien es un motivo importante para superarme en la vida y quien nos cuida todos los días desde el cielo.

Y a todas las personas y familiares quienes me incentivaron diariamente con motivación y consejos para poder culminar esta meta.

**RODRÍGUEZ ARIAS DARÍO XAVIER**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	iv
CERTIFICACIÓN .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
RESUMEN .....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPÍTULO I.....	1
1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 DELIMITACIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL.....	3
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5



<b>2.1 COMBUSTIBLES FÓSILES.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 EL CARBÓN. ....	5
2.1.2 PETRÓLEO.....	5
2.1.3 EL GAS NATURAL.....	6
<b>2.2 BIOMASA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA.....</b>	<b>7</b>
2.3.1 FUENTES DE PRODUCCIÓN.....	7
2.3.2 ESTRUCTURA QUÍMICA.....	8
<b>2.4 BIOCOMBUSTIBLES. ....</b>	<b>8</b>
2.4.1 OBTENCIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	9
2.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	10
2.4.2.1 Biocombustibles de primera generación. ....	10
2.4.2.2 Biocombustibles de segunda generación. ....	10
2.4.2.3 Biocombustibles de tercera generación.....	11
2.4.3 SUSTENTABILIDAD DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	11
2.4.4 SITUACIÓN MUNDIAL DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	12
2.4.5 BIODIÉSEL. ....	12
2.4.6 BIOGÁS.....	13
<b>2.5 BIOETANOL.....</b>	<b>14</b>
2.5.1 FUENTES DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL.....	14
2.5.2 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL.....	15
2.5.2.1 Fermentación de azúcares. ....	15
2.5.2.2 Obtención de bioetanol por vía bioquímica.....	16
<b>2.6 LA HUELLA DE CARBONO. ....</b>	<b>16</b>
2.6.1 ALCANCES DE LA HUELLA DE CARBONO.....	17
2.6.2 CICLO DE GESTIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO. ....	18

<b>2.7 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.</b>	<b>19</b>
<b>2.8 MOTOR OTTO.</b>	<b>21</b>
2.8.1 CICLOS DE FUNCIONAMIENTO.	21
2.8.2 CICLO TEÓRICO DE FUNCIONAMIENTO.	22
2.8.2.1 Carrera de Admisión.	22
2.8.2.2 Carrera de compresión.	23
2.8.2.3 Carrera de trabajo.	23
2.8.2.4 Carrera de escape.	24
2.8.3 DIAGRAMA CICLO TEÓRICO.	24
2.8.4 CICLO REAL DE FUNCIONAMIENTO.	25
2.8.5 EFICIENCIA DEL MOTOR OTTO.	27
<b>2.9 DESEMPEÑO MECÁNICO DEL MOTOR OTTO.</b>	<b>27</b>
2.9.1 PAR MOTOR.	27
2.9.2 POTENCIA.	28
2.9.3 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.	29
2.9.3.1 Consumo específico.	29
2.9.4 MEDICIÓN DE PAR MOTOR Y POTENCIA.	29
2.9.4.1 Banco motor	30
2.9.4.2 Banco de rodillos	30
2.9.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS.	30
2.9.5.1 Curva de par motor.	31
2.9.5.2 Curva de potencia.	32
2.9.5.3 Curva de consumo específico.	32
2.9.6 EMISIONES CONTAMINANTES.	33
2.9.6.1 Gases contaminantes.	33
2.9.6.2 Gases no contaminantes.	34
<b>2.10 GLOSARIO DE TÉRMINOS.</b>	<b>36</b>

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>37</b>
<b>3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 FUNDAMENTACIÓN TECNOLÓGICA.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR. ....</b>	<b>38</b>
3.2.1 DATOS DE FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL MOTOR.....	39
3.2.2 REVISIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN. ....	39
3.2.3 PRUEBA DE PRESIÓN EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN.....	41
3.2.3.1 Procedimiento. ....	41
3.2.4 PRUEBA DE COMPRESIÓN DEL MOTOR.....	43
3.2.4.1 Procedimiento. ....	43
<b>3.3 PREPARACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES A UTILIZAR... 45</b>	
3.3.1 PROPIEDADES DE LA GASOLINA SÚPER.....	46
3.3.2 PROPIEDADES DEL ETANOL. ....	47
3.3.3 PREPARACIÓN MEZCLA GASOLINA/ETANOL E10. ....	48
3.3.3.1 Procedimiento. ....	49
3.3.4 CARACTERIZACIÓN MEZCLA GASOLINA/ETANOL E10. ....	50
<b>3.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO. .... 51</b>	
3.4.1 ENSAYOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	51
3.4.1.1 Consumo de combustible a ralentí. ....	52
3.4.1.2 Consumo de combustible en carretera.....	54
3.4.2 ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES. ....	57
3.4.2.1 Descripción de la prueba. ....	59
3.4.3 PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA.....	63
3.4.3.1 Dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000 LKW. ....	64
3.4.3.2 Evaluación y preparación del vehículo. ....	65
3.4.3.3 Desarrollo del protocolo de pruebas.....	66

<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>73</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 ANÁLISIS DE LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS.....</b>	<b>73</b>
4.1.1 COMPARACIÓN GASOLINA SÚPER - BIOETANOL E10.....	73
<b>4.2 ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....</b>	<b>74</b>
4.2.1 CONSUMO A 900 RPM (RALENTÍ). .....	74
4.2.2 CONSUMO EN CARRETERA. ....	75
<b>4.3 ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES. ....</b>	<b>76</b>
4.3.1 MONÓXIDO DE CARBONO (CO). .....	78
4.3.2 DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ). .....	80
4.3.3 HIDROCARBUROS (HC). ....	81
4.3.4 OXÍGENO (O <sub>2</sub> ).....	82
4.3.5 FACTOR LAMBDA.....	83
<b>4.4 ANÁLISIS DE TORQUE Y POTENCIA.....</b>	<b>84</b>
4.4.1 TORQUE Y POTENCIA CON GASOLINA SÚPER. ....	84
4.4.2 TORQUE Y POTENCIA CON BIOETANOL E10. ....	85
4.4.3 COMPARACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS. ....	87
<b>4.5 TABLA DE ANÁLISIS GENERAL.....</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>90</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	90
5.2 RECOMENDACIONES.....	92
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>96</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de biomasa.....	6
Figura 2. Biomasa lignocelulosa. ....	7
Figura 3. Materia prima para biocombustibles de primera generación. ....	10
Figura 4. Materia prima para biocombustibles de segunda generación. ....	11
Figura 5. Materia prima para biocombustibles de tercera generación. ....	11
Figura 6. Esquema simplificado de bioetanol a partir de caña de azúcar. ....	15
Figura 7. Etanol de biomasa lignocelulósica. ....	16
Figura 8. Alcances y emisiones a través de la cadena de valor.....	17
Figura 9. Fases del ciclo de gestión de la huella de carbono.....	18
Figura 10. Componentes del motor de combustión interna. ....	20
Figura 11. Ciclo de funcionamiento motor Otto.....	22
Figura 12. Carrera de admisión. ....	22
Figura 13. Carrera de compresión.....	23
Figura 14. Carrera de trabajo.....	23
Figura 15. Carrera de escape.....	24
Figura 16. Diagrama ciclo teórico.....	24
Figura 17. Diagrama ciclo real.....	25
Figura 18. Diagrama ciclo real-punto 5.....	26
Figura 19. Par motor aplicado al cigüeñal.....	28
Figura 20. Medición de par motor y potencia.....	29
Figura 21. Curvas características.....	31
Figura 22. Curva par motor.....	31
Figura 23. Curva de potencia.....	32
Figura 24. Curva de consumo específico.....	33
Figura 25. Fases del desarrollo de la propuesta.....	37
Figura 26. Filtro de combustible.....	40
Figura 27. Regulador de presión.....	40
Figura 28. Inyector.....	40
Figura 29. Conductos de combustible.....	41
Figura 30. Cañería desconectada del riel de inyectores.....	42
Figura 31. Manómetro de presión conectado.....	42

<b>Figura 32. Medición de la presión de combustible en la línea de alimentación.....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 33. Desactivación de capuchones de cables de bujías. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 34. Desmontaje de bujías.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 35. Instalación del manómetro para medir compresión.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 36. Medida de compresión.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 37. Gasolina súper y bioetanol E10. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 38. Mezcla gasolina/etanol E10. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 39. Medición gasolina súper. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 40. Colocación de gasolina en el envase referencial. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 41. Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado. ....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 42. Mecanismo externo de alimentación de combustible. ....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 43. Recipiente graduado. ....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 44. Ruta de prueba carretera.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 45. Distancia recorrida en odómetro parcial.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 46. Analizador de gases BRAIN BEE AGS-688. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 47. Dispositivo cuentarrevoluciones. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 48. Instalación de la sonda de prueba. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 49. Transmisión de datos.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 50. Valores resultantes de CO, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> con gasolina súper.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 51. Valores resultantes de hidrocarburos con gasolina súper.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 52. Valores resultantes de lambda con gasolina súper. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 53. Valores resultantes de CO, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> con bioetanol E10.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 54. Valores resultantes de hidrocarburos con bioetanol E10.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 55. Valores resultantes de lambda con bioetanol E10. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 56. Dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000 LKW.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 57. Pupitre de comunicaciones marca MAHA. ....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 58. Ruedas motrices del automotor sobre rodillos del dinamómetro.....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 59. Anclaje del arnés de seguridad. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 60. Sonda de temperatura de aceite de motor. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 61. Equipo de medición de aceite de motor. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 62. Colocación del ventilador refrigerante. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 63. Acople de sistema de absorción de gases.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 64. Pantalla de sincronización de rpm. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 65. Pantalla de control de temperatura.....</b>	<b>70</b>

<b>Figura 66. Pantalla de datos obtenidos.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 67. Resultados de la prueba de torque y potencia con gasolina súper. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 68. Resultados de la prueba de torque y potencia con bioetanol E10. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 69. Consumo gasolina súper y bioetanol E10 a ralentí. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 70. Consumo gasolina súper y bioetanol E10 en carretera. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 71. Análisis de monóxido de carbono. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 72. Análisis de dióxido de carbono. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 73. Análisis de hidrocarburos. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 74. Análisis de oxígeno. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 75. Análisis factor lambda. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 76. Curva de torque máximo con gasolina súper. ....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 77. Curva de potencia máxima con gasolina súper. ....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 78. Curva de torque máximo con bioetanol E10. ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 79. Curva de potencia máxima con bioetanol E10. ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 80. Torque con gasolina súper y bioetanol E10. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 81. Potencia con gasolina súper y bioetanol E10. ....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura química de materiales de biomasa lignocelulósica.....	8
Tabla 2. Procesos de obtención de biocombustibles.....	9
Tabla 3. Composición bioquímica del biogás.....	13
Tabla 4. Propiedades químicas: gasolina y bioetanol.....	14
Tabla 5. Elementos básicos de los motores de combustión interna alternativos. ...	20
Tabla 6. Parámetros más importantes MCIA.....	21
Tabla 7. Especificaciones del motor Chevrolet Corsa Wind. ....	38
Tabla 8. Datos prueba de compresión .....	45
Tabla 9. Requisitos de la gasolina 92 octanos (RON) según la NTE INEN 935.....	46
Tabla 10. NTE INEN 2478 Requisitos etanol anhidro grado carburante .....	47
Tabla 11. Propiedades del etanol anhidro a partir de despojos de maíz.....	48
Tabla 12. Porcentajes y volúmenes de combustibles utilizados. ....	49
Tabla 13. Caracterización mezcla gasolina/etanol E10.....	51
Tabla 14. Resultados de consumo con gasolina súper a 900 rpm. ....	54
Tabla 15. Resultados prueba de consumo con bioetanol E10 a 900 rpm. ....	54
Tabla 16. Resultados consumo en carretera con gasolina súper y bioetanol E10. .	56
Tabla 17. Datos del vehículo. ....	69
Tabla 18. Comparación de valores Bioetanol E10 – Gasolina Súper. ....	73
Tabla 19. Rendimiento consumo de combustible en carretera. ....	76
Tabla 20. Norma técnica ecuatoriana INEN 2204.....	77
Tabla 21. Emisiones contaminantes con gasolina súper y bioetanol E10.....	77
Tabla 22. Torque y potencia con bioetanol E10 y gasolina súper. ....	87
Tabla 23. Análisis general.....	89



## RESUMEN

En la actualidad una de las principales fuentes de contaminación ambiental son los motores de combustión interna que trabajan con combustible derivado del petróleo y que son utilizados especialmente en la industria automotriz. El uso indiscriminado de dichos combustibles en los automotores han contribuido con gases de efecto invernadero y otros contaminantes, por lo tanto, la dependencia a estos carburantes debe reducirse debido al hecho de que es un recurso no renovable que tiende a agotarse y por el impacto negativo que provocan en el medio ambiente. El presente trabajo de grado se encuentra orientado a un tipo de investigación teórico-práctico, ya que se encuentra centrado en la investigación y búsqueda de nuevas fuentes alternas de energía como es el bioetanol a partir de despojos de maíz, con lo cual se busca reemplazar el uso de combustibles derivados del petróleo y en consecuencia disminuir la contaminación en el planeta. En la investigación se realizó un estudio de los distintos parámetros del motor, ensayos relacionados con el porcentaje de las emisiones de gases contaminantes, el consumo de combustible, el desempeño mecánico tomando en cuenta el torque y la potencia, utilizando gasolina súper de 92 octanos y una mezcla de gasolina/etanol E10, donde se evidenció que usando biocombustible en un porcentaje de 10% el consumo de combustible a ralentí disminuye 10,29% y en carretera aumenta el rendimiento del consumo en un porcentaje de 27,34%; las emisiones de gases contaminantes disminuyen, con una reducción de 66,17% en los valores de monóxido de carbono (CO) y 77,80% de hidrocarburos no combustionados (HC); la potencia del motor aumenta en un 18% y el torque de la misma manera tiende a un incremento de 15%. Con el presente estudio se demuestra, desde un punto de vista técnico ambiental, que la aplicación del bioetanol a partir de despojos de maíz en un porcentaje de 10% es una alternativa viable de sustitución a la gasolina convencional, mejorando el desempeño del automóvil en distintos parámetros y contribuyendo a la disminución de la contaminación ambiental en la ciudad y en el país.

## ABSTRACT

At present time, one of the main sources of environmental pollution are internal combustion engines that work with fuel derived from petroleum and that are used especially in the automotive industry. The indiscriminate use of such fuels in motor vehicles has contributed with greenhouse gases and other pollutants, therefore the dependence on these fuels should be reduced due to the fact that it is a non-renewable resource that tends to run out and due to the negative impact that provoke in the environment. The present work of degree is oriented to a type of theoretical-practical research, since it is focused on the research and search of new alternative sources of energy such as bioethanol from corn offal, which seeks to replace the use of petroleum derived fuels and consequently decrease pollution on the planet. In the investigation a study of the different parameters of the motor was made, essays related to the percentage of the emissions of polluting gases, the fuel consumption, the mechanical performance taking into account the torque and the power, using super gasoline of 92 octanes and a mixture of gasoline/ethanol E10, where it was evidenced that using biofuel in a percentage of 10% the fuel consumption at idle decreases by 10,29% and on the highway increases the consumption performance in a percentage of 27,34%; emissions of polluting gases decrease, with a reduction of 66,17% in the values of carbon monoxide (CO) and 77,80% of unburned hydrocarbons (HC); the power of the engine increases by 18% and the torque in the same way tends to an increase of 15%. The present study demonstrates, from a technical environmental point of view, that the application of bioethanol from corn offal in a percentage of 10% is a viable substitution alternative to conventional gasoline, improving the performance of the car in different parameters and contributing to the reduction of environmental pollution in the city and in the country.

# INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se enfoca en el análisis de funcionamiento de un motor Chevrolet Corsa 1 600 cc utilizando bioetanol a partir de despojos de maíz en comparación a la utilización del combustible tradicional a base de petróleo, como es la gasolina súper de 92 octanos. Con el desarrollo de este trabajo se busca fomentar la investigación y utilización de fuentes de energía renovables en cuanto refiere a combustibles alternativos, así como también se espera identificar las ventajas en el desempeño mecánico del motor al utilizar una mezcla de gasolina/etanol E10.

El trabajo de grado se encuentra desarrollado por estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte, el cual se lleva a cabo para promover a la utilización de fuentes alternas de combustible en la población del norte del país tomando en cuenta el área de biocombustibles.

En el inicio del trabajo se asimila directamente la problemática de la investigación, desde la situación actual concerniente al tema, contemplando el planteamiento y formulación del problema, así como también la duración y el lugar donde se desarrolla el proyecto. Igualmente se encuentran establecidos tanto el objetivo general como los objetivos específicos y la respectiva justificación para desarrollar el trabajo.

En la sección pertinente al marco teórico se detalla la parte conceptual obtenida de fuentes bibliográficas primarias y secundarias, que se refiere a la información detallada referente a los combustibles fósiles y biocombustibles, principalmente el bioetanol como combustible alternativo, dando énfasis a las fuentes principales de producción, procesos de obtención. De igual manera se describe el funcionamiento del motor de cuatro tiempos, considerando los ciclos de funcionamiento, eficiencia y desempeño mecánico del mismo. Por último se toma en cuenta las diferentes emisiones contaminantes que emanan los motores.

Se desarrolla un conjunto de pruebas para conocer los parámetros de funcionamiento del automotor utilizando la mezcla gasolina/etanol E10 y gasolina súper de 92 octanos respectivamente, detallando el procedimiento y los recursos utilizados para

cada ensayo. El proceso se lo realiza en tres etapas: la primera etapa detalla la preparación de la mezcla bioetanol E10 con su caracterización. La segunda etapa describe los protocolos y resultados obtenidos en las pruebas de consumo de combustible a revoluciones bajas y en carretera; de la misma manera se detalla el procedimiento y los resultados en los ensayos de emisiones contaminantes, torque y potencia del motor utilizando gasolina súper al 100%. La última etapa manifiesta los resultados obtenidos en las diferentes pruebas ya descritas anteriormente, pero en este caso se utiliza la mezcla gasolina/etanol E10.

Se desarrolla un análisis de los resultados conseguidos en los diferentes ensayos realizados, posteriormente con los valores obtenidos se lleva a cabo un estudio comparativo del desempeño mecánico del motor utilizando gasolina y la mezcla gasolina/etanol E10. En el análisis se toma en cuenta los aspectos concernientes al rendimiento del consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y par motor conseguidos. La derivación de toda la investigación muestra resultados mecánicos y ambientales obtenidos con cada combustible.

Para finalizar, se presentan las conclusiones y recomendaciones que son obtenidas con el análisis de los valores resultantes en la investigación, las fuentes de donde se adquiere la información concerniente al tema de trabajo de grado y al final se muestran los anexos que ayudan a garantizar el desarrollo de la investigación.

# CAPÍTULO I

## 1. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes.

En el Ecuador al igual que en otros países del mundo está creciendo la necesidad de utilizar energías renovables por la situación medio ambiental en la que se encuentra el planeta. Debido a la riqueza agrícola existente en el país se ha comenzado a interesar en el aprovechamiento de la Biomasa Residual Agrícola (BRA) para obtener energía renovable (INER, 2013). La biomasa residual es considerada una fuente de energía limpia que tiene el potencial de reducir considerablemente los gases de efecto invernadero y que puede ayudar como estrategia directa de reciclaje biológico de desechos agrícolas (Randall, Gary, & Zhuang, 2010), presentando un gran potencial en el país, ya que la biomasa es considerada como un residuo sin utilidad derivada de la producción agrícola y con su aprovechamiento se puede reducir el uso de combustibles a base de petróleo a nivel nacional.

A nivel internacional se ha valorado la capacidad que tienen los residuos agrícolas denominados biomasa residual. Países como India, China, Filipinas y Tailandia han realizado investigaciones para poder conocer la potencialidad de la biomasa residual agrícola de estiércol de animales (Núñez, 2012). En el país los desperdicios o residuos agrícolas no son aprovechados para la generación de este tipo de energías alternativas, teniendo en cuenta el potencial de energía que poseen estos residuos y que pueden ser transformados a través de diferentes métodos, uno de los procesos de obtención es el método de fermentación (Castell, 2012).

Los países que comenzaron con las investigaciones de conversiones de biomasa en etanol son: Estados Unidos, India y Brasil. La biomasa lignocelulosa más utilizada en la actualidad para desarrollar biocombustibles es el bagazo de caña de azúcar, residuo de las empresas azucareras, seguido de los despojos de la industria del procesamiento del

maíz (Verde, García, Álvarez, & Mesa, 2012). El maíz suave es el segundo cultivo agrícola de mayor producción en la provincia de Imbabura (INEC, 2016), por lo tanto, la biomasa resulta de fácil acceso y además de una inversión rentable en la elaboración de los combustibles alternativos.

Estudios realizados muestran que al utilizar una mezcla de etanol/gasolina a diferentes concentraciones aumenta considerablemente su octanaje ya que se quema mejor a altas compresiones que la gasolina, lo que se traduce en un mejor desempeño del motor (Pabón, Peña, & Estupiñán, 2012).

## **1.2 Planteamiento del problema.**

En la actualidad la contaminación que se produce en nuestro medio y en todo el mundo al utilizar combustibles derivados del petróleo como fuentes de producción energética representa una gran problemática en cuanto al uso indefinido de los mismos, si bien es cierto, los combustibles fósiles ofrecen un gran rendimiento calorífico y energético, por otro lado, al ser utilizados producen gases tóxicos responsables de la contaminación del aire.

Considerando que solo en el cantón Ibarra el 96,6% de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el 99,3% de monóxido de carbono (CO), el 97,3% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el 58,7% de compuestos orgánicos volátiles (COV) se atribuyen al tráfico vehicular (MAE, 2014). La producción de este tipo de gases y su efecto en el medio ambiente han opacado el uso de combustibles fósiles, sin mencionar su alto costo de producción y el hecho de que la materia prima de los mismos no es un recurso renovable.

En el país se tiene la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía renovable y amigable con el planeta para la protección del medio ambiente, ya que los recursos no renovables se encuentran cada vez más escasos, son de menor calidad y de mayor costo

en cuanto a la obtención de los mismos y cuyas reservas de producción tienen sus días contados (MAE, 2014).

### **1.3 Formulación del problema.**

¿Cómo realizar el análisis para conocer el desempeño mecánico de un motor Corsa Wind 1 600 cc a gasolina al trabajar con la combinación gasolina/etanol E10 en la provincia de Imbabura?

### **1.4 Delimitación temporal y espacial.**

El desarrollo del proyecto tiene una duración aproximada de siete meses, a partir de mayo del 2016 hasta noviembre del 2017, el cual se desarrolla por estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte para el beneficio medio ambiental y poblacional existente en la provincia de Imbabura, Ecuador.

### **1.5 Objetivos.**

#### **1.5.1 Objetivo general.**

Analizar el funcionamiento de un motor Corsa Wind 1.600 cc a gasolina al trabajar con bioetanol producido a partir de despojos de maíz en una combinación gasolina/etanol E10 en la provincia de Imbabura.

#### **1.5.2 Objetivos específicos.**

- Realizar la preparación y caracterización de la mezcla gasolina/etanol E10.
- Comparar el consumo de combustible del motor funcionando con gasolina y bioetanol E10.

- Efectuar un análisis de emisiones contaminantes trabajando con gasolina y bioetanol E10.
- Analizar y comparar la potencia y par motor utilizando gasolina y bioetanol E10.

### **1.6 Justificación.**

Debido a la contaminación ambiental emitida por el parque automotriz, que en su gran mayoría se origina por el uso de combustibles derivados del petróleo, se ha visto en la necesidad de investigar la aplicación práctica de combustibles alternativos en comparación con los combustibles tradicionales, determinando así las ventajas y desventajas que proporcionan los biocombustibles con respecto a la preservación del medio ambiente y a la salud de la población.

Con ello se promueve y concientiza a la sociedad al uso e investigación de biocombustibles, como es específicamente el bioetanol, para buscar nuevas alternativas energéticas que ayuden a mitigar en parte la contaminación ambiental, aportando al cambio de la matriz productiva del país y contribuyendo con el objetivo N° 7 del Plan Nacional del Buen Vivir que básicamente garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental, territorial y global.



# **CAPÍTULO II**

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Combustibles fósiles.**

El uso de los combustibles fósiles es un rasgo característico de la revolución industrial para obtener energía eléctrica y térmica, utilizados en las necesidades domésticas e industriales. La utilización de estos recursos produce contaminantes químicos y físicos afectando al medio ambiente y perjudicando directa e indirectamente a los seres vivos y su entorno. Debido a que estos combustibles son fuentes de energía no renovables en un futuro se agotarán y darán paso a nuevas fuentes de energía como son los biocombustibles. El carbón, el petróleo y el gas natural son los principales combustibles fósiles.

#### **2.1.1 El carbón.**

El carbón es el más abundante de los combustibles fósiles y a su vez el más contaminante. Utilizado ampliamente en la generación eléctrica del planeta y básicamente se trata de una sustancia fósil de origen vegetal que se encuentra bajo la superficie de la tierra, formada por la descomposición lenta de materia orgánica y a medida que el tiempo pasa este combustible incrementa el contenido azufre, nitrógeno, hidrógeno y principalmente la cantidad de carbono, dando como resultado un combustible con mayor calidad y alto poder calorífico (Riba Romeva, 2015).

#### **2.1.2 Petróleo.**

Se trata de un aceite mineral de olor fuerte, color oscuro y compuesto en distintas proporciones de diferentes sustancias orgánicas; está compuesto casi totalmente por hidrógeno y carbono que se los denomina hidrocarburos. Es el combustible base para el funcionamiento de la industria automotriz, náutica, aérea y en general todas las máquinas

que tienen relación con la industria petroquímica. La combustión de derivados de petróleo emite residuos tóxicos como el plomo, azufre, monóxido de carbono e hidrocarburos, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente y los seres vivos (Riba Romeva, 2015).

### 2.1.3 El gas natural.

Es un hidrocarburo gaseoso que se compone de una combinación de gases livianos, principalmente metano 82,3% y en menor cantidad, de propano 3,27%, butano 0,46%, etano 10,3% y gasolina natural. Este combustible es el más limpio en comparación con los anteriores y que resulta de la acumulación de materia orgánica entre los sedimentos. Aparece en yacimientos, solo o junto con petróleo (Riba Romeva, 2015).

## 2.2 Biomasa.

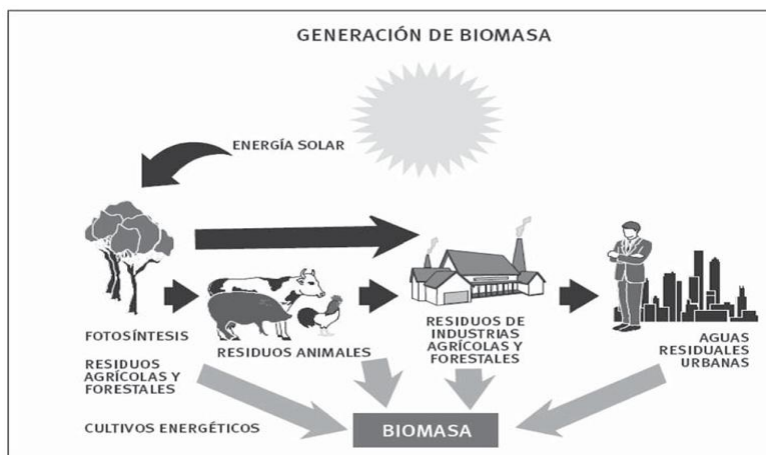


Figura 1. Generación de biomasa.  
Fuente: (Castell, 2012).

Se considera biomasa a toda la materia orgánica de origen animal o vegetal, incorporando los materiales originarios de su transformación. Esta biomasa al utilizarla como combustible libera la energía mediante la oxidación del carbono y dicha energía sustituye a los combustibles fósiles. Los principales combustibles que se logran gracias a la biomasa son: combustibles gaseosos (biogás, gas metano), líquidos (biodiésel, bioetanol) o sólidos como la leña (Abril & Navarro, 2012).

## 2.3 Biomasa lignocelulósica.

Se considera biomasa lignocelulósica al material orgánico que más abunda en el planeta tierra y sus fuentes son los residuos de las cosechas, cultivos agrícolas, residuos de la industria de la madera y desechos de la industria del papel. Las aplicaciones iniciales de esta biomasa fueron utilizadas en la construcción, como combustible y alimento fundamentalmente. Esta biomasa se encuentra constituida principalmente por hemicelulosa, celulosa y lignina; excluyendo en este grupo a la biomasa que se encuentra conformada por proteínas, azúcares y almidón, como son los cereales, mieles, granos y otros. Tienen la ventaja de ser renovables y biodegradables; son resultado de la fotosíntesis de los vegetales a través de la energía solar (Abril & Navarro, 2012).

### 2.3.1 Fuentes de producción.



Figura 2. Biomasa lignocelulosa.  
Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

Las fuentes de la biomasa lignocelulósica la constituyen los bosques, productos y desechos agrícolas, residuos de la industria de la madera y del papel, con la ventaja de que estos materiales son biodegradables y renovables, contribuyendo con energía amigable con el ecosistema. El aprovechamiento de estos materiales no es muy eficiente por los factores de disponibilidad, concentración y otros aspectos que no permiten que sea viable su uso.

### 2.3.2 Estructura química.

Tabla 1. Estructura química de materiales de biomasa lignocelulósica.

<i>Componente %</i>	<i>Coníferas</i>	<i>Maderas duras</i>	<i>Bagazo de caña</i>	<i>Paja de trigo</i>	<i>Paja de arroz</i>	<i>Algodón</i>
<i>Celulosa</i>	40-45	40-50	43-47	38-42	34-36	95-99
<i>Hemicelulosas</i>	20-27	23-33	28-32	28-32	24-30	-
<i>Lignina</i>	25-30	18-23	20-22	19-23	22-23	-
<i>Extractivos</i>	4.0	1,5-2,0	2,5-3,0	3,0-5,0	2,0-3,0	1-5
<i>Cenizas</i>	2-4	1,5-3,5	1,5-2,5	4-6	17-19	-

Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

Los materiales constituidos por biomasa lignocelulósica están formados fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa, lignina, extractivos y algunos componentes orgánicos que se convierten en cenizas después que el material es combustionado. La hemicelulosa, lignina y celulosa estructuran más del 75% de la composición del material y se encuentran formados por polímeros orgánicos que poseen un alto peso en sus moléculas (Abril & Navarro, 2012).

### 2.4 Biocombustibles.

Se define como biocombustibles a los combustibles que son obtenidos a partir de biomasa animal o vegetal y que son renovables por medio de un método sostenible que permitan el reemplazo de los combustibles derivados del petróleo. Estos biocombustibles son utilizados en una mezcla con los combustibles fósiles y los más conocidos o difundidos son el bioetanol y el biodiésel (Lede, 2011).

Las mezclas de biocombustibles con diésel o gasolina se conocen con las siglas BX para biodiésel y EX para el bioetanol, donde X indica el porcentaje de biocombustible en la mezcla con el combustible fósil, por ejemplo, B10 indica proporciones de 10 % biodiésel y 90% diésel; E5 indica 5% de etanol y 95% gasolina. Se emplean

conjuntamente con los combustibles fósiles para mejorar el rendimiento del motor y también para disminuir la contaminación que producen los gases tóxicos de escape al medio ambiente.

#### 2.4.1 Obtención de los biocombustibles.

Los biocombustibles tienen varios procesos para su producción o fabricación y cada proceso de obtención de biocombustible depende del tipo de biomasa que está disponible, si la biomasa contiene agua se puede producir biocombustible con el método de digestión anaeróbica que transforma la biomasa en metano y otros gases; o también se puede utilizar el proceso de fermentación para la producción de alcohol o hidrocarburos a través de reducción química (Lede, 2011).

Según el tipo de combustible que se desea desarrollar y según la naturaleza de la biomasa se pueden utilizar diferentes procesos o métodos para la obtención de biocombustibles. Los principales procesos son: biotecnológicos, termoquímicos, extractivos o mecánicos. En la tabla 2 se enuncian los procesos mencionados para la obtención de biocombustibles, sus derivados y aplicaciones.

Tabla 2. Procesos de obtención de biocombustibles.

	<i>Mecánico</i>	<i>Termoquímico</i>	<i>Biotecnológico</i>		<i>Extractivo</i>
Técnicas	Astillado Trituración Compactación	Pirolisis	Fermentación	Anaerobia	Extracción físico-química
Productos	Leñas Astillas Briquetas	Carbón Aceites	Etanol Varios	Biogás	Aceites Esteres Hidrocarburos
Aplicación	Calefacción Electricidad	Calefacción Electricidad Transporte Industria	Transporte Industria Química	Calefacción Electricidad	Transporte Industria Química

Fuente: (Lede, 2011).

## 2.4.2 Clasificación de los biocombustibles.

Los biocombustibles se presentan en formas variadas en la naturaleza para la adaptación a las necesidades energéticas al igual que los combustibles fósiles. Se clasifican básicamente por la forma del origen, es decir, la extracción y la utilización de la biomasa para la generación y elaboración del biocombustible (Abril & Navarro, 2012).

### 2.4.2.1 Biocombustibles de primera generación.

Estos biocombustibles son obtenidos de materias primas que también la población utiliza como alimento; las materias primas que se utilizan son básicamente materiales azucarados, grasas animales, almidones o aceites vegetales, por ejemplo: la remolacha azucarera, la caña de azúcar y el maíz de donde se extrae bioetanol. Para la obtención de biodiésel se utiliza materiales oleaginosos como la soja, la palma aceitera, el girasol y la colza (Abril & Navarro, 2012).



Caña de Azúcar

Maíz

Soja

Figura 3. Materia prima para biocombustibles de primera generación.

Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

### 2.4.2.2 Biocombustibles de segunda generación.

El biocombustible de segunda generación se produce a través de la transformación de la biomasa lignocelulósica que se encuentra en residuos agrícolas, forestales y en la madera. Esta materia prima no representa riesgo alguno para la alimentación de las personas en general y es ideal este tipo de material porque las plantas poseen hemicelulosa, lignina y celulosa, esta última es un componente principal de las paredes de las células (Abril & Navarro, 2012).



Figura 4. Materia prima para biocombustibles de segunda generación.  
Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

### 2.4.2.3 Biocombustibles de tercera generación.

Los biocombustibles de tercera generación son producidos a través de tecnologías avanzadas que exigen una investigación para que el desarrollo del biocombustible sea posible. Un ejemplo de materias primas para elaborar dichos biocombustibles son los árboles de rápido crecimiento o hierbas perennes a través de una reacción enzimática que convierte la lignocelulosa en almidones obteniendo el etanol lignocelulósico (Camps & Marcos, 2008).



Figura 5. Materia prima para biocombustibles de tercera generación.  
Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

### 2.4.3 Sustentabilidad de los biocombustibles.

La principal razón para impulsar a la producción y consumo de biocombustibles es la contaminación ambiental. En el planeta se están mejorando las metodologías para la producción de biocombustibles donde se está respetando en todo el proceso de producción los aspectos sociales, ambientales y económicos (Fernández, Montiel, Millán, & Badillo, 2012).

El criterio más importante se encuentra relacionado con el marco legal: respetar los derechos del planeta, disminuir los gases de efecto invernadero en relación con los combustibles a base de petróleo, que se respeten los derechos laborales y los derechos humanos, que no repercuta con la seguridad alimentaria, que ayude al desarrollo económico y social; y por último que reduzca la contaminación del medio ambiente.

#### **2.4.4 Situación mundial de los biocombustibles.**

La preocupación con respecto a la contaminación ambiental, en especial la emisión de gases tóxicos, la naturaleza finita de los combustibles a base de petróleo y el consecuente incremento del valor del petróleo han determinado la obligación de buscar nuevas fuentes de energía y establecer nuevas tecnologías para los motores de combustión interna, debido a que aproximadamente el 98% de las emisiones de carbono resultan de la combustión de energéticos fósiles (Fernández, Montiel, Millán, & Badillo, 2012).

En la actualidad el sector automotriz es dependiente de los combustibles fósiles casi en su totalidad, el consumo global de estos combustibles ha alcanzado el 73.3% y expertos indican que si continúan con el ritmo de extracción actual los reservorios de petróleo se acabaran para mediados de este siglo (Fernández, Montiel, Millán, & Badillo, 2012). La producción de biocombustibles a base de biomasa ha llegado a ser un logro muy grande de la biotecnología, por la razón de ser una fuente abundante y renovable en lugares donde no existen reservas petroleras. Actualmente los biocombustibles con más producción son los biocombustibles de primera generación.

#### **2.4.5 Biodiésel.**

El biodiésel se define como una fuente de energía alternativa potencial que satisface los criterios de sostenibilidad y sustentabilidad, por la razón que es una fuente de energía renovable y producida mediante recursos reemplazables que posee un impacto ambiental menor y además es biodegradable. Este es un biocombustible líquido elaborado como una alternativa para la disminución de gases y para la sustitución del uso del gasóleo



o diésel convencional a base de petróleo. Químicamente el biodiésel es un mono alquil éster (metil o etil éster) de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales y grasas animales (Castro, Beltrán, & Ortiz, 2012).

Posee el potencial de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero generados por la industria automotriz donde se utiliza mayormente combustibles fósiles y también proporciona beneficios a la salud de la sociedad evitando problemas respiratorios y enfermedades cardíacas.

#### 2.4.6 Biogás.

Es un biocombustible del tipo gaseoso que se obtiene a partir de biomasa de desechos de animales y humanos, aceite de palma, desechos agrícolas y plantas acuáticas, y también es considerado un subproducto por el proceso de fermentación que utiliza.

Tabla 3. Composición bioquímica del biogás.

<i>Componente</i>	<i>Formula química</i>	<i>% Volumen</i>
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Fuente: (Silva Vinasco, 2011).

El biogás que resulta en la transformación lo conforma una mezcla de gases combustibles como se muestra en la tabla 3 y su estructura va depender del tipo de biomasa que se utiliza para la producción y las condiciones de la operación de los reactores donde va ocurrir la transformación (Silva Vinasco, 2011).

## 2.5 Bioetanol.

El bioetanol también llamado etanol o alcohol etílico es obtenido a partir de la fermentación de azúcares y para su producción se pueden utilizar una gran cantidad de materias primas. Se trata de un biocombustible renovable y amistoso completamente con la naturaleza del planeta porque al ser combustionado el bióxido de carbono se recicla y regresa a las plantas ya que estas utilizan este componente para el proceso de fotosíntesis. Posee muchas ventajas al utilizarlo como potenciador de combustibles pétreos ya que reduce las emisiones tóxicas y produce una oxidación superior de los componentes hidrocarburos del combustible.

Tabla 4. Propiedades químicas: gasolina y bioetanol.

<i>Propiedad</i>	<i>Gasolina</i>	<i>Bioetanol</i>
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	800	700
Fórmula molecular	C <sub>7</sub> H <sub>17</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Peso molecular (kg/kmol)	101	46
Estequiometría combustible/relación de aire	0.07	0.11

Fuente: (Yusaf & Buttsworth, 2009).

### 2.5.1 Fuentes de obtención de bioetanol.

El bioetanol a partir de granos es criticado por la razón ética de transformar los alimentos en combustibles para vehículos, con el efecto del incremento del valor y la poca disponibilidad de dichos alimentos. Los procesos de obtención de bioetanol a partir de granos se basan básicamente en la cocción, hidrólisis, y fermentación de almidones que contienen (Abril & Navarro, 2012). La producción de etanol a partir de azúcares (bebidas fermentadas) es conocida desde inicios de la humanidad y actualmente la producción es más elevada y con alta eficiencia, especialmente desde que se comenzó a utilizarlo como combustible o aditivo para motores automotrices. También en la actualidad se ha desarrollado la producción de bioetanol lignocelulósico obtenido de la biomasa vegetal.

## 2.5.2 Procesos de obtención de bioetanol.

La producción de bioetanol es un ejemplo de cómo la tecnología, la industria y la agricultura trabajan en unión para transformar un producto agrícola en combustible. Se tiene en cuenta dos procesos principales para obtener el biocombustible que son:

### 2.5.2.1 Fermentación de azúcares.

Es el proceso de obtención de bioetanol tradicional con una alta eficiencia gracias a las mejoras tecnológicas que se han realizado. La materia prima que tiene mejores características para este proceso es la caña de azúcar (Vargas & Giraldo, 2015).

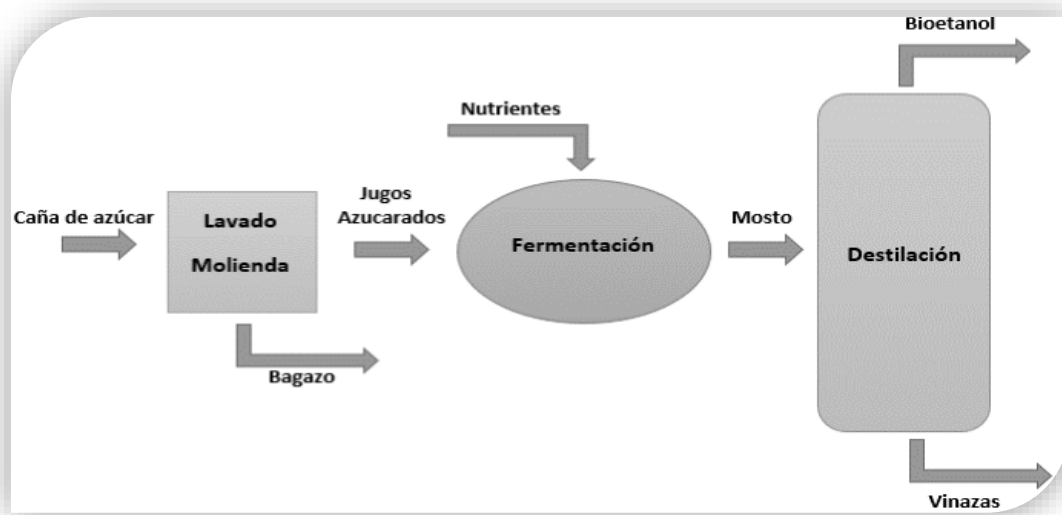


Figura 6. Esquema simplificado de bioetanol a partir de caña de azúcar.  
Fuente: (Vargas & Giraldo, 2015).

El proceso de fermentación de azúcares puede ser autosuficiente energéticamente hablando, ya que dicho proceso posee una relación salida/entrada entre la energía que se necesita para la producción de azúcar, mieles de caña y la energía que es liberada durante la quema de bioetanol tiene un valor de 8, en consideración a todo el ciclo de vida de la biomasa desde que se extrae, se transporta y se procesa para la transformación a etanol, además este proceso tiene la valoración más alta entre todos los procesos de obtención de bioetanol (Abril & Navarro, 2012).

### 2.5.2.2 Obtención de bioetanol por vía bioquímica.

Debido a la composición de la biomasa lignocelulósica se hace difícil penetrar y atacar con químicos, por lo tanto, necesitan de otra opción para poder penetrar esa estructura y ayudar a desarrollar los procesos posteriores a la producción. Por estas consideraciones los métodos de obtención del biocombustible deben ajustarse de acuerdo con las propiedades fisicoquímicas, además de las características de los componentes a tratar en el proceso de obtención también necesita de otras etapas como un pretratamiento, detoxificación y otras (Abril & Navarro, 2012).

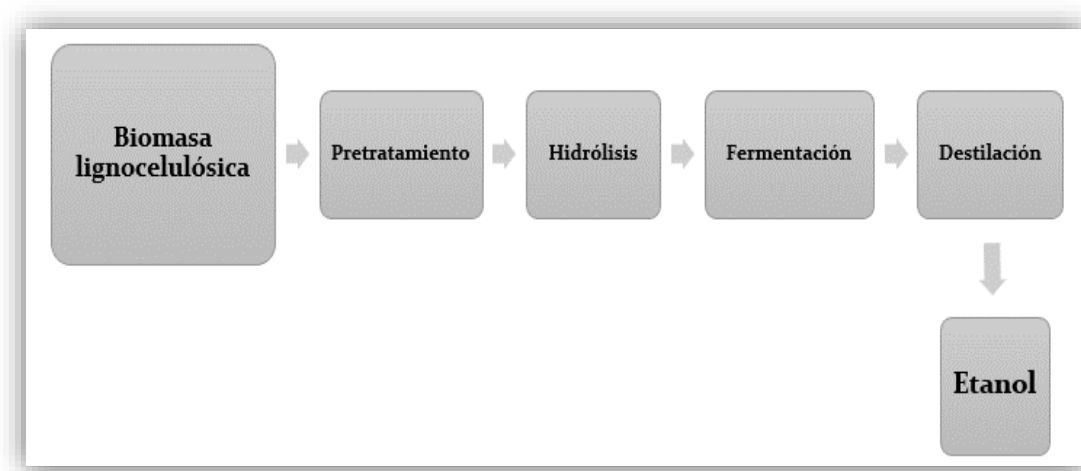


Figura 7. Etanol de biomasa lignocelulósica.  
Fuente: (Abril & Navarro, 2012).

La obtención del biocombustible por vía bioquímica posee un valor de 6, con respecto a la relación salida/entrada entre la energía que se necesita para la producción del biocombustible lignocelulósico y la energía que es liberada durante la combustión de bioetanol, en consideración a todo el ciclo de vida de la biomasa.

### 2.6 La huella de carbono.

Se define a la cantidad total de emisiones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que son directamente e indirectamente causadas por una actividad o varias actividades en las fases del ciclo de vida de un producto (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

Se considera efecto directo a las emisiones y/o absorciones que son producidas por métodos o procesos sobre los cuales se tiene propiedad o control. Por efecto indirecto se entiende el resto de emisiones y/o absorciones que son inducidas por el proceso que se produce como resultado de la actividad (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

### 2.6.1 Alcances de la huella de carbono.

Para determinar los límites de la huella de carbono se realiza una clasificación de las emisiones según alcances, estas van a permitir diferenciar las emisiones que son directas (Alcance 1) de las emisiones indirectas (Alcance 2 y 3), como se muestra en la figura 8.

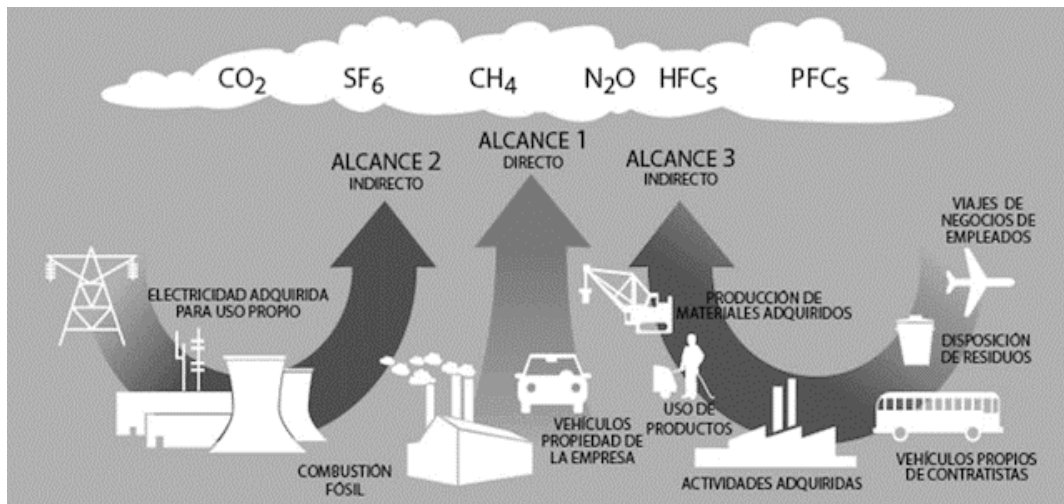


Figura 8. Alcances y emisiones a través de la cadena de valor.  
Fuente: (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

Las emisiones de alcance 1 se encuentran dentro de esta clasificación y van a representar los procesos químicos o físicos, la generación de electricidad, vapor o calor, emisiones fungitivas y el transporte de desechos, productos o materiales.

Las emisiones de alcance 2 están asociadas al consumo de la energía en procesos o métodos que se tiene control, esta energía puede ser energía térmica o eléctrica. Solo se medirá las emisiones que van a ser resultantes de la generación de la energía (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

Las emisiones del tipo 3 corresponden a las emisiones restantes indirectas a consecuencia de una actividad. La fuente principal de emisiones se localiza fuera de la organización, es decir, no tienen propiedad ni control sobre ellas.

### 2.6.2 Ciclo de gestión de la huella de carbono.

La propuesta de la gestión se basa en rediseñar el proceso socioeconómico para disminuir el impacto negativo en el clima que produce una empresa. Al realizar el proceso de medición de la huella de carbono se puede conocer la situación ambiental del producto o subproductos, actividad u organización; además permite contribuir con planes de trabajo que ayuden a disminuir la compensación y el impacto de los efectos de la huella de carbono dando como resultado un ciclo de continuo progreso teniendo en cuenta seis fases con sus respectivas acciones. La figura 9 indica la continuidad y desarrollo del ciclo de gestión de la huella de carbono.

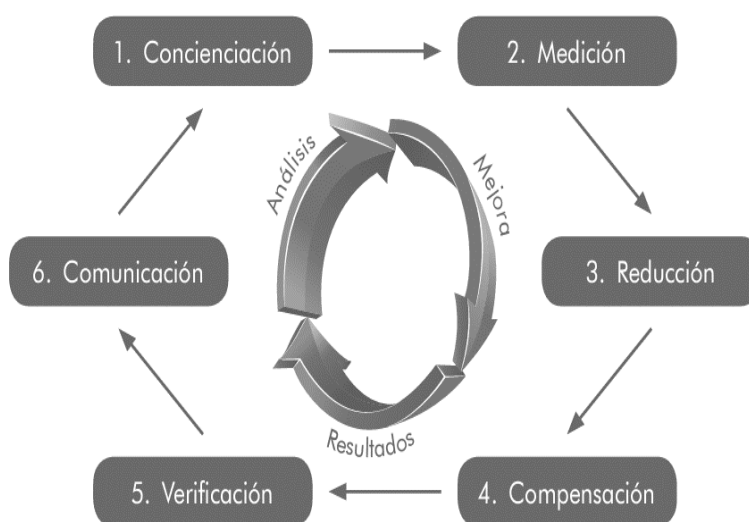


Figura 9. Fases del ciclo de gestión de la huella de carbono.  
Fuente: (Álvarez Gallego & Rodríguez Olalla, 2015).

La concienciación es la primera fase para la gestión de la huella de carbono y es la clave para favorecer el desarrollo y aceptación de proyectos en relación a este tema. En donde es importante la colaboración de algunos actores que van desde los proveedores hasta los consumidores.

La medición se refiere a la importancia de realizar una cuantificación de la calidad verdadera que refleje el trabajo real de las organizaciones que se encuentran implicadas, dado que es difícil mejorar y gestionar una actividad si no se encuentra disponible una medición comparable y fiable.

La reducción representa a la disminución de emisiones en su origen puede ser muy compleja y no producir efectos inmediatos; también requieren un análisis detallado para que el desarrollo sea eficiente y conocer los denominados puntos críticos donde se pueden centrar las medidas para la reducción de emisiones.

La compensación consiste en la minoración de gases de efecto invernadero (GEI) con ayuda de estudios o proyectos y apoyando a trabajos de absorción de emisiones para el mejoramiento de la tecnología.

La verificación se desarrolla con una valoración íntegra y precisa de la información reportada en la empresa, de esta forma se realiza la verificación de la información teniendo en cuenta los errores o distorsiones que afecten el valor de las emisiones de GEI notificadas.

La comunicación es el pilar estratégico de la empresa ya que es indispensable la comunicación de información concerniente a la huella de carbono, el medio ambiente y el cambio climático para poder disminuir las emisiones tóxicas.

## **2.7 Motor de combustión interna.**

Se define como motor de combustión interna a la máquina que transforma la energía química que un combustible suministra en energía mecánica, dicho carburante se combustiona en el interior de una cámara de combustión obteniendo así un desplazamiento lineal del pistón a través de un mecanismo llamado biela-manivela y de allí dicho movimiento es convertido en movimiento circular a través del eje principal del motor o cigüeñal.

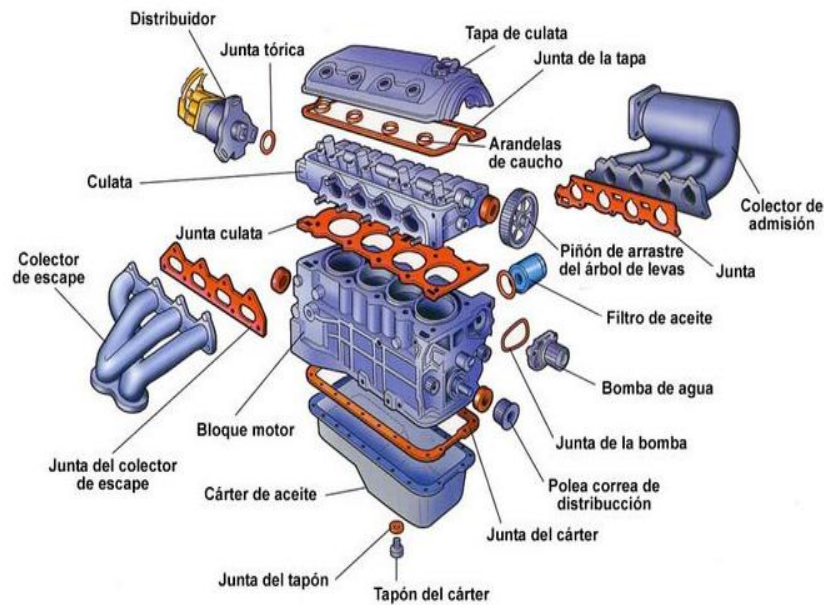


Figura 10. Componentes del motor de combustión interna.  
Fuente: (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015).

El motor de combustión interna basa su funcionamiento en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible en el interior de la cámara de combustión, la carburación se da por medio de una chispa eléctrica de alta tensión y mientras dicha mezcla sea mejor regulada el trabajo que se entregue será más eficaz y con residuos más limpios.

Tabla 5. Elementos básicos de los motores de combustión interna alternativos.

<b><i>Pistón</i></b>	Elemento con movimiento rectilíneo y es el émbolo del mecanismo biela manivela.
<b><i>Biela</i></b>	Transmite la presión de los gases que actúan sobre el pistón al cigüeñal.
<b><i>Cigüeñal</i></b>	Destinado a transformar movimiento lineal de los pistones en movimiento rotativo.
<b><i>Cilindro</i></b>	Recinto donde se desplaza rectilíneamente el pistón.
<b><i>Cámara de combustión</i></b>	Cámara del motor donde se produce la combustión
<b><i>Culata</i></b>	Parte superior del motor que permite el cierre de las cámaras de combustión.
<b><i>Bloque</i></b>	Cuerpo principal del motor donde se alojan los cilindros
<b><i>Cárter</i></b>	Recipiente donde se almacena el aceite lubricante.

Fuente: (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015).



## 2.8 Motor Otto.

Es un motor alternativo con encendido por chispa de cuatro tiempos y es el más utilizado en la actualidad. La mezcla de aire y combustible se realiza fuera de la cámara de combustión e ingresa por vacío o succión a los cilindros y a través de una chispa eléctrica de alta tensión que proporciona la bujía la mezcla combustiona y produce trabajo mecánico (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

Tabla 6. Parámetros más importantes MCI A.

<i>Parámetros más importantes de los MCI A</i>	<i>MEP (Motor Otto)</i>
Pot. Especifica en kw/kg	0.4 – 0.8
Número de cilindros	2 – 6 en línea o 6 – 8 en V
Rpm para Max. Pot.	5500 – 6000
Relación de compresión	8 – 10 – 13
Velocidad media del pistón para rpm Max. Pot.	8 – 16 m/s
Presión media efectiva (bares)	8 – 14
Rendimiento	0.25 – 0.35

Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

El motor Otto es un motor alternativo que usa gasolina con encendido por chispa en el que se quema una mezcla de aire/combustible. Durante la combustión la energía química de la gasolina es transformada en energía calorífica y los sistemas mecánicos del motor permiten que dicha energía calorífica se transforme en energía mecánica.

### 2.8.1 Ciclos de funcionamiento.

La mayor parte de motores de combustión interna basan su funcionamiento bajo un ciclo de trabajo de cuatro tiempos, bajo los términos de los ciclos Otto o Diésel. El ciclo está conformado por dos carreras ascendentes y dos carreras descendentes del émbolo y cada carrera coincidirá con una fase del ciclo de operación que recibe la nominación de la acción que se realiza en el instante. El ciclo de funcionamiento consta de 4 tiempos que se detallan en la figura 11.

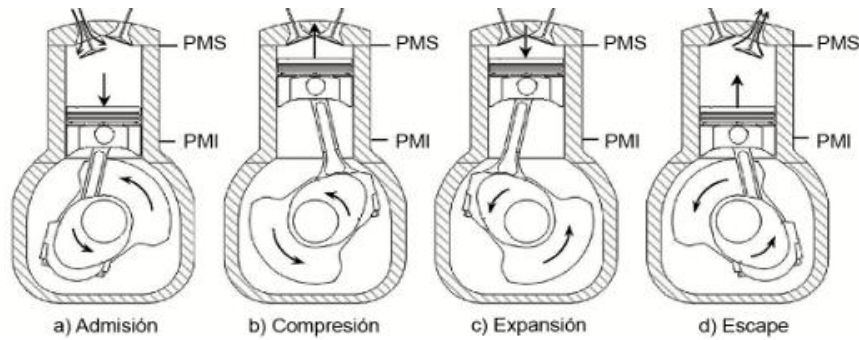


Figura 11. Ciclo de funcionamiento motor Otto.  
 Fuente: (Rovira de Antonio & Muñoz Domínguez, 2015).

## 2.8.2 Ciclo teórico de funcionamiento.

En un motor de cuatro tiempos existe un ciclo teórico de funcionamiento que ayuda a entender cómo funciona el ciclo real, pero no sucede precisamente lo que su nombre indica. El funcionamiento del ciclo teórico durante sus cuatro fases es el siguiente:

### 2.8.2.1 Carrera de Admisión.



Figura 12. Carrera de admisión.  
 Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

En este tiempo el pistón se encuentra en el punto muerto superior (PMS) y se desplaza hacia el punto muerto inferior (PMI). En dicho desplazamiento se produce una depresión donde la mezcla aire-combustible se introduce al interior del cilindro ya que la válvula de admisión está abierta y donde la válvula de escape va estar cerrada la mayor parte de este tiempo.

### 2.8.2.2 Carrera de compresión.



Figura 13. Carrera de compresión.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

La temperatura de la mezcla aire-combustible se eleva aproximadamente a 400°C, donde la válvula de admisión y escape se encuentran cerradas, se comprime la mezcla al momento que el émbolo sube y por consiguiente la mezcla es encendida a través de la chispa cerca de la llegada del émbolo al punto muerto superior (PMS).

### 2.8.2.3 Carrera de trabajo.

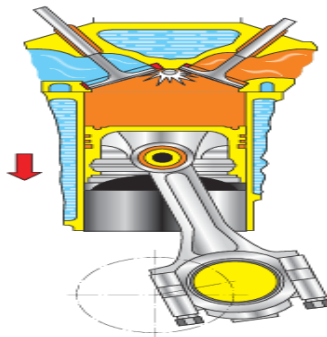


Figura 14. Carrera de trabajo.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

Al momento que finaliza la carrera de compresión se produce una chispa eléctrica de alta tensión encendiendo la mezcla de aire y combustible, liberando energía que aumenta la presión y la temperatura de los gases; la expansión producida por la combustión empuja el pistón hacia abajo, con las válvulas cerradas. Casi al finalizar la carrera del émbolo al punto muerto inferior (PMI) la válvula de escape se abre.

#### 2.8.2.4 Carrera de escape.

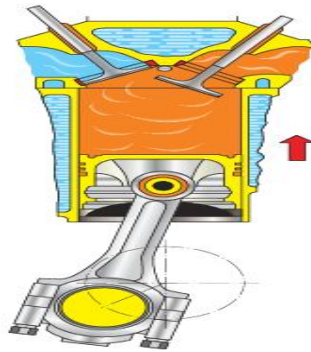


Figura 15. Carrera de escape.

Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

En esta carrera se produce el barrido de los gases producidos por la combustión, donde la válvula de escape se encuentra abierta y el pistón se mueve por inercia hacia el punto muerto superior (PMS).

#### 2.8.3 Diagrama ciclo teórico.

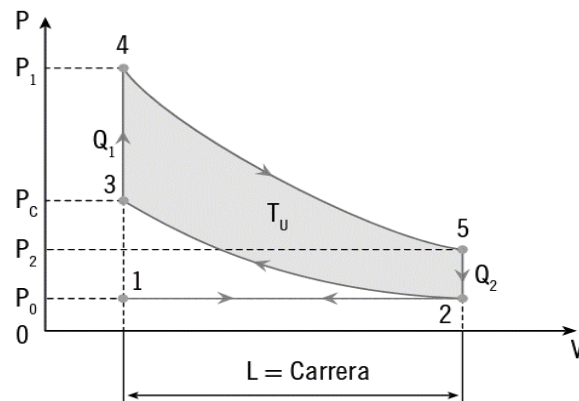


Figura 16. Diagrama ciclo teórico.

Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

El ciclo de funcionamiento del motor Otto se encuentra formado de cuatro fases: la primera es de aspiración, seguido de la compresión para luego ser inflamada la mezcla, generando el empuje sobre el pistón produciendo trabajo mecánico. La fase final es la de expulsión de gases y el calor sobrante se dirige hacia el sistema de refrigeración del motor y la carrera de expansión es la única que da trabajo efectivo útil.

En el trayecto (1-2) de la fase de admisión el cilindro se llena y se desplaza hacia el punto muerto inferior (PMI), la presión existente en la de entrada de los gases es llamada isóbara (Sánchez, 2012). Esto se realiza como una expansión a presión constante.

En el trayecto (2-3) se comprime la mezcla y sobre el punto 3 la presión va depender de la relación de compresión del motor. El volante de inercia asume el trabajo de compresión por la energía acumulada y la temperatura de la mezcla aumenta a causa de la compresión. A este proceso se lo denomina adiabático y la temperatura está en función de la relación de compresión.

En el trayecto (2-1) de la fase de escape el pistón realiza el barrido de los residuos de la combustión que se encuentran a presión atmosférica en su carrera hacia abajo del cilindro hasta llegar al punto 1, donde se va iniciar un ciclo nuevo. Los trabajos de escape y admisión, por ser de sentido contrario e iguales, se inhabilitan.

#### 2.8.4 Ciclo real de funcionamiento.

Varios factores inciden en el cambio del ciclo teórico de los motores Otto, por tal motivo el trabajo útil y el rendimiento del ciclo real disminuyen. Este diagrama teórico va servir para acercarse todo lo posible con el diagrama ideal o real para obtener una calidad alta del ciclo.

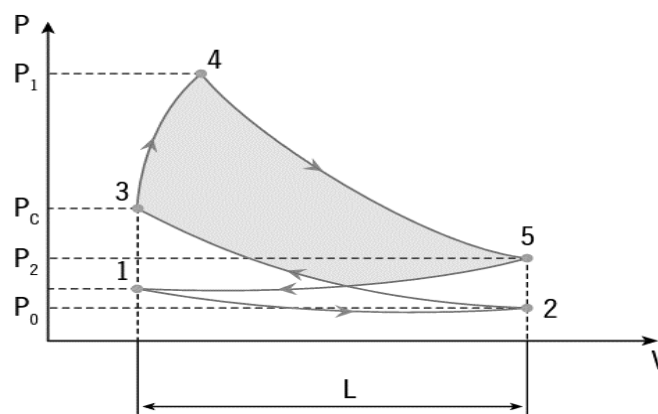


Figura 17. Diagrama ciclo real.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

En el trayecto (1-2) de la fase de admisión se crea una depresión pequeña en la carrera de admisión hasta llegar al punto 2 a causa del paso de los gases frescos a través de los conductos de la admisión, a la velocidad de giro y al estrangulamiento en la válvula de admisión al iniciar la apertura de la misma.

Dentro del trayecto (2-3) de la fase de compresión, la chispa de alta tensión salta y el émbolo comienza a bajar al terminar dicha compresión, donde la presión final es menor a la teórica debido al aumento del volumen. El tiempo de inflamación de la mezcla aire-combustible también interviene en el cambio del ciclo teórico.

En el trayecto (4-5) de la fase de expansión la presión es más baja al inicio, disminuyendo la fuerza de empuje y también el trabajo útil es menor. En este proceso se pierde parte de la energía en las paredes del cilindro.

En el punto 5 se abre la válvula de escape y la presión disminuye abruptamente, pero los residuos de la combustión requieren un tiempo para salir, el pistón comienza su ascenso y barre los gases de la combustión que tienen una presión un poco mayor a la atmosférica a causa de no cerrar instantáneamente la válvula de escape, así da inicio a un nuevo ciclo. Como se observa en la figura 18 el trabajo o ciclo teórico es mayor que el ciclo real, relacionando las superficies de los diagramas.

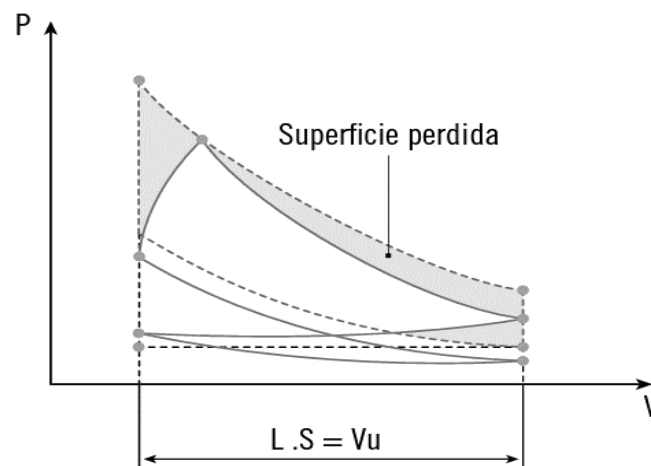


Figura 18. Diagrama ciclo real-punto 5.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

### **2.8.5 Eficiencia del motor Otto.**

Un motor de cuatro tiempos que es alimentado con gasolina no es capaz de aprovechar al 100% toda la capacidad de calor que genera la combustión de la mezcla aire-combustible para transformarlo en una fuerza motriz. Los motores de combustión interna poseen una pobre eficiencia térmica, con un valor de 30% de energía calorífica transformada en fuerza motriz y el 70% restante de energía es desperdiciada disipándose hacia la atmósfera (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

La ventaja principal de estos motores en comparación con los motores tipo diésel es que poseen agilidad en la aceleración. Los motores diésel son más eficientes a la hora de aprovechar la energía térmica y sufren menos desgaste debido a que giran a menos revoluciones que un motor a gasolina en la misma marcha engranda y a igual velocidad ya que poseen una carrera muy larga.

### **2.9 Desempeño mecánico del motor Otto.**

El desempeño mecánico de un motor Otto se encuentra influenciado principalmente por la pendiente donde está transitando y por la carga transportada. Para calcular las prestaciones de los motores se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Par motor.
- Potencia específica.
- Consumo de combustible.
- Emisiones contaminantes.

#### **2.9.1 Par motor.**

El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia. Un motor de combustión interna produce dicha fuerza en un eje

que se encuentra girando y la mayor cantidad de fuerza de giro que logra realizar el motor se la denomina par motor máximo, el cual sucede en cierta cantidad de revoluciones por minuto (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

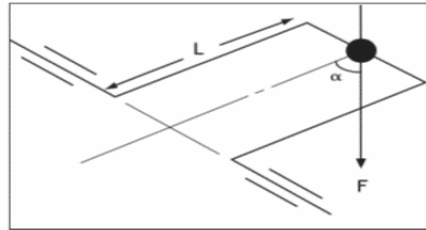


Figura 19. Par motor aplicado al cigüeñal.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

$$M = F \times L \quad (1)$$

Donde:

M = Par motor (Nm).

F = Fuerza aplicada al pistón (N).

R = Longitud de la biela (m).

La energía que se produce en la combustión de la mezcla aire y combustible no es más que el torque del motor, dicha fuerza permite mover el automotor y superar los obstáculos de la carretera.

## 2.9.2 Potencia.

Con el par motor el automóvil se desplaza pero no se tiene en cuenta la velocidad con la que se mueve. La potencia se encarga de medir dicho factor, la cual se define como la velocidad con la que el motor puede trabajar. La mayor cantidad de potencia se obtiene al multiplicar el par motor por la velocidad de giro que genera el motor. La potencia del motor es el resultado de multiplicar el par motor por la velocidad angular dada en radianes por segundo o en revoluciones por minuto. La unidad de potencia utilizada en el sistema métrico decimal es el denominado caballo de vapor (CV) y en el sistema angloamericano es el caballo de fuerza (HP).



$$P = M \times n \quad (2)$$

Donde:

P = Potencia (kW o CV).

M = Par motor (Nm).

n = Velocidad de giro del motor ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ ).

### 2.9.3 Consumo de combustible.

El consumo de combustible en un automotor depende de varios factores, como son: condiciones de carretera, condiciones ambientales, la manera de conducir y la carrocería del automóvil. La unidad de medida para expresar el consumo generalmente es en  $\text{cm}^3/\text{km}$  (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

#### 2.9.3.1 Consumo específico.

Se define consumo específico de combustible a la cantidad de combustible que es consumida en relación de la potencia generada y el tiempo de funcionamiento. Se expresa en  $\text{g}/\text{kW.h}$  y en motores con gasolina como combustible el consumo específico suele oscilar entre  $220 \text{ g}/\text{kW.h}$  a  $340 \text{ g}/\text{kW.h}$  (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

### 2.9.4 Medición de par motor y potencia.

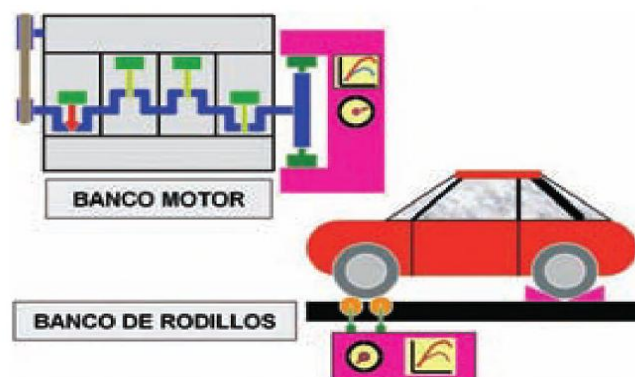


Figura 20. Medición de par motor y potencia.  
Fuente: (Orovio Astudillo, 2010).

El par motor o torque de un motor se lo realiza experimentalmente, empleando un par conocido opuestamente al par que genera el motor, a continuación se cita dos procesos principales para realizar dicha medición, estos procesos dan a conocer parámetros de torque y potencia in situ.

#### **2.9.4.1 Banco motor.**

En un banco motor el torque es conocido y se lo suministra directo a la salida del motor dando como resultado los puntos de la curva de torque generado por el motor. La potencia se calcula con ayuda de la fórmula 3.

$$Potencia(HP) = 550 \frac{lb \cdot ft}{seg} \quad (3)$$

#### **2.9.4.2 Banco de rodillos.**

En un banco de rodillos se aplica el mismo principio que en el banco motor con la diferencia que se aplica el par conocido sobre las ruedas motrices del automotor proporcionando una curva de par en rueda. Para calcular la curva de par motor el equipo posee un sensor que toma la velocidad de giro de los rodillos del dinamómetro y envía la información a la computadora donde memoriza dicha información, luego realiza el cálculo de las diferentes velocidades que recibió y con base al tiempo que fueron enviadas puede calcular la aceleración instantánea, con este valor el dinamómetro puede calcular el torque y la potencia.

#### **2.9.5 Curvas características.**

Las curvas características señalan las variaciones de las magnitudes físicas en relación con las revoluciones del motor. Para la representación de las mismas se usan diagramas en los que se determinan las revoluciones del motor en el eje X y en el eje Y se establecen las magnitudes de los diferentes parámetros. En la figura 21 se especifican

tres curvas características de acuerdo al desempeño mecánico del motor: curva de par motor, potencia y consumo específico.

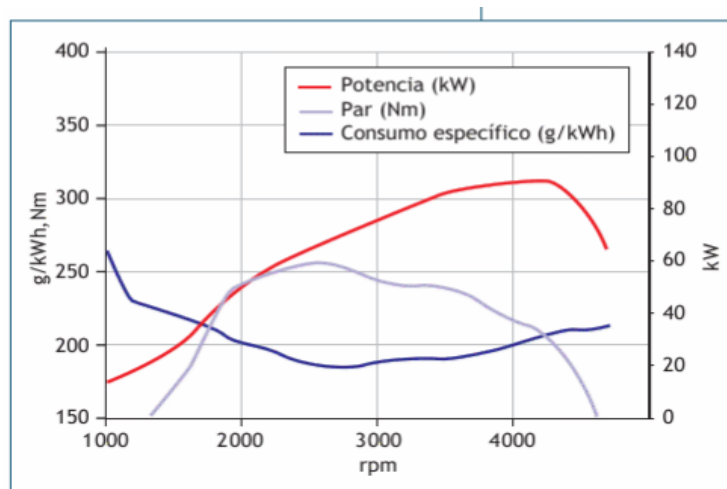


Figura 21. Curvas características.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

### 2.9.5.1 Curva de par motor.

El valor del par motor no es constante, ya que a pesar que el radio de la muñequilla del cigüeñal sea siempre el mismo, la fuerza que recibe el cigüeñal del pistón a través de la biela varía porque la presión que se genera en la cámara de combustión cambia por varios factores, como son: el número revoluciones del motor y la potencia generada en las cámaras de los cilindros (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

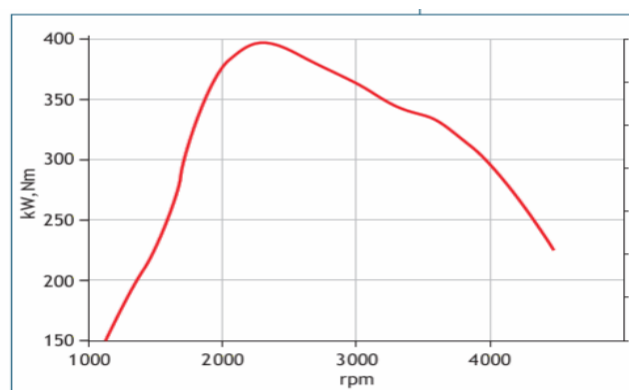


Figura 22. Curva par motor.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

### 2.9.5.2 Curva de potencia.

La potencia es directamente proporcional al par y al número de revoluciones (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009). El par motor va en aumento junto con las revoluciones del motor hasta un punto donde al aumentar las revoluciones y el par motor la potencia aumenta rápidamente.

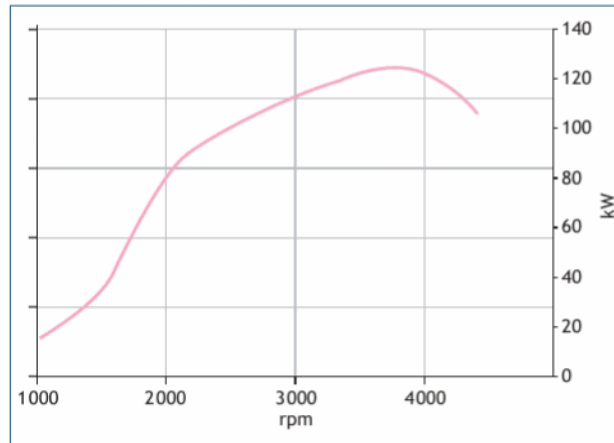


Figura 23. Curva de potencia.

Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

Mientras el par motor comienza su disminución, la potencia al contrario sube lentamente hasta que la relación de aumento de revoluciones del motor sea menos que el par que está disminuyendo y a este punto se lo denomina punto de máxima potencia. En la figura 23 la máxima potencia se logra a las 3900 rpm.

### 2.9.5.3 Curva de consumo específico.

El consumo específico es básicamente el volumen de combustible utilizado por cada unidad de trabajo desarrollado por el motor. En la figura 24 se observa el consumo específico de combustible que al inicio se encuentra disminuyendo con las revoluciones del motor hasta un punto cerca al máximo par motor. Desde ese punto, el consumo específico aumenta con el incremento de las revoluciones del motor y depende principalmente del rendimiento volumétrico y rendimiento térmico de la combustión.

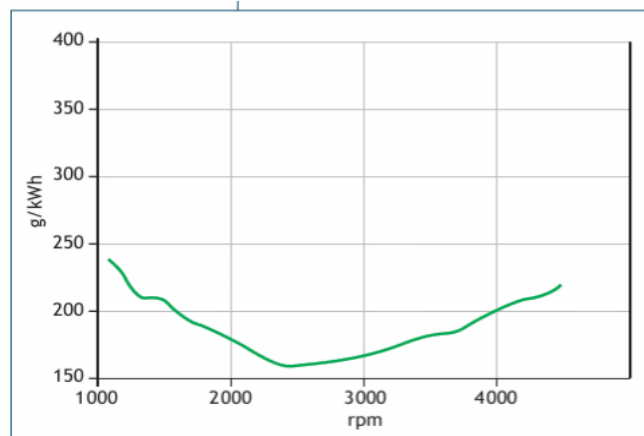


Figura 24. Curva de consumo específico.  
Fuente: (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

## 2.9.6 Emisiones contaminantes.

La industria automotriz es responsable de la mayor parte de la contaminación atmosférica ya que los motores de combustión interna utilizan para moverse combustibles derivados del petróleo. Dichos motores aportan en gran medida a la contaminación ambiental por las emisiones contaminantes emitidas provocando el aumento de la lluvia ácida, el efecto invernadero y causando enfermedades pulmonares en la población (Caballero Morales, 2011).

Los gases que son emitidos por un motor de combustión a gasolina son contaminantes y no contaminantes. Los gases contaminantes son básicamente los hidrocarburos, monóxido de carbono, óxido de azufre y óxido de nitrógeno; y como no contaminantes se encuentran el oxígeno, nitrógeno, vapor de agua e hidrógeno y dióxido de carbono (Caballero Morales, 2011).

### 2.9.6.1 Gases contaminantes.

El monóxido de carbono (CO) es un gas contaminante. Por la falta de oxígeno la combustión no se produce totalmente y forma monóxido de carbono en lugar de dióxido de carbono que no es nocivo. En un automotor, la aparición de concentraciones altas de

este gas indica que existe una mezcla inicial pobre o rica. Las concentraciones superiores al 0.3% en volumen de CO resultan mortales (Caballero Morales, 2011).

Los hidrocarburos (HC) son partículas de combustible que no se quemaron y la presencia de este elemento se debe a las reacciones intermedias en la combustión o por los elementos incombustibles de la mezcla aire/combustible. La mayoría de hidrocarburos no combustionados que son aglomerados en el medio ambiente no son nocivos para la salud pero debido a las reacciones químicas producidas en la tropósfera dan lugar a la aparición de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>), que son elementos peligrosos para el medio ambiente y para la salud de los seres vivos (Caballero Morales, 2011).

El óxido de azufre (SO) es un factor importante en la creación de la llamada lluvia ácida. Es un gas irritante que puede afectar a nivel pulmonar a las personas, con alto riesgo de morbilidad y mortalidad (Caballero Morales, 2011).

El óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) es un gas contaminante resultante de la combustión de la gasolina a altas temperaturas. Este elemento da lugar a la producción de la niebla fotoquímica que es capaz de reducir la visión y trae problemas en las vías respiratorias. En contacto con la humedad existente en el aire se crean ácidos nitrosos que luego caen a la tierra en forma de la llamada lluvia ácida (Caballero Morales, 2011).

El ozono (O<sub>3</sub>) en la industria automotriz es la principal fuente de emisiones de este gas contaminante que es denominado como uno de los principales factores en la creación de neblina en áreas urbanas. Puede ser perjudicial en la población ya que puede provocar graves daños a los seres vivos a nivel pulmonar y reduciendo defensas contra virus y bacterias (Caballero Morales, 2011).

#### ***2.9.6.2 Gases no contaminantes.***

El oxígeno (O<sub>2</sub>) se encuentra presente en el aire, concentrado en un 21% y es un elemento indispensable para que se realice la combustión en los motores. Si la mezcla

aire y combustible es demasiado pobre o demasiado rica en la combustión, este elemento no tiene la capacidad de oxidar a los enlaces de hidrocarburos existentes en el combustible y es expulsado junto con las emisiones de escape restantes (Caballero Morales, 2011).

Nitrógeno (N) es un gas inerte existente en el aire que se respira en una concentración del 79%. A causa de las altas temperaturas presentes en el motor de combustión interna durante la carburación de combustibles este elemento se oxida y forma cantidades pequeñas de óxido de nitrógeno, a pesar de que es un gas que esta inerte a temperatura ambiente (Caballero Morales, 2011).

El vapor de agua se encuentra entre las emisiones no contaminantes, el cual resulta de la combustión de la mezcla aire-combustible a través de la oxidación del hidrógeno y es expulsado junto con los gases restantes emitidos a través del sistema de escape del automóvil (Caballero Morales, 2011).

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un gas no contaminante que se produce por la combustión total del carbono. La combustión es mejor cuando la concentración de este elemento es mayor. Se trata de un elemento no dañino para los seres vivos, sin embargo, la alta concentración de este elemento en la atmósfera puede producir cambios climáticos a gran escala o el también llamado efecto invernadero (Caballero Morales, 2011).

## 2.10 Glosario de términos

**BRA.-** Biomasa residual agrícola.

**Carrera.-** Distancia que recorre el émbolo entre el PMS al PMI.

**GEI.-** Gases de efecto invernadero.

**MEP.-** Motores de encendido provocado.

**PMS.-** Punto muerto superior.

**PMI.-** Punto muerto inferior.

**NO<sub>x</sub>.-** Óxido de nitrógeno.

**CO.-** Monóxido de carbono.

**CO<sub>2</sub>.-** Dióxido de carbono.

**NO<sub>x</sub>.-** Óxido de nitrógeno.

**SO.-** Óxido de azufre.

**COV.-** Compuestos orgánicos volátiles.

**HC.-** Partículas de combustible que no se combustionó.

**O<sub>3</sub>.-** Ozono.

**MCIA.-** Motor de combustión interna alternativo.

**Jancitos.-** Plantas de jardín que posee olorosas y acampanadas flores.

**Guano.-** Acumulación de excrementos de distintos animales.

**Vástagos.-** Tallos de plantas con hojas.

**Jatropha.-** Planta considerada un potencial para producir biodiésel.

**Microalga.-** Organismo unicelular del tipo eucariota capaz de producir fotosíntesis.

**E5.-** Mezcla de 5% de bioetanol y 95% de gasolina.

**E10.-** Mezcla de 10% de bioetanol y 90% de gasolina.

**Morbilidad.-** Cantidad de personas enfermas en un tiempo y espacio determinado.

**RON.-** Número de octanaje.

**GEI.-** Gases de efecto invernadero.

**CV.-** Caballos de vapor.

**HP.-** Caballos de fuerza.

**SOHC.-** Árbol de levas único en cabeza (Over Helad Camshaft).

**DIS.-** Sistema de encendido sin distribuidor (Distributorless Ignition System).



# CAPÍTULO III

## 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

### 3.1 Fundamentación tecnológica.

En el presente capítulo se desarrollan todas las pruebas que la investigación requiere, el mismo que ha sido dividido en 3 etapas: en la primera etapa se realizan pruebas preliminares al motor y se describe la preparación y caracterización del biocombustible. En la segunda etapa se indica el desarrollo de las pruebas especificadas con el combustible tradicional que en este caso es la gasolina súper y en la tercera etapa se detalla la realización de las mismas pruebas pero en este caso con bioetanol E10.

A través de un organizador gráfico de procesos se indican las etapas que constan en el capítulo y el orden en el que se desarrollan. Las distintas etapas se muestran a continuación:

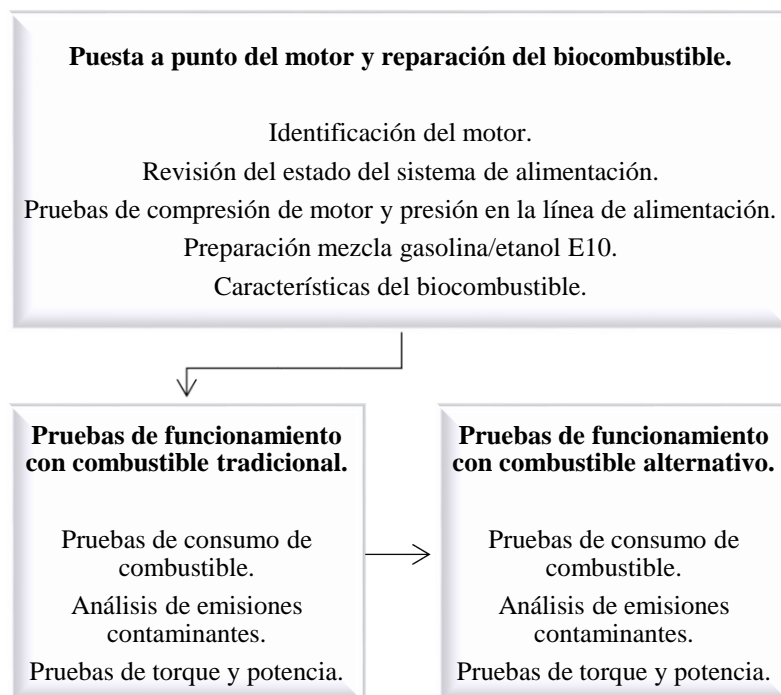


Figura 25. Fases del desarrollo de la propuesta.

### 3.2 Identificación del motor.

Para desarrollar las pruebas establecidas en la investigación se dispone de un automóvil marca Chevrolet tipo Corsa Wind 1 600 cc, cuyo motor posee las siguientes características técnicas:

Tabla 7. Especificaciones del motor Chevrolet Corsa Wind.

<i>Especificaciones técnicas</i>	
<i>Motor</i>	
Marca	Chevrolet Corsa Wind
Disposición	Delantero transversal
Número de cilindros	4 lineal
Diámetro de cilindros	79 mm
Carrera	81.5 mm
Cilindrada	1598 cc
Relación de compresión	9,4:1
Torque	13 kgf.m (127.4 N.m) a 2800 rpm
Potencia	92 HP (67.6 KW) a 5600 rpm
<i>Especificaciones generales</i>	
Distribución	SOHC
Tipo de encendido	DIS
Orden de encendido	1-3-4-2
Inyección	Multipunto
Combustible	Gasolina
Consumo urbano	12.7 km/l
Velocidad máxima	177 km/h
Aceleración	0-100 km/h – 12s

Fuente: (Manual Corsa Wind 1 600 cc).

Todos los valores de las especificaciones técnica y generales determinados en la tabla 7 son dados por el fabricante del vehículo, cuyos datos y cantidades son conocidas y han sido definidos a nivel del mar donde la presión atmosférica es de 1 atmósfera (14.7 psi) y a temperatura normal de funcionamiento del motor (92°C - 94°C).

Los combustibles que se utilizan para el desarrollo del análisis del desempeño mecánico del motor son diferentes en varios aspectos, empezando por el refinamiento (gasolina) y los procesos de fabricación (bioetanol). Por este motivo, como recomendación en experimentaciones de larga duración se debe realizar un cambio en las líneas de alimentación que son de un material poco resistente por conductos de material que posea mayor resistencia ya que el grado de corrosión que posee el bioetanol puede perjudicar dichos elementos del motor.

### **3.2.1 Datos de funcionamiento actual del motor.**

Para comprobar el estado de funcionamiento del motor Chevrolet Corsa Wind y de sus sistemas auxiliares se desarrollan inspecciones y revisiones, con ello se garantiza resultados exitosos y reales en las pruebas que establece la investigación. Las actividades que se realizan son las siguientes: revisión general del sistema de alimentación de combustible, inspección de la presión de la bomba combustible y una prueba de compresión a cada cilindro del motor.

### **3.2.2 Revisión del sistema de alimentación.**

La inspección de los principales elementos que conforman el sistema de alimentación de combustible es realizada ya que dicho sistema se encarga de proporcionar la mezcla aire/combustible al motor y si algún elemento está en mal estado afectará directamente al funcionamiento del motor y por consiguiente a los resultados de la pruebas.

La revisión de todo el sistema se inicia certificando la limpieza del depósito de combustible, donde a simple vista se aprecia suciedad y residuos de impurezas. Para solucionar el problema y que no exista fallo alguno en el funcionamiento del motor se procede a efectuar la limpieza total del mismo. De la misma manera el filtro de combustible es verificado para evitar la obstrucción al paso de combustible por suciedad o impurezas.



Figura 26. Filtro de combustible.

Todos los elementos que forman parte de la línea de alimentación son inspeccionados técnica y visualmente, obteniendo resultados positivos. Los elementos que se toman en cuenta son: el regulador de presión, válvula dosificadora y la bomba de combustible. La supervisión se realiza comprobando que todos los elementos se encuentren en condiciones óptimas de funcionamiento.



Figura 27. Regulador de presión.

El sistema de riel de inyectores es desmontado para chequear el estado de los distintos inyectores y a continuación se realiza una limpieza por ultrasonido de los mismos para que el suministro de combustible se realice sin ningún problema y garantizando el correcto funcionamiento del motor.



Figura 28. Inyector.

Para finalizar la revisión es necesario realizar una inspección visual de hermeticidad de toda la línea de cañerías, mangueras y conductos que proporcionan de combustible al motor, comprobando que el sistema no presente fugas de combustible ni imperfecciones de ninguna clase sobre dichos elementos.

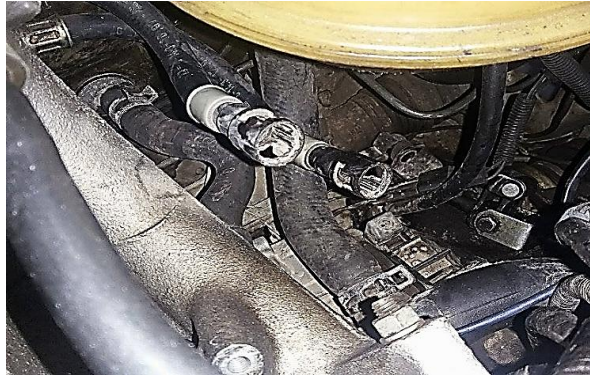


Figura 29. Conductos de combustible.

Posteriormente se concluye que todo el sistema de alimentación de combustible se encuentra trabajando óptimamente y sus elementos están en buenas condiciones para realizar los distintos análisis y pruebas que requiere el presente trabajo.

### **3.2.3 Prueba de presión en la línea de alimentación.**

Para comprobar si la bomba de combustible proporciona la cantidad correcta de presión para todas las necesidades del motor y por ende para un buen funcionamiento del mismo, se realiza una prueba de presión de combustible para descartar fallas en la bomba o en el subsistema de toda la línea de alimentación. La presión de la bomba debe obtener valores entre 2.5 bares - 3 bares.

#### **3.2.3.1 Procedimiento.**

- Se inicia buscando la línea de alimentación y desacoplando la cañería del riel de inyectores para realizar la conexión del manómetro el cual se encarga de medir la presión de la bomba de combustible.



Figura 30. Cañería desconectada del riel de inyectores.

- Una vez encontrada la línea de conexión se acopla el manómetro para medir presión, identificando el respectivo acople auxiliar que se necesita para dicha conexión.



Figura 31. Manómetro de presión conectado.

- A continuación, se da arranque al motor y se comprueba la presión del combustible. Al finalizar la prueba el manómetro indica el valor de la presión de la bomba de combustible.



Figura 32. Medición de la presión de combustible en la línea de alimentación.

- El resultado obtenido a ralentí es de 2.7 bares constantes y al subir las revoluciones el valor aumenta a 3 bares, concluyendo que el sistema de alimentación y por ende la bomba de combustible se encuentra en un funcionamiento óptimo de trabajo.

Es recomendable desarrollar la prueba con el motor a temperatura normal de funcionamiento (92°C - 94 °C), debido a que en ese estado aparecen fallas de bombeo. Los resultados de la prueba deben dar una lectura estable, la cual indica que la bomba está en un óptimo funcionamiento.

### **3.2.4 Prueba de compresión del motor.**

La relación de compresión volumétrica en un motor de combustión interna se define como el valor que permite la medición de la proporción en volumen de la mezcla aire/combustible que se ha comprimido dentro de la cámara de combustión del cilindro del motor. Para garantizar el funcionamiento correcto del motor y descartar alguna falla posible en el interior del motor, se realiza una prueba de compresión en cada cilindro del motor ya que dicha compresión afecta directamente al consumo de aceite, torque, potencia y emisiones de gases del motor.

#### **3.2.4.1 Procedimiento.**

- Se inicia la prueba desconectando cada uno de los capuchones de cables de bujías del motor.



Figura 33. Desactivación de capuchones de cables de bujías.

- Una vez desconectados los capuchones se procede a retirar las bujías de cada cilindro del motor.



Figura 34. Desmontaje de bujías.

- A continuación, se instala el manómetro en el cilindro que se va a realizar la medición de compresión.



Figura 35. Instalación del manómetro para medir compresión.

- Para finalizar la medición de la compresión se procede a dar arranque al motor, obteniendo datos de compresión del cilindro en el manómetro.



Figura 36. Medida de compresión.



El mismo protocolo se lleva a cabo en los cilindros restantes del motor. Los resultados de las pruebas se detallan en la tabla 8:

Tabla 8. Datos prueba de compresión

<i>Número de cilindro</i>	<i>Valor de Compresión</i>
Cilindro 1	130 psi
Cilindro 2	125 psi
Cilindro 3	125 psi
Cilindro 4	130 psi

Con la prueba de compresión se verifica el desgaste del motor, revelando cualquier fuga de compresión y permitiendo detectar el desgaste de los anillos de pistón, empaque de culata fundida o una válvula que no se encuentra asentada de manera correcta. Los valores resultantes son dados en psi como unidad de medida.

En la prueba de compresión muestran datos aceptables en los diferentes cilindros del motor, ya que cada uno posee valores muy parejos y no existe valor considerablemente bajo en ninguno de los cilindros medidos. De este modo se considera el buen funcionamiento del mismo para poder realizar todos los ensayos requeridos en la investigación sin ningún contratiempo.

### 3.3 Preparación de los combustibles a utilizar.



Figura 37. Gasolina súper y bioetanol E10.

Para la elaboración de la mezcla de gasolina/etanol al 10% de acuerdo con el porcentaje de volumen ya descrito, se utiliza como combustible base la gasolina súper de 92 octanos y el combustible alternativo que es el etanol a partir de despojos de maíz.

### 3.3.1 Propiedades de la gasolina súper.

Tabla 9. Requisitos de la gasolina 92 octanos (RON) según la NTE INEN 935.

<i>Requisitos</i>	<i>Unidad</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<b>Número de octano Research (RON)</b>	--	92	--
<b>Destilación: 10%</b>	°C	--	70
<b>50%</b>	°C	77	121
<b>90%</b>	°C	--	190
<b>Punto final</b>	°C	--	220
<b>Residuo de destilación</b>	% volumen	--	2
<b>Relación vapor – líquido a 60°C</b>	--	--	20
<b>Presión de vapor</b>	kPa	--	60
<b>Corrosión lámina de cobre (3h a 50°C)</b>	--	--	1
<b>Contenido de gomas</b>	mg/100mL	--	4
<b>Contenido de azufre</b>	%	--	0,065
<b>Contenido de aromáticos</b>	% volumen	--	35
<b>Contenido de benceno</b>	% volumen	--	2
<b>Contenido de olefinas</b>	% volumen	--	25
<b>Estabilidad a la oxidación</b>	Min	240	--
<b>Contenido de oxígeno</b>	% masa	--	2,7
<b>Contenido de plomo</b>	mg/L	--	No detectable
<b>Contenido de manganeso</b>	mg/L	--	No detectable
<b>Contenido de Hierro</b>	mg/L	--	No detectable
<b>NOTA:</b> En el caso que las gasolinas contengan etanol anhídrido la presión de vapor puede llegar hasta 62 kPa.			

Fuente: (NTE INEN 935).

En la tabla 9 se detalla la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 935 que determina los requisitos que debe cumplir la gasolina catalogada como súper de 92 octanos (RON)

para el uso en motores de combustión interna de encendido por chispa. Este tipo de gasolina debe cumplir con los requisitos establecidos de acuerdo con sus diferentes propiedades.

### 3.3.2 Propiedades del etanol.

En la tabla 10 se describe los requisitos de las diferentes propiedades que debe cumplir el etanol grado carburante, el cual es utilizado en mezclas conjuntamente con combustibles líquidos. La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2478 además de especificar dichos requisitos, dispone que el etanol grado carburante debe ser incoloro, transparente y debe estar libre de impurezas.

Tabla 10. NTE INEN 2478 Requisitos etanol anhidro grado carburante

<b>Requisitos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Contenido de etanol</b>	%	96.3	--
<b>Acidez Total (Como ácido acético)</b>	mg/100ml	--	3,0
<b>Conductividad eléctrica</b>	μS/m	--	500
<b>Densidad a 20°C</b>	Kg/m <sup>3</sup>	--	791,5
<b>Contenido de cloruros</b>	mg/l	--	32
<b>Contenido de agua</b>	%	--	0,3
<b>Contenido de cobre</b>	mg/kg	--	0,1
<b>Residuo por evaporación</b>	mg/100ml	--	5,0
<b>pHe</b>	--	6,5	9,0
<b>Contenido de desnaturalizantes</b>	%	2	3

El etanol anhidro grado carburante desnaturalizado puede contener aditivos tales como inhibidores de corrosión y detergentes que pueden afectar la titulable (ácidos expresada como ácido acético) del etanol anhidro grado carburante terminado.

Fuente:(NTE INEN 2478).

El etanol anhidro grado carburante desnaturalizado contiene una cantidad mínima de porcentaje de alcohol de 96,3%. El contenido de esta propiedad en el biocombustible elaborado contiene un porcentaje de etanol de 96,5%, por ende cumple con el valor de la

propiedad básica para poder denominarlo biocombustible. Básicamente, es un compuesto químico ( $C_2H_6O$ ) que resulta de la fermentación de azúcares y puede utilizarse al 100% como combustible o mezclado con la gasolina. En la tabla 11 se describe las principales propiedades del biocombustible a partir de despojos de maíz.

Tabla 11. Propiedades del etanol anhidro a partir de despojos de maíz.

<i>Etanol anhidro a partir de despojos de maíz</i>	
Contenido de etanol	96,5 %
pHe	6,8
Coloración	Incoloro
Olor	Característico
Densidad	0,768 Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: (Mora Oña, 2017).

### 3.3.3 Preparación mezcla gasolina/etanol E10.

Para realizar las pruebas con combustible alternativo se utiliza la mezcla E10, que consiste en la preparación de una mezcla con el 90% de combustible tradicional, en este caso gasolina súper y el 10% de etanol respectivamente.

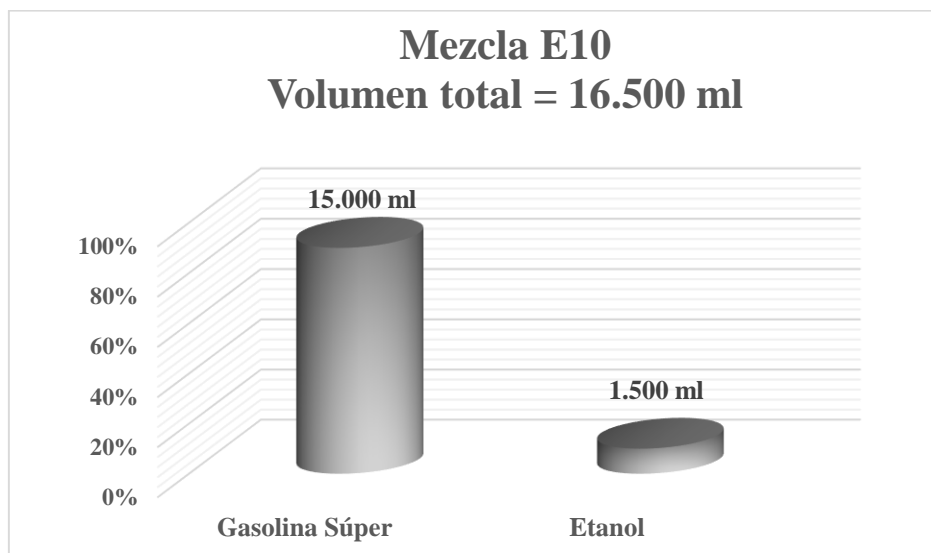


Figura 38. Mezcla gasolina/etanol E10.

Antes de llevar a cabo las diferentes pruebas se realiza la mezcla física con los volúmenes de gasolina y etanol ya determinados. En este caso utilizamos 8000 mililitros de mezcla gasolina/etanol E10 para el desarrollo de los ensayos ya establecidos. Los valores en porcentajes se detallan en la tabla 12:

Tabla 12. Porcentajes y volúmenes de combustibles utilizados.

<i>Combustible</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Volumen Determinado</i>
Gasolina Súper	90%	7200 ml
Etanol	10%	800 ml
BIOETANOL E10	100%	8000 ml

### 3.3.3.1 Procedimiento.

- Para comenzar con la preparación del biocombustible se mide 7200 ml de gasolina súper con ayuda de un matraz de erlenmeyer y se coloca en un envase referencial para preparar la mezcla con ayuda de un embudo.



Figura 39. Medición gasolina súper.

- A continuación, se procede a cuantificar 800 ml de bioetanol en el matraz de erlenmeyer y se coloca en el envase referencial cerrado de gasolina.



Figura 40. Colocación de gasolina en el envase referencial.

- Para finalizar, se agita la mezcla gasolina/etanol dentro del envase hermético, obteniendo una mezcla homogénea para poder realizar las diferentes pruebas y ensayos que la investigación requiere: consumo de combustible, emisiones contaminantes, torque y potencia.



Figura 41. Etanol anhidro grado carburante desnaturalizado.

### 3.3.4 Caracterización mezcla gasolina/etanol E10.

Existen diferencias entre el etanol anhidrido, bioetanol y la gasolina, que se deben a sus características fisicoquímicas, las más relevantes que caracterizan a este tipo de combustibles e influyen en su uso potencial son: el octanaje, la corrosión y el contenido de azufre como principales propiedades químicas.

Tabla 13. Caracterización mezcla gasolina/etanol E10

<i>Ensayo</i>	<i>Unidad</i>	<i>Valor obtenido</i>
<b>Número de octano (RON)</b>	-	96.3
<b>Presión de vapor Reid</b>	kPa	58.6
<b>Corrosión lámina de cobre</b>	-	1A
<b>Contenido de azufre</b>	%	0,020
<b>Contenido de gomas</b>	mg/100mL	0,2

Fuente: (Mora Oña, 2017).

Para verificar si la mezcla cumple con los requerimientos y determinar los valores de las propiedades principales del bioetanol E10, se realiza un análisis de caracterización de la mezcla bioetanol E10. La muestra fue analizada en el laboratorio de petróleos de la Facultad de Química de la Escuela Politécnica Nacional, dando como resultados valores que se detallan en la tabla 13.

### **3.4 Pruebas de funcionamiento.**

La investigación plantea el desarrollo de pruebas experimentales utilizando gasolina súper de 92 octanos y una mezcla gasolina/etanol E10, con el objetivo de realizar un análisis del desempeño mecánico del motor y determinar la influencia de las emisiones contaminantes hacia el medio ambiente de un automóvil con motor Otto.

#### **3.4.1 Ensayos de consumo de combustible.**

El método que se utiliza en las pruebas de consumo es el método de V vs t, que consiste en determinar el volumen de combustible que se consume en un determinado tiempo; en este método se emplea un recipiente graduado de una capacidad determinada para facilitar la lectura de resultados. El consumo se define en mililitros (ml) o centímetros cúbicos por minuto ( $\text{cm}^3/\text{min}$ ), además comprendiendo que para un motor en condiciones ideales de funcionamiento la combustión total de 1gr de gasolina se logra con 14.7 gr de aire. Sin embargo, los motores no son capaces de establecer condiciones

homogéneas entre la gasolina y el aire para que se combustione en su totalidad, debido a esta razón se modifica dicha mezcla dependiendo el estado de las partes de motor y condiciones atmosféricas (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2009).

En los ensayos se utiliza como combustible la gasolina comercial tipo súper y bioetanol E10, donde cabe mencionar que se realizan distintas pruebas de consumo de combustible: ensayo a régimen de funcionamiento del motor a 900 rpm (ralentí) y una prueba en carretera con una ruta establecida, en condiciones de presión atmosférica y temperatura ambiente similares.

#### ***3.4.1.1 Consumo de combustible a ralentí.***

Para poder desarrollar la prueba de consumo y las diferentes pruebas a desarrollar en la investigación, se instala en el vehículo un mecanismo externo de alimentación de combustible en reemplazo del sistema propio del automotor, con una bomba extra de combustible que va conectada a las cañerías de salida y retorno de combustible a través de conductos establecidos y de la misma manera se elabora una conexión eléctrica desde el arnés de cableado del tanque de combustible hacia la bomba del mecanismo. De esta manera los ensayos se realizan de manera práctica.



Figura 42. Mecanismo externo de alimentación de combustible.



Para realizar el ensayo de consumo de combustible a ralentí se sigue el siguiente procedimiento:

- El recipiente graduado contiene un volumen inicial de combustible ya establecido, posteriormente se introduce el mecanismo alterno con las cañerías y la bomba de combustible conectadas anteriormente.



Figura 43. Recipiente graduado.

- A continuación, con el motor del vehículo a temperatura normal de funcionamiento ( $92^{\circ}\text{C}$  -  $94^{\circ}\text{C}$ ) y estabilizado se da inicio al desarrollo del ensayo.
- Primeramente se debe cronometrar el tiempo determinado para cada prueba y al terminar el tiempo establecido con la ayuda de una probeta se mide exactamente el consumo de combustible. Al culminar el ensayo se recopila los datos obtenidos en las pruebas.

Para lograr datos de consumo garantizados se realizan varios ensayos en las mismas condiciones de funcionamiento del motor, de esta manera se obtienen valores resultantes promedio seguros, confiables y garantizados. Los resultados obtenidos en las

pruebas de consumo de combustible a ralentí utilizando gasolina súper se detallan en la tabla 14:

Tabla 14. Resultados de consumo con gasolina súper a 900 rpm.

<i>Gasolina Súper</i>		
<b>900 rpm (Ralentí)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
Ensayo 1	30	680
Ensayo 2	30	670
Ensayo 3	30	690
<b>Valor promedio</b>		680

Los valores de consumo de combustible que se logran a un régimen de 900 rpm utilizando bioetanol E10 como combustible y al mismo tiempo determinado son descritos en la tabla 15:

Tabla 15. Resultados prueba de consumo con bioetanol E10 a 900 rpm.

<i>Bioetanol E10</i>		
<b>900 rpm (Ralentí)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Consumo (ml)</b>
Ensayo 1	30	610
Ensayo 2	30	600
Ensayo 3	30	620
<b>Valor promedio</b>		610

#### ***3.4.1.2 Consumo de combustible en carretera.***

El ensayo de consumo de combustible en carretera se realiza con una ruta establecida y trazada dentro de la provincia de Imbabura, específicamente en el cantón Otavalo, que tiene su punto A de partida en el sector del redondel de la entrada sur a la ciudad de Otavalo, llegando y girando en el punto B ubicado en el redondel del sector de la comunidad de Cajas y regresando hasta el punto de inicio A para dar por finalizada la prueba.

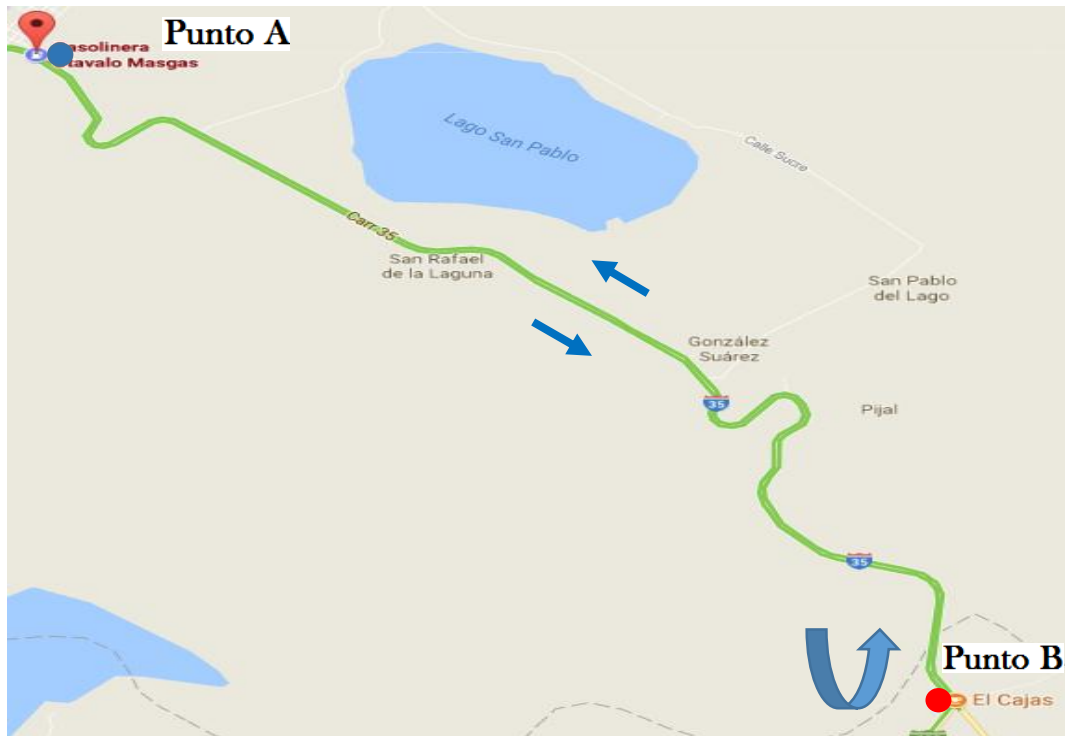


Figura 44. Ruta de prueba carretera.

El recorrido total de la prueba en carretera es de 32,4 Km, cuyo valor se obtuvo a través del odómetro parcial del automóvil. Los ensayos se los realiza a una velocidad constante de 80Km/h con un tiempo medio cronometrado de 27 minutos y 40 segundos. Las pruebas con gasolina y bioetanol E10 se las realizaron el mismo día con las mismas condiciones de temperatura ambiente para lograr que sean homogéneas y permitiendo obtener resultados más precisos.



Figura 45. Distancia recorrida en odómetro parcial.

Antes de iniciar el trayecto de la ruta establecida se considera un volumen inicial con respecto al recipiente graduado. Al dar marcha al vehículo el volumen de combustible se reduce en un determinado tiempo y distancia, por lo tanto, cuando se termina el recorrido de la prueba se procede a la medición del combustible restante con ayuda de un recipiente graduado.

La manera en la que se conduce el automotor incide mayormente en el consumo de combustible, por esta razón se toman en cuenta las siguientes consideraciones al realizar el análisis del consumo en carretera:

- La aceleración al momento de arrancar el vehículo y cuando se detenga totalmente por cualquier motivo durante el desarrollo del ensayo debe ser de una manera no apresurada.
- No se debe superar los 80 km/h establecidos en la prueba aún cuando el tráfico en la ruta lo permita, dicha velocidad debe ser constante en todo el trayecto para que la obtención de los datos sean similares.
- Los cambios de marcha deben ser realizados de manera correcta al iniciar el recorrido de la ruta o en detenciones totales o parciales del vehículo, hasta llegar a la cuarta marcha. Con estas condiciones se consiguen datos más exactos.

A continuación, se dispone la tabla 16 con los resultados obtenidos en los ensayos de consumo de combustible en carretera utilizando gasolina súper de 92 octanos y la mezcla gasolina/etanol E10:

Tabla 16. Resultados consumo en carretera con gasolina súper y bioetanol E10.

<i>Consumo en Carretera</i>			
	<b>Distancia recorrida</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Consumo</b>
Gasolina Súper	32,4 km	27:35 min	2750 ml
Bioetanol E10	32,4 km	27:51 min	2440 ml

Al realizar los ensayos de consumo con gasolina y la mezcla gasolina/etanol E10 a ralentí y en una ruta establecida se tiene en cuenta que la temperatura ambiente y la presión atmosférica sean similares para adquirir datos más precisos.

Las cifras de consumo obtenidos con el vehículo de prueba, además de conocer la distancia de la ruta en carretera y el tiempo de permanencia de la misma, proporcionan un consumo de combustible en litros/minutos y en kilómetros/litros. Estos valores permiten realizar una relación de rendimiento de combustible al utilizar gasolina y bioetanol E10.

### 3.4.2 Análisis de emisiones de gases contaminantes.

El análisis de gases contaminantes del motor con gasolina y con bioetanol se lo realiza utilizando el equipo analizador de gases BRAIN BEE AGS-688, propiedad de la Universidad Técnica del Norte. Dicho equipo determina las diferentes concentraciones de gases que son emitidas por el escape en los motores de encendido por chispa.

El equipo consta de un software donde incluye un diagnóstico de posibles fallas del automóvil de acuerdo con los resultados de las emisiones. Un display LCD indica los datos de rpm, la temperatura del lubricante y los valores de los gases que son medidos.

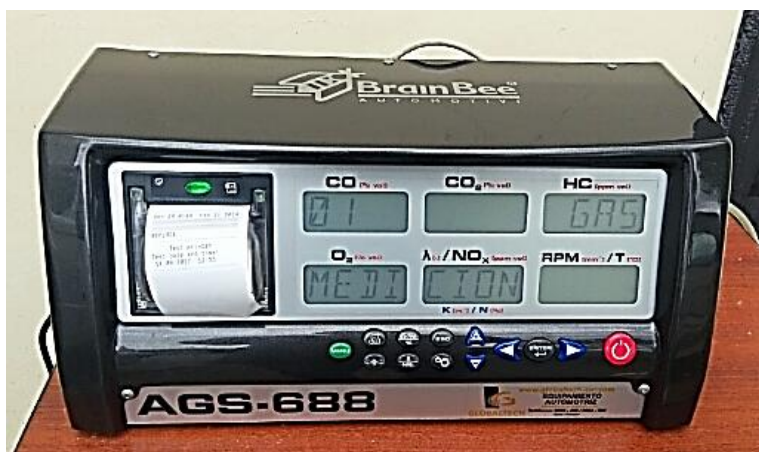


Figura 46. Analizador de gases BRAIN BEE AGS-688.

El equipo proporciona datos específicos del régimen de funcionamiento del motor y la cantidad de gases contaminantes emitidos: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos (HC), oxígeno (O<sub>2</sub>) y el factor Lambda.

Al momento de realizar las pruebas se necesita conocer el manejo y el uso del equipo analizador de gases, para lo cual es recomendable trabajar con el manual de usuario para solucionar los problemas que se puedan presentar en el momento de realizar el análisis. Antes de comenzar la prueba de emisiones se debe tener en cuenta las siguientes verificaciones en el automóvil y el motor:

- Verificar que los accesorios del automóvil no se encuentren encendidos: autoradio, aire acondicionado y luces.
- Revisar que todo el sistema de escape del motor se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento y que no presente fisuras.
- Dar marcha al motor y revisar que se encuentre en la temperatura normal de funcionamiento (92°C - 94 °C).
- Revisar que los niveles de líquido refrigerante y aceite del motor sean correctos.
- Verificar la existencia de fugas de aceite en el motor.
- Examinar que todos los sensores y actuadores del motor se encuentren bien conectados.
- Los filtros de aire y combustible deben estar limpios, sin impurezas ni obstrucciones.
- La línea de alimentación de combustible no debe poseer fugas.

Si el automóvil o el motor no cumplen todas las verificaciones citadas anteriormente no se procede a ejecutar las pruebas de emisión de gases contaminantes, esto como recomendación para evitar errores en los resultados de los ensayos.

#### **3.4.2.1 Descripción de la prueba.**

Previo al inicio de la prueba de emisiones contaminantes se procede a la conexión y afinación del equipo de análisis de gases para la adquisición de datos de los distintos gases emitidos por el motor.

La prueba comienza con la verificación de la temperatura normal de funcionamiento del motor y del régimen de funcionamiento del mismo, es decir, verificar que el tacómetro se encuentre en condiciones de marcha mínima a 900 rpm, luego se modifica las revoluciones según las pruebas que se van a realizar.



Figura 47. Dispositivo cuentarrevoluciones.

Un dispositivo que forma parte del equipo se conecta directamente al motor del automóvil, el cual se encarga de contar las revoluciones del motor y también cuenta con una sonda para determinar la temperatura del mismo. Posee tres entradas que se deben conectar (batería, sensor de golpeteo, sensor de temperatura); el cable de la batería se lo identifica por poseer pinzas en los extremos los cuales van conectados a los bornes de la batería, el cable del sensor se lo ubica en la parte superior del cabezote el cual mide las

rpm y el tercero es la sonda de temperatura que se inserta en lugar del medidor de aceite teniendo en cuenta la longitud del mismo.

Para limpiar el sistema de escape se realiza tres aceleraciones hasta el nivel máximo de régimen de giro del motor, con esto se evita extraer datos equivocados de los gases contaminantes emitidos.



Figura 48. Instalación de la sonda de prueba.

Posteriormente, con el motor funcionando a temperatura normal, se espera cinco minutos para que el equipo llegue a óptimas condiciones de funcionamiento. A continuación, el equipo indica cuando insertar la sonda la cual debe mantenerse fija para una buena lectura de gases.



Figura 49. Transmisión de datos.

Una vez que la sonda de prueba se inserta en el sistema de escape del automotor, se realizan los ensayos a distintas revoluciones del motor. Los ensayos se realizan a



ralentí, 1.500, 3.000 y 4.000 rpm. Posteriormente, se aguarda el tiempo de respuesta del analizador para finalizar la lectura de datos.

Los valores de los gases contaminantes emitidos utilizando gasolina súper como combustible se presentan en las siguientes figuras:

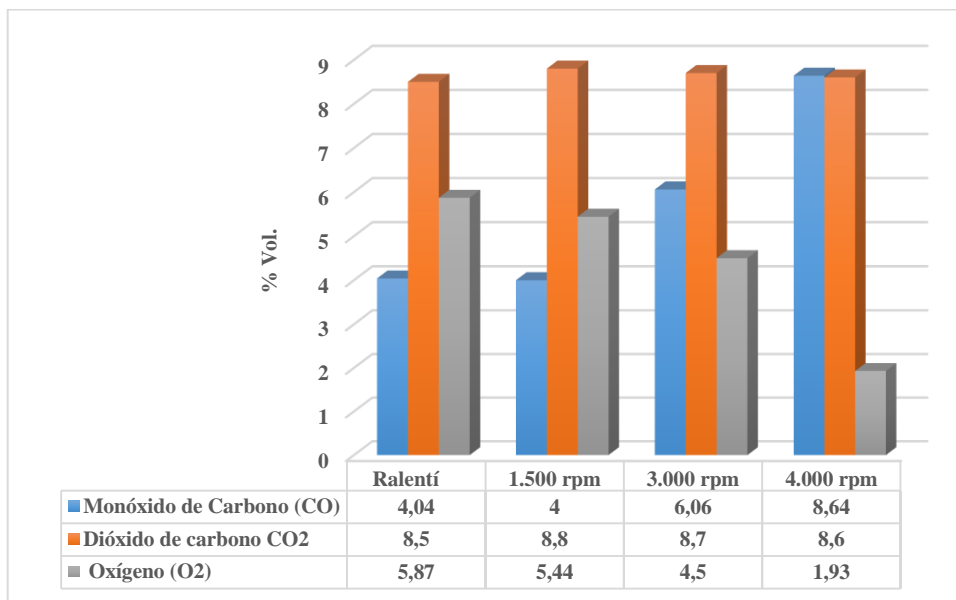


Figura 50. Valores resultantes de CO, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> con gasolina súper.

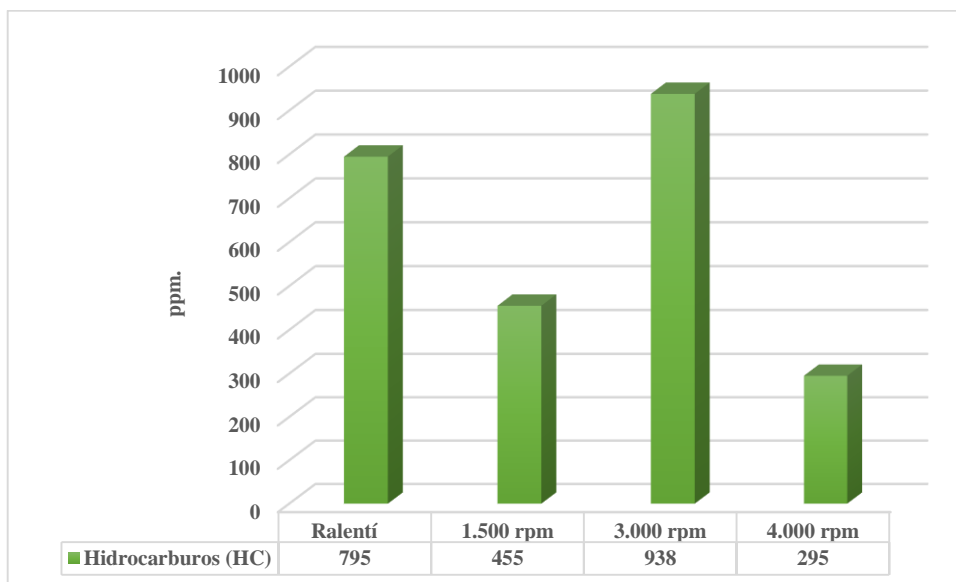


Figura 51. Valores resultantes de hidrocarburos con gasolina súper.

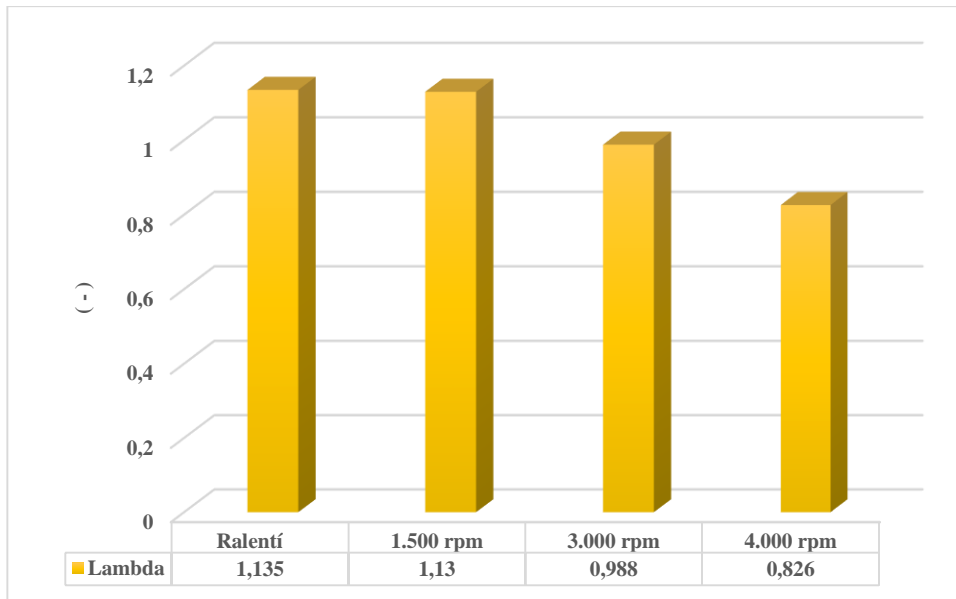


Figura 52. Valores resultantes de lambda con gasolina súper.

Posteriormente, se realiza otros ensayos de emisiones contaminantes, los cuales se efectúan con la mezcla gasolina/etanol E10 llevando a cabo el mismo procedimiento y método de la prueba anterior. Los resultados se detallan de una manera práctica en las siguientes figuras:

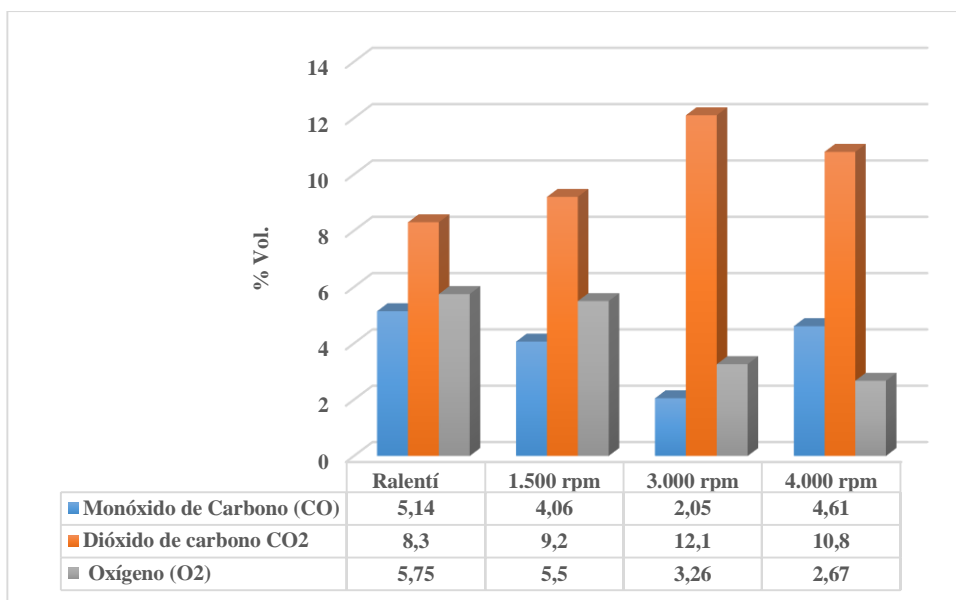


Figura 53. Valores resultantes de CO, CO<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> con bioetanol E10.

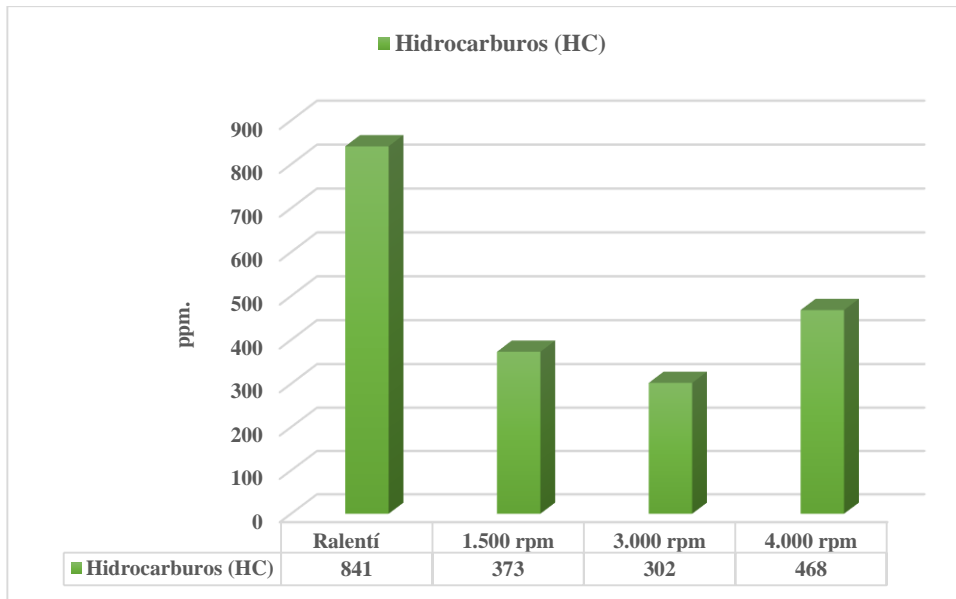


Figura 54. Valores resultantes de hidrocarburos con bioetanol E10.

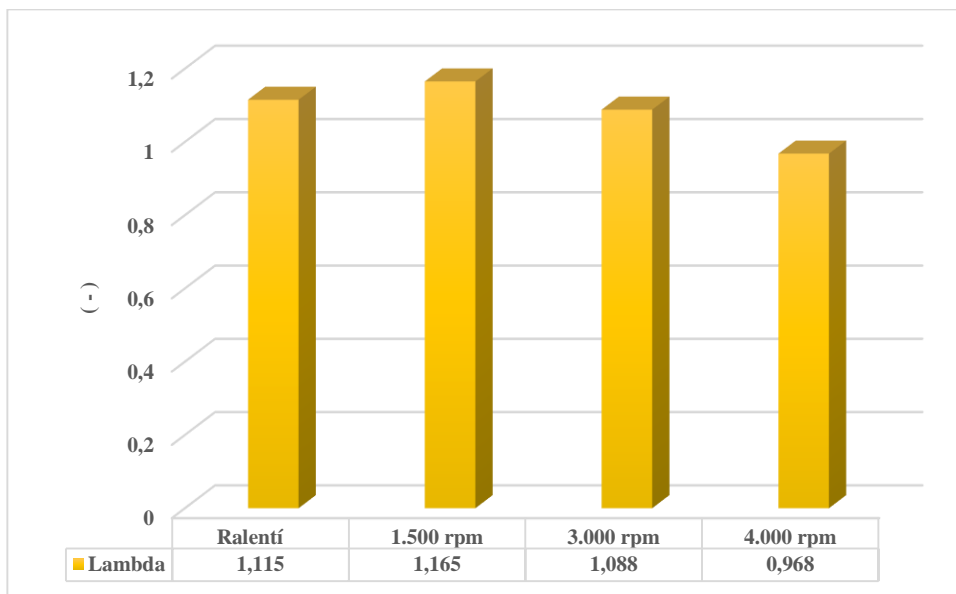


Figura 55. Valores resultantes de lambda con bioetanol E10.

### 3.4.3 Pruebas de torque y potencia.

Para realizar las pruebas de torque y potencia en condiciones estándar se las desarrolla en un dinamómetro de chasis o de rodillos, en el cual se obtiene las curvas de

potencia y par motor, así como también puede monitorear el comportamiento de los parámetros que señalan su funcionamiento.

Los ensayos de torque y potencia se las desarrolla en el dinamómetro de chasis marca MAHA modelo LPS 3000 propiedad del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV). Este equipo determina la potencia y el torque real del vehículo en condiciones ambientales donde el equipo se encuentra instalado.

#### ***3.4.3.1 Dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000 LKW.***

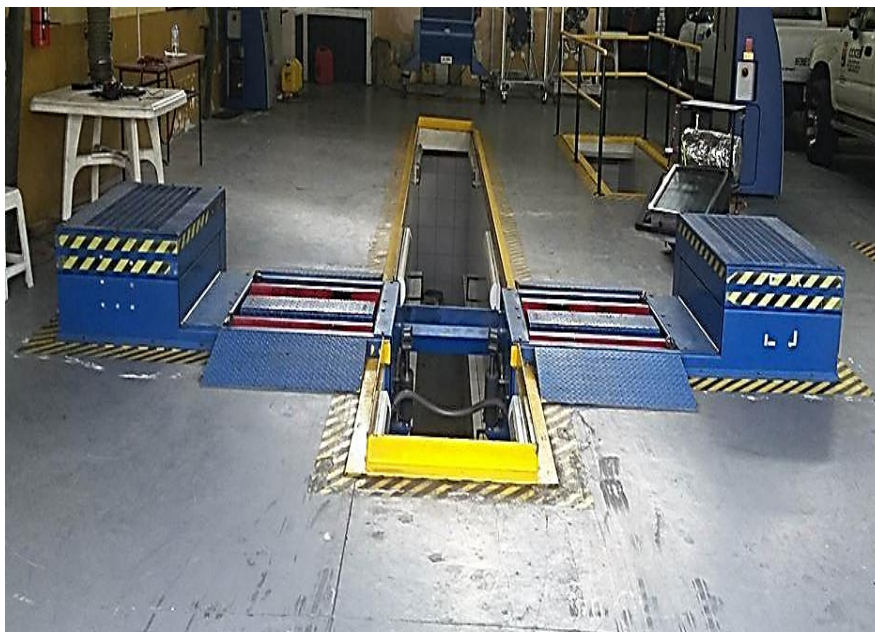


Figura 56. Dinamómetro de chasis MAHA LPS 3000 LKW.

EL dinamómetro permite rodar cualquier tipo de automóvil dentro de un taller automotriz a velocidades deseadas y registrando resultados de una forma gráfica. Con los resultados que emite se puede determinar si el motor de un automóvil cumple con las especificaciones determinadas por el fabricante de la marca de vehículo, así como también analizar el rendimiento del motor tomando en cuenta la influencia de modificaciones electrónicas o mecánicas en el mismo.



Figura 57. Pupitre de comunicaciones marca MAHA.

El equipo posee cuatro rodillos que giran solidariamente con un momento de inercia conocido y sobre los cuales van colocadas las ruedas motrices del automóvil, en el caso del automóvil de prueba en la investigación son las ruedas delanteras. Trabaja con un sensor que toma la velocidad que giran los rodillos y envía de manera sistemática información de dicha velocidad a la computadora.

#### ***3.4.3.2 Evaluación y preparación del vehículo.***

Se realiza una revisión previa de los elementos y sistemas principales del automóvil en el cual se llevarán a cabo las pruebas para que no exista ningún inconveniente en el desarrollo de los ensayos. La evaluación se basa principalmente en los siguientes aspectos:

- Registro del kilometraje del vehículo.
- Inspección de fluidos y correas.
- Verificación del estado de los aros y neumáticos.
- Inspección del equipo de seguridad del vehículo.
- Inspección de los indicadores y controles del tablero de instrumentos.
- Verificación de los filtros de aire y de combustible.

### 3.4.3.3 Desarrollo del protocolo de pruebas.

El procedimiento del ensayo se inicia colocando las ruedas motrices del automóvil sobre los rodillos del dinamómetro y al mismo tiempo se verifica que se encuentre centrado totalmente con respecto a la línea de funcionamiento del dinamómetro.



Figura 58. Ruedas motrices del automotor sobre rodillos del dinamómetro.

A continuación, se fijan los elementos de seguridad que posee el dinamómetro que van a garantizar que el vehículo permanezca inmobilizado durante los ensayos respectivos. En este caso la sujeción del arnés se la realiza debajo del vehículo específicamente en las mesas delanteras con un ajuste específico.



Figura 59. Anclaje del arnés de seguridad.

Se coloca la sonda de temperatura de aceite para poder determinar y controlar la temperatura del aceite del motor, ya que en las pruebas se desarrollan cuando se alcanza la temperatura correcta del motor. Esta sonda va colocada en lugar de la varilla de medición de aceite.

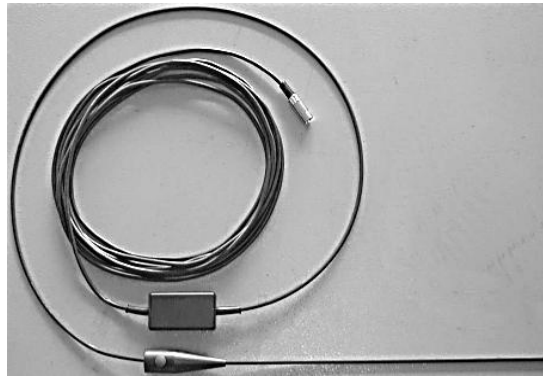


Figura 60. Sonda de temperatura de aceite de motor.



Figura 61. Equipo de medición de aceite de motor.

Se procede a la colocación del ventilador refrigerante delante del vehículo, aproximadamente a 1 metro de distancia como se muestra en la figura 62. Este equipo permite mejorar la refrigeración del motor y de todos sus componentes para prevenir las altas temperaturas durante el desarrollo de las pruebas, de este modo se mantiene la temperatura del motor bajo las condiciones normales de trabajo.



Figura 62. Colocación del ventilador refrigerante.

Se procede a emplazar el sistema que ayuda a la expulsión de los gases contaminantes al exterior, el cual permite la absorción de los gases emanados por el automóvil durante el desarrollo de los ensayos mediante una línea de conductos unidos hacia la parte exterior del centro de pruebas. Este sistema va acoplado al tubo de escape del automotor.



Figura 63. Acople de sistema de absorción de gases.



La tabla 17 muestran los datos del vehículo que se introducen en el software del dinamómetro:

Tabla 17. Datos del vehículo.

<b><i>Tipo de motor</i></b>	Otto
<b><i>Sobrealimentación</i></b>	Sin sobrealimentador
<b><i>Caja de velocidades</i></b>	Manual
<b><i>Tracción</i></b>	Delantera
<b><i>Rango de potencia</i></b>	130 kW

En el ensayo de torque y potencia se realiza la toma de datos a diferentes revoluciones determinadas y para poder desarrollarlo se realiza la sincronización de las rpm del motor del vehículo con el software del dinamómetro, el cual se ejecuta acelerando a 2000 rpm constantes.



Figura 64. Pantalla de sincronización de rpm.

Antes de dar inicio a las pruebas se controla la temperatura del lubricante del motor, específicamente debe mantenerse en 198 °F (92°C). Con la temperatura correcta se comienza a efectuar el ensayo en cuarta marcha. La prueba comienza desde un número de revoluciones bajas y se da paso a la aceleración a fondo hasta el número máximo de revoluciones que se desea para desarrollar el ensayo, en ese momento se deja libre el pedal del acelerador y el motor regresa paulatinamente a ralentí.



Figura 65. Pantalla de control de temperatura.

El sistema de rodillos que posee el dinamómetro recibe los datos de la potencia de las ruedas motrices del automóvil y envía dichos datos a un sistema de captura de datos resultantes con un software incluido que indican en un monitor los resultados obtenidos de manera gráfica.

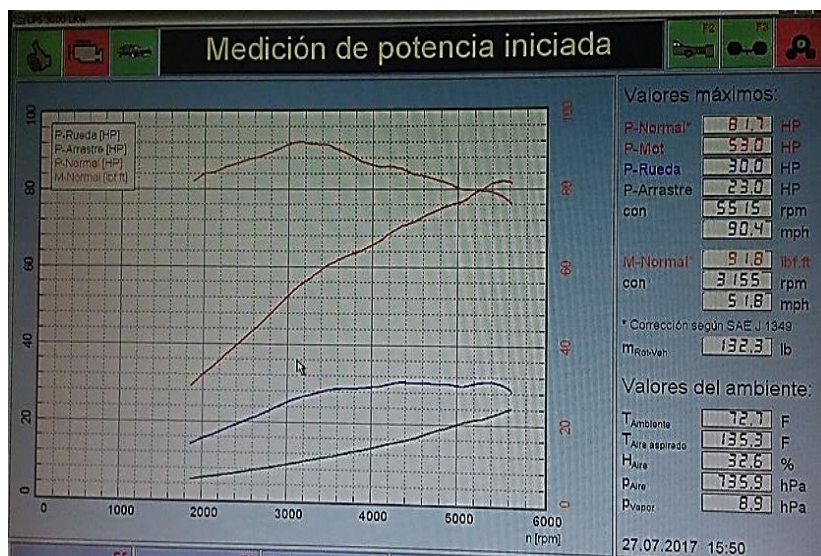


Figura 66. Pantalla de datos obtenidos.

Una vez finalizados los ensayos con gasolina y la mezcla gasolina/etanol E10 se procede a la impresión de los resultados de torque y par motor que arroja el software del dinamómetro para posteriormente poder realizar un análisis comparativo de los valores.

Para efectuar los ensayos de torque y potencia se realiza dos tomas de datos a un determinado número de revoluciones del motor, la primera prueba se efectúa con gasolina súper al 100% y la segunda con una mezcla gasolina/etanol E10. En la figura 67 se muestran las curvas y datos obtenidos utilizando solo gasolina súper como combustible.

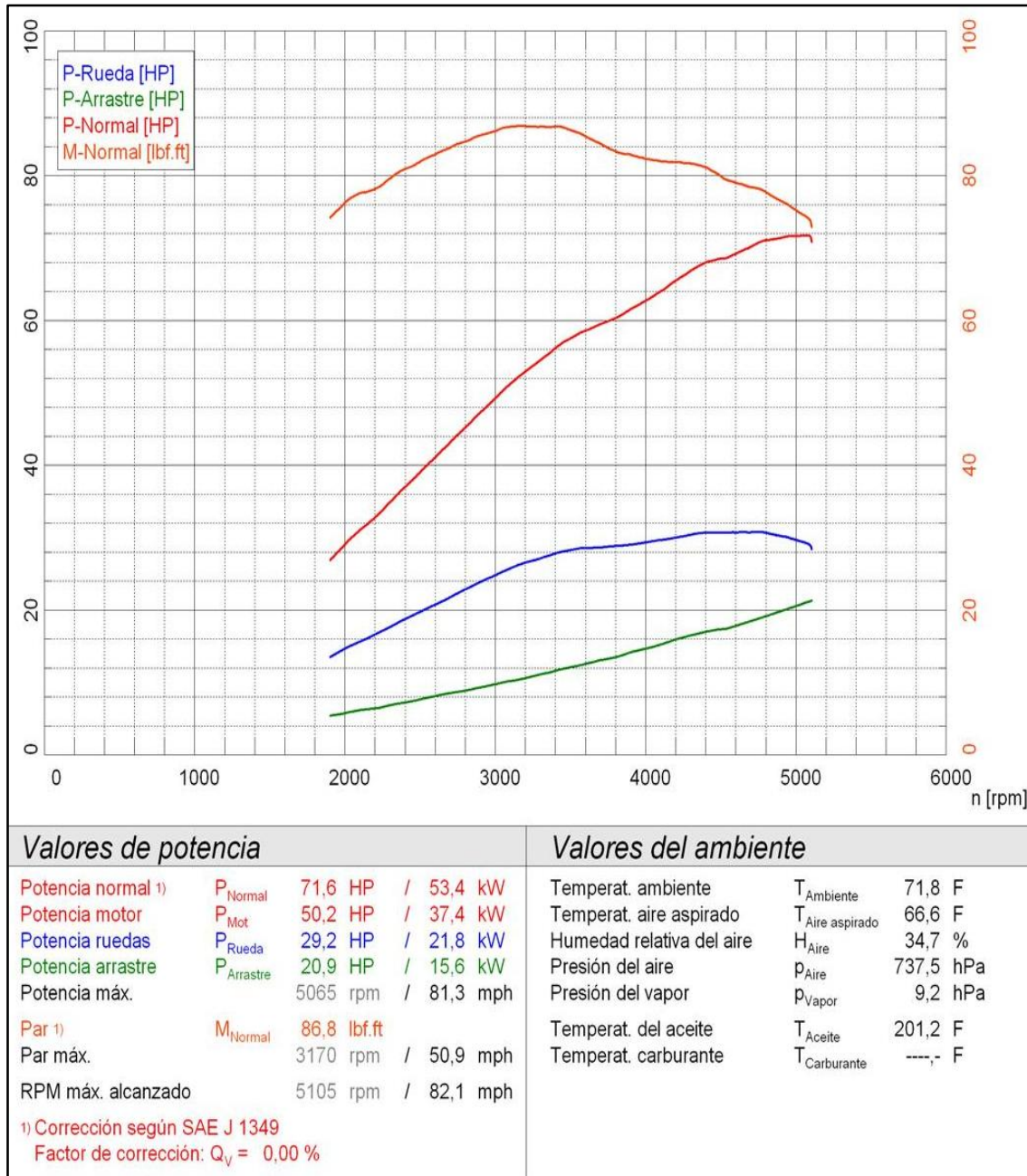


Figura 67. Resultados de la prueba de torque y potencia con gasolina súper.

En la figura 68 se puede apreciar los valores máximos obtenidos de potencia y torque con bioetanol E10, se describe a que revoluciones por minuto alcanza esos valores límite tomando en cuenta que los datos resultantes se desarrollan en rangos normales de un motor estándar sin ninguna modificación.

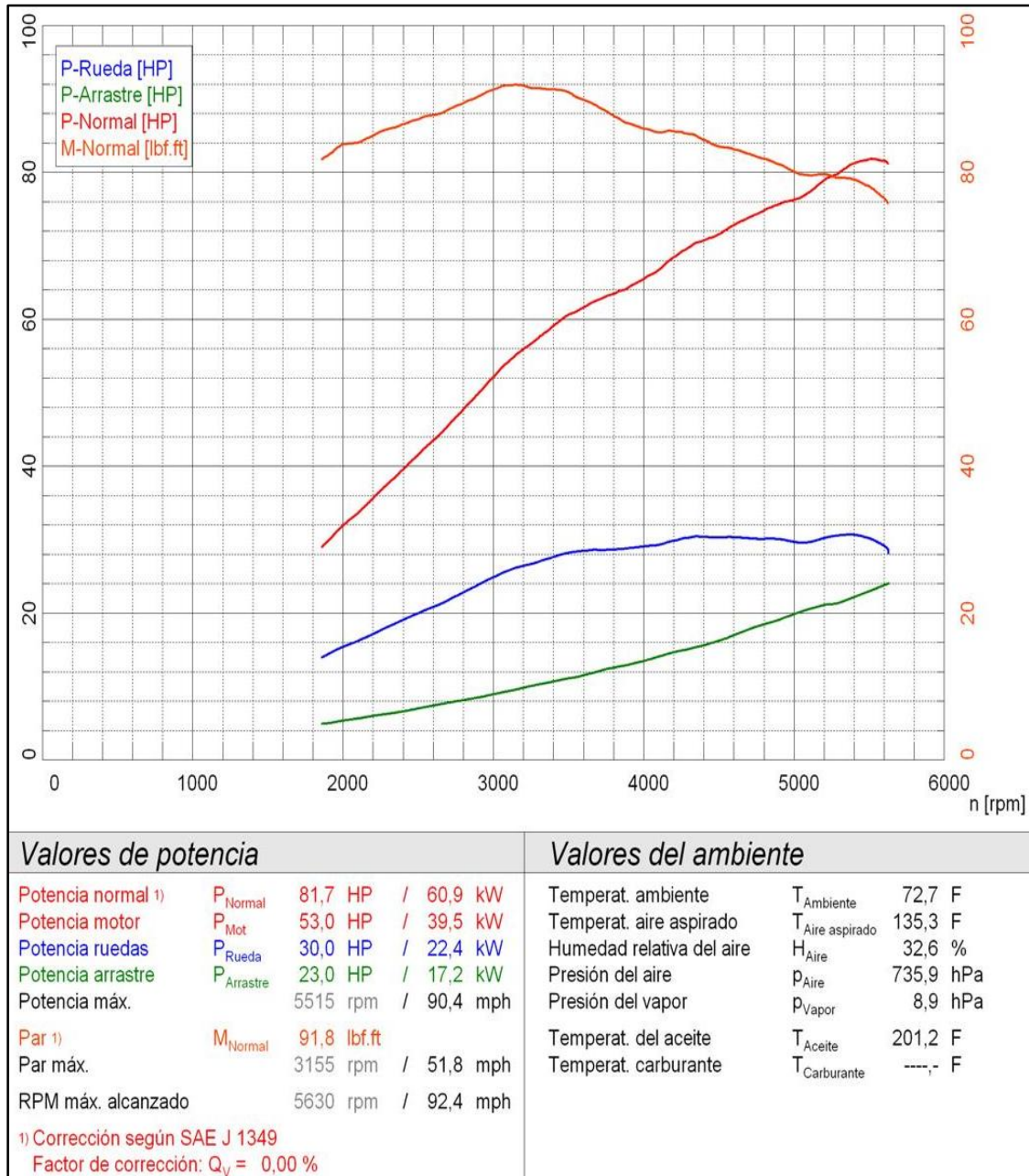


Figura 68. Resultados de la prueba de torque y potencia con bioetanol E10.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 Análisis de los combustibles utilizados.

En el análisis de los combustibles que se utilizan en la investigación, específicamente el bioetanol E10 posee características o propiedades fisicoquímicas similares a la gasolina 100%.

##### 4.1.1 Comparación gasolina súper - bioetanol E10.

La comparación entre el bioetanol E10 y la gasolina se lleva a cabo relacionándolos con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 935 para gasolina súper. En la tabla 18 se puede evidenciar que los valores obtenidos en el análisis de caracterización del bioetanol E10 cumplen con la normativa en sus principales propiedades.

Tabla 18. Comparación de valores Bioetanol E10 – Gasolina Súper.

Requisitos	Unidad	<i>Gasolina Súper</i>		<i>Bioetanol E10</i>
		Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor obtenido
Número de octano (RON)	-	92	--	96.3
Presión de vapor Reid	kPa	--	60	58.6
Corrosión lámina de cobre	-	--	1	1
Contenido de azufre	%	--	0,065	0,020
Contenido de gomas	mg/100mL	--	4	0,2

Una de las características principales de este tipo de combustibles es el valor de octanaje que poseen. Comparando con la normativa de la gasolina súper el valor de octanaje del bioetanol es de 96,3 por tanto es aceptable ya que se encuentra dentro del rango establecido; se puede evidenciar un aumento de octanaje de 4,67 % con respecto a la gasolina súper.

El valor de la presión de vapor de la mezcla es de 58,6 kPa, el valor resultante en el ensayo de corrosión a la lámina de cobre es de 1 y el valor del contenido de gomas es de 0,2 mg/100mL. Estos datos son aceptables ya que se encuentran en el rango que establece la norma para su cumplimiento. Además, se destaca el bajo contenido de azufre en la mezcla gasolina/etanol E10 favorable para el medio ambiente, razón por la cual resalta el uso de los biocombustibles para la reducción de las emisiones contaminantes de la industria automotriz. El valor de azufre obtenido es de 0,020%, cumpliendo así con la normativa anteriormente expuesta y estableciendo una disminución de 0,045% o partes por millón en relación al valor registrado por la gasolina súper.

El Número de Octano en la gasolina es una de las propiedades principales ya que refleja qué tan propenso es un combustible a causar problemas de "golpeteo" o "cascabeleo" en el motor. La causa de este problema es una autoignición prematura de la mezcla aire-combustible, lo cual afecta el avance del frente de flama dentro del cilindro del motor. El etanol tiene un calor latente de vaporización mayor al de la gasolina, lo cual contribuye a la obtención de un número de octano relativamente elevado, por lo tanto, desde hace tiempo se ha reconocido que la adición de etanol a las gasolinas específicamente tiende a mejorar el número de octano de toda la mezcla, lo cual también se traduce en mejoras en el rendimiento de combustible del motor (Castillo, Mendoza, & Caballero, 2011).

## **4.2 Análisis de consumo de combustible.**

### **4.2.1 Consumo a 900 rpm (Ralentí).**

Se evidencia una variación en el consumo de combustible al usar bioetanol E10 a bajas revoluciones con respecto a la línea base de la gasolina súper. Donde se consume 960 mililitros utilizando gasolina como carburante en un tiempo determinado de 30 minutos, a diferencia de los 610 mililitros consumidos por el motor trabajando con la mezcla gasolina/etanol E10.

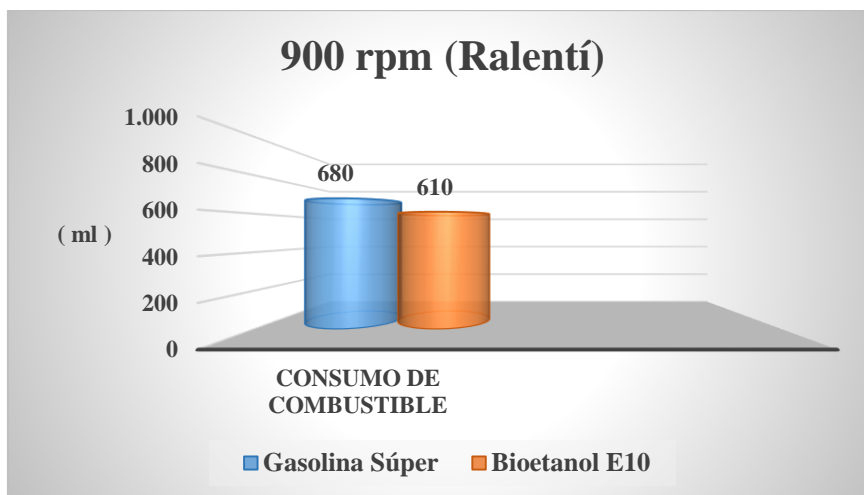


Figura 69. Consumo gasolina súper y bioetanol E10 a ralentí.

Por consiguiente, el ahorro porcentual en el consumo incorporando 10% de biocombustible es de 10,29%, cabe mencionar que dicho consumo de combustible se consigue en un régimen de 900 rpm.

#### 4.2.2 Consumo en carretera.

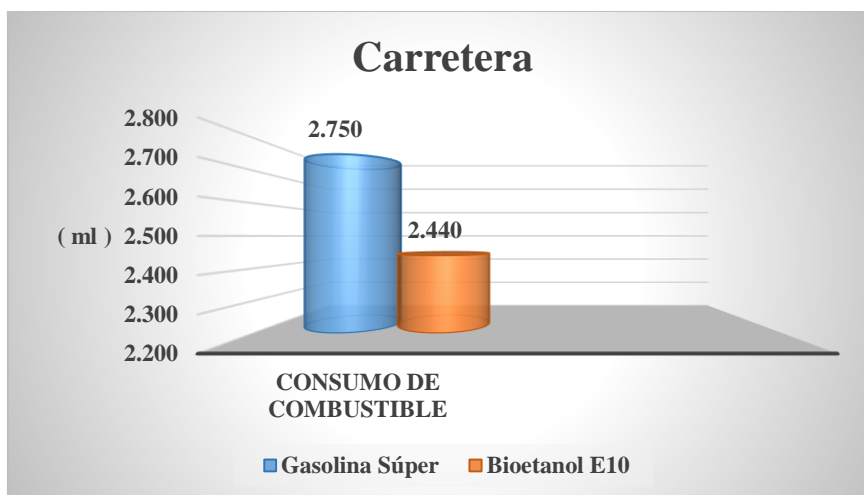


Figura 70. Consumo gasolina súper y bioetanol E10 en carretera.

El consumo en el recorrido de la ruta utilizando gasolina súper es de 2750 mililitros, a diferencia de los 2440 mililitros consumidos utilizando la mezcla E10 al

recorrer la misma ruta. Se obtiene una diferencia de 310 mililitros equivalentes a un ahorro porcentual de 11,3% utilizando la mezcla E10 como combustible.

La disminución del consumo de combustible básicamente se debe al aumento del octanaje existente en el bioetanol E10 con lo cual se obtiene una mejor combustión de la mezcla aire-combustible aumentando la relación de compresión de motor y utilizando una menor cantidad de combustible.

Los procesos de combustión mejoran con el uso de bioetanol E10, este es causado principalmente por la mayor cantidad de oxígeno disponible en la mezcla aire y combustible. Además el bioetanol genera más energía térmica dentro del cilindro durante la combustión (García, Cendales, & Eslava, 2016).

Los valores obtenidos traducidos a kilómetros recorridos por litro de combustible se detallan en la tabla 19:

Tabla 19. Rendimiento consumo de combustible en carretera.

	<i>Gasolina Súper</i>	<i>Bioetanol E10</i>	<i>Diferencia de rendimiento</i>
Rendimiento	8,56 km/litro	11,78 km/litro	27,34%

Con el uso de la mezcla E10 se obtiene un aumento significativo de rendimiento en cuanto a consumo de combustible se refiere, con un aumento de distancia recorrida de 3,22 km con la misma cantidad de combustible.

#### **4.3 Análisis de emisiones contaminantes.**

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2204 establece los límites permitidos de emisiones contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) a gasolina. Dicha normativa indica que toda fuente móvil con motor a gasolina durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y a



temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la tabla 20:

Tabla 20. Norma técnica ecuatoriana INEN 2204.

<i>Año modelo</i>	<i>Gases contaminantes</i>	<i>Ralentí 0 – 1500 rpm</i>	<i>Acelerado 1500 – 3000 rpm</i>
1990 a 1999	CO (%Vol.)	3.5	4.5
	HC (ppmVol.)	650	750

Fuente: (NTE INEN 2204).

En la tabla 21 se observan los datos obtenidos en los ensayos de emisiones de gases utilizando gasolina súper y con la mezcla bioetanol E10, a distintas rpm: 900 rpm (ralentí), 1.500 rpm, 3.000 rpm y 4.000 rpm respectivamente.

Tabla 21. Emisiones contaminantes con gasolina súper y bioetanol E10.

<i>Emisiones</i>	<i>Gasolina Súper</i>				<i>Bioetanol E10</i>			
	<b>900 rpm</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>3000 rpm</b>	<b>4000 rpm</b>	<b>900 rpm</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>3000 rpm</b>	<b>4000 rpm</b>
<b>CO (%Vol.)</b>	4,04	4	6,06	8,64	5,14	4,06	2,05	4,61
<b>CO<sub>2</sub> (%Vol.)</b>	8,5	8,8	8,7	8,6	8,3	9,2	12,1	10,8
<b>HC (ppmVol.)</b>	795	455	938	295	841	373	302	468
<b>O<sub>2</sub> (%Vol.)</b>	5,87	5,44	4,50	1,93	5,75	5,50	3,26	2,67
<b>Lambda</b>	1,135	1,130	0,988	0,826	1,115	1,165	1,088	0,968
<b>NTE INEN 2204</b>	<b>✘</b>	<b>✘</b>	<b>✘</b>	--	<b>✘</b>	<b>✘</b>	✓	--

El análisis del cumplimiento de la normativa del INEN antes mencionada se la desarrolla puntualmente, de manera que la podemos delimitar una vez que se obtienen los valores de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). Utilizando gasolina como combustible la cantidad de CO y HC sobrepasan el límite permitido por la norma con el motor funcionando a las revoluciones del motor indicadas por el INEN. En el caso de los gases emitidos con la mezcla gasolina/etanol E10 cumplen con la normativa solo funcionando a un régimen de giro de 3000 rpm.

Para una mejor perspectiva en cuanto al aumento o disminución de gases contaminantes, es necesario realizar un análisis comparativo mucho más práctico, el cual se lleva a cabo comparando los datos resultantes de cada uno de los gases a las diferentes revoluciones.

Se toma como referencia los valores donde existe una considerablemente variación de la cantidad de gases emitidos por el motor, en este caso se observa una alta variación a las 3000 rpm. Además, se consideran los valores resultantes en la prueba con el motor a ralentí como datos base para la comparación.

#### **4.3.1 Monóxido de Carbono (CO).**

Una mezcla rica causa la variación de la proporción de monóxido de carbono, la insuficiente cantidad de oxígeno para poder formar CO<sub>2</sub> origina la aparición de concentraciones elevadas de CO altamente nocivas y contaminantes. Para evitar una producción elevada de CO es necesario disminuir la cantidad de combustible para que las emisiones de CO regresen a valores que se encuentren dentro de la norma, hasta 3,5 ppm a ralentí y hasta 4,5 ppm a revoluciones altas.

Cuando existe un exceso de CO da lugar a depósitos de carbonilla en la cámara de combustión del motor recubriendo a la cabeza del pistón, la culata, las válvulas y los electrodos de las bujías de encendido. Como consecuencia del exceso de este gas se

producen los llamados puntos calientes que dan lugar a detonaciones e irregularidades al acelerar el automotor.

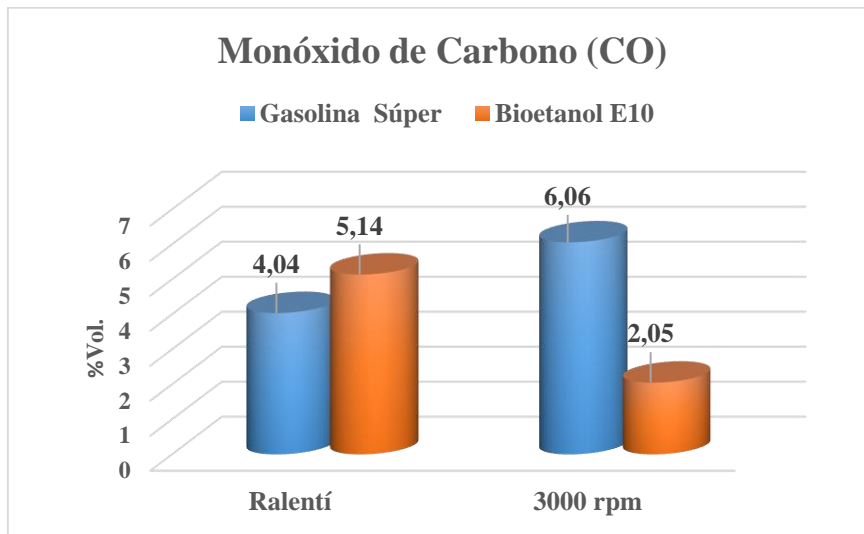


Figura 71. Análisis de monóxido de carbono.

Los resultados del ensayo realizado a ralentí muestran un valor de 4,04% de volumen de monóxido de carbono producido en la combustión de gasolina al 100% y un porcentaje de volumen de 5,14% al utilizar bioetanol E10. Se evidencia un aumento del 1,1% de volumen de CO al utilizar biocombustible.

En un régimen de giro de 3000 rpm y utilizando solo gasolina como combustible, el porcentaje de volumen es de 6,06%, a diferencia de solo 2,05% de volumen de gases que se emiten al carburar bioetanol E10. La diferencia en cantidad es de 4,01%, por consiguiente, el porcentaje de producción de gases de monóxido de carbono emitidos al medio ambiente se ha reducido en un 66,17% al combustionar bioetanol E10. Con esta disminución se cumple con la normativa ya que se encuentra dentro de los rangos establecidos.

La formación de CO está directamente ligada a la eficiencia de la combustión, es decir, a mayor cantidad de carbono procedente del combustible la mezcla se quema completamente. Se produce esta disminución porque el etanol posee un átomo de oxígeno

y al mezclarlo con el combustible proporciona una mayor cantidad de oxígeno en el proceso de combustión, aumentando la velocidad de la llama y teniendo como resultado la reducción de este gas contaminante (Mantilla, Galeano, & Muñoz, 2016).

#### 4.3.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El ensayo a ralentí arroja resultados muy semejantes al utilizar gasolina y bioetanol, existe una pequeña diferencia de 0,2% de volumen de CO<sub>2</sub> emitidos al trabajar a bajas revoluciones. Utilizando gasolina se produce CO<sub>2</sub> en un volumen de 8,5% y combustionando el biocombustible se genera un volumen de 8,3%.

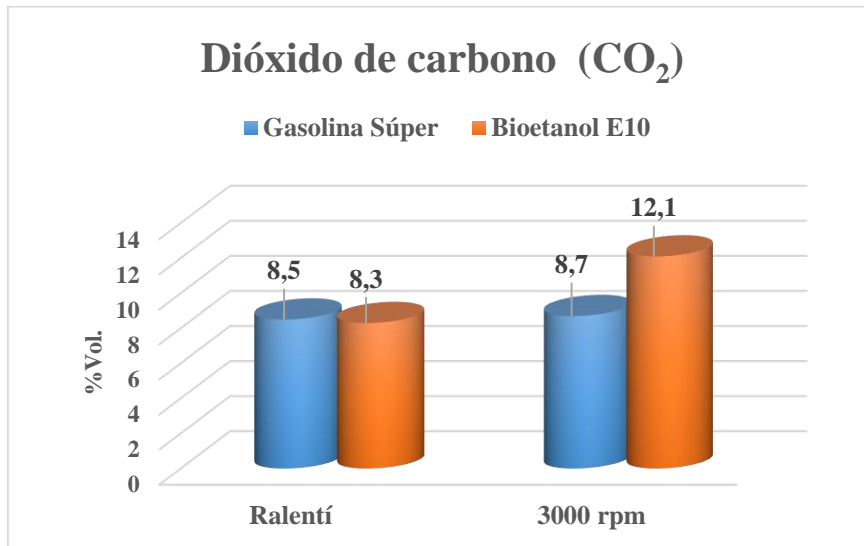


Figura 72. Análisis de dióxido de carbono.

El aumento del porcentaje de este gas representa una mejoría en la combustión del motor, como se observa en la figura 72 se obtiene un aumento considerable al utilizar bioetanol E10 con respecto a la gasolina. Se aumentó 3,4% de volumen de la producción de CO<sub>2</sub> que conlleva a un incremento de 28,10%.

Pese a que los resultados no superan el 14% de volumen que corresponden a una producción de CO<sub>2</sub> ideal (14% Vol. – 16 % Vol.), se nota el aumento importante con

la mezcla gasolina/etanol E10, acercándose al valor ideal de dióxido de carbono resultando una combustión mucho más íntegra y eficiente a un régimen de 3000 rpm.

### 4.3.3 Hidrocarburos (HC).

Básicamente son partículas de combustible que no se combustionaron y salen a través del sistema de escape del vehículo, dichas partículas de carburante que no terminaron de quemarse en la cámara de combustión del motor forman otros compuestos que son tóxicos para los seres vivos y son producto del exceso de gasolina en la mezcla. Por lo tanto, el poco volumen de oxígeno impide que la gasolina se quemara totalmente, dando como resultado una combustión parcial y proporcionando emisiones de hidrocarburos. Se los representa en partículas por millón (ppm).

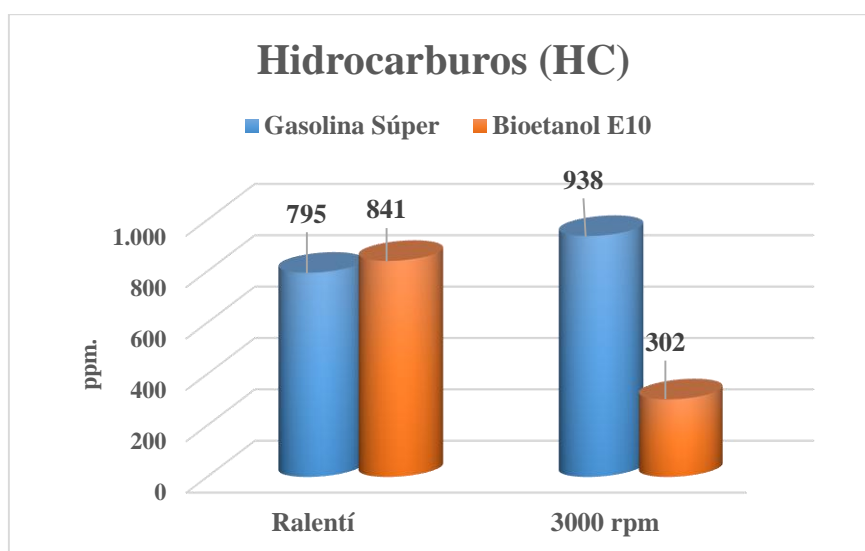


Figura 73. Análisis de hidrocarburos.

La prueba realizada en un régimen de 900 rpm utilizando gasolina súper como combustible, emite un valor de 795 ppm y al utilizar bioetanol E10 arroja 841 ppm de hidrocarburos no combustionados. En la figura 73 a simple vista se puede evidenciar un aumento de 46 ppm al utilizar bioetanol E10 cuando el motor se encuentra a ralentí.

En cuanto a partículas de combustible no quemadas en el ensayo con el motor a 3000 rpm han disminuido notablemente al utilizar bioetanol E10. Su valor se redujo de 938 ppm a 302 ppm con una reducción porcentual de 67,80%, siendo un valor aprobado por la normativa. Se corrobora que el biocombustible es aprovechado de mejor manera a un mayor régimen de giro.

En la mezcla E10 existe una disminución de este gas contaminante con respecto a las emisiones arrojadas utilizando gasolina, esto se da porque existe una mayor cantidad de oxígeno que proporciona el etanol y por ende mejora la combustión de la mezcla aire y combustible.

#### 4.3.4 Oxígeno (O<sub>2</sub>).

La presencia de oxígeno en las emisiones muestra una combustión imperfecta, indicando que no existe una quema total del combustible, creando monóxido de carbono y partículas de hidrocarburos. La cantidad ideal de oxígeno en la combustión debería ser cero, es decir, mientras exista menos volumen de oxígeno en la combustión esta será más completa.

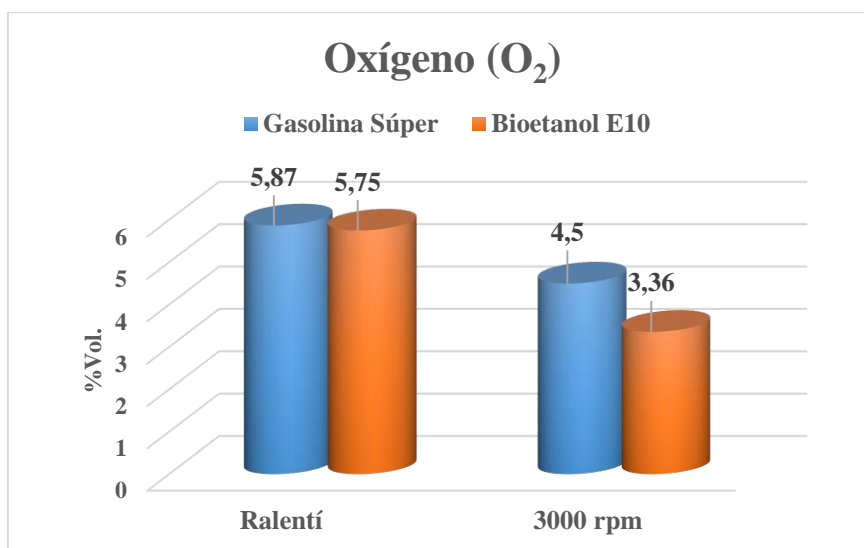


Figura 74. Análisis de oxígeno.

En el ensayo a ralentí y con el motor trabajando solo con gasolina súper el valor de volumen de oxígeno es de 5,87% y usando combustible alternativo el resultado de volumen de oxígeno es de 5,75%. No existe considerable variación en los datos a bajas revoluciones.

Cuando el motor trabaja a un mayor régimen la cantidad de oxígeno disminuye, con gasolina súper se logra un valor de 4,5% Vol. de oxígeno y con bioetanol E10 se obtiene un resultado de 3,26% Vol. de oxígeno. Evidenciando una mayor disminución de este gas al combustionar la mezcla gasolina/etanol E10, con una diferencia de volumen de 1.24% y con un valor porcentual de incremento de 27,56%.

#### 4.3.5 Factor lambda.

Por medio del procesamiento del equipo de testeo de gases se obtienen los valores de factor lambda  $\lambda$ , que determina la proporción existente entre la gasolina y el aire aspirado por el motor. Cuando la dosificación es adecuada el valor de  $\lambda$  es igual a 1, si el valor es mayor a 1 la mezcla es pobre (menos gasolina) mientras que si el valor es menor a 1 es una mezcla rica (más gasolina).

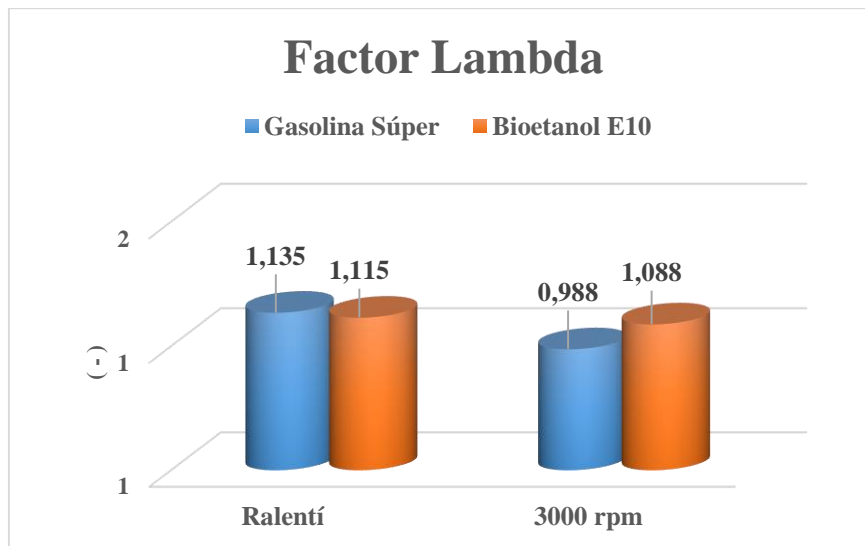


Figura 75. Análisis factor lambda.

Se observa en la figura 75 que los valores de lambda a revoluciones bajas son mayores a 1 y similares respecto a los combustibles utilizados, teniendo así una mezcla pobre. El valor del factor lambda usando gasolina es de 1,135 y utilizando bioetanol E10 el valor  $\lambda$  es de 1,115. Los valores del factor lambda a altas revoluciones se encuentran en un rango óptimo de trabajo ya que los valores obtenidos son muy cercanos a 1, que es el valor ideal, cuyo objetivo es obtener el máximo rendimiento del motor con mínimas emisiones contaminantes.

#### 4.4 Análisis de torque y potencia.

A continuación, se realiza un análisis de las curvas resultantes de torque y potencia obtenidas en las pruebas realizadas en el dinamómetro de chasis con gasolina súper al 100% y bioetanol E10 respectivamente, para posteriormente desarrollar un análisis comparativo del funcionamiento de dicho motor con los diferentes combustibles.

##### 4.4.1 Torque y potencia con gasolina súper.

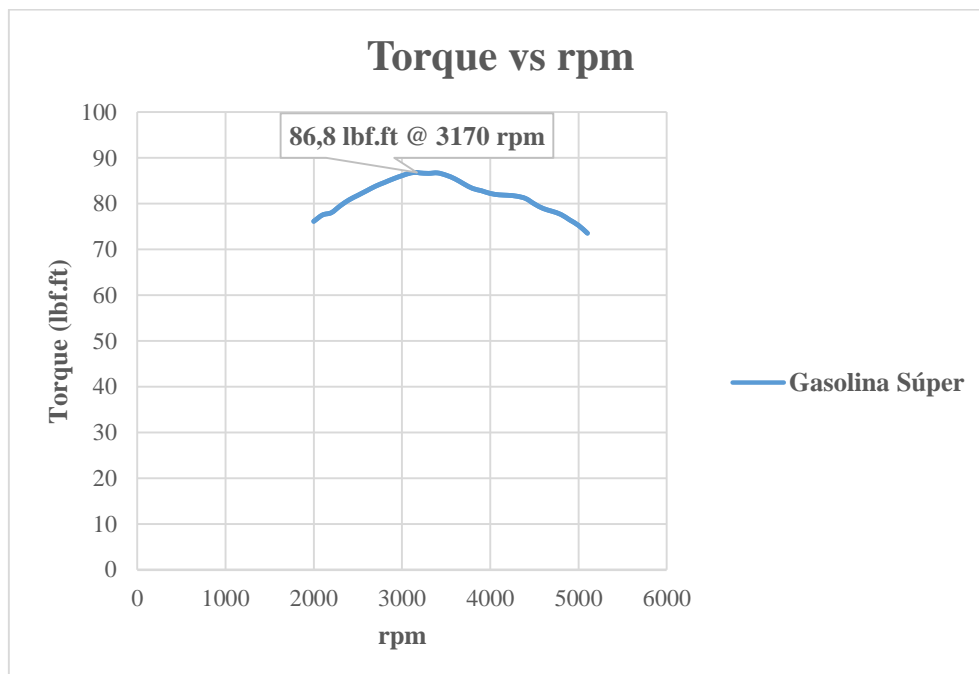


Figura 76. Curva de torque máximo con gasolina súper.



Con el torque que produce el motor a cada régimen de giro se produce una curva referencial la cual es medida en libras fuerza por pie (lbf.ft). En la figura 76 se evidencia que el esfuerzo de torsión máximo que alcanza el motor es de 86,8 lbf.ft @ 3170 rpm, con el uso de gasolina súper.

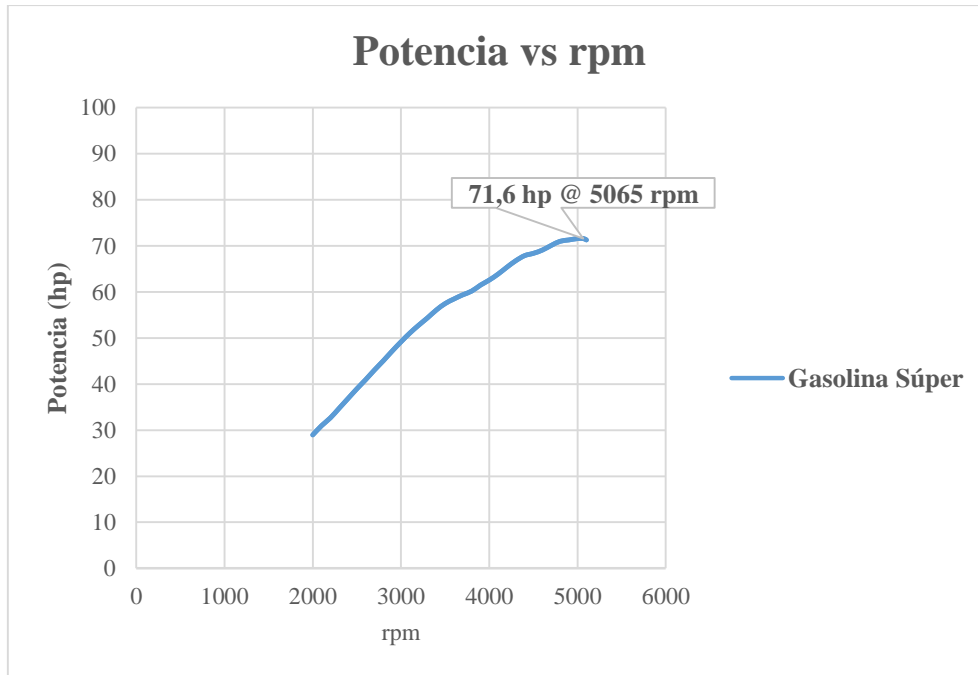


Figura 77. Curva de potencia máxima con gasolina súper.

En la figura 77 se muestra los valores emitidos de potencia medidos en caballos de fuerza (hp) utilizando gasolina de 92 octanos. Donde se puede observar una potencia máxima de 71,6 hp a un régimen de 5065 rpm.

#### 4.4.2 Torque y potencia con bioetanol E10.

La figura 78 detalla la curva de torque que se produce con los valores emitidos en las pruebas de torque utilizando la mezcla gasolina/etanol E10 donde el valor máximo de torque alcanzado es de 91,8 lbf.ft @ 3155 rpm, en este punto la curva comienza a descender.

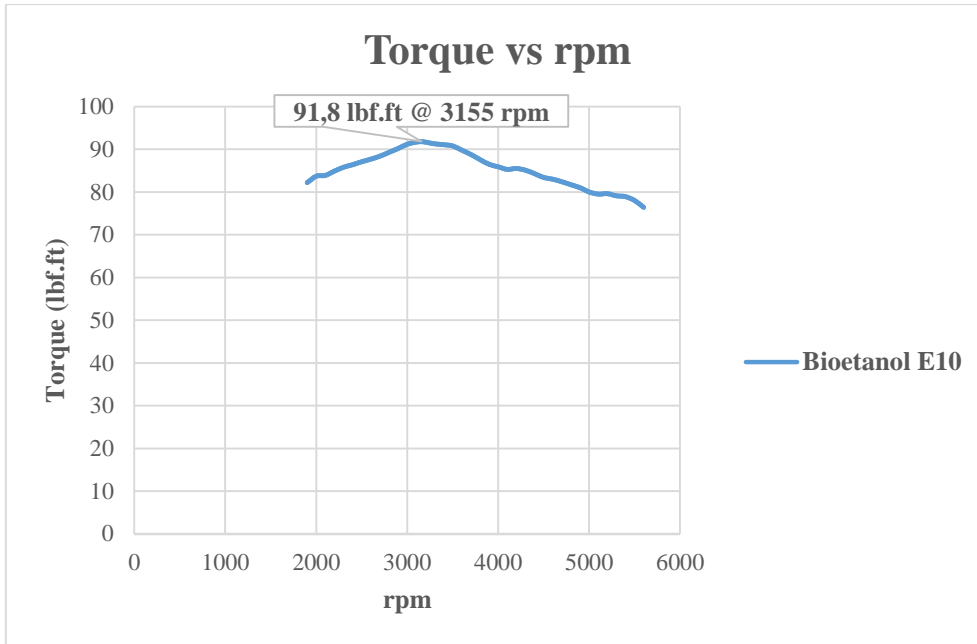


Figura 78. Curva de torque máximo con bioetanol E10.

En la medición de la potencia con la mezcla gasolina/etanol al 10% se puede evidenciar una curva pronunciada que llega hasta el pico máximo de potencia de 81.7 hp a un régimen de 5515 rpm, desde este punto la curva comienza a descender.

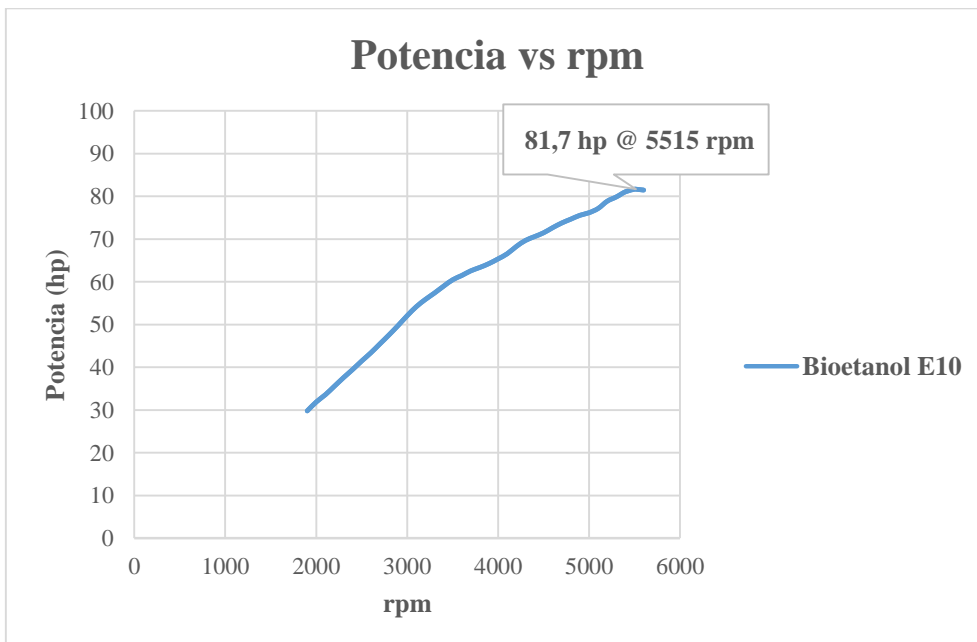


Figura 79. Curva de potencia máxima con bioetanol E10.

#### 4.4.3 Comparación gráfica de resultados.

Tabla 22. Torque y potencia con bioetanol E10 y gasolina súper.

	<i>Torque máximo del motor (lbf.ft)</i>	<i>rpm</i>	<i>Potencia máxima del motor (hp)</i>	<i>rpm</i>
<b>Gasolina Súper</b>	86,8	3170	71,6	5065
<b>Bioetanol E10</b>	91,8	3155	81,7	5515

La tabla 22 muestra los valores recopilados de torque y potencia máximos y el régimen de giro en el que se producen dichos puntos utilizando los dos combustibles de prueba. A continuación, se realiza un análisis comparativo detallado para entender si el uso del biocombustible afecta de manera positiva o negativa en cuanto refiere al torque y potencia del motor.

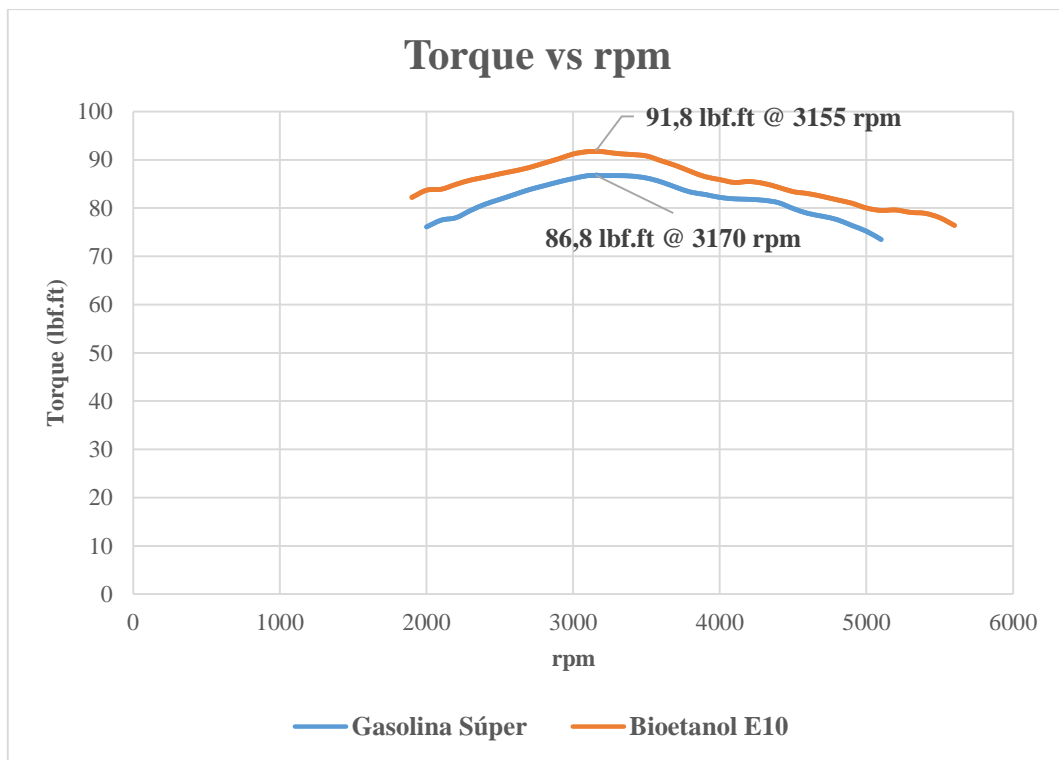


Figura 80. Torque con gasolina súper y bioetanol E10.

En la medición de torque del motor con gasolina se obtiene una curva con valores altos a revoluciones bajas, los valores suben progresivamente a medida que las revoluciones del motor aumentan. Cuando el motor alcanza las 3170 rpm llega al máximo torque de 86,8 lbf.ft donde los valores de par motor comienzan a descender.

En la figura 80 se evidencia fácilmente un aumento del torque con el uso del biocombustible, con el cual se logra un par motor máximo de 91,8 lbf.ft a un régimen de giro del motor parecido al punto máximo de la curva de torque con gasolina. El incremento del torque es de 5 lbf.ft de torque lo que implica un desarrollo de potencia en un 5,45%.

El aumento en la relación de compresión del motor mejora el desempeño del mismo, ya que permite un mayor ingreso de aire mejorando los parámetros de combustión y así obteniendo un aumento en el torque (García, Cendales, & Eslava, 2016).

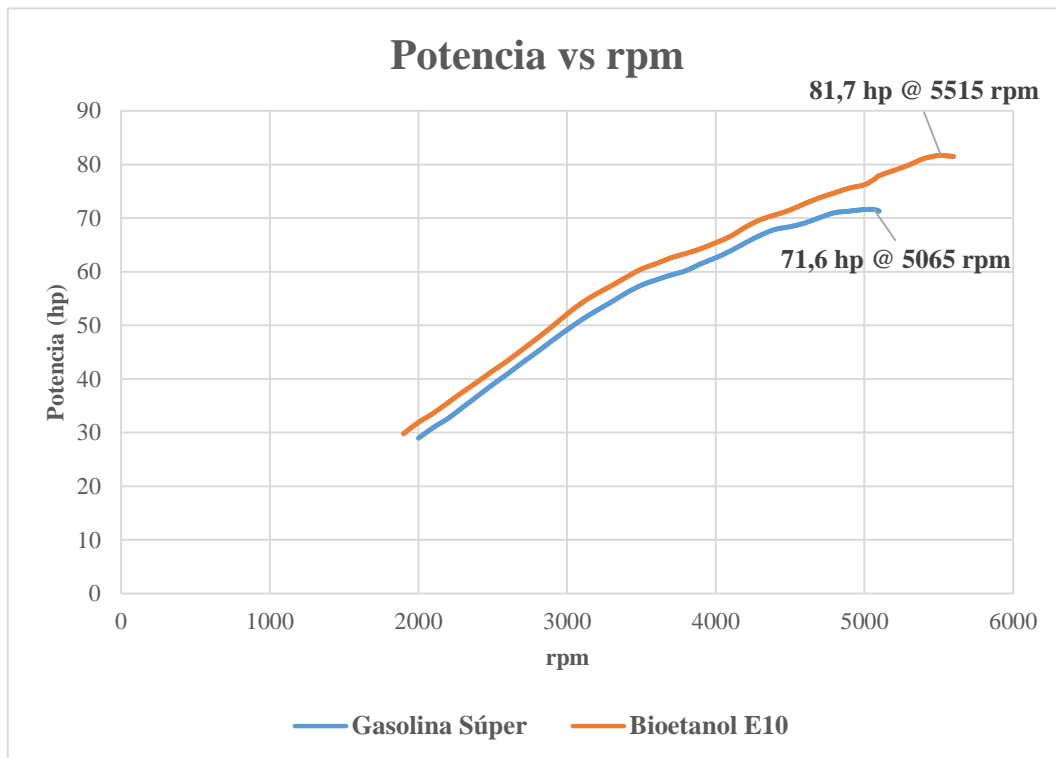


Figura 81. Potencia con gasolina súper y bioetanol E10.

En el caso de la potencia del motor, en la figura 81 se observa claramente un incremento de la misma al utilizar bioetanol E10. La tendencia indica un aumento progresivo desde bajas revoluciones sin pérdidas aparentes, con un pico máximo de potencia de 81,7 hp. Existe una diferencia de 10.1 hp en comparación a la potencia que desarrolla el motor empleando gasolina súper como combustible, cuyo torque máximo alcanzado es de 71,6 hp. De esta forma se tiene un aumento del 14.11% de la potencia en el motor del vehículo de prueba.

Un parámetro importante a considerar dentro de este análisis es la potencia original del automóvil, inicialmente de fábrica el automotor desarrolla 92 hp @ 5600 rpm. En el caso específico del vehículo que se utiliza en esta investigación, en el dinamómetro de chasis marco un valor de 71.6 hp @ 5065 rpm, cuyo resultado es de esperar debido al desgaste del motor y al paso del tiempo donde se deterioran los principales sistemas del automóvil dando lugar a la disminución del desempeño del mismo.

#### 4.5 Tabla de análisis general.

Tabla 23. Análisis general.

	<i><b>GASOLINA SÚPER</b></i>		<i><b>BIOETANOL E10</b></i>	
<b>Consumo a ralentí (30 min)</b>	960 ml		610 ml	
<b>Rendimiento de consumo en carretera</b>	8,56 km/litro		11,78 km/litro	
<b>Torque</b>	86,8 lbf.ft		91,8 lbf.ft	
<b>Potencia</b>	71,6 hp		81,7 hp	
<b>Emisiones:</b>	<b>Ralentí</b>	<b>3000 rpm</b>	<b>Ralentí</b>	<b>3000 rpm</b>
<b>CO (%Vol.)</b>	4,04	6,06	5,14	2,05
<b>CO2 (%Vol.)</b>	8,5	8,7	8,3	12,1
<b>HC (ppmVol.)</b>	795	938	841	302
<b>O2 (%Vol.)</b>	5,87	4,50	5,75	3,26
<b>Lambda</b>	1,135	0,988	1,115	1,088

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones.

En el estudio de las propiedades de la mezcla gasolina/etanol E10 se puede recalcar el aumento del octanaje en un 4,67 % y que posee una evidente cantidad mínima de azufre en su composición. Con esto se muestra que mezcla gasolina/etanol E10 es bastante óptima ya que presenta un aumento del poder antidetonante en la combustión con respecto a la gasolina súper, por lo tanto, mejora la combustión del motor, genera una disminución en las emisiones y presenta mejores prestaciones en su desempeño.

El consumo promedio de combustible a ralentí con el uso de bioetanol E10 disminuye en un 10,29%, en cuanto al rendimiento en carretera se obtiene un incremento de 27,34%, con respecto a la utilización de gasolina súper como combustible. Se puede establecer que el aumento de octanaje en la mezcla determina la capacidad de consumo ya que se obtiene una mejor combustión aumentando la relación de compresión y con ello disminuyendo el consumo de combustible.

En el análisis de las variaciones en las concentraciones de gases contaminantes emitidos hacia el medio ambiente, se evidencia que existe una reducción al utilizar energías limpias como lo es el bioetanol, consiguiendo un valor promedio de 67,80% de reducción en la cantidad de hidrocarburos no combustionados (HC), así mismo se reduce el volumen de monóxido de carbono (CO) en un porcentaje de 66,17%, datos que fueron obtenidos a un régimen de 3000 rpm. Con la mezcla gasolina/etanol E10 se presenta una mejor combustión, lo que conduce a una reducción significativa en las emisiones del motor.

El resultado del torque máximo alcanzado por el motor utilizando la mezcla gasolina/etanol E10 es de 91,8 lbf.ft, consiguiendo un aumento de 5 lbf.ft y de esta manera

se incrementa 5,45 % el esfuerzo de torsión del motor con respecto al uso de la gasolina súper. El aumento en la relación de compresión del motor mejora el desempeño del mismo mejorando los parámetros de combustión y así obteniendo un aumento en el torque.

Con el uso de la mezcla gasolina/etanol E10 se obtiene un valor de potencia máxima de 81.7 hp, donde existe un aumento de 10,1 hp equivalente a 14,11 %, cuyo porcentaje es muy relevante, ya que entrega un aumento de la potencia garantizada en comparación con algunos aditivos conocidos comúnmente en el mercado para el aumento de la potencia en los automotores que no garantizan su funcionalidad.

## **5.2 Recomendaciones.**

Durante el desarrollo de las pruebas de torque y potencia en el dinamómetro de chasis se debe procurar mantener una distancia prudente con respecto a los rodillos del equipo y utilizar el equipo de protección personal en el desarrollo del protocolo de pruebas.

Para un trabajo más extenso se debe analizar vehículos con mezclas de gasolina/etanol durante un período mayor de tiempo, para determinar daños probables principalmente en el sistema de alimentación de combustible, específicamente en los inyectores, microfiltros y conductos de combustible.

En el presente trabajo se utiliza un solo vehículo para el análisis del desempeño mecánico del motor, para investigaciones posteriores se debe considerar el desarrollo de un estudio con varios automóviles de prueba, de diferente marca, modelo o cilindraje para realizar una comparación de las prestaciones que entregan.

Se sugiere realizar trabajos investigativos de esta índole con diferentes porcentajes de gasolina y etanol anhidro, E20 y E50 respectivamente, para establecer cuál es la mezcla ideal para la utilización en un motor específico.

Para futuros proyectos se recomienda desarrollar una investigación con otro tipo de bioetanol para poder realizar una comparación y determinar beneficios, ventajas y desventajas que tienen cada uno con respecto a la contaminación ambiental y al desempeño del motor.



## Bibliografía

- Abril, A., & Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. © Aleta Ediciones (2012).
- Acosta, A. (2012). *Biocombustibles*. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
- Álvarez Flórez, J. A., & Callejón Agramunt, I. (2005). *Motores alternativos de combustión interna*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Álvarez Gallego, S., & Rodríguez Olalla, A. (2015). *Gestión de la huella de carbono*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Álvarez, S., Rubio, A., & Rodríguez, A. (2015). *Conceptos básicos de la huella de carbono*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Caballero Morales, M. A. (Enero de 2011). *Análisis de emisiones de vehículos livianos según ciclos*. Obtenido de Repositorio Universidad de Chile.
- Camps, M., & Marcos, F. (2008). *Los Biocombustibles 2da Edición*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Castell, X. E. (2012). Biomasa y Bioenergía. In X. E. Castell, *Energía, Agua, medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. Madrid: Diaz de Santos.
- Castells, X. (2012). Los residuos como combustibles. In X. E. Castells, *Tratamiento y valorización energética de residuos* (p. 72). Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Castillo, P., Mendoza, A., & Caballero, P. (2011). Análisis de las propiedades fisicoquímicas de gasolina y diesel mexicanos reformulados con Etanol. *SciELO*, 297.
- Castro, C., Beltràn, L., & Ortiz, J. (2012). Producción de biodiésel y bioetanol: ¿Una alternativa a la crisis energética? *Ra Ximhai*, 96.

- Escudero , S., González, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2009). *Motores*. Macmillan Iberia, S.A.
- Fernández, L., Montiel, J., Millán, A., & Badillo, J. (2012). Producción de biocombustibles a partir de microalgas. *Ra Ximhai*, 103.
- García, A., Cendales, E., & Eslava, A. (2016). Motores de combustión interna (MCI) operando con mezclas de etanol gasolina: revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 91,92.
- INER, I. N. (2013). *www.iner.gob.ec*. Retrieved from *www.iner.gob.ec*: [http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/BIOMASA\\_DOSSIER.pdf](http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/BIOMASA_DOSSIER.pdf)
- Lede, S. (2011). *ArgenBio*. Retrieved from <http://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/biocombustibles.pdf>
- Lombana Coy, J., Vega Jurado, J., Britton Acevedo, E., & Herrera Velásquez, S. (2015). *Análisis del sector biodiésel en Colombia y su cadena de suministro*. Universidad del Norte.
- MAE, M. d. (2014). *www.ambiente.gob.ec*. Retrieved 2010, from *www.ambiente.gob.ec*: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>.
- Mantilla, J., Galeano, C., & Muñoz, A. (2016). Mezclasgasolina-etanol en motores de combustión interna en Colombia. *MUTIS*, 46,47.
- Mora Oña, A. W. (2017). *Producción de bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura*. Ibarra.
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 147.
- Orovio Astudillo, M. (2010). *Tecnología del Automóvil*. Madrid: Paraninfo.

- Pabón, D., Peña, D., & Estupiñan, H. (2012). Evaluación de la corrosión de un acero Aisi Sae 1020 en mezclas de gasolina-bioetanol del 5, 10, 15, 20 y 100% por medio de técnicas gravimétricas y electroquímicas. *Prospectiva*, 51.
- Randall, G., Gary, S., & Zhuang, J. (2010). Towards Sustainable Cellulosic Bioenergy. *Journal of Resources and Ecology*, 117.
- Riba Romeva, C. (2015). *Facturas energéticas de los combustibles fósiles: dependencias y desigualdades*. Barcelona: Ediciones Octaedro, S.L.
- Riesco Ávila, J., Gallegos Muñoz, A., & Montefort Sánchez, J. (2009). *Procesos alternativos de combustión en motores de combustión interna*. D - Universidad de Guanajuato.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Domínguez, M. (2015). *Motores de combustión interna*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Sánchez, M. (2012). *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos*. Andalucía-España: ic editorial.
- Silva Vinasco, J. P. (2011). *BVSDE*. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>
- Vargas, J., & Giraldo, J. (2015). Modelo de entrenamiento en toma de decisiones relacionadas con gestión de producción y operaciones de un sistema de fabricación de bioetanol. *SciELO*.
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biogàs*. Santiago de Chile: FAO.
- Verde, M., García, A., Álvarez, G., & Mesa, M. (2012). Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *ICIDCA (Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar)*, 14.
- Yusaf, T., & Buttsworth, D. (2009). Theoretical and experimental investigation of SI engine performance and exhaust emissions using ethanol-gasoline blended fuels. *ICEE (International Conference on Energy and Environment)*, 195.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1.

### PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR: OBJETIVO N° 7.



*Todo el mundo mejor*



Ministerio  
de Electricidad  
y Energía Renovable

ALINEACIÓN A OBJETIVOS Y POLÍTICAS

Fecha de Publicación: 30 de Enero de 2014




Secretaría Nacional  
de Planificación  
y Desarrollo

Objetivo 7: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global.	
#	Políticas y Lineamientos Estratégicos PNBV
7,7	Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental
a.	Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.
b.	Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.
c.	Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en el transporte y sustituir los vehículos convencionales, fomentando la movilidad sustentable.
d.	Elaborar un inventario de fuentes y demanda de energías renovables y no renovables, así como de sus emisiones, incorporando alternativas tecnológicas.

## ANEXO 2.

# INFORME DE ENSAYO DE CARACTERIZACION DE LA MEZCLA GASOLINA/ETANOL E10.

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b> <b>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA</b> <b>LABORATORIO DE PETRÓLEOS</b>	Página 1 de 1
		HI01

<b>REPORTE DE ANÁLISIS Nº. ALPEP 034-017</b> <b>ORDEN DE TRABAJO 5294</b>			
<b>INFORMACIÓN GENERAL:</b>			
CLIENTE	ANDRÉS MORA		
MUESTRA	GASOLINA	NÚMERO DE MUESTRAS	1
FECHA RECEPCIÓN	14-08-2017	FECHA DE ENTREGA INFORME	21-08-2017

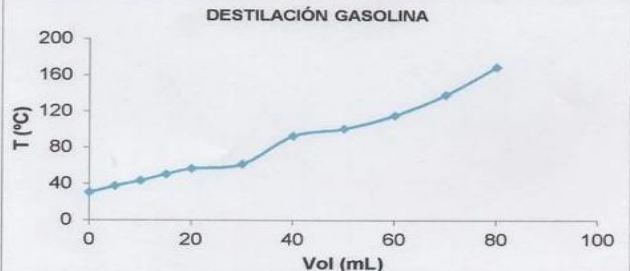
  

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CAPACIDAD
BIOETANOL	LPM087-AGO	Gasolina	Vidrio	1 L

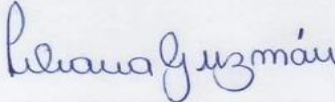

  

<b>RESULTADOS OBTENIDOS:</b>					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	VALOR OBTENIDO*	
LPM087-AGO	Número de octano (RON)	NTE INEN 2102	---	96.3	
	Ensayo de destilación:	Temperatura del 10%	ASTM D86-15	°C	52.1
		Temperatura del 50%		°C	110.5
		Temperatura del 90%		°C	No alcanzó el porcentaje
		Punto final		°C	170
	Residuo		%	1.0	
	Presión de vapor Reid	ASTM D323-15a	kPa	58.6	
	Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130-12	---	1A	
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	0.020	
Contenido de gomas	ASTM D381-12	mg/100mL	0.2		


  

<b>INFORMACIÓN ADICIONAL:</b>	
	

 <b>Ing. Lilibana Guzmán</b> Jefe del Laboratorio de Petróleos	 <b>Ing. Tania Parra</b> Especialista de Laboratorio de Petróleos
---	---



LABORATORIO DE PETRÓLEOS  
 INGENIERÍA QUÍMICA  
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

\*Los resultados indicados en este informe sólo afectan a las muestras sometidas a ensayo.

Ladrón de Guevara E11-253-Edif. Eléctrica Química - 5to piso  
 022976-300 Ext. 4329/4317/4328  
 lab.petroleos\_ing.quimica@epn.edu.ec

### ANEXO 3.

## CERTIFICADO ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA.



Quito, 01 de agosto de 2017  
CCICEV-CER-TESIS17 - 001

### CERTIFICADO

El Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares – CCICEV, mediante solicitud de ensayos 001 por parte del Sr. DARÍO XAVIER RODRÍGUEZ ARIAS certifica que el vehículo detallado a continuación fue evaluado en los ensayos de TORQUE Y POTENCIA.

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA		CHEVROLET
MODELO		CORSA WIND
Chasis (VIN) / PLACA N°		PTL0986
Motor N°		AX0001118
<b>Motor (Datos del fabricante)</b>	Posición	DELANTERO TRANSVERSAL
	Cilindrada – N° Cilindros	4 CILINDROS
	Max. Potencia (HP/rpm)	92,00 HP @ 5600 rpm
	Max Torque (N.m/rpm)	127,40 Nm @ 2800 rpm
	Combustibles	BIOETANOL Y GASOLINA SUPER
Transmisión (manual/automática) [N°]		MANUAL
Kilometraje		165594 Km
Neumáticos (marca, denominación, presión)		FIRESTONE 175/70R13 44PSI

Fecha de ejecución del ensayo: 27 DE JULIO DE 2017

Los informes técnicos de resultados de evaluación de los ensayos han sido remitidos al solicitante, pudiendo este utilizarlos dentro de su investigación.

El CCICEV no se hace responsable por el mal uso de la documentación entregada y que motivo de esto ocasione repercusiones en el ámbito en que se dé uso.


Es todo cuanto se puede indicar en honor a la verdad.

Atentamente,

Ing. Diego Lincango  
RESPONSABLE TÉCNICO DE LA UNIDAD DE LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN  
CCICEV

## ANEXO 4.


### TABLA DE VALORES DE TORQUE, POTENCIA (GASOLINA SÚPER).

					
Vehículo:	CHEVROLET CORSA	Motor Otto / Sin turbo			
Matrícula:	PTL0986	Caja Manual			
Probador:	J J				
PRUEBA 2 SUPER					
Fecha de la medición: 27.07.2017 (12:21)					
Página 2					
<b>Tabla de datos</b>					
n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lb.ft]
2000	32,1	14,8	20,6	29,5	77,4
2100	33,7	15,7	21,7	31,1	77,9
2200	35,3	16,5	22,9	32,8	78,3
2300	37,0	17,5	24,2	34,7	79,2
2400	38,6	18,4	25,5	36,5	79,9
2500	40,2	19,2	26,8	38,3	80,5
2600	41,8	20,1	28,1	40,3	81,4
2700	43,4	21,2	29,6	42,4	82,5
2800	45,0	22,4	31,1	44,6	83,6
2900	46,6	23,4	32,6	46,7	84,6
3000	48,2	24,4	34,1	48,8	85,5
3100	49,8	25,4	35,5	50,9	86,2
3200	51,4	26,2	36,8	52,7	86,4
3300	53,0	26,6	37,6	53,8	85,6
3400	54,6	27,1	38,6	55,3	85,4
3500	56,2	27,5	39,5	56,6	85,0
3600	57,8	27,9	40,4	57,9	84,5
3700	59,4	28,3	41,3	59,1	83,9
3800	61,0	28,3	41,9	60,0	82,9
3900	62,7	28,4	42,6	60,9	82,1
4000	64,3	28,8	43,5	62,3	81,8
4100	65,9	29,1	44,4	63,6	81,4
4200	67,5	29,4	45,3	64,8	81,1
4300	69,1	29,6	46,0	65,9	80,4
4400	70,7	29,7	46,8	67,1	80,0
4500	72,3	29,7	47,5	68,0	79,4
4600	73,9	29,9	48,3	69,1	78,9
4700	75,5	29,9	49,0	70,2	78,4
4800	77,1	29,6	49,4	70,8	77,4
4900	78,7	29,4	49,7	71,1	76,2
5000	80,3	29,2	50,2	71,8	75,4
5100	81,9	28,9	50,6	72,4	74,6
5200	83,5	28,8	51,3	73,4	74,2
Valor mínimo		Valor máximo			



## ANEXO 5.

### TABLA DE VALORES DE TORQUE, POTENCIA (BIOETANOL E10).

					
Vehículo: CHEVROLET CORSA Matrícula: PTL0986 Probador: J J				Motor Otto / Sin turbo Caja Manual	
PRUEBA 3 BIOETANAL					
Fecha de la medición: 27.07.2017 (15:50)				Página 2	
<i>Tabla de datos</i>					
n [rpm]	v [mph]	P <sub>Rueda</sub> [HP]	P <sub>Mot</sub> [HP]	P <sub>Normal</sub> [HP]	M <sub>Normal</sub> [lb.ft]
1900	31,2	14,3	19,3	29,8	82,2
2000	32,8	15,3	20,6	31,9	83,7
2100	34,4	16,1	21,7	33,6	83,9
2200	36,1	17,1	23,0	35,6	84,9
2300	37,7	18,1	24,3	37,6	85,8
2400	39,4	19,0	25,5	39,5	86,4
2500	41,0	19,9	26,8	41,5	87,1
2600	42,6	20,8	28,1	43,4	87,7
2700	44,3	21,7	29,4	45,5	88,4
2800	45,9	22,7	30,8	47,6	89,3
2900	47,6	23,8	32,2	49,8	90,2
3000	49,2	24,8	33,7	52,1	91,2
3100	50,8	25,7	35,0	54,2	91,7
3200	52,5	26,4	36,1	55,9	91,7
3300	54,1	26,9	37,1	57,4	91,3
3400	55,8	27,6	38,2	59,0	91,1
3500	57,4	28,1	39,2	60,5	90,8
3600	59,0	28,4	39,8	61,5	89,8
3700	60,7	28,5	40,5	62,6	88,8
3800	62,3	28,6	41,0	63,4	87,6
3900	64,0	28,7	41,6	64,3	86,5
4000	65,6	29,0	42,4	65,4	85,9
4100	67,2	29,2	43,2	66,6	85,3
4200	68,9	29,8	44,4	68,3	85,5
4300	70,5	30,2	45,2	69,7	85,1
4400	72,2	30,3	45,8	70,6	84,3
4500	73,8	30,2	46,3	71,5	83,4
4600	75,4	30,2	47,1	72,7	83,0
4700	77,1	30,1	47,8	73,8	82,4
4800	78,7	30,0	48,4	74,7	81,7
4900	80,4	30,0	49,0	75,6	81,0
5000	82,0	29,6	49,4	76,2	80,0
5100	83,6	29,6	50,0	77,2	79,5
5200	85,3	30,1	51,1	78,9	79,6
5300	86,9	30,5	51,8	79,9	79,1
5400	88,6	30,6	52,7	81,1	78,9
5500	90,2	30,1	53,0	81,7	78,0
5600	91,8	29,1	52,8	81,5	76,4
Valor mínimo		Valor máximo			

## ANEXO 6.

### DATOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE EMISIONES (GASOLINA SÚPER).

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
900	4,13	8,6	838	5,86	1,128
900	3,97	8,6	822	5,86	1,137
900	4	8,6	811	5,79	1,132
900	4,07	8,2	707	5,95	1.142
<b>900</b>	<b>4,04</b>	<b>8,5</b>	<b>795</b>	<b>5,87</b>	<b>1,135</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
1590	3,90	9,1	379	5,32	1,129
1580	4,21	8,6	646	5,92	1,138
1590	3,77	9,1	381	5,09	1,123
1570	4,10	8,3	415	5,43	1.130
<b>1582</b>	<b>4</b>	<b>8,8</b>	<b>455</b>	<b>5,44</b>	<b>1,130</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
3060	6,45	6,7	1545	6,56	1,040
3050	5,56	9,9	501	3,01	0,963
2960	5,84	8,3	1396	5,78	1,030
3140	6,40	9,9	310	2,64	0,918
<b>3053</b>	<b>6,06</b>	<b>8,7</b>	<b>938</b>	<b>4,50</b>	<b>0,988</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
4010	8,63	8,5	299	1,95	0,826
4000	8,54	8,7	288	1,90	0,829
4050	8,25	9,0	257	1,90	0,839
4010	9,14	8,1	340	1,97	0.810
<b>4018</b>	<b>8,64</b>	<b>8,6</b>	<b>295</b>	<b>1,93</b>	<b>0,826</b>

## ANEXO 7.

### DATOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE EMISIONES (BIOETANOL E10).

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
900	5,03	8,05	740	5,74	1,120
900	5,45	7,6	914	6,66	1,168
900	4,93	9,0	932	4,77	1,054
900	5,12	8,5	777	5,81	1.117
<b>900</b>	<b>5,14</b>	<b>8,3</b>	<b>841</b>	<b>5,75</b>	<b>1,115</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
1520	3,94	8,9	439	5,82	1,193
1550	4,28	10,0	325	4,08	1,059
1590	3,77	9,2	411	5,78	1,192
1520	4,23	8,7	315	6,30	1.217
<b>1545</b>	<b>4,06</b>	<b>9,2</b>	<b>373</b>	<b>5,50</b>	<b>1,165</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
3020	1,44	12,3	308	3,61	1,128
3040	2,49	11,8	311	3,12	1,066
3080	1,35	12,5	270	3,36	1,119
3000	2,93	11,8	319	2,96	1.040
<b>3035</b>	<b>2,05</b>	<b>12,1</b>	<b>302</b>	<b>3,26</b>	<b>1,088</b>

RPM	CO (%Vol.)	CO2 (%Vol.)	HC (ppm.)	O2 (%Vol.)	Lambda
4020	4,61	10,8	468	2,67	0,968
4000	3,36	11,4	521	3,02	1,021
4030	4,03	10,9	502	2,84	0,991
4000	5,11	10,5	461	2,61	0,949
<b>4013</b>	<b>4,61</b>	<b>10,8</b>	<b>468</b>	<b>2,67</b>	<b>0,968</b>

**ANEXO 8.**  
**EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS: PRUEBA DE CONSUMO DE**  
**COMBUSTIBLE Y EMISIONES CONTAMINANTES.**



## ANEXO 9.

### ESPECIFICACIONES ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE AGS-688.

## AGS-688

OIML R 99 - ISO 3930 CLASS 0  
ELECTROMAGNETIC CLASS E2  
DIR. 2004/22/EC - MID



## ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE PARA VEHÍCULOS

**AGS-688** es un analizador de gases utilizado para determinar las diferentes **concentraciones de gases contenidas en el escape de vehículos de encendido por chispa**. AGS-688 puede ser utilizado tanto para el control de las emisiones requerido por las **inspecciones obligatorias** como para el **mantenimiento ordinario** o la reparación de los vehículos.

### FUNCIONAMIENTO DE AGS-688

El instrumento puede utilizarse extrayendo el gas del tubo de escape mediante la sonda abastecida por el fabricante.

Gracias al teclado intuitivo, el operador puede disponer de todas las funciones del analizador y moverse con facilidad del test de medición conforme a la normativa nacional al test de medición libre.

**AGS-688** dispone de 6 pantallas de cristal líquido retroiluminadas donde se visualizan los valores correspondientes al test en curso.

Una vez finalizadas las operaciones de análisis, es posible imprimir directamente el resultado del test o enviarlo a un ordenador conectado con el aparato.



### NUEVO CONJUNTO NEUMÁTICO

El innovador **Conjunto Separador de Condensación** ha sido realizado mediante moldeado para reducir al mínimo el recorrido del gas y los tiempos de mantenimiento. El filtro de separación está compuesto por dos elementos: un filtro de red y un filtro coalescente. El agua de condensación que se produce en el interior del separador es eliminada de forma continua mediante una bomba de un solo eje y cabezal doble. Además de la entrada de gas y aire para la fase de reseteo automático, **AGS-688** está equipado con una entrada adicional específica para la realización del calibrado mediante una bombona de gas modelo. En la parte trasera del aparato se encuentran las conexiones para la alimentación, el registro de las revoluciones y de la temperatura por cable o inalámbrica, y la conexión con un PC por cable o inalámbrica.



### LOS EXTRAS DE AGS-688

**AGS-688** ha sido diseñado como un analizador de gas de escape básico, pero gracias a su amplia dotación de accesorios opcionales conectables, éste puede adquirir nuevas funcionalidades:

- El cuentarrevoluciones está integrado y puede conectarse de forma indistinta con una pinza de inducción o capacitiva o un MGT-300;
- Introduciendo el módulo radio en el slot de expansión, es posible realizar también una conexión inalámbrica con el cuentarrevoluciones MGT-300/R.
- La conexión al PC se puede realizar mediante cable RS232, USB o módulo BT-100 Bluetooth®.
- **AGS-688** permite la conexión con el opacímetro mediante el puerto ómnibus: de esta forma el analizador se convierte en un instrumento para medir la cantidad de humo producida por el escape de los motores diesel.

### CAMPOS DE MEDICIÓN

CO	0 + 9.99	%VOL	RES. 0.01
CO2	0 + 19.9	%VOL	RES. 0.1
HC HEXANE	0 + 9999	PPMVOL	RES. 1
O2	0 + 25	%VOL	RES. 0.01
NOX	0 + 5000	PPMVOL	RES. 1
LAMBDA	0.5 + 5		RES.0.001
REVOLUCIONES (RPM)	300 + 9990	RPM	RES. 10
TEMP. ACEITE	20 + 150	°C	RES. 1

**HOMOLOGACIONES**  
HOMOLOGADO MID (MEASURING INSTRUMENT DIRECTIVE) 2004/22/CE NMI 0122 B+D

MARCADO CE SUPPLEMENTARY METROLOGY MARKING

APROBACIONES ADICIONALES EN LOS SIGUIENTES PAÍSES: ITALIA, SERBIA, RUSIA



WWW.BRAINBEE.COM

## ANEXO 10.

### ESPECIFICACIONES DINAMÓMETRO DE CHASIS MAHA LPS 3000 LKW.



Bancos de potencia, funciones y prueba de gases con rodillos MAHA

#### Banco de pruebas de potencia de rodillos para coches

Modelo: LPS 3000 / R100



El LPS 3000 puede funcionar como un dinamómetro de inercia (medición continua) o con carga (medición discreta), al configurarse con carga entra en funcionamiento el freno de corrientes parásitas, el cual tiene bobinados que son energizados por un voltaje de 400V AC, al ingresar la corriente eléctrica en los bobinados crean un campo magnético que originan las

denominadas corrientes parásitas de Foucault en su rotor de acero, este fenómeno físico hace que el rotor el cual gira por ser parte del eje del freno de corrientes se oponga al movimiento circular de su propio eje y consecuentemente al giro de los rodillos maestros. Todo este efecto que se produce en el freno es captado por un sensor llamado strain gauge (medidor de esfuerzo), el mismo que envía en forma de señales analógicas al sistema electrónico para ser procesado. Cada freno cuenta con su propio ventilador, que sirve para evitar el sobrecalentamiento del mismo, este se activa automáticamente desde el sistema informático.

#### Software

- Medición de la potencia continua (dinámica) y discreta (estática)
- Simulación de carga con revoluciones, velocidad y fuerza de tracción constantes
- Representación gráfica y numérica de la potencia por rueda, potencia perdida, potencia de motor y par del motor
- Extrapolación de la potencia del motor según DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585, JIS D 1001, SAE J 1349 (opción)
- Programa de pruebas para visualización de tacómetro
- Simulación de marcha
- Posibilidad limitada de realizar ciclos de marcha (opción) puesto que no existe ningún motor eléctrico
- Medición de potencia de motocicletas en los rodillos de coche (opción)
- Evaluación de diagramas de potencia mediante función de cursor
- Visualización gráfica de los valores medidos, medición de comparación en segundo plano
- Cronómetro para medir la aceleración entre marcas de velocidad predefinidas
- Guardar y cargar diagramas de potencia
- Importación y exportación de datos
- Perfiles de simulación de carga de libre programación
- Impresión DIN A4 clara (diagrama y tabla)

#### Datos de medición externos

- Múltiples posibilidades para registrar valores de medida externos del vehículo:  
Presiones, temperaturas, OBD, tensiones/corrientes...
- Sonda de banda ancha lambda/AFR
- Posibilidad de conexión de los aparatos de medición de gases MAHA
- Posibilidad de conexión de analizadores de consumo AIC