

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTROMECAÁNICA



TESIS DE MAESTRÍA

**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIFERENTES MEZCLAS DE
ETANOL ANHIDRO Y GASOLINA EN VEHÍCULOS EQUIPADOS
CON MOTORES CICLO OTTO CONVENCIONALES A 3600
MSNM”**

Presentado por Ing. **MARCO ANTONIO TORREZ CAVIÑA**

Tutor: **MSc. Ing. JAIME SÁNCHEZ GUZMÁN**

Co-tutor: **Dr. MIGUEL DABDOUB PAZ**

LA PAZ, BOLIVIA

2022

DEDICATORIA

A mis padres que con su sabiduría y experiencia de vida me han dado el impulso para seguir en camino del bien que me han acompañado en el camino de esta meta tan anhelada y difícil que se alcanzo con bastante esfuerzo y dedicación.

A mi esposa que con su paciencia y amor me apoyó en todo momento para poder concluir este logro.

A mis hermanos, familiares y amigos que en su momento supieron expresar sus palabras de aliento y apoyo para seguir adelante con la conclusión de este logro.

A todo el equipo de investigación, Dr. Miguel Dabdoub Paz, Msc. Ing. Jaime Sánchez Guzmán, Lic. Marcelo Velázquez, Tec. Sup. Juan Carlos Arze y Univ. Pablo Gorianz.

Marco Antonio Torrez

AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios, quien concede la sabiduría, entendimiento y fortaleza para superar cada prueba que nos da la vida.

A mis padres, hermanos y esposa que hicieron posible la culminación de esta etapa importante de mi vida.

A mis distinguidos maestros que compartieron sus experiencias y sabiduría de la mejor manera, en especial a mi tutor Msc. Ing. Jaime Sánchez Guzmán, co-tutor Dr. Miguel Dabdoub Paz y Lic. Marcelo Velázquez, quien con sus conocimientos forjaron en mi un espíritu de trabajo, dedicación y responsabilidad, de quien llevo los más grandes recuerdos.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
1. GENERALIDADES	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Hipótesis de la investigación	4
1.4.1. Fundamento.....	4
1.5. Justificación de la investigación.....	7
1.5.1. Justificación de la línea de investigación.....	8
1.5.2. Justificación del propósito de estudio.....	8
1.5.3. Justificación práctica	9
1.6. Alcances y limitaciones	9
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1. Fundamento teórico	10
2.2. Motor de encendido provocado	10
2.2.1. Motores de cuatro tiempos.....	11
2.3. Curvas características	12
2.4. Emisiones contaminantes.....	13
2.4.1. Monóxido de carbono (CO).....	13
2.4.2. Óxidos nitrosos (NOx).....	14
2.4.3. Hidrocarburos sin quemar (HC)	14
2.5. Combustibles	14
2.5.1. Definición y clasificación	14
2.5.2. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles.....	15
2.5.3. Parámetros termoquímicos de los combustibles	16
2.6. Mezclas estequiométricas	17
2.7. Aditivos de los combustibles.....	18
2.8. Enfermedades causadas por los aditivos	19
2.8.1. Saturnismo.....	19
2.8.2. Manganismo	20

2.9. Características del etanol	20
2.10. Características de la gasolina especial.....	21
2.11. Antecedentes de las investigaciones nacionales e internacionales	22
2.12. Bases teóricas de las variables	25
2.12.1. Características del etanol.....	26
2.12.2. Características de la gasolina	26
2.13. Definición de términos básicos	27
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1. Introducción a las técnicas, estrategias y procedimientos	29
3.1.1. Descripción de las mezclas.....	29
3.1.2. Medición del porcentaje de etanol contenido en la gasolina.....	31
3.1.3. Procedimiento de mezclas	34
3.1.4. Medición de la temperatura.....	35
3.1.5. Medición de la densidad relativa	37
3.1.6. Miscibilidad	38
3.1.7. Olor y aspecto físico	38
3.1.8. Requisitos de los vehículos de prueba.....	39
3.1.9. Procedimiento para las pruebas en los automotores.....	39
3.1.10. Dinamómetro de chasis	40
3.1.11. Pruebas de potencia y par motor	40
3.1.12. Pruebas de gases combustión	41
3.1.13. Prueba de rendimiento de combustible	41
3.1.14. Cálculo del consumo específico del combustible	41
3.2. Variables de investigación	42
3.2.1. Definición conceptual de las variables	42
3.2.2. Definición operacional de las variables	44
3.3. Clasificación de la investigación	45
3.3.1. Tipo de investigación	45
3.3.2. Nivel de investigación	45
3.3.3. Diseño de investigación	45
3.4. Población y muestra	45
3.4.1. Espacial	45
3.4.2. Temporal.....	45
3.4.3. Características de la población	45
3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos	46
3.6. Proceso de prueba de hipótesis y análisis de datos	48

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	49
4.1. Análisis de datos	49
4.2. Características de los automotores puestos a prueba	49
4.2.1. Medición de las propiedades fisicoquímicas de los combustibles	49
4.2.2. Resultados de las potencias y pares motores de los automotores analizados	52
4.2.3. Resultado de emisiones contaminantes	64
4.2.4. Resultados de los rendimientos de los combustibles para cada automotor	84
5. CONCLUSIONES	103
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
7. ANEXOS	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Producción mundial de etanol.....	6
Figura 2. Fases de un motor de cuatro tiempos	11
Figura 3. Morfología típica de curvas características a plena carga.....	12
Figura 4. Evolución de las emisiones contaminantes en el escape de un MEP en función de Lambda	13
Figura 5. Ubicación de la Estación de Servicio	30
Figura 6. Frontis de la Estación de Servicio	30
Figura 7. Compra de gasolina de la Estación de Servicio	30
Figura 8. Almacenamiento del etanol anhidro en el IIME	31
Figura 9. Medición del porcentaje de etanol.....	33
Figura 10. Mezclas de combustibles	35
Figura 11. Selección del termómetro	36
Figura 12. Medición de la temperatura.....	36
Figura 13. Selección del densímetro.....	37
Figura 14. Medición de la densidad	37
Figura 15. Mezcla de biocombustible terminado	38
Figura 16. Dinamómetro de chasis MAHA	40
Figura 17. Diagrama de desarrollo.....	47
Figura 18. Mezclas de etanol y gasolina camioneta Suzuki APV Carry.....	49
Figura 19. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta Toyota Prado Land Cruiser	49
Figura 20. Mezclas de etanol y gasolina camioneta Toyota Hilux	50
Figura 21. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta Volkswagen Gol	50
Figura 22. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta GAC GS4	51
Figura 23. Mezclas de etanol y gasolina jeep Suzuki Jimny.....	51
Figura 24. Potencia motor camioneta Suzuki APV Carry	53
Figura 25. Par motor camioneta Suzuki APV Carry	54
Figura 26. Potencia motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser	55
Figura 27. Par motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser	56
Figura 28. Potencia motor camioneta Toyota Hilux.....	57
Figura 29. Par motor camioneta Toyota Hilux	58
Figura 30. Potencia motor vagoneta Volkswagen	59
Figura 31. Resultados del par motor vagoneta Volkswagen.....	60
Figura 32. Potencia motor vagoneta GAC GS4.....	61
Figura 33. Par motor vagoneta GAC GS4.....	62
Figura 34. Potencia motor jeep Suzuki Jimny	63
Figura 35. Par motor jeep Suzuki Jimny.....	64
Figura 36. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralenti.....	65
Figura 37. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralenti.....	66
Figura 38. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero.....	67
Figura 39. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero.....	67

Figura 40. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralentí	68
Figura 41. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralentí	69
Figura 42. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero	70
Figura 43. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero	71
Figura 44. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad ralentí	72
Figura 45. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad ralentí	73
Figura 46. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad crucero	74
Figura 47. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad crucero	74
Figura 48. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralentí	75
Figura 49. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralentí	76
Figura 50. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero	77
Figura 51. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero	78
Figura 52. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad ralentí	79
Figura 53. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad ralentí	79
Figura 54. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad crucero	80
Figura 55. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad crucero	81
Figura 56. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad ralentí.....	82
Figura 57. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad ralentí.....	82
Figura 58. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad crucero.....	83
Figura 59. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad crucero.....	84
Figura 60. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la camioneta Suzuki APV Carry	85
Figura 61. Resultado de la medición del consumo específico de la camioneta Suzuki APV Carry.....	86
Figura 62. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado.....	87
Figura 63. Resultado de la medición del consumo específico de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado.....	88

Figura 64. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la camioneta Toyota Hilux.....	89
Figura 65. Resultado del consumo específico de la camioneta Toyota Hilux	90
Figura 66. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta Volkswagen Gol.....	91
Figura 67. Resultado del consumo específico de la vagoneta Volkswagen Gol	92
Figura 68. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta GAC SG4.....	93
Figura 69. Resultado del consumo específico de la vagoneta GAC SG4	94
Figura 70. Resultado de la medición del rendimiento de combustible del jeep Suzuki Jimny	95
Figura 71. Resultado del consumo específico del jeep Suzuki Jimny.....	96
Figura 72. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento camioneta Suzuki Carry APV.....	97
Figura 73. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta Toyota Prado Land Cruiser.....	98
Figura 74. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento camioneta Toyota Hilux	99
Figura 75. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta Volkswagen Gol.....	100
Figura 76. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta GAC GS4	101
Figura 77. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento jeep Suzuki Jimny	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina
Tabla 1. Propiedades físico-químicas del etanol	5
Tabla 2. Características físico-químicas del etanol anhidro.....	21
Tabla 3. Características físico-químicas de la gasolina especial plus	22
Tabla 4. Cantidades de las mezclas etanol anhidro y gasolina	34
Tabla 5. Identificación de variables	42
Tabla 6. Resultados de la potencia motor camioneta Suzuki APV Carry	53
Tabla 7. Resultados del par motor camioneta Suzuki APV Carry.....	54
Tabla 8. Resultados de la potencia motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser	55
Tabla 9. Resultados del par motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser	56
Tabla 10. Resultados de la potencia motor camioneta Toyota Hilux	57
Tabla 11. Resultados del par motor camioneta Toyota Hilux	58
Tabla 12. Resultados de la potencia motor vagoneta Volkswagen.....	59
Tabla 13. Resultados del par motor vagoneta Volkswagen.....	60
Tabla 14. Resultados de la potencia motor vagoneta GAC GS4	61
Tabla 15. Resultados del par motor vagoneta GAC GS4	62
Tabla 16. Resultados de la potencia motor jeep Suzuki Jimny.....	63
Tabla 17. Resultados del par motor jeep Suzuki Jimny.....	64
Tabla 18. Resultado de la medición de gases de la camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralenti.....	65
Tabla 19. Resultado de la medición de gases de la camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero.....	66
Tabla 20. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralenti	68
Tabla 21. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero	70
Tabla 22. Resultado de la medición de gases de la camioneta Toyota Hilux velocidad ralenti	72
Tabla 23. Resultado de la medición de gases de la camioneta Toyota Hilux velocidad crucero	73
Tabla 24. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralenti.....	75
Tabla 25. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero.....	77
Tabla 26. Resultado de la medición de gases de la vagoneta GAC GS4 velocidad ralenti	78
Tabla 27. Resultado de la medición de gases de la vagoneta GAC GS4 velocidad crucero	80
Tabla 28. Resultado de la medición de gases de la jeep Suzuki Jimny velocidad ralenti	81
Tabla 29. Resultado de la medición de gases de la jeep Suzuki Jimny velocidad crucero	83
Tabla 30. Resultados del rendimiento de combustible de la camioneta Suzuki APV Carry.....	85
Tabla 31. Resultados del consumo específico de la camioneta Suzuki APV Carry	86

Tabla 32. Resultados del rendimiento de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado	87
Tabla 33. Resultados del consumo específico de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado	88
Tabla 34. Resultados del rendimiento de la camioneta Toyota Hilux	89
Tabla 35. Resultados del consumo específico de la camioneta Toyota Hilux.....	90
Tabla 36. Resultados del rendimiento de la vagoneta Volkswagen Gol	91
Tabla 37. Resultados del consumo específico de la vagoneta Volkswagen Gol.....	92
Tabla 38. Resultados del rendimiento de la vagoneta GAC SG4	93
Tabla 39. Resultados del consumo específico de la vagoneta GAC SG4	94
Tabla 40. Resultados del rendimiento del combustible jeep Suzuki Jimny	95
Tabla 41. Resultados del consumo específico del jeep Suzuki Jimny	96
Tabla 42. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento camioneta Suzuki Carry APV	97
Tabla 43. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta Toyota Land Cruiser Prado	97
Tabla 44. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento camioneta Toyota Hilux	98
Tabla 45. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta Volkswagen Gol	99
Tabla 46. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta GAC GS4	100
Tabla 47. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento jeep Suzuki Jimny	101

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizaron pruebas de miscibilidad, densidad relativa, temperatura, olor y aspecto físico para obtener la caracterización fisicoquímica de las mezclas gasolina y etanol anhidro (99,86% v/v), en todas las mezclas que se realizó no se presentó ninguna separación de fases entre el etanol y la gasolina, todas estas mezclas fueron utilizadas como combustibles para diferentes vehículos con sistemas de alimentación a inyección directa controlada por la unidad de control de motor (ECU), desde los modelos actuales y modelos antiguos a carburador, con motores de ciclo Otto convencionales en la ciudad de La Paz.

Se realizaron pruebas de potencia motor, par motor, rendimiento, consumo específico y gases de escape emitidos a la atmósfera como el monóxido (CO) de carbono, dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos no quemados (HC). Las condiciones en las que se realizaron estas pruebas fueron a 3600 msnm. Con una presión atmosférica promedio de 495 mm Hg. Los resultados muestran un desempeño igual o mayor en la potencia y el par motor con la adición de etanol en la mayoría de los vehículos puestos a prueba. Las emisiones disminuyen considerablemente con la adición de etanol, en todos los vehículos puestos a prueba, el rendimiento de las mezclas se incrementa de manera leve y no considerable respecto al combustible que no contenía etanol, debido al poder calorífico el cual es menor al de la gasolina, las mezclas con etanol y gasolina le da un balance adecuado entre un mayor octanaje y una menor capacidad calorífica.

INTRODUCCIÓN

Los motores de combustión interna desde su invención, han sido parte fundamental para el desarrollo económico a nivel mundial, al tener aplicaciones en los sistemas de transporte, sin embargo para que estos motores funcionen, necesitan de combustible para transformar la energía química en mecánica.

Los sistemas de transporte que utilizan como fuente motriz a un motor de combustión interna, constituyen una fuente de contaminación, producto de la combustión de los hidrocarburos al expulsar los gases al medio ambiente. En países como Italia, Alemania y Estados Unidos existen unos 500 autos por cada 1000 habitantes, mientras que en Bolivia se tiene un parque automotor de 2,2 millones de vehículos para 20% de la población. En un año el incremento del parque automotor fue de 117.545 unidades. Hay un 10% de motos y 5% más de automóviles, vagonetas y camionetas, según el INE. (Solís, 2022).

En el mundo, el sistema de transporte propulsado por un motor de combustión interna es responsable del 74% de las emisiones de gases de efecto invernadero, causando daños irreversibles al planeta y la salud pública.

En Bolivia, la cantidad de gases emitidos por un automotor se miden de acuerdo al modelo y antigüedad, regidos por la Normativa Boliviana NB 62002 sobre emisiones como ser, el monóxido de carbono CO y los hidrocarburos no quemados HC. Muchos estudios afirman que respirar estos gases aun en cantidades moderadas puede causar la muerte por envenenamiento o en su defecto enfermedades neurológicas inducidas.

Con la situación actual y acompañada por una condición finita de abastecimiento del mercado petrolero, ha motivado a que muchos países tomen decisiones cruciales para contrarrestar tales efectos, como el de poder hacer uso de los biocombustibles como el etanol el cual es una fuente de energía alternativa proveniente de la caña de azúcar.

El gasohol es una mezcla de etanol hidratado o anhidro y gasolina, en distintas proporciones, según estudios realizados por varios autores se obtiene como

resultado una reducción considerable de gases contaminantes con el uso de este biocombustible en distintas proporciones.

La finalidad de este tema de investigación, es realizar pruebas con las mezclas de etanol anhidro y gasolina, sometiéndolas a pruebas de desempeño en motores de combustión interna ciclo Otto.

1. GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del problema

El uso de combustibles fósiles está provocando un deterioro continuo en el medio ambiente a causa de la emisión de gases de efecto invernadero que estos producen al quemarse. Otro problema que también es consecuencia de aquello es la aparición de enfermedades respiratorias perjudiciales para la salud no solo en Bolivia, sino a nivel mundial a causa de esto se han realizado normativas internacionales restrictivas para las emisiones que producen los motores de combustión interna. La implementación de estas normativas junto con la problemática de la seguridad energética de carácter fósil, que a mediano o largo plazo terminarán por agotarse, se ha visto la necesidad de impulsar el uso de los biocombustibles, ya sea de forma pura o mezclada con los combustibles fósiles en los motores de combustión interna.

En Bolivia existe poca investigación sobre el uso de los biocombustibles uno de ellos es el bioetanol el cual es extraído de la caña de azúcar y producido por los ingenios azucareros. Toda la información que se tiene hasta el momento, proviene de países con parques automotores distintos al de Bolivia, por lo cual se requiere realizar una investigación en las condiciones de nuestro país específicamente en la ciudad de La Paz, que se encuentra a 3600 msnm. De esta manera se tendrá un panorama más amplio del uso de los biocombustibles y su impacto en el mercado local.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de las mezclas de etanol anhidro y gasolina en el desempeño energético de los motores de combustión interna ciclo Otto en la altura de la ciudad de La Paz?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el funcionamiento de los motores de combustión interna ciclo Otto, con diferentes concentraciones de etanol anhidro en la gasolina usada en vehículos a 3600 msnm.

1.3.2. Objetivos específicos

- Implementar un protocolo de medición y preparación de porcentaje de etanol contenido en la gasolina.
- Preparar mezclas de etanol anhidro y gasolina (10%, 12%, 15%, 20% y 25% de etanol).
- Identificar los tipos de vehículos para las pruebas.
- Medir la potencia, par motor y velocidad angular del motor de los vehículos sometidos a prueba en el dinamómetro de chasis.
- Evaluar los efectos de la combustión y las emisiones de los gases del escape (CO, CO₂, HC) de cada automotor.
- Determinar el rendimiento de cada mezcla.
- Determinar el consumo específico de cada combustible en gramos por kilovatio hora de cada mezcla.
- Establecer la mezcla más efectiva para cada automotor.
- Especificar la mezcla más eficaz para reducir las emisiones de gases.

1.4. Hipótesis de la investigación

En el planteamiento del problema se ha evidenciado que el uso de los combustibles fósiles está causando daño al medio ambiente y a la salud, por otro lado también al ser un recurso energético no renovable corre el riesgo de agotarse. Con todo lo anterior mencionado, se plantea la siguiente hipótesis para esta investigación:

La incorporación del etanol anhidro en los combustibles usados en motores de combustión interna mejorará el rendimiento termodinámico en los vehículos de uso cotidiano en los sistemas de transporte urbano y disminuirá las emisiones contaminantes, sin necesidad de realizar modificaciones al motor, en la ciudad de La Paz.

1.4.1. Fundamento

El uso de los biocombustibles servirá para mitigar las tres amenazas presentes en la actualidad a nivel mundial, como ser el alto consumo de combustibles fósiles para satisfacer la demanda mundial energética, la otra que es una consecuencia de la quema indiscriminada de los mismos, como las emisiones

de gases de efecto invernadero causando daño al medio ambiente, daños en la salud al provocar enfermedades respiratorias.

Los biocombustibles líquidos tienen las mejores propiedades para su uso en motores de combustión interna, debido a que sus propiedades fisicoquímicas son parecidas a la de los combustibles fósiles, además que se tiene la ventaja de que la materia prima para su producción está ampliamente disponible al ser este de carácter renovable como es el etanol anhidro, considerado por su origen un bioetanol. Estos provienen de cultivos como la caña, papa y remolacha.

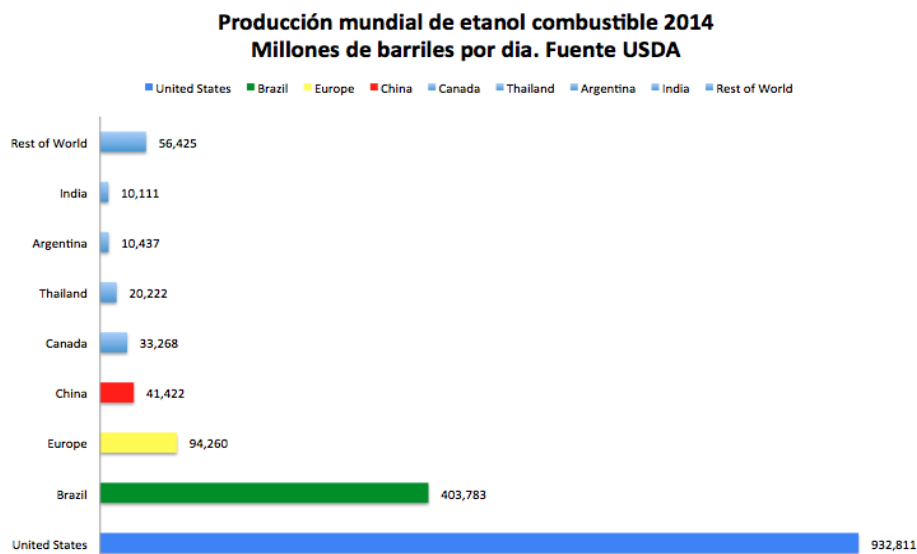
Tabla 1. Propiedades físico-químicas del etanol

Propiedades del combustible	Etanol
Número de octano	108
Temperatura de autoignición [K]	606
Calor latente de vaporización [MJ/kg]	0,91
Poder calorífico inferior [MJ/kg]	26,7

Fuente: Balat, 2009 y Kumar, 2010

La ventaja que se tiene para la utilización del etanol en motores de combustión interna, es que estos no requieren modificaciones en su diseño para que funcionen correctamente, además que las emisiones producidas por este biocombustible son menores en comparación a la gasolina. Por otro lado existe una gran producción a nivel mundial de este biocombustible, siendo los principales Brasil y Estados Unidos.

Figura 1. Producción mundial de etanol



Fuente: Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA)

A continuación se presentan los resultados obtenidos de diferentes investigadores dedicados al tema del biocombustible como el etanol.

Según (Sodré & Costa, 2011), investigaron la influencia de la relación de compresión en el desempeño de un motor de encendido por chispa alimentado por una mezcla de 78% gasolina-22% etanol (E22) o etanol hidratado (E100). Se probó un motor de producción de 1.0L. ocho válvulas y cuatro cilindros en un banco de dinamómetro variando la velocidad en el rango de 1500 a 6500 rev/min. Se investigaron tres relaciones de compresión: 10:1, 11:1 y 12:1. Los parámetros de rendimiento evaluados fueron torque, presión efectiva media del freno (BMEP), potencia, consumo específico de combustible (SFC), eficiencia térmica, temperatura de los gases de escape y eficiencia volumétrica. Los resultados mostraron que las relaciones de compresión más altas mejoraron el rendimiento del motor para ambos combustibles en todo el rango de velocidad investigado, y se observaron efectos importantes cuando se utilizó etanol hidratado.

Según (Yücesu, Topgül, Çinar, & Okur, 2006), indican que las fuentes de energía renovables para los motores de gasolina alcoholes cobran importancia recientemente. Estas fuentes de energía renovable han llamado la atención de los investigadores como combustible alternativo debido a su alto octanaje.

Además, también son fuentes de energía limpia y se pueden obtener a partir de la biomasa alcoholes con bajo contenido de carbono como el etanol. En este estudio, se examinó el efecto de la relación de compresión en el rendimiento del motor y de las emisiones de escape con relación aire/combustible estequiométrica, carga completa y sincronización mínima avanzada para obtener el mejor torque MBT, en un solo cilindro, cuatro tiempos, con relación de compresión variable y encendido por chispa.

Según (Hsieh, Chen, Wu, & Lin, 2001), investigaron experimentalmente el rendimiento del motor y la emisión de contaminantes de un motor SI comercial que utiliza combustibles mezclados de etanol y gasolina con varias tasas de mezcla (0%, 5%, 10%, 20%, 30%). Las propiedades de los combustibles mezclados con etanol y gasolina se examinaron primero mediante los métodos estándar ASTM. Los resultados mostraron que al aumentar el contenido de etanol, el poder calorífico de los combustibles combinados disminuye, mientras que el índice de octano de los combustibles combinados aumenta. También se encontró que al aumentar el contenido de etanol, la presión de vapor Reid de los combustibles combinados aumenta inicialmente hasta un máximo con una adición de etanol del 10% y luego disminuye. Los resultados de la prueba del motor indicaron que al usar combustibles mezclados con etanol y gasolina, la salida de torque y el consumo de combustible del motor aumentan ligeramente; Las emisiones de CO y HC disminuyen drásticamente como resultado del efecto empobrecimiento causado por la adición de etanol y compañía aumenta la emisión debido a la combustión mejorada.

Finalmente se señaló que las emisiones de NOx dependen de las condiciones de funcionamiento del motor y no del contenido de etanol.

1.5. Justificación de la investigación

El incremento del parque automotor en el país y en particular en la ciudad de La Paz, trae consigo más consumo de combustible y por ende más emisiones de gases contaminantes expulsados al medio ambiente, además de causar daño a la salud pública, lo que ha impulsado a que los biocombustibles sean una alternativa de solución al ser estos mezclados con otros combustibles de

origen fósil en distintos porcentajes, proporcionando una reducción útil pero limitada de gases de efecto invernadero.

En general el uso del etanol como aditivo oxigenante en la gasolina trae diversos beneficios, puntualizando principalmente tres: Económicos, sociales y ambientales.

Por parte de los beneficios económicos, se tiene que el etanol es más barato que la gasolina, por lo tanto, si se llegara a introducir de manera comercial, el precio de los combustibles oxigenados disminuiría de una manera importante.

Los beneficios sociales se fundamentan en el desarrollo de investigación especializada para las condiciones propias del país, tomando en cuenta las características ambientales, parque vehicular y combustibles de uso comercial; también podría ocurrir la reactivación del sector agrícola del país, ya que la cosecha de caña de azúcar tendría que aumentar en gran medida y como consecuencia, se generarían fuentes de empleo.

Por último, los beneficios ambientales, los cuales tienen alto impacto debido principalmente a la reducción de los gases contaminantes del escape de los automóviles, la sustitución de oxigenantes como el ETBE (etil tert butil éter) y el MTBE (metil tert butil éter), que han llegado a contaminar depósitos subterráneos de agua, problema que con el etanol no se tendría debido a su carácter natural. (Camarillo Montero, 2011)

1.5.1. Justificación de la línea de investigación

Promover el sistema de transporte automotor en forma eficiente y amigable como el medio ambiente para disminuir las emisiones de gases contaminantes y mitigando la dependencia de los combustibles fósiles, con el uso de los biocombustibles en las condiciones ambientales en las que nos encontramos a 3600 msnm.

1.5.2. Justificación del propósito de estudio

El tipo de investigación que se tiene es de nivel aplicativo ya que existen estudios anteriores de otros países, pero con diferentes condiciones ambientales y con un parque automotor distinto al nuestro.

Uno de los biocombustibles como el etanol anhidro tiene un bajo costo y su producción no requiere de procesos complicados, además que es completamente miscible con la gasolina y se puede trabajar directamente con la mezcla de ambos para introducirlo directamente a un motor de combustión interna sin que este deba pasar por una modificación de algún componente de alto precio. Por esta razón, es importante realizar un estudio del comportamiento de un vehículo de combustión interna en el dinamómetro de chasis y analizar las emisiones de gases contaminantes con diferentes mezclas de ambos combustibles como el etanol anhidro y la gasolina.

1.5.3. Justificación práctica

El uso de los biocombustibles, como el caso del bioetanol, tiene muchos beneficios, como ser la renovación de los mismos al provenir de plantaciones que son sustentables en el tiempo, sin afectar la estabilidad alimentaria, además que estos tienen la capacidad de mezclarse con un combustible como la gasolina y no generan ninguna reacción química peligrosa, además que se puede utilizar diferentes mezclas con la gasolina en distintos porcentajes e introducirlo directamente a un motor de combustión interna, sin modificar ningún componente principal.

1.6. Alcances y limitaciones

Para realizar el tema de investigación se tiene el permiso necesario del Director del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas, el conocimiento sobre el funcionamiento de los motores de combustión interna y los instrumentos de medición necesarios. Los automotores que se probarán con las mezclas serán solamente motores dedicados a gasolina, de categoría livianos de 4 cilindros de distintas capacidades de cilindrada y controlados por modernos sistema de alimentación de combustible como el de inyección electrónica y por el más antiguo como el carburador, que aun se sigue utilizando en el parque automotor de la ciudad de La Paz, las marcas de los vehículos serán de distintos fabricantes. Se dispone de recursos económicos limitados y el tiempo empleado hasta la conclusión del mismo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamento teórico

Un motor de combustión interna es aquel que obtiene energía mecánica a partir de la energía química, producida por la explosión de una mezcla de un combustible con el oxígeno del aire.

(Benajes Calvo & Navarro Arévalo, 2011) Un motor térmico se considera como un dispositivo que permite obtener energía mecánica a partir de la energía térmica contenida en un fluido compresible, para lograr obtener esta energía térmica es necesario transformar la energía química de la materia mediante un proceso adicional como el de combustión de esta manera, los motores se pueden clasificar:

- Motores de combustión externa, es cuando el proceso de combustión tiene lugar de forma externa al fluido de trabajo, como los motores Stirling.
- Motores de combustión interna, es cuando el proceso de combustión tiene lugar en el propio fluido de trabajo, siendo este generalmente una mezcla de aire y combustible.

2.2. Motor de encendido provocado

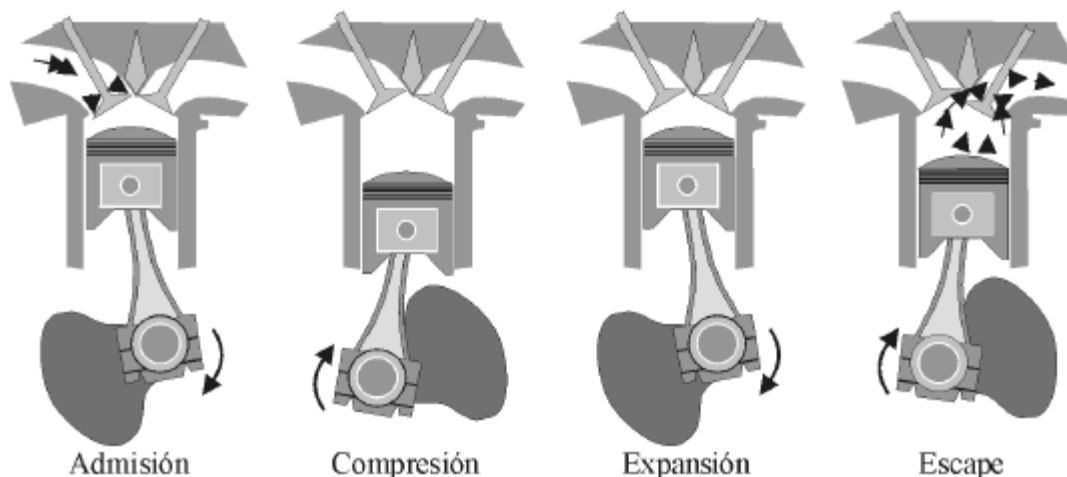
(Benajes Calvo & Navarro Arévalo, 2011) La principal característica de este tipo de motor, es que en el inicio de la combustión produce por medio de un aporte de energía externo al ciclo termodinámico, en motores modernos se obtiene al hacer saltar una chispa en los dos electrodos de una bujía. En el instante en el que se debe hacer saltar la chispa debe ser el adecuado para obtener el proceso de combustión más eficiente.

El proceso de combustión interna se produce por el avance de un frente de llama que recorre la cámara de combustión el cual parte desde la bujía y separando en todo momento dos zonas totalmente definidas, una con gases frescos y otras con gases quemados.

2.2.1. Motores de cuatro tiempos

En estos motores el ciclo de trabajo se completa en dos vueltas de cigüeñal, o lo que es lo mismo, en cuatro carreras del émbolo, es por eso que se denomina motores de cuatro tiempos.

Figura 2. Fases de un motor de cuatro tiempos



Fuente: Motores de combustión interna alternativos

- Fase de admisión (1ra. carrera) con las válvulas de admisión abiertas y las del escape cerradas, el émbolo se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) hacia al punto muerto inferior (PMI). Debido a esto se crea en el interior del cilindro una pequeña depresión, suficiente como para inducir la entrada de gases a través del conducto de admisión. Estos gases serán aire o una mezcla de aire y combustible, dependiendo del tipo de motor. Cuando el émbolo llega al PMI las válvulas de admisión se cierran y comienza la siguiente fase.
- Fase de compresión (2da. carrera) con las válvulas de admisión y escape cerradas el émbolo se desplaza desde el PMI hacia el PMS comprimiendo el fluido contenido en el cilindro. En las cercanías del PMS se produce el salto de chispa en el caso de un motor de encendido provocado.
- Fase de expansión (3ra. carrera) la combustión, entre otros efectos, produce un aumento de presión de los gases contenidos en el cilindro, empujando al émbolo, que se desplaza desde el PMS hacia el PMI. Este desplazamiento es el único del que se obtiene trabajo.

- Fase de escape (4ta. carrera) en el PMI se abre la válvula de escape y émbolo comienza a desplazarse hacia el PMS expulsando los gases quemados hacia el exterior del cilindro. Cuando el émbolo llega al PMS se cierra la válvula de escape y se inicia un nuevo ciclo.

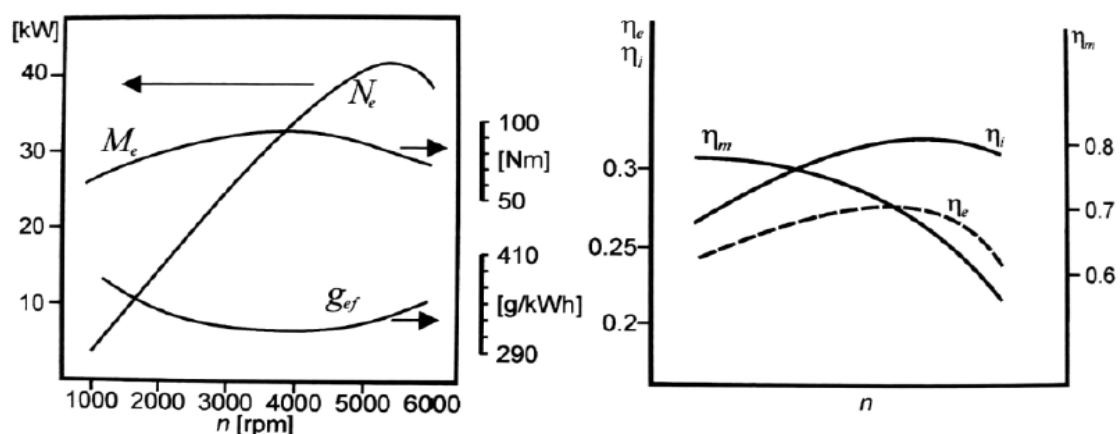
2.3. Curvas características

Las curvas características de un motor de combustión interna a plena carga en los motores de encendido provocado se obtienen en bancos de ensayo denominados dinamómetros de motor y de chasis, en el primer caso se aplica un freno al motor obteniendo de esta forma la energía disipada y en el segundo caso se mide el par motor y la potencia en las ruedas motrices del vehículo.

(Rodríguez Aumente & Nogueira Goriba, 2011) La morfología de las curvas a plena carga se debe principalmente al comportamiento con el régimen de las variables de las que depende cada parámetro, es decir la curva del par motor depende del rendimiento indicado, mecánico y volumétrico, la curva de consumo específico depende del rendimiento indicado y mecánico, por último la curva de la potencia efectiva es consecuencia del comportamiento del par y velocidad angular del cigüeñal del motor.

En aplicaciones como la automoción, la morfología de las curvas características a plena carga de un MCIA. Se describe en la siguiente figura 3.

Figura 3. Morfología típica de curvas características a plena carga

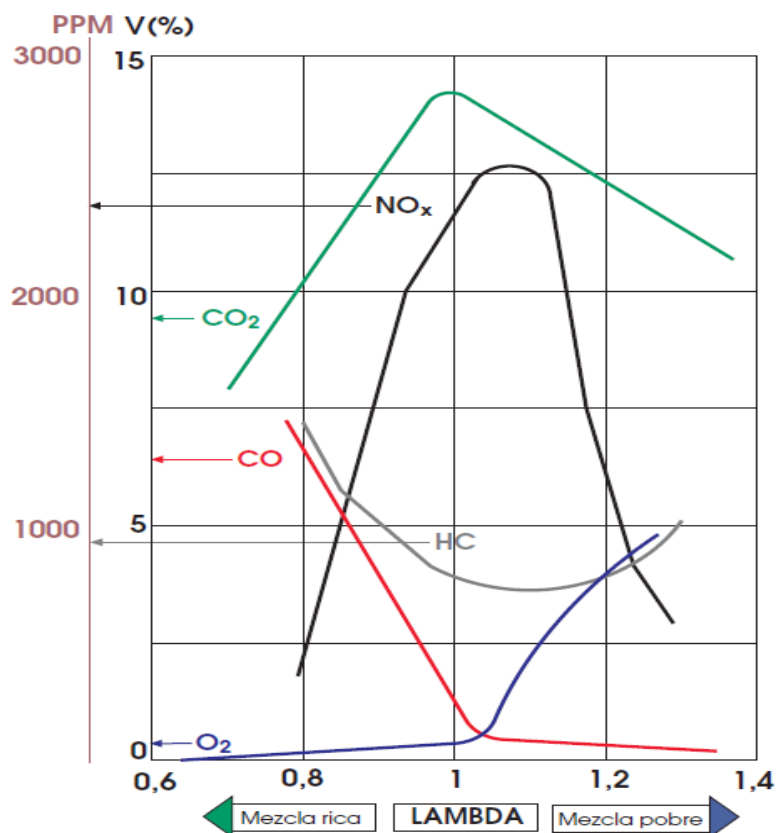


Fuente: Morfología típica de las curvas a plena carga (izquierda) y variación de rendimiento indicado, mecánico efectivo de un MCIA (derecha) (Rodríguez Aumente & Nogueira Goriba, 2011)

2.4. Emisiones contaminantes

(Tinaut Fluixá & López Sánchez, 2015) En los motores de encendido provocado, los contaminantes principales son, el CO, los NO_x, los HC (hidrocarburos sin quemar) y el CO₂. Aunque los vehículos actuales van equipados con un catalizador de tres vías, que exige que el motor opere con un dosado estequiométrico, es habitual analizar el efecto de las tres sustancias contaminantes principales. Como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Evolución de las emisiones contaminantes en el escape de un MEP en función de lambda



Fuente: http://mecanicageneral.webcindario.com/info_catalizador.pdf

2.4.1. Monóxido de carbono (CO)

Se observa en la figura 4, que la emisión de CO aparece notoriamente cuando la mezcla es rica. Por lo tanto esta emisión está asociada a la combustión incompleta y es justamente en las mezclas ricas donde se da la escasez de oxígeno lo cual impide la conversión completa a CO₂.

2.4.2. Óxidos nitrosos (NOx)

Se observa en la figura 4, que para la formación de NOx, hace falta por un lado una temperatura elevada y por otra parte la existencia de oxígeno. Las temperaturas de combustión son máximas entorno al estequiométrico y el oxígeno es tanto más abundante, cuanto más pobre es la mezcla. Ambos hechos conducen a que la máxima formación de NOx, tenga lugar en el dosado pobre cercano al estequiométrico.

2.4.3. Hidrocarburos sin quemar (HC)

Se observa en la 4, que estos, son un producto de la combustión incompleta, dando lugar a dos espacios opuestos: en dosado rico (al no existir suficiente oxígeno) para oxidar todo el combustible, causando que una parte de este permanece sin quemar) y en dosado pobre, cercano ya al límite de inflamabilidad (en este caso, las dificultades en la propagación del frente de llama puede provocar que ciertas partes de la mezcla se queden sin quemar al tener un apagado de llama dentro de la cámara de combustión).

2.5. Combustibles

(Lapuerta Amigo & Hernández Adrover, 2015) Los combustibles utilizados por lo general son líquidos y de origen fósil, proceden del petróleo, como ser la gasolina para el caso de los MEP, son los principales productos de las refinerías petroleras. Su fácil almacenamiento para las condiciones ambientales y su gran densidad energética, dan al motor una gran autonomía y un sistema de alimentación relativamente sencilla; haciendo que sean ventajosos para los motores de combustión interna alternativos y en caso particular para el sector de la automoción.

Debido a las actuales normas ambientales, han obligado a las empresas del rubro automotriz a desarrollar sistemas de combustión y postcombustión, más eficientes y a las empresas petroleras a mejorar la calidad de sus combustibles, todo para un solo fin, disminuir las emisiones.

2.5.1. Definición y clasificación

Los combustibles son sustancias que reaccionan exotérmicamente con el oxígeno, transformando su energía molecular en energía térmica.

La clasificación de los combustibles se los puede dividir en: sólidos, líquidos y gaseosos, por las altas prestaciones de los MCIA, requieren combustibles líquidos o gaseosos, apartando a los sólidos como el carbón o la biomasa.

2.5.2. Propiedades fisicoquímicas de los combustibles

(Lapuerta Amigo & Hernández Adrover, 2015) Son de vital importancia para la identificación de los combustibles y el tratamiento que se le debe dar a cada uno de ellos.

La densidad, es la masa por unidad de volumen de un fluido, si el combustible es líquido, esta dependerá ligeramente de la presión y temperatura.

(Potter & Wiggert, 2006) La densidad relativa, es la relación que existe entre el peso de un cuerpo y el de igual volumen de agua a una temperatura normalmente medida a 20 °C.

Un método para medir la densidad es mediante el hidrómetro, en el cual se emplean boyas calibradas, las mismas se sumergen en el fluido a medir, de manera que la lectura se obtiene en el nivel de flotación de la boya.

(Mohina & Davel, 2010) La temperatura de ebullición, es la que provoca que un líquido cambie hacia la fase gaseosa, donde su presión de vapor es igual a la presión del medio que lo rodea.

La inflamabilidad, es el comportamiento de un combustible frente a la combustión, las principales características de esta propiedad son:

- Temperatura de inflamabilidad: Es la temperatura más baja a la que puede inflamarse un combustible ante la presencia de un agente exterior a presión ambiental.
- Temperatura de auto inflamación: Es la temperatura mínima a la que puede inflamarse un combustible al entrar en contacto con el aire, depende de la presión y la relación de mezcla.
- Número de octano: Es la resistencia a la auto inflamación del combustible, puesto que la auto inflamación del combustible en zonas aun no alcanzadas por el frente de llama, provoca aumentos bruscos de presión y estos son perjudiciales para el motor, es decir que mientras

mayor sea el número de octano, mayor será la resistencia de auto detonación y por el contrario si se tiene un menor octanaje, este explotará antes de tiempo, causando el denominado cascabeleo muy dañino para los pistones del motor. Este se clasifica en dos principales tipos:

RON (Research Octane Number), es una escala que mide la capacidad antidetonante del combustible con respecto a la de una mezcla patrón, formada por una mezcla de isooctano y n-heptano, de esta forma se determina el número de octanos del combustible con respecto al porcentaje de isooctano en la mezcla.

MON (Motor Octane Number), es basa en un combustible de referencia, formado por isooctano y n-heptano, la diferencia que tiene con la medida RON, es que se sobrecarga más el motor durante el ensayo puesto que se utiliza más revolucionado y con tiempos de ignición variables.

La volatilidad, es la tendencia de un combustible de carácter líquido a evaporarse, siendo más volátil cuanto menor es su temperatura de ebullición, al tener varios componentes químicos en los combustibles, estos no tienen un punto fijo de ebullición.

Las impurezas, se relacionan con la calidad de combustible, cuantifican las impurezas derivadas de los procesos productivos o por la contaminación que se puede dar en la distribución o almacenamiento, como ser el contenido de azufre, agua, etanol, ácidos grasos libres, glicerina, mono, di y triglicéridos, ácidos libres, metales.

2.5.3. Parámetros termoquímicos de los combustibles

(Lapuerta Amigo & Hernández Adrover, 2015) Estos son importantes para identificar a los combustibles para su uso en motores.

a. Poder calorífico

Es el contenido energético de un combustible se expresa por medio de su poder calorífico, se define como la energía liberada en forma de calor en la combustión estequiométrica de una unidad de masa de combustible, donde los

productos quemados quedan en las mismas condiciones de temperatura y presión que los reactivos iniciales.

b. Dosado estequiométrico

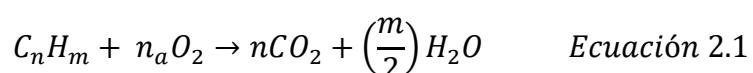
Está relacionado a la proporción de mezcla aire combustible, adecuado para obtener la mayor eficiencia de combustión, hay varios sistemas que tratan de obtener la mejor relación estequiométrica en diferentes regímenes de giro de un motor como ser los sistemas de recirculación de gases de escape o sistemas de alimentación adicional de aire en el motor.

c. Temperatura adiabática de llama

Se define como, la temperatura que alcanzan los productos de la combustión, cuando todo el calor de la reacción se invierte en calentar dichos productos, es decir que el proceso de combustión se realiza en forma adiabática. La temperatura adiabática de llama disminuye de forma notoria con el contenido de oxígeno en el combustible, aumenta con el grado de insaturación y varía ligeramente con la longitud de la cadena carbonosa.

2.6. Mezclas estequiométricas

(Desantes Fernández & Molina Alcaide, 2011) La estequiometría es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactantes (oxígeno y combustible) y los productos de la combustión. El balance de estas reacciones depende únicamente de la conservación de la masa de cada una de las especies químicas que intervienen en la reacción de combustión completa puede expresarse de acuerdo con la siguiente reacción:

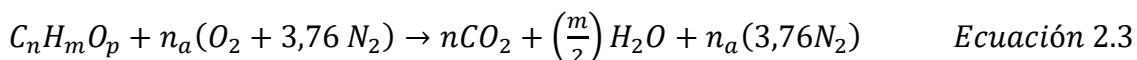


$$\text{Donde : } n_a = n + \frac{m}{4}$$

Teniendo en cuenta que el oxígeno utilizado en el proceso de combustión en MCIA es en general el contenido en el aire atmosférico, la ecuación 2.1, puede expresarse de la siguiente manera:



Pero como en la actualidad muchos combustibles de los utilizados en MCIA, contienen oxígeno, la ecuación se puede generalizar de la siguiente forma:



$$\text{Donde : } n_a = \left(n + \frac{m}{4} - \frac{p}{2}\right)$$

Para obtener la relación estequiométrica en términos másicos es necesario multiplicar cada uno de los términos de la ecuación 2.3, por sus respectivos pesos moleculares.

2.7. Aditivos de los combustibles

Un aditivo es una sustancia química agregada a un producto para mejorar sus propiedades, para el caso de los combustibles, dicha sustancia es utilizada en pequeñas cantidades añadida durante su elaboración. Entre estos se tiene los siguientes:

- Tetraetilo de plomo: (TEL) Es un compuesto de química organometálica usado en la extinta gasolina con plomo, como aditivo antidetonante. Como el plomo no interviene en la combustión es expulsado a través de los gases de escape y son absorbidos a través de la piel y el cuerpo no lo puede eliminar.
- Metil terbutil éter: (MTBE) Es un aditivo oxigenador que ayuda a una mejor combustión, al ser mezclado con la gasolina eleva el octanaje, pero es considerado potencialmente tóxico y dañino para la salud del ser humano, es un compuesto químico que ocasiona enfermedades cancerosas y alteraciones genéticas; es muy volátil causante de problemas ambientales ya que es soluble en el agua lo causando contaminación en fuentes de abastecimiento de agua potable.
- Tricarbonilo Metilciclopentadienilo de manganeso: (MMT) Es un aditivo similar al plomo a base de manganeso que se utiliza para elevar el octanaje de la gasolina, pero al mismo tiempo genera contaminación en el medio ambiente, causando enfermedades respiratorias.

2.8. Enfermedades causadas por los aditivos

Los aditivos ya mencionados, al ser tratados en un laboratorio lo cual implica que sufren procesos y reacciones químicas, para ser elevadores de octanaje al mezclarlos con la gasolina, traen consigo enfermedades causadas por el uso de estos aditivos.

2.8.1. Saturnismo

(QUÍMICA. ES) Se denomina saturnismo o plumbosis al envenenamiento que produce el plomo (Pb) cuando ingresa en el cuerpo humano. Es llamada así debido a que, en la antigüedad, los alquimistas llamaban “saturno” a dicho elemento químico. Se denomina saturnismo hídrico al que se produce a través del agua ingerida, pues el plomo, mineral inoxidable muy maleable, no confiere gusto al agua ni a los alimentos. Precipita con el HCl. El nombre que recibe esta enfermedad viene del dios griego Saturno y es llamada así porque a este dios se le representa como un demente y esta enfermedad produce alucinaciones y hace que el enfermo sea muy agresivo. Previo a esto se presentan los cólicos saturninos, ya en la etapa de intoxicación. Previa a la intoxicación existe una etapa de contaminación.

Cuando plomo ingresa en el organismo, las enzimas que metabolizan los aminoácidos azufrados lo transforman en sulfuro de plomo. Para detectar la presencia de plomo en la sangre, el análisis más utilizado es el llamado espectrofotometría de absorción atómica en cámara de grafito.

El saturnismo genera anemia, debido a que el plomo en la sangre bloquea la síntesis de hemoglobina y altera el transporte de oxígeno a la sangre y hacia los demás órganos del cuerpo.

El plomo es un material pesado neurotóxico que, cuando está presente en la sangre, circula por todo el organismo ocasionando daños neurológicos irreversibles al llegar al cerebro. Una de las fuentes intoxicantes, son las emanaciones vehiculares que desprenden los vehículos cuyos combustibles contiene plomo.

2.8.2. Manganismo

El manganeso es una sustancia que se utiliza como aditivo en la gasolina para mejorar el octanaje de la misma. La inhalación de manganeso produce una irritación en los pulmones con posible neumonía, causa daño al sistema nervioso, causando enfermedades neurológicas inducidas, alteraciones en el comportamiento y en movimientos lentos sin coordinación.

(Domene, 2011) Este producto cuyo nombre es tricarbonilo metilciclopentadienil de manganeso fue una alternativa complementaria al uso de los mejoradores de octano (octane improvers) a partir de plomo. El TMM se ha utilizado como aditivo del fuel-oil, como inhibidor de humos y como antidetonante en gasolinas.

La intoxicación crónica por manganeso puede tener manifestaciones nerviosas o pulmonares. Si afecta al sistema nervioso, se pueden distinguir tres fases. Durante el período inicial, es difícil diagnosticar la intoxicación. El diagnóstico precoz es vital, ya que la interrupción de la exposición parece frenar eficazmente el curso de la enfermedad.

Los síntomas de esta fase son: indiferencia, apatía, somnolencia, pérdida de apetito, cefalea, vértigo y astenia. También pueden existir accesos de excitabilidad, dificultades para caminar y de coordinación, calambres y dolor de espalda. Todos estos síntomas pueden presentarse en diferentes grados y aparecer simultáneamente o aislados y marcan el comienzo de la enfermedad.

La fase intermedia se caracteriza por la aparición de síntomas objetivos. En primer lugar la voz se torna monótona y se convierte un susurro, el habla es lenta e irregular en ocasiones con tartamudeo. Se puede desarrollar una dificultad para realizar movimientos alternos rápidos, aunque un examen neurológico no suele relevar ninguna alteración.

2.9. Características del etanol

Es una sustancia química orgánica, cuya fórmula es C_2H_5OH , obtenido a partir de la fermentación de los azúcares de la caña, es un líquido incoloro, inflamable de olor agradable, miscible en agua en distintas proporciones y con la mayoría de los disolventes orgánicos. Debido a que el etanol contiene

prácticamente hasta un 35% de oxígeno en su composición química, puede provocar una combustión más completa en un motor de combustión interna ciclo Otto, resultando con esta acción menores emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera.

Tabla 2. Características físico-químicas del etanol anhidro

Parámetro	Valor
Temperatura de ebullición (°C)	78.5
Temperatura de inflamación (°C)	13
Temperatura de autoignición (°C)	363
Densidad relativa (g/cm ³)	0.79
Solubilidad en agua	miscible
Presión de vapor (mmHg a temp. ambiente)	43
Poder calorífico inferior (KJ/kg)	26,810
Poder calorífico superior (KJ/kg)	29,670
Número de octanaje (RON, MON)	109/98
Relación estequiométrica A/F	9

Fuente: Estudio de la combustión de un motor monocilindrico de ignición alimentado con mezclas de gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones

2.10. Características de la gasolina especial

(YPFB, 2022) Es un líquido inflamable, ligero compuesto por una serie de hidrocarburos volátiles obtenidos del petróleo. Es de color cristalino amarillento y olor característico. Su principal característica es el octanaje o grado de resistencia a la compresión antes de su detonación o ignición de 85 octanos. Es un producto sin plomo.

La gasolina especial es una mezcla de hidrocarburos parafínicos de cadena recta y ramificada, olefinas, cicloparafinas y aromáticos, que se obtienen del

petróleo por distintos procesos de refinación tales como destilación, reformación catalítica e isomerización.

Tabla 3. Características físico-químicas de la gasolina especial plus

PRUEBA	ESPECIFICACIÓN				UNIDAD	METODO ASTM			
	VERANO (*)		INVIERNO (*)			Alter. 1	Alter. 2	Alter. 3	Alter. 4
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo					
Gravedad Especifica 15,6/15,6°C	Informar		Informar			D 1298	D 4052		
Relación V/L= 20 (760 mmHg)	51 (124)		51 (124)		°C(°F)	D 5188	D 2533	D 4814	
Tensión de Vapor Reid a 100°F (37,8°C)	7.0	11.5	7.0	11.5	Psig	D 323	D 4953	D 5191	
Contenido de Plomo (**)		0.013		0.013	g Pb/L	D 3237	D 5059		
Corrosión lámina de Cobre (3h/50°C)		1		1		D 130			
Gomas Existentes		5		5	mg/100mL	D 381			
Azufre Total		0.05		0.05	% peso	D 1266	D 2622	D 4294	
Octanaje RON	85		85			D 2699			
Octanaje MON	Informar		Informar			D 2700			
Índice Antidetonante (RON+MON)/2	Informar		Informar						
Color	Incolora a ligeramente amarillo		Incolora a ligeramente amarillo			Visual			
Apariencia	Cristalina		Cristalina			Visual			
Poder Calorífico	Informar		Informar		BTU/Lb	D 240			
Destilación Engler (760 mmHg)						D 86			
10% Vol.		65 (149)		60 (140)	°C (°F)				
50% Vol.	77 (170)	118 (245)	77 (170)	116 (240)	°C (°F)				
90% Vol.		190 (374)		185 (365)	°C (°F)				
Punto Final		225 (437)		225 (437)	°C (°F)				
Residuo		2		2	% vol				
Contenido de Aromáticos Totales		42		42	% vol	D 1319	D 5134	D 5769	D 6729
Contenido de Olefinas		18		18	% vol	D 1319	D 5134	D 6729	
Contenido de Benceno		3		3	% vol	D 4053	D 5134	D 3606	D 5769
Contenido de Manganeseo		18		18	mg Mn/L	D 3831			
Contenido de Oxígeno		2.7		2.7	% peso	D 2504	D 4815		

(*) Verano se define del 1° de septiembre al 31 de marzo e invierno se define del 1° de abril al 31 de agosto.

(**) El contenido de plomo especificado es un valor intrínseco de la materia prima, sin haberse adicionado cantidad alguna del mismo con fines de mejorar su octanaje.

Fuente: <https://www.ypfbrefinacion.com.bo/carburantes.php>

2.11. Antecedentes de las investigaciones nacionales e internacionales

En el 2011 (Camarillo Montero, 2011) presenta la tesis “Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones” el autor busca a través de su trabajo pruebas de miscibilidad, densidad relativa, relación estequiométrica A/F, olor, aspecto físico para obtener mezclas de gasolina y etanol hidratado y anhidro (0-40%v/v), este combustible se utilizó para hacer funcionar un motor monocilíndrico de ignición por chispa, en el cual se realizaron pruebas de rendimiento y análisis de gases de escape.

Las pruebas fueron elaboradas a una velocidad constante de 2000 rpm, variando en indicador lambda dentro de los parámetros normales de un motor. Entre las variables medidas estaban: los consumos específicos y de

combustible, temperatura del aire de admisión, gases de escape (CO, CO₂, HC y NO_x) y la potencia indicada.

Los resultados muestran un efecto de empobrecimiento en el combustible al aumentar el contenido del etanol anhidro e hidratado, en ambos casos causó una pequeña reducción de potencia (menor al 2%) y aumentando considerablemente el consumo del combustible. Las mezclas E20 y HE20 presentaron los mejores resultados en el análisis de los gases de escape, reduciendo notablemente las emisiones CO (4-6%), HC(3-9) y NO_x(8-9%) y manteniéndose el CO₂(reducciones menores al 1%). Se observó que la tolerancia al agua por parte de la gasolina aumenta significativamente al incrementar etanol en la mezcla, también se concluyó que a una temperatura mayor a 10°C, las mezclas de gasolina y etanol hidratado no se separan, mientras que con etanol anhidro no se presenta este problema a bajas temperaturas.

En el 2013 (Guzmán Beckmann, 2013) se plantea la posibilidad de utilizar gasolina extra con el 3%, 5% y 10% de etanol anhidro para su distribución en Quito. Se realiza también estudios de la producción de etanol a partir de la caña de azúcar en el Ecuador, se realizaron también simulaciones en motores de Ciclo Otto con diferentes contenidos de etanol para evaluar los cambios que se tiene en las emisiones.

Con el tema de investigación se concluye que debido a los factores climáticos, económicos y sociales acompañada de la reducción de emisiones de los motores es factible el uso del etanol hasta en un 10% en mezcla con gasolina Extra en el Distrito Metropolitano de Quito.

Los proyectos de biocombustible son muy factibles pero se debe trabajar más en la producción de la materia prima como es la caña de azúcar, si esto no se cumpliera se estará atentando con la seguridad alimentaria de la población de Ecuador.

En el 2018 (Rubio Gómez, 2018) Durante muchos años los combustibles fósiles han sido los generadores del desarrollo con los motores de combustión interna. Sin embargo la otra cara de la moneda es muestra un crecimiento de

los gases de efecto invernadero que son perjudiciales para el planeta y la salud. Al ser los combustibles fósiles de carácter limitado y ante la gran demanda de los mismos, se ha visto la necesidad de buscar nuevos combustibles para mitigar el consumo, este es el caso de los biocombustibles que son amigables con el medio ambiente que ayudan a reducir las emisiones de CO₂ y permiten una combustión más limpia debido a su contenido de oxígeno.

En el ámbito de los motores de combustión interna, los combustibles de mayor interés son los bioalcoholes, el cual tiene una excelente miscibilidad con el combustible fósil como es la gasolina. Dentro de los bioalcoholes algunos como el metanol y etanol ya han sido probados en mezclas con gasolina e incluso de manera pura.

En la investigación se realizó un estudio comparativo de la combustión de mezclas gasolina con cada uno de los tres alcoholes metanol, etanol y butanol, hasta una proporción del 20% en volumen, respecto a la gasolina pura en un motor monocilíndrico de compresión variable tipo CFR. La comparativa consiste en reducir la autoignición, máxima presión en la cámara y duración de la combustión. En la investigación se tiene información importante sobre el comportamiento de estas mezclas y se sugiere otras de investigaciones futuras considerando otros aspectos.

La definición de octanaje es una medida de la capacidad antidetonante de las gasolinas para evitar las detonaciones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se produzca la máxima cantidad de energía útil, es decir la medida de la resistencia de un combustible a autodetonarse. Diferentes estudios realizados por (Wyman, 1996), (Torres, Molina, Pinto, & Rueda, 2002) “concluyen que para esta propiedad existe acuerdo total en que aumenta, entre 1% y 1,5% por cada 10% v/v de aumento en el contenido de etanol en la mezcla”, tanto en el número de octano de investigación (Research Octane Number su sigla en inglés RON) como el número de octano de motor (Motor Octane Number del inglés MON), con respecto a la gasolina. Esto ocurre debido a que el etanol tiene mayores valores que la gasolina para estos dos indicadores, luego de realizar la mezcla el nuevo combustible incrementa un

poco el valor en el número de octano, el cual se calcula como el promedio aritmético de RON y MON. $(RON+MON)/2$ (Wyman, 1996).

2.12. Bases teóricas de las variables

En los motores de encendido provocado, excepto los de inyección directa, carga de combustible se mezcla con el aire en el sistema de admisión y, por lo general el combustible se inyecta en el puerto de admisión. Esta mezcla entra en el cilindro a través de la válvula (o válvulas) de admisión donde se mezcla con los productos de la combustión que quedan en el cilindro. En el caso de motores con sistema de recirculación de gases de escape (conocido por su nombre en inglés *exhaust gas recirculation*, *EGR*), esta mezcla se produce también en la admisión.

Bajo condiciones de operación normales, el proceso de combustión comienza con una descarga eléctrica de la bujía situada en el cilindro, la cual se produce al final de la carrera de compresión, alrededor de los 30° de cigüeñal antes del punto muerto superior (PMS). Después de la inflamación del combustible, se produce una llama de tipo turbulento y predominantemente premezclado, que se propaga por el cilindro desde la bujía. La llama se extingue cuando llega a las paredes del cilindro, lo que sucede en torno a 15° después del PMS, durante otros 10°. El proceso de combustión puede dividirse en cuatro etapas: descarga de la bujía, desarrollo primario, propagación y extinción de la llama. (Rubio Gómez, 2018).

La caracterización de un combustible consiste en identificar sus propiedades físicas y químicas a través de diversas pruebas de laboratorio. Es importante conocer estos parámetros debido a que el diseño de los depósitos de combustibles en los automóviles, bombas y conductos se basan en sus propiedades físicas y químicas del combustible a utilizar para evitar desgastes, pérdidas por evaporación así como caídas de presión. Dentro de los parámetros más comunes, se encuentran la densidad relativa, temperatura ebullición, temperatura de inflamación, temperatura de autoignición, miscibilidad, presión de vapor, poder calorífico, viscosidad, olor y aspecto físico, número de octanaje, grado de goma y relación estequiométrica aire-combustible. (Camarillo Montero, 2011).

2.12.1. Características del etanol

El etanol, conocido también como alcohol etílico, es un líquido incoloro de fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (o también expresado como $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), inflamable de olor y sabor agradable, miscible en el agua en todas sus proporciones y con la mayoría de los disolventes orgánicos. Debido a que el etanol contiene hasta un 35% de oxígeno en su composición, puede provocar una combustión más completa en el automotor, resultando en esto, menores emisiones de gases contaminantes hacia la atmósfera. (Camarillo Montero, 2011).

Existen varios tipos de etanol, de acuerdo a la cantidad de agua que tiene presente, como lo son alcohol del 70, alcohol del 96, alcohol del 26, etc. Ese número se refiere al porcentaje de alcohol puro, el valor restante se refiere a la cantidad de agua; por ejemplo el alcohol del 96 tiene un 4% en volumen de contenido de agua y 96% de alcohol absoluto. (Camarillo Montero, 2011).

Recientemente se ha utilizado el etanol hidratado (normalmente entre un 4% y 4.9% máximo de agua) como un oxigenante potencial en las gasolinas comunes de países como Brasil y Cuba debido a sus condiciones climatológicas, ya que la gasolina aumenta su tolerancia al agua a temperaturas mayores a 20°C , aproximadamente. El inconveniente que presenta este combustible es su baja miscibilidad con la gasolina en climas fríos, debido al contenido de agua por lo que su uso aún no se ha potencializado a nivel mundial. (Camarillo Montero, 2011).

2.12.2. Características de la gasolina

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna de ignición por chispa; su fórmula química es C_5H_{12} y C_9H_{20} . (Camarillo Montero, 2011).

La proporción entre ambos combustibles se suele indicar con el porcentaje de etanol precedido por una letra E mayúscula. De esta manera el combustible E10 se compone de 10% etanol y 90% gasolina y el E85 se obtiene mezclando 85% de etanol y 15% de gasolina.

El E10 es una mezcla que puede usarse en los motores de la mayoría de los automóviles sin producir daño alguno en ellos. En diversas literaturas se

describe que el uso de mezclas E20 no exige modificaciones en los motores, pero para mezclas de mayor porcentaje de etanol, se requiere un diseño especial del motor, aunque por otro lado, existen evidencias de que para mezclas mayores al 5% de etanol, ya se requieren modificaciones especiales para el correcto funcionamiento del motor. (Camarillo Montero, 2011).

Actualmente, las investigaciones en torno al uso de etanol hidratado como sustituto del etanol anhidro se han incrementado de manera importante, hasta el hecho de tener una nomenclatura propia para identificar las mezclas: HE o EH, seguido por un número que indica en porcentaje en volumen de etanol hidratado. (Camarillo Montero, 2011).

Una de las principales ventajas que tiene el alcohol hidratado frente al anhidro, es su costo de producción, ya que el alcohol anhidro requiere un proceso extra para obtener su pureza, llamado destilación azeotrópica con ciclohexano, donde se pierde aún más la cantidad original de alcohol y se requiere mayor energía para dicho proceso. En promedio, una tonelada de caña de azúcar produce cerca de 90 litros de etanol pero únicamente 80 a 85 litros de etanol anhidro. (Camarillo Montero, 2011).

2.13. Definición de términos básicos

Par motor La combustión de la mezcla aire-combustible, por acción de la chispa eléctrica, genera un aumento de la presión y temperatura en el interior de los cilindros del motor. Esta presión interior produce a su vez una fuerza de empuje F sobre el pistón que lo desplaza generando el clásico mecanismo de biela-manivela de los motores de combustión interna alternativo, donde el movimiento lineal del pistón en el interior del cilindro se transforma en un movimiento rotatorio del cigüeñal. La fuerza que actúa sobre el pistón es proporcional a la presión media efectiva durante la carrera de expansión (Genta, Morello, Cavallino, & Filtri, 2014, págs. 322-341), la misma que depende del grado de llenado de los cilindros, de la relación de compresión, de la cilindrada y de la eficacia con que se desarrolla la combustión.

Fuerza La fuerza F que produce el torque es variable, que en un motor de 4 tiempos es máxima en el momento que se lleva a cabo la fase de combustión y su posterior expansión en el cilindro, siendo negativo el torque en las demás

fases. Dentro de la etapa donde se genera trabajo el rendimiento del motor no es igual en todos los puntos, depende del régimen de giro y consecuentemente de la fuerza de empuje que se genera. Es así que el número de revoluciones limita el llenado correcto de los cilindros y, por tanto, el par motor. A bajas revoluciones la combustión de la mezcla no resulta óptima debido a la escasa inercia que poseen los gases que provoca que el llenado del cilindro no sea el ideal, al igual que su vaciado. Por otro lado, si el motor funciona a un elevado régimen, tampoco el llenado de los cilindros es completo debido al escaso tiempo que dispone el gas para ocupar todo el espacio disponible (Reif, 2014, págs. 60-61). Además, a partir del punto óptimo de revoluciones del motor, aunque se queme más combustible acelerando el mismo y consiguiendo que la potencia todavía se incremente más, el par descende. De ahí que los consumos específicos óptimos estén en valores próximos a la zona de par máximo, aumentando el consumo del motor conforme se aleja de este rango (Genta, Morello, Cavallino, & Filtri, 2014).

Potencia El concepto de potencia expresa cuantas veces está disponible el par motor en el tiempo, es decir, con qué velocidad se puede disponer del par. La potencia desarrollada por un motor depende de la relación de compresión y de la cilindrada, ya que a mayores valores de estas le corresponde mayor explosión y más fuerza aplicada al pistón; también depende íntimamente de las revoluciones por minuto a las que gira el motor. (Castillo, Rojas, & Martínez, 2017).

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Introducción a las técnicas, estrategias y procedimientos

El motivo de la investigación, es evaluar el impacto de diferentes mezclas de etanol anhidro y gasolina en los motores de combustión interna con ciclo Otto, los combustibles que se utilizó para este desarrollo de la investigación fueron, la gasolina especial comercializada en las estaciones de servicio de la ciudad de La Paz y el etanol anhidro fue adquirido de los diferentes Ingenios Sucroalcoleros del país, mediante el representante de la Universidad de Sao Paulo (USP) del Brasil. Se adquirió también un lote de gasolina con cero por ciento de etanol de la ciudad de Oruro, el cual aún se siguen comercializando en algunas estaciones de servicio.

3.1.1. Descripción de las mezclas

Para la elaboración de todas las mezclas se adquirió la gasolina especial plus (GE+) E8 de las diferentes estaciones de servicio de la ciudad de La Paz, una cantidad de 60 litros necesarios para cada vehículo puesto a prueba, los cuales se los realizó por día para evitar variaciones con algún cambio fisicoquímico, sin embargo en las mediciones del contenido de porcentaje de etanol que se describirá más adelante dio como resultado una gasolina (GE+) E10, (10% de etanol), en el caso del etanol anhidro se tuvo un lote de 3 barriles de 200 litros cada uno, con las certificaciones respectivas de ser un etanol libre de agua. También se tuvo un lote de 80 litros de gasolina E0 (0% de etanol), todo este combustible se encontraba almacenado, en el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME).

Los combustibles utilizados para cada vehículo para las diferentes pruebas fueron de E0, E10, E12, E15, E20 y E25. En todos los casos se midió el porcentaje de etanol contenido en los mismos.

Figura 5. Ubicación de la Estación de Servicio



Fuente: Google maps

Figura 6. Frontis de la Estación de Servicio



Fuente: Google maps

Figura 7. Compra de gasolina de la Estación de Servicio



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Almacenamiento del etanol anhidro en el IIME



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Medición del porcentaje de etanol contenido en la gasolina

El método que se utilizó, fue por separación de fases, realizado en el laboratorio de lubricantes del IIME y de esta forma verificar el porcentaje de etanol contenido en la gasolina base, determinándose (GE+) E10, este método de medición se realizó para todas las mezclas, incluyendo la gasolina que no contiene etanol. Las mediciones se realizaron con, E0, E10, E12, E15, E20 y E25, para posteriormente efectuar las pruebas en los automotores en el dinamómetro de chasis.

Las mediciones del porcentaje de etanol contenido en las diferentes gasolinas se los realizaron con un kit de laboratorio portátil certificado en Brasil y puesto a disposición del IIME, por el representante de la USP.

Se procedió con los siguientes pasos:

- a) Se Mezcló 1 litro de agua destilada, con 5 gotas de azul de metileno y 10 gramos de cloruro de sodio (NaCl).

- b) Se Llenó la mezcla en una piseta.
- c) Se usó una probeta de vidrio con tapa esmerilada, con una capacidad de 100 ml.
- d) Se llenó la probeta con 50 ml. de la gasolina con un supuesto porcentaje de etanol.
- e) Se llenó hasta completar a 100 ml. con la mezcla de la piseta del punto (b).
- f) Se tapó la probeta.
- g) Se agitó suavemente la mezcla de la probeta unas 10 veces de arriba hacia abajo.
- h) Se dejó reposar 5 minutos, hasta que ambos fluidos se separen.
- i) Se procedió con la lectura a nivel visual del ensayo realizado.
- j) El desplazamiento por encima de 50 ml. debe multiplicarse por 2 y de esa manera se obtiene el contenido de etanol que se tenía en la gasolina analizada.
- k) Se midió la temperatura de la gasolina analizada, de acuerdo a la categoría de cada combustible.
- l) Se midió la densidad de la gasolina, seleccionando el densímetro en función de la temperatura de punto (k).
- m) Se rotula el recipiente con el porcentaje de etanol contenido en la gasolina.

Cabe aclarar que se utilizó la gasolina E0, como combustible denominado referencia, el cual sirvió para llevar a cabo las comparaciones de los resultados obtenidos para cada uno de los combustibles probados.

Se utilizó 10 litros de cada combustible debidamente medidos en un recipiente para cada prueba, haciendo un total de 60 litros para llevar a cabo la experimentación.

Figura 9. Medición del porcentaje de etanol



Fuente: Elaboración propia

Con la siguiente fórmula se determina el porcentaje de etanol contenido en la gasolina, este procedimiento se realizó para todos los combustibles.

$$V_{desp.} = 2 \times (V_{obs.} - 50) [ml.]$$

Donde:

$$V_{desp.} = \text{Volumen desplazado} [ml.]$$

$$V_{desp.} = \text{Volumen observado} [ml.]$$

3.1.3. Procedimiento de mezclas

Para todas la mezclas se utilizó la gasolina especial plus (GE+) el cual, teóricamente debería contener 8% de etanol, pero por las distintas mediciones que se realizó del contenido de etanol, este arrojó otros resultados como ser el contenido de etanol del 10%, a partir de esta base se procedió con las mezclas del 12%, 15%, 20% y 25%.

Las cantidades exactas de los combustibles a mezclar se realizaron con la ayuda del complemento de la hoja de cálculo Excel llamado solver, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Cantidades de las mezclas etanol anhidro y gasolina

Volumen de etanol anhidro y gasolina para las mezclas					
Mezcla	Volumen etanol E100		Volumen gasolina base E10		Volumen final biocombustible
	Litros	%	Litros	%	Litros
E12	0,222	12	9,778	88	10
E15	0,556	15	9,444	85	10
E20	1,111	20	8,889	80	10
E25	1,667	25	8,333	75	10

Fuente: Elaboración propia

Se procedió con los siguientes pasos:

- a) Se utilizó un recipiente de 20 litros de capacidad para realizar la mezcla de ambos combustibles.
- b) Se midió el volumen de etanol en una probeta de 1 litro de capacidad, según lo requerido para cada una de las mezclas.
- c) Se trasvasó el volumen medido de etanol del punto (b) al recipiente del punto (a).
- d) Se completó con la gasolina base E10, hasta llenar un volumen de 10 litros en el recipiente del punto (a).
- e) Se agitó ambos fluidos por un lapso de 2 minutos, hasta conseguir una mezcla homogénea.
- f) Se procedió a realizar las mediciones respectivas del porcentaje de etanol, temperatura y densidad.
- g) Se rotuló el recipiente de la mezcla con el porcentaje de etanol contenido en mismo, para luego ser transportado hasta el vehículo a probar en el dinamómetro de chasis.

El desarrollo de toda la secuencia de las mezclas en general se muestra en la figura 10.

Figura 10. Mezclas de combustibles



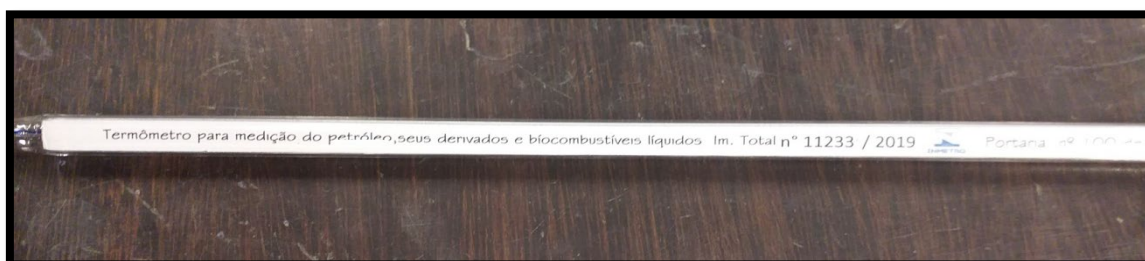
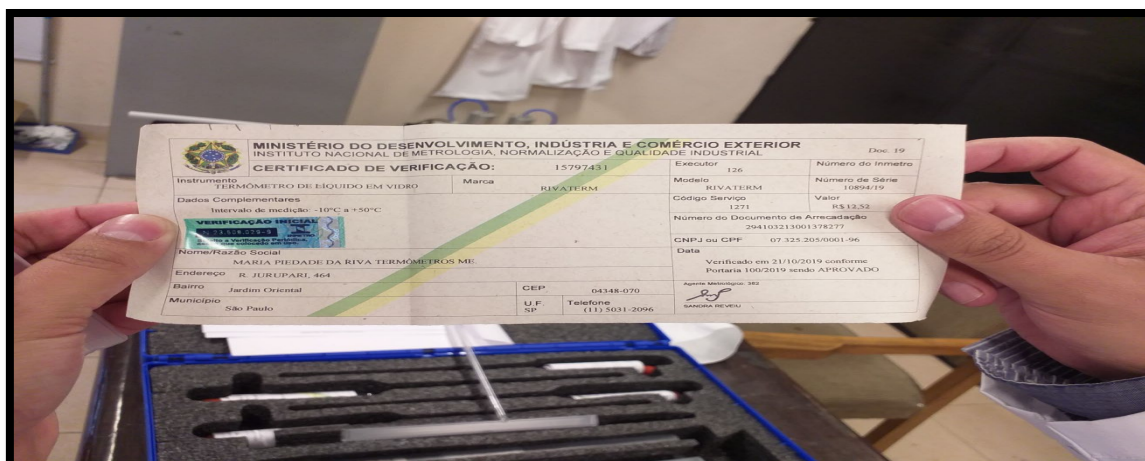
Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la gasolina comercial E0, como combustible denominado referencia, el cual se utilizó para llevar a cabo las comparaciones de los resultados obtenidos para cada uno de los combustibles probados.

3.1.4. Medición de la temperatura

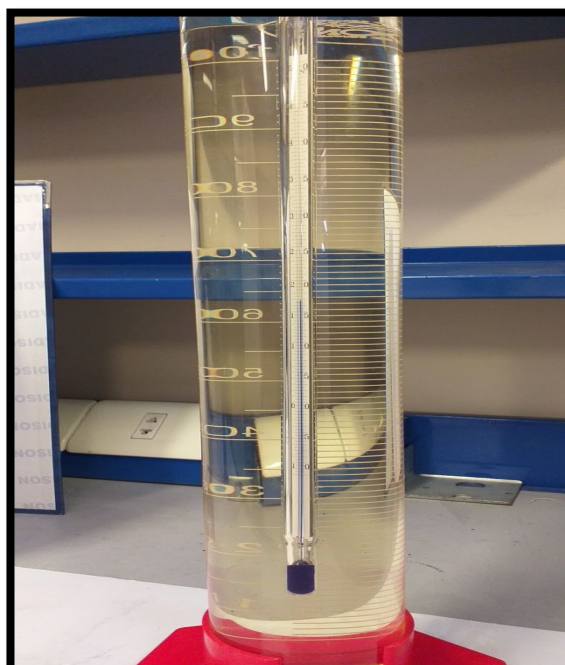
Para la medición de la temperatura, se utilizó un termómetro del kit de laboratorio ya mencionado, seleccionándolo de acuerdo al tipo de combustible, como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Selección del termómetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 12. Medición de la temperatura



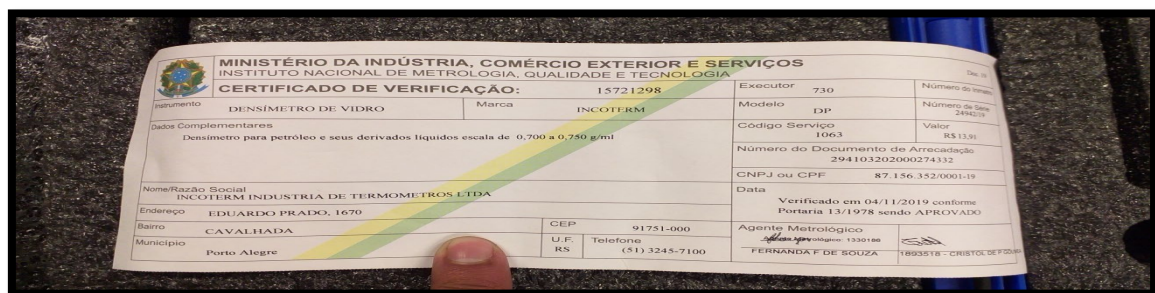
Fuente: Elaboración propia

En la figura 12, se observa el termómetro utilizado para las mediciones de todas las mezclas con la excepción del etanol E100 (100%) el cual se midió con otro termómetro exclusivo para este biocombustible.

3.1.5. Medición de la densidad relativa

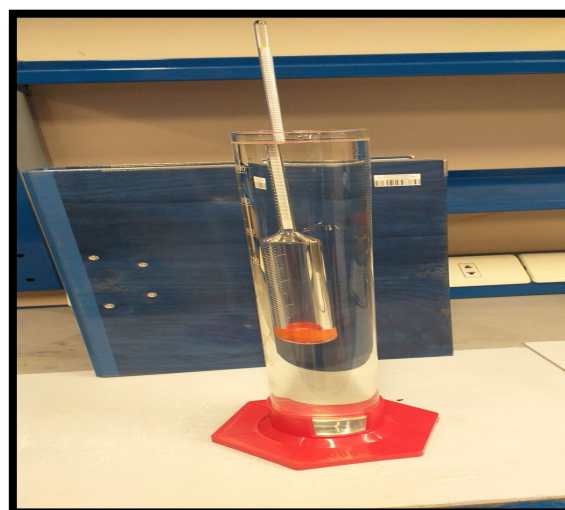
La densidad relativa se midió en base a la norma ASTM D-12198-67, la cual establece el método para determinar la densidad en los combustibles líquidos como el fuel oil y gasoil.

Figura 13. Selección del densímetro



Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Medición de la densidad



Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se observa el densímetro utilizado para las mediciones de todas las mezclas con la excepción del etanol de E100 (100%) el cual se midió con otro densímetro exclusivo para este biocombustible.

Una vez verificado el porcentaje de etanol contenido en la mezcla, la temperatura y la densidad relativa, como se muestra en la figura 15, la mezcla ya terminada se rotuló y se colocó la tapa herméticamente, para luego realizar las pruebas en el automotor que se encontraba en el dinamómetro de chasis.

Figura 15. Mezcla de biocombustible terminado



Fuente: Elaboración propia

3.1.6. Miscibilidad

Para todas las mezclas no se observó ninguna separación entre el etanol y la gasolina, siendo ambos combustibles totalmente miscibles.

3.1.7. Olor y aspecto físico

Esta prueba consistió en observar minuciosamente la mezcla, agitarla y contrastarla con las demás, así como la gasolina base y el etanol puro, para identificar similitud entre ellas. En la prueba de olor se inhaló cada mezcla por separado, tratando de percibir el aroma más predominante es decir el etanol o la gasolina de acuerdo al porcentaje mezclado. El fin de esta prueba fue el poder identificar una mezcla únicamente con el aroma o con observarla y de

esta manera poder identificar alguna anomalía como fugas, derrames o evaporación.

3.1.8. Requisitos de los vehículos de prueba

- Vehículo 4X2 (sin tracción integral o que se pueda apagar a voluntad).
- Que se puedan apagar a voluntad los sistemas de control electrónico como ABS o ESP. Para evitar que dichos sistemas limiten la potencia en las pruebas.
- Transmisión manual (opcional) o automática con opción a desactivar el overdrive.
- Datos técnicos del vehículo (par y potencias nominales).
- Llantas en buen estado e inflados correctamente.
- Un solo tubo de preferencia.

3.1.9. Procedimiento para las pruebas en los automotores

Una vez que se tuvo todos los biocombustibles, para las pruebas en el dinamómetro de chasis, se procedió de la siguiente secuencia:

- a) Recepción documentada del vehículo.
- b) Limpieza y revisión de presión de los neumáticos.
- c) Comprobación de los requisitos para poder ejecutar las pruebas en el dinamómetro de chasis.
- d) Colocación y anclaje del vehículo de prueba.
- e) Colocación de los sensores.
- f) Identificación y bypass del sistema de combustible del vehículo de prueba.
- g) Purga del sistema de combustible.
- h) Ejecución de 5 ensayos de par – potencia.
- i) Medida de los gases de combustión en dos regímenes, ralentí y 2750 rpm. según Norma Boliviana.
- j) Ejecución de la prueba de consumo por un lapso de 15 minutos, en marcha de prueba cercana a la relación 1:1, con restricción a 2750 rpm. según Norma Boliviana.
- k) Cambio del tipo de combustible.
- l) Regreso al punto (g) para la nueva prueba.

- m) Finalizadas las pruebas, reconexión del sistema de alimentación.
- n) Retiros de los sensores y anclajes.
- o) Entrega documentada del vehículo.

3.1.10. Dinamómetro de chasis

La palabra dinamómetro está viene de dos palabras griegas. La palabra dinamo, que significa potencia en movimiento y la palabra metro que significa medir. Es un equipo que permite medir la energía que entrega un motor de un vehículo, operando bajo distintos rangos de velocidad y carga, simulando como si estaría en carretera. Permite evaluar el rendimiento del motor, con el propósito de la generación posterior de curvas de potencia y par motor a carga completa, en función de la velocidad del motor. La potencia y el par motor, se lo obtiene en el eje de salida, estando el motor con todos sus sistemas para su funcionamiento normal y correcto, la norma empleada ha sido la ISO 1585.

3.1.11. Pruebas de potencia y par motor

Estas pruebas se realizaron en el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas (IIME), en el dinamómetro de chasis de la marca MAHA, el cual permite medir la potencia, par motor y simulación de carga directamente en las ruedas motrices que permite la simulación del funcionamiento de vehículos en entornos reales de operación, bajo un control total de las variables más comunes de un automotor gracias a los sensores con los que viene incorporado, obteniendo datos como si este estaría en carretera.

Figura 16. Dinamómetro de chasis MAHA



Fuente: Elaboración propia

3.1.12. Pruebas de gases combustión

Las pruebas de emisiones, se realizaron en dos velocidades, en ralentí y en crucero, según la NB 62002 y NB 62003, el equipo es de la marca MAHA, con su respectivo sensor de rpm, además de la sonda de recolección de gases de escape.

3.1.13. Prueba de rendimiento de combustible

Esta prueba se realizó en el dinamómetro de chasis simulando un recorrido por un lapso de 15 minutos. Para cada automotor analizado, limitando las rpm. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V_p \times t \times d}{1000(m_i - m_f)} \quad (1)$$

Donde:

$$R = \text{rendimiento de combustible} \left(\frac{km}{l} \right)$$

$$V_p = \text{velocidad de prueba} \left(\frac{km}{h} \right)$$

$$t = \text{tiempo de prueba (h)}$$

$$d = \text{densidad de combustible} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$m_i = \text{masa inicial de combustible (kg)}$$

$$m_f = \text{masa final de combustible (kg)}$$

3.1.14. Cálculo del consumo específico del combustible

$$C = \frac{m}{P * t}$$

Donde:

$$C = \text{consumo específico de combustible} \left(\frac{g}{kwh} \right)$$

$$m = \text{masa consumida (g)}$$

$$P = \text{potencia (kw)}$$

$$t = \text{tiempo de prueba (h)}$$

3.2. Variables de investigación

Las variables de la investigación se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Identificación de variables

Variables Independientes	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Temperatura	Temperatura	°C.	Numérica Continua
Mezclas	Gasolina-Etanol Anhidro	L.	Numérica Continua
Cilindrada real	Centímetros Cúbicos	A 1590 B 2694 C 2694 D 1598 E 1495 F 1462	Categórica Ordinal
Humedad Relativa del Aire	Humedad	%	Categórica Nominal
Variable Dependiente	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Par motor Potencia Velocidad angular Emisiones Consumo de Combustible	Torque kilowatt Revoluciones Partes por millón Volumen Peso	N-m. kw. rpm. %vol. L. gr.	Numérica Continua Numérica Continua Numérica Continua Categórica Ordinal Categórica Ordinal Numérica Continua

Fuente: Elaboración propia

Variable de estudio: Evaluación del Impacto del Etanol Anhidro en los Combustibles Utilizados en Vehículos de Combustión Interna Ciclo Otto convencionales a 3600 msnm.

3.2.1. Definición conceptual de las variables

La identificación de las variables independientes y dependientes son las siguientes:

Temperatura: Es una magnitud referida a las nociones comunes de calor o frío, por lo general un objeto más “caliente” tendrá una temperatura mayor.

Mezcla: Es un material compuesto por dos o más componentes unidos físicamente, pero no químicamente, es decir que no se produce entre ellos ninguna reacción química.

Cilindrada: Es el volumen combinado de los pistones dentro de los cilindros de un motor. Se calcula a partir del diámetro y número de los cilindros así como la distancia que recorre el pistón de un motor de combustión interna.

Humedad relativa del aire: Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación).

Par motor: También conocido como torque, se expresa en Newton metro (Nm) y se define como la fuerza que debe ser aplicada a un eje que gira sobre sí mismo a una determinada velocidad.

Potencia: En los vehículos se mide en caballos de fuerza y representa que tan rápido puede aplicar el torque. Al igual que el torque, la potencia máxima se alcanza a cierto número de RPM.

Velocidad angular: Es una medida de la velocidad de rotación. Se mide como el ángulo girado por una unidad de tiempo.

Emisiones: Los motores de combustión interna emiten varios tipos de gases y partículas que contaminan el medio ambiente, los productos que se emiten en mayor cantidad son: óxidos nitrosos (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrocarburos no quemados (HC), compuestos orgánicos volátiles y macropartículas.

Consumo de combustible: Es una medida que indica cuántos kilómetros es capaz de recorrer un carro por cada litro de gasolina. Se puede expresar de dos maneras, en kilómetros por litro (km/l).

3.2.2. Definición operacional de las variables

La identificación de las variables independientes y dependientes, se midieron de la siguiente manera:

Temperatura: Se midió con un sensor de temperatura introducido en el medidor del aceite del motor en cada prueba realizada.

Mezclas: Se midió el porcentaje del etanol de cada mezcla, mediante el método separación de fases.

Cilindrada: Se obtuvo de la ficha técnica del fabricante, de cada automotor analizado.

Humedad relativa del aire: Se midió mediante los sensores que posee el dinamómetro de chasis y que estuvo monitoreándose en cada prueba realizada.

Par motor: Se midió mediante el dinamómetro de chasis, con todos los sensores que este posee en su interior y se enlazó con el software del mismo equipo.

Potencia: Se midió mediante el dinamómetro de chasis, con todos los sensores que este posee en su interior y se enlazó con el software del mismo equipo.

Velocidad angular: Se midió mediante un sensor de velocidad ubicado en el dámper del motor o en una de los cables que conduce los pulsos eléctricos a las bujías.

Emisiones: Se midió mediante una sonda insertada en el tubo de escape, de cada vehículo, el cual recolectó los distintos gases contaminantes y los analizó en su software obteniendo un reporte final.

Consumo de combustible: Se midió con una balanza de precisión, la masa inicial y final de cada mezcla, para cada prueba después de un tiempo de recorrido del vehículo simulado en el dinamómetro de chasis.

3.3. Clasificación de la investigación

La investigación se clasifica de forma cuantitativa, porque se obtuvieron datos totalmente numéricos y analizados de forma individual cada uno de ellos.

3.3.1. Tipo de investigación

La investigación se clasifica de forma longitudinal, porque se comparó datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población evaluando los cambios respectivos.

3.3.2. Nivel de investigación

Para esta investigación se aplicó el nivel explicativo, puesto que existían trabajos previos relacionados al tema de investigación de otros países que sirvieron como referencia.

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño estaba basado en el uso de la estadística como herramienta para la interpretación de los datos computables, al obtener información numérica en cada prueba de los vehículos.

3.4. Población y muestra

La población de la investigación fueron 6 automotores con sistemas de inyección directa y carburador, de distintos fabricantes, marcas y modelos dedicados a gasolina de mediano cilindraje.

3.4.1. Espacial

El lugar donde se realizaron las pruebas, fue en los predios de la Universidad Mayor de San Andrés, en el Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas ubicado en la zona sur de la ciudad de la Paz (calle 30 de Cota Cota y Andrés Bello).

3.4.2. Temporal

El tiempo que duró la investigación fue de 7 meses, hasta obtener los resultados para su respectivo análisis.

3.4.3. Características de la población

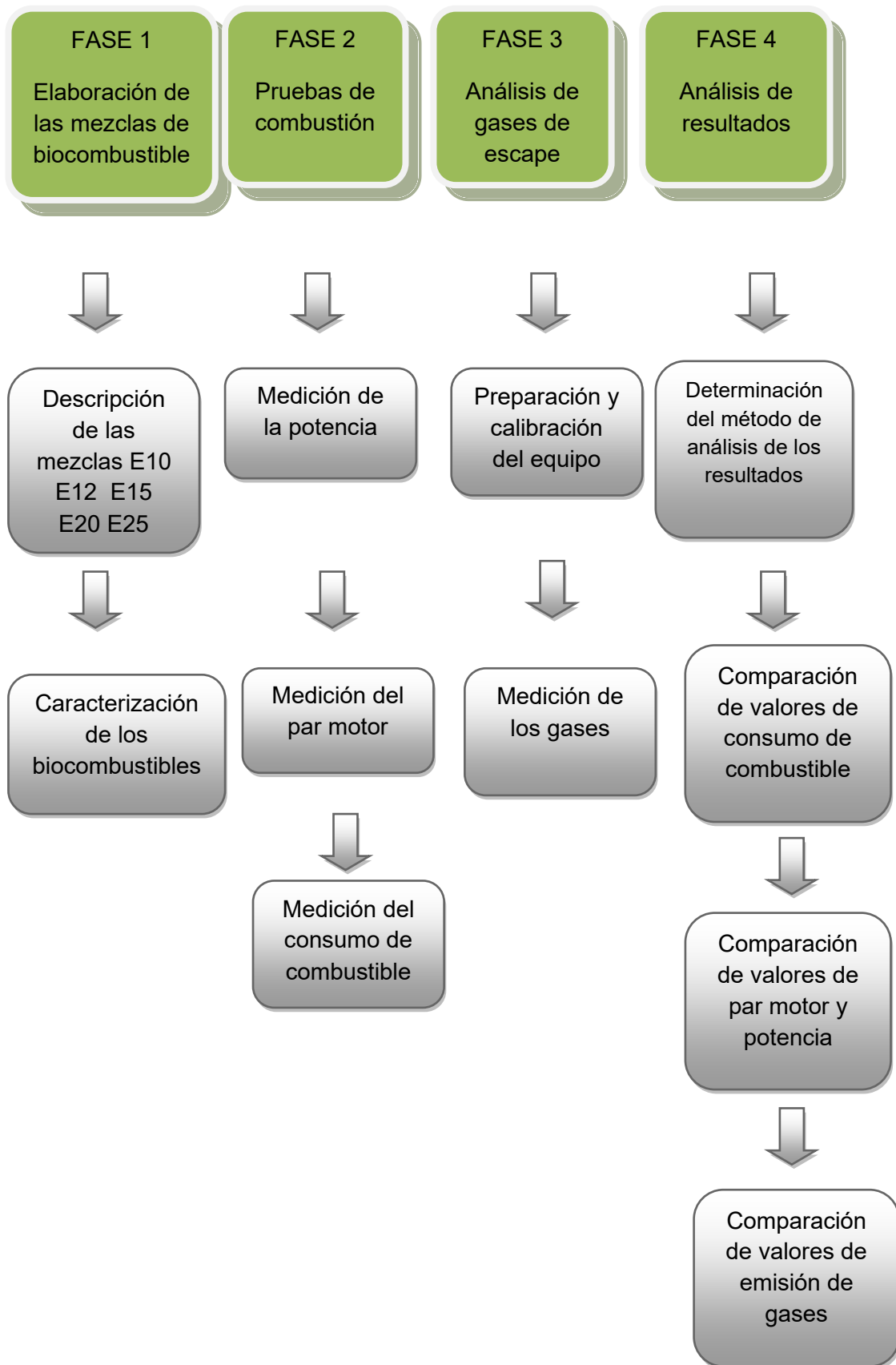
Los automotores en los que se realizó las pruebas fueron catalogados como equipo liviano, con un peso máximo de 2700 kg. de distintos fabricantes, con

un sistema de alimentación de combustible controlado mediante inyección electrónica y carburador, los tipos de motores fueron dedicados a gasolina los modelos fueron del año 1999 como el más antiguo y 2022 como es más moderno, con tracción sólo delantera o trasera es decir 4x2, ninguna 4x4 ni integral y con transmisión manual, el número de automotores fueron 6 unidades de los cuales 2 pertenecían al Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánicas y los demás fueron alquilados, por el representante de la USP (Universidad de São Paulo, Brasil) Lic. Marcelo Velázquez, todos los automotores tenían radicatoria en ciudad de La Paz.

3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Para determinar el porcentaje de etanol contenido en la gasolina, se utilizó el método de separación de fases, con un kit calibrado de laboratorio y certificado en Brasil, al igual que para medir la temperatura y la densidad de cada mezcla de los biocombustibles. Para las mediciones de la potencia, par motor, rpm y consumo de combustible se utilizó el dinamómetro de chasis y para las emisiones un equipo analizador de gases. En la figura 17, se aprecia cómo fueron las fases de recolección de datos.

Figura 17. Diagrama de desarrollo



Fuente: Elaboración propia

3.6. Proceso de prueba de hipótesis y análisis de datos

Con los datos numéricos obtenidos mediante los equipos de medición se procedió al respectivo análisis para comprobar la hipótesis planteada.

Los datos fueron analizados en tablas con sus respectivas gráficas, en la hoja de cálculo de Excel, también se usó la estadística como herramienta matemática para el estudio de la variabilidad, colección, organización, análisis, interpretación y presentación de los datos.

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de resultados se llevó a cabo con la ayuda de la hoja de cálculo Excel, para el tratamiento adecuado de los datos obtenidos en las diferentes mediciones y de los reportes obtenidos del dinamómetro de chasis.

4.1. Análisis de datos

Los datos fueron obtenidos por medio de los diferentes equipos de medición, desde las preparaciones de las mezclas hasta, los reportes emitidos por el dinamómetro de chasis y las emisiones.

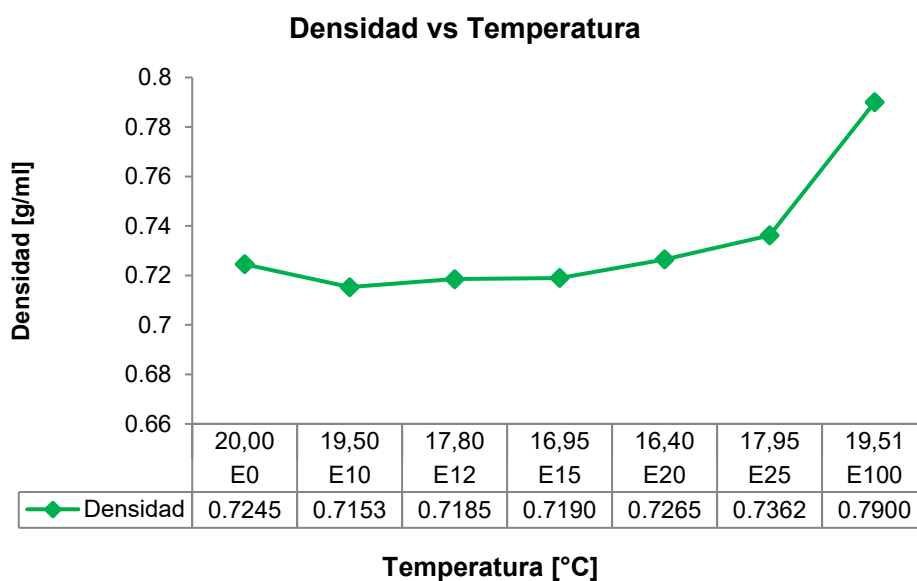
4.2. Características de los automotores puestos a prueba

Los automotores puestos a prueba convencionales que se encuentran circulando en el parte automotriz de la ciudad de La Paz. Con sistemas de alimentación moderna de combustible a inyección directa y con el clásico carburador.

4.2.1. Medición de las propiedades fisicoquímicas de los combustibles

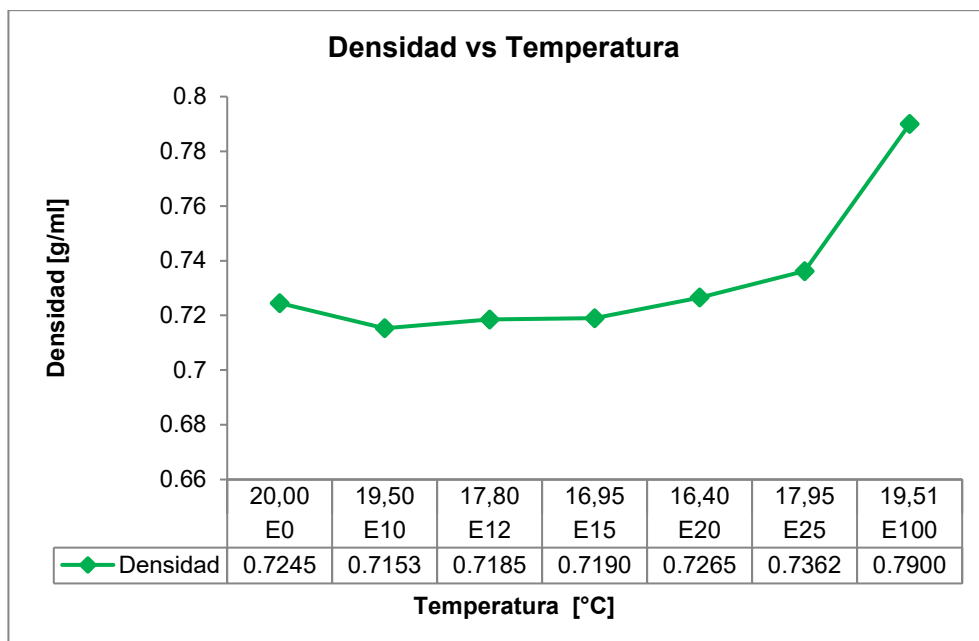
Para todos los casos se midieron la temperatura y densidad de cada uno de los combustibles preparados para cada automotor, como se muestra en las figuras 18, 19, 20, 21, 22 y 23.

Figura 18. Mezclas de etanol y gasolina camioneta Suzuki APV Carry



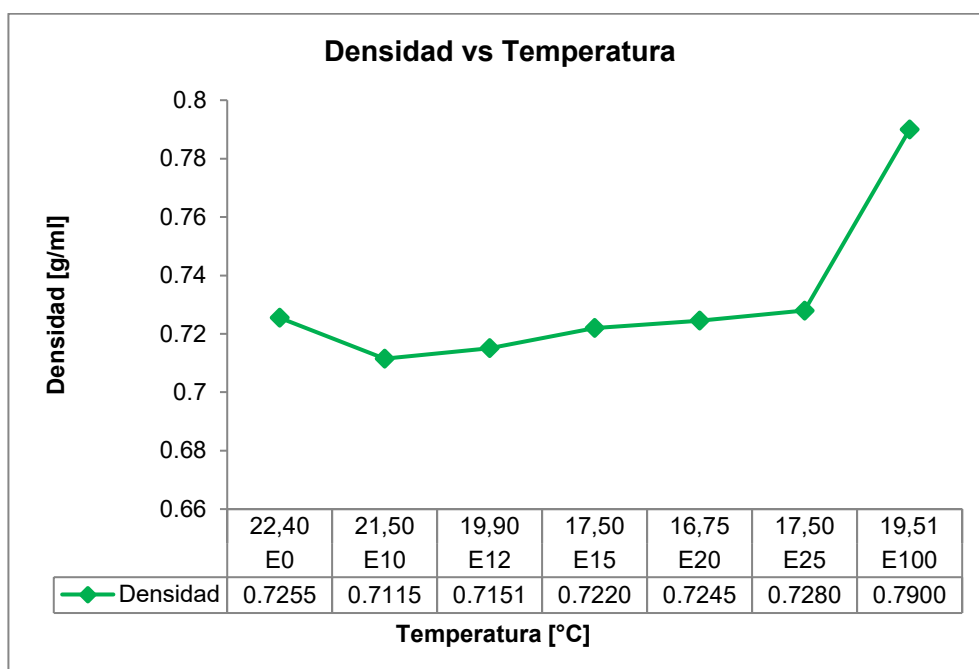
Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta Toyota Prado Land Cruiser



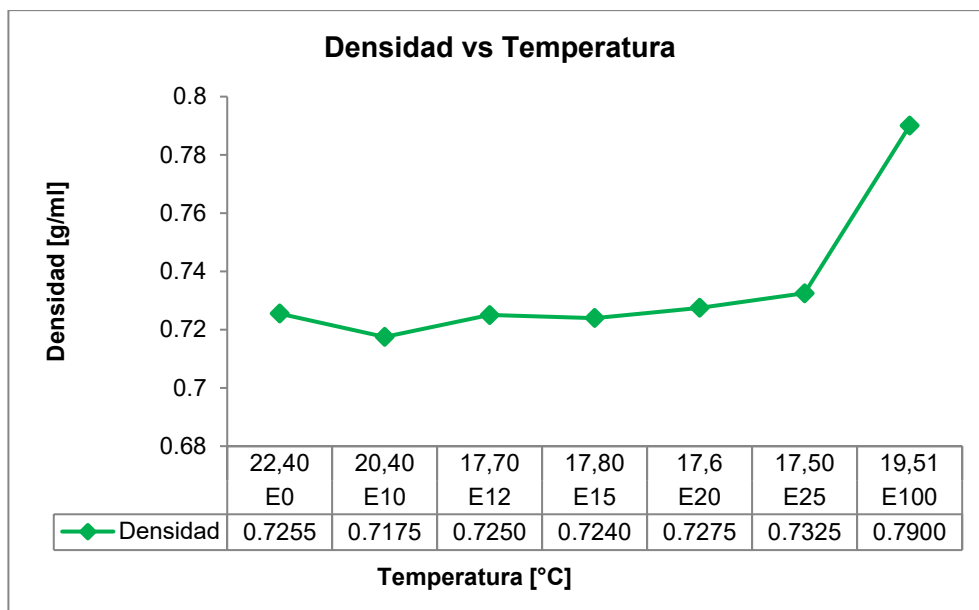
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Mezclas de etanol y gasolina camioneta Toyota Hilux



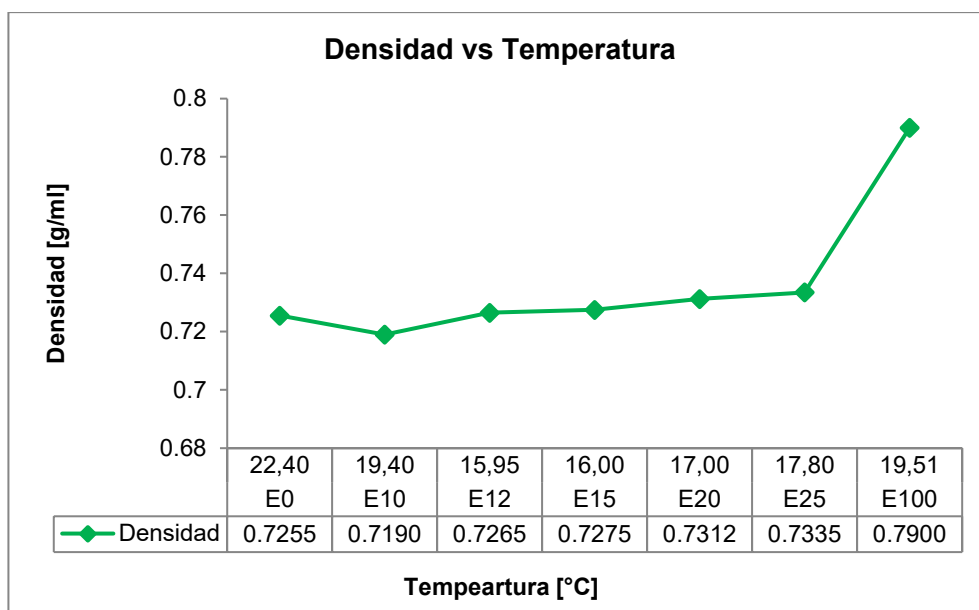
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta Volkswagen Gol



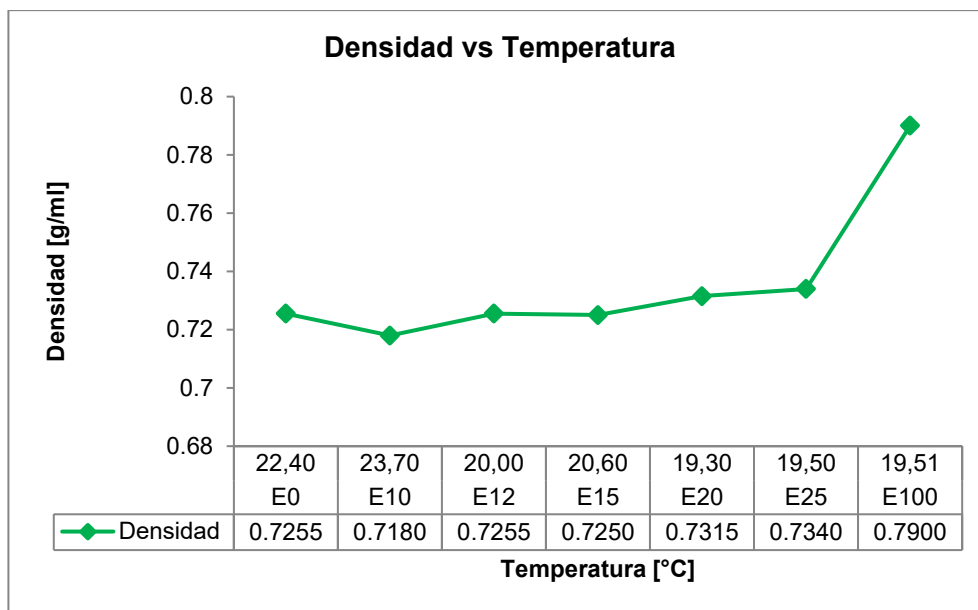
Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Mezclas de etanol y gasolina vagoneta GAC GS4



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Mezclas de etanol y gasolina jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

Las mediciones de las propiedades fisicoquímicas de todos los combustibles, dieron como resultado una misma tendencia, donde la densidad se incrementa linealmente con la adición de etanol anhidro en distintos porcentajes como se observa en todas las gráficas 18, 19, 20, 21, 22 y 23 esto se debe a que la densidad al ser una propiedad que está en función de la masa y el volumen, la misma también se va incrementando, teniendo como un máximo y mínimo de porcentaje de etanol (E0 y E100), donde estos dos puntos sirvieron como referencia para todas las mezclas.

4.2.2. Resultados de las potencias y pares motores de los automotores analizados

A continuación, se muestran las tablas y figuras de los resultados obtenidos por el dinamómetro de chasis, con cada combustible utilizado en las pruebas respectivas. Se debe aclarar un punto muy importante de la adquisición de los combustibles puesto que en la actualidad en la ciudad de La Paz, específicamente en las estaciones de servicio, ya no se comercializa el combustible con 0% de etanol, es decir E0, pero para este estudio se pudo adquirir el mismo, con ayuda del Dr. Miguel Dabdoub Paz, docente de la USP, Universidad de Sao Paulo y director de LADETEL, Laboratorio de Desarrollo de Tecnologías Limpias, por ser un tema de investigación y académico, además

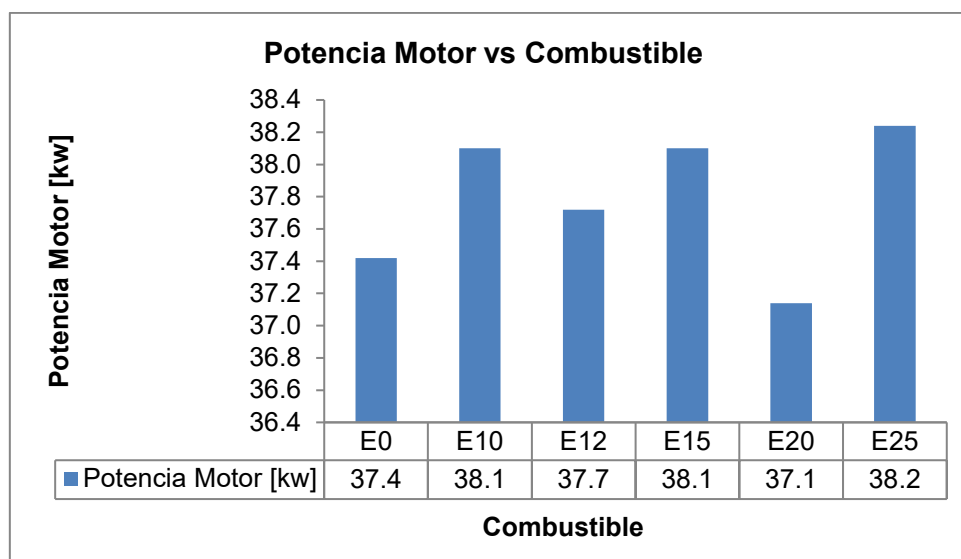
de que sirvió para realizar las comparaciones y el análisis respectivo con las diferentes mezclas.

Tabla 6. Resultados de la potencia motor camioneta Suzuki APV Carry

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	37,4	5236
E10	38,1	5225
E12	37,7	5228
E15	38,1	5236
E20	37,1	5235
E25	38,2	5242

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Potencia motor camioneta Suzuki APV Carry



Fuente: Elaboración propia

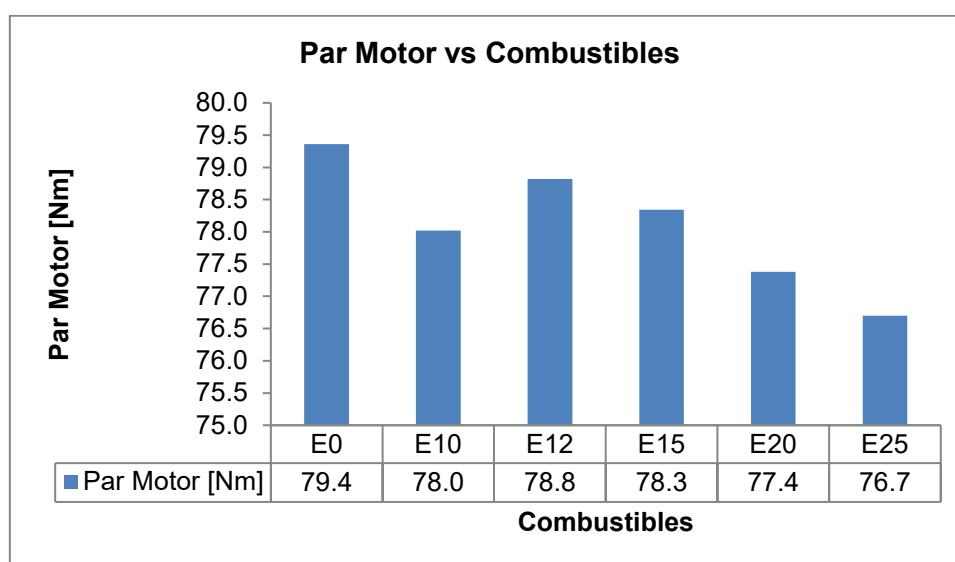
En la figura 24, se puede observar un incremento de la potencia con las mezclas de etanol, siendo la más destacada E25, es decir que se tuvo una mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico en ese punto, de la tabla 6, se observa que las revoluciones se mantuvieron en un rango constante sin registrarse un incremento de consideración.

Tabla 7. Resultados del par motor camioneta Suzuki APV Carry

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	79,4	2754
E10	78,0	2770
E12	78,8	2762
E15	78,3	2749
E20	77,4	2796
E25	76,7	2778

Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Par motor camioneta Suzuki APV Carry



Fuente: Elaboración propia

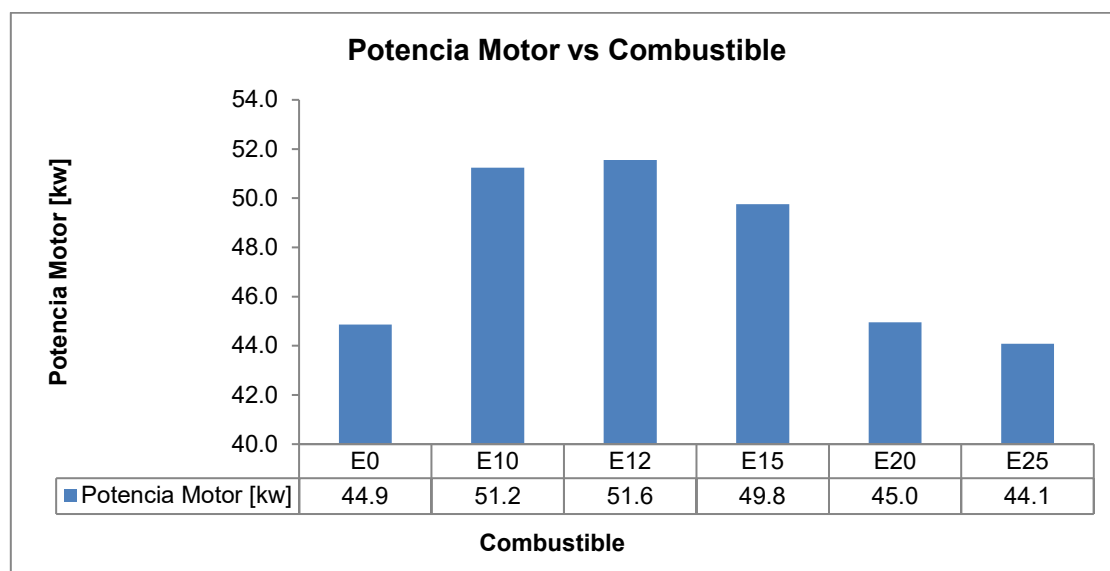
En la figura 25, se puede observar que el par motor más alto se registra con E0, seguido con una leve disminución lineal con la adición de etanol con E10, E12, E15, E20 y E25, debido a las altas revoluciones que se desarrolla, este causa un llenado rápido del cilindro y al tener muchas repeticiones en un corto tiempo se tiene menos aire y menos combustible produciendo menos torque y una explosión débil. Respecto a las otras mezclas no se tiene un valor significativo. En la tabla 7, se puede observar un incremento en las revoluciones del motor con la adición de etanol.

Tabla 8.Resultados de la potencia motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	44,9	4040
E10	51,2	4636
E12	51,6	4637
E15	49,8	4637
E20	45,0	4658
E25	44,1	4695

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Potencia motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser



Fuente: Elaboración propia

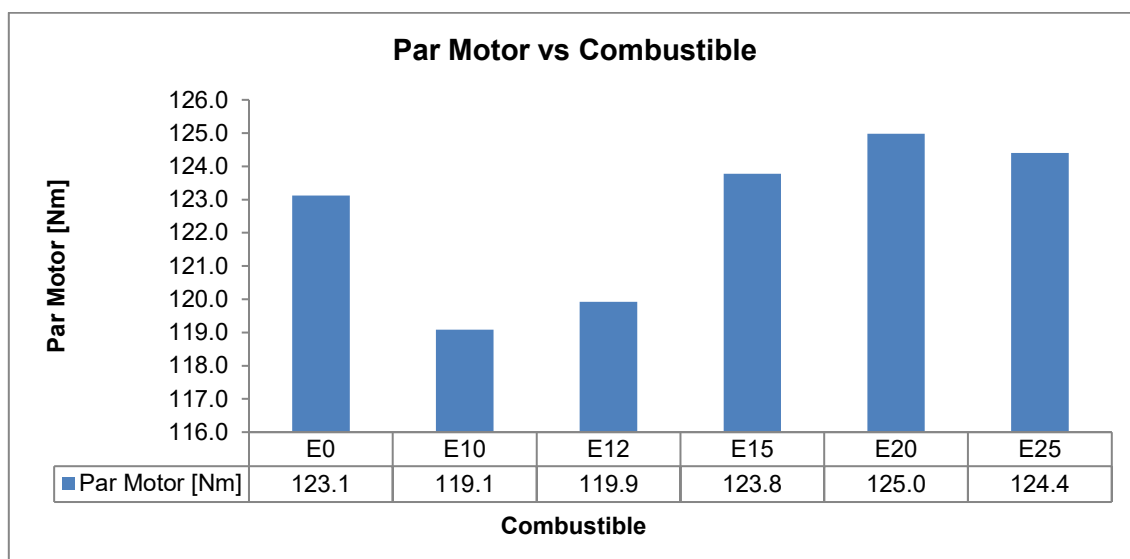
En la figura 26, se puede observar un incremento de la potencia con las mezclas de etanol, siendo la más destacadas E10, E12, E15 y E20, respecto a E0, con E25 se tuvo una leve disminución igualándose a el combustible con 0% de etanol E0. Por lo tanto, se tuvo una mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico con la adición de etanol. En la tabla 8 se puede observar que las revoluciones se incrementan conforme se va incrementando los porcentajes de etanol.

Tabla 9. Resultados del par motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	123,1	2789
E10	119,1	3054
E12	119,9	3109
E15	123,8	2724
E20	125,0	2705
E25	124,4	2657

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Par motor vagoneta Toyota Prado Land Cruiser



Fuente: Elaboración propia

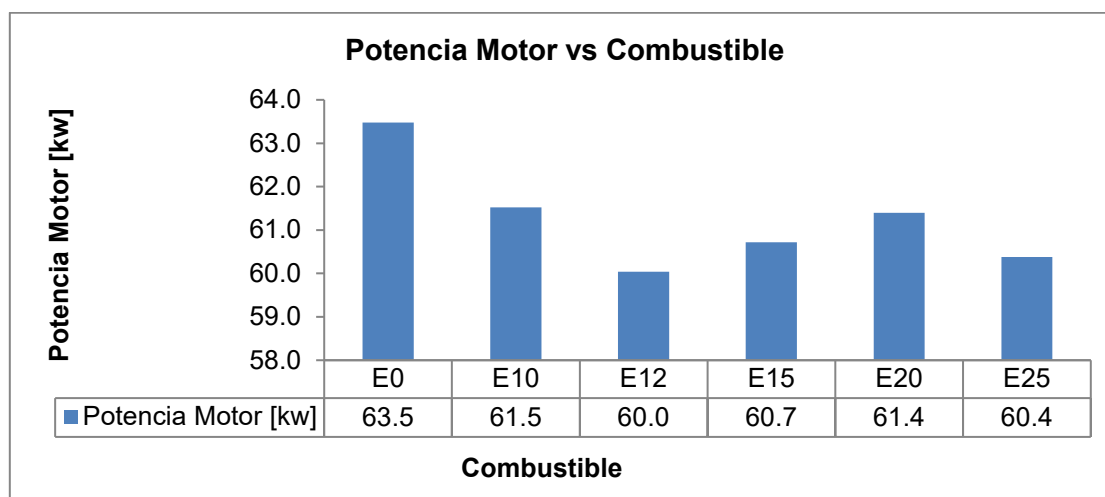
En la figura 27, se puede observar que el par motor se incrementa con adición de etanol en las mezclas, siendo las más destacadas E20 y E25. Cabe destacar que este vehículo tiene un motor alimentado por un sistema de carburador y de aspirado natural, el cual con la adición de etanol se oxigena el combustible y se genera una mejor fuerza de explosión a bajas revoluciones, ya que al ser este un vehículo grande y todo terreno se caracteriza por el alto torque que debe desempeñar. En la tabla 9, se puede observar que con E10 y E12 se tiene un incremento en las revoluciones y con las demás se mantiene en un mismo rango de velocidad del motor.

Tabla 10. Resultados de la potencia motor camioneta Toyota Hilux

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	63,5	5299
E10	61,5	5128
E12	60,0	5018
E15	60,7	5016
E20	61,4	5038
E25	60,4	5019

Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Potencia motor camioneta Toyota Hilux



Fuente: Elaboración propia

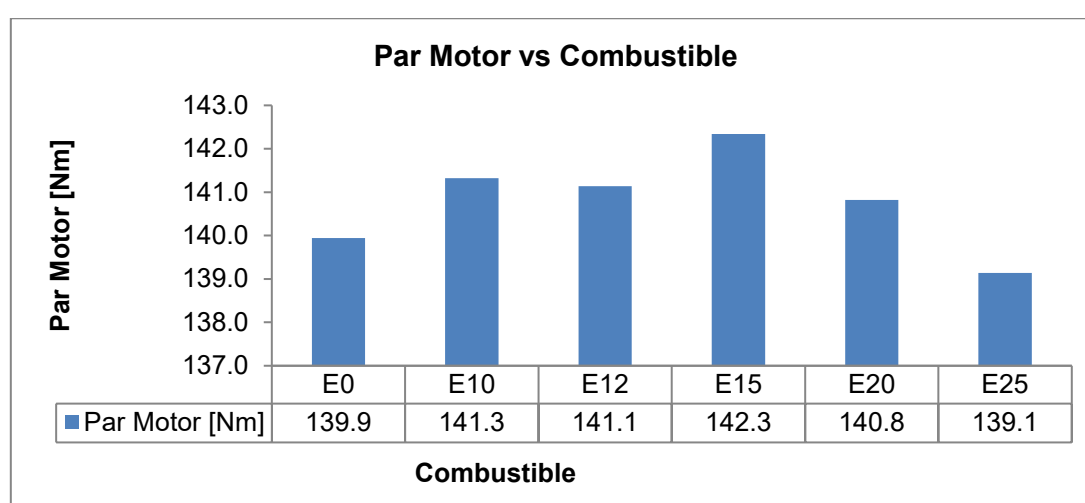
En la figura 28, se puede observar un leve descenso de la potencia con las mezclas de etanol, en relación a E0, pero en relación a E10 siendo la segunda referencia; la potencia prácticamente se mantiene lineal, es decir que se puede usar cualquier mezcla de la presente investigación y no se afectaría en la potencia. La mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico se registra con E0. En la tabla 10, se puede observar que las revoluciones del motor disminuyen con la adición de etanol.

Tabla 11. Resultados del par motor camioneta Toyota Hilux

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	139,9	2394
E10	141,3	2157
E12	141,1	2159
E15	142,3	2134
E20	140,8	2155
E25	139,1	2147

Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Par motor camioneta Toyota Hilux



Fuente: Elaboración propia

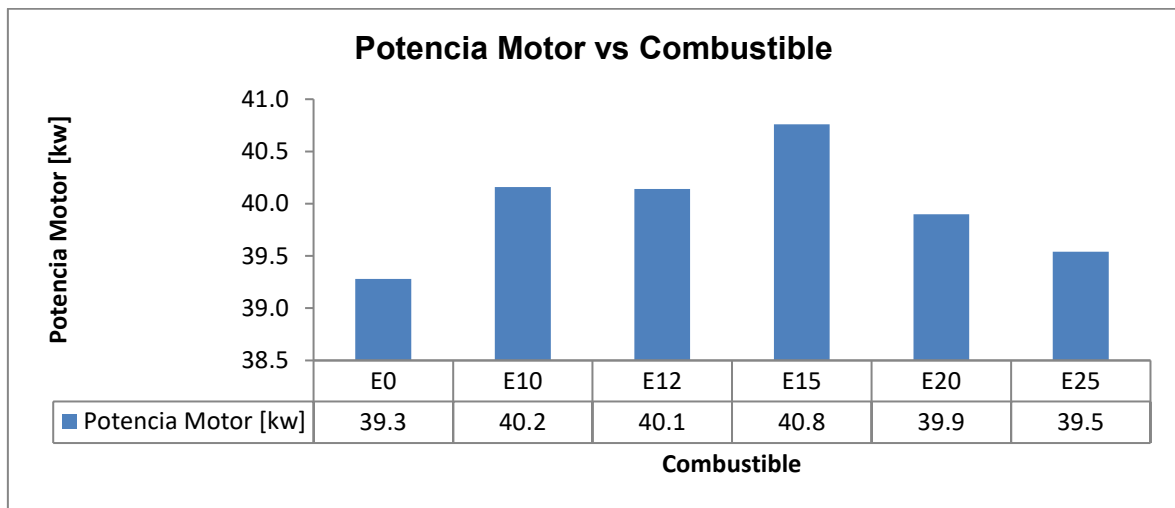
En la figura 29, se puede observar que el par motor se incrementa con las mezclas siendo las más destacadas E10, E12, E15 y E20. La mezcla de E25 prácticamente se iguala con una E0. Este incremento en el torque es debido a que el etanol es un hidrocarburo oxigenador, por lo tanto genera mayor fuerza de explosión a bajas revoluciones y al ser este un vehículo todo terreno se caracteriza por el alto torque desarrollado en el motor. En la tabla 11 se puede observar que las revoluciones disminuyen con la adición de etanol.

Tabla 12. Resultados de la potencia motor vagoneta Volkswagen

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	39,3	5970
E10	40,2	5989
E12	40,1	5837
E15	40,8	5838
E20	39,9	5919
E25	39,5	5987

Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Potencia motor vagoneta Volkswagen



Fuente: Elaboración propia

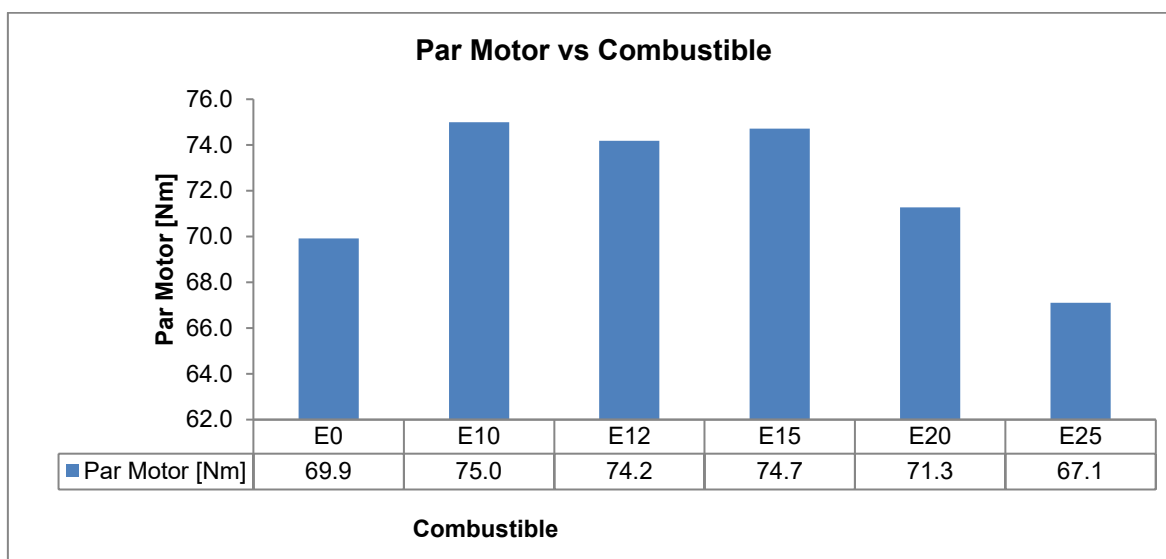
En la figura 30, se puede observar un incremento de la potencia con todas las mezclas respecto a E0, por lo que se tiene una mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico con la adición de etanol. En la tabla 12 se puede observar que las revoluciones disminuyen con la adición de etanol mayor al 10%.

Tabla 13. Resultados del par motor vagoneta Volkswagen

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	69,9	3526
E10	75,0	3073
E12	74,2	3185
E15	74,7	3553
E20	71,3	3493
E25	67,1	5118

Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Resultados del par motor vagoneta Volkswagen



Fuente: Elaboración propia

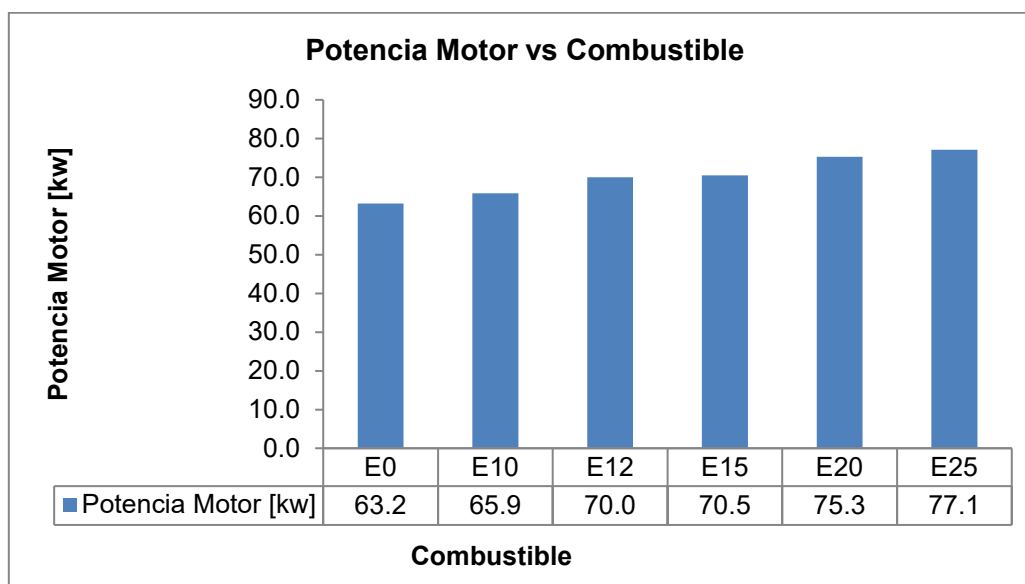
En la figura 31, se observa que el par motor se incrementa con las mezclas siendo las más destacadas E10, E12, E15 y E20, con E25 se tiene un leve descenso respecto a E0. Este incremento en el torque es debido a que el etanol es un hidrocarburo oxigenador, por lo tanto genera mayor fuerza de explosión a bajas revoluciones. En la tabla 13, se observa que las revoluciones se mantienen en un mismo rango hasta E20 y con E25 se incrementan.

Tabla 14. Resultados de la potencia motor vagoneta GAC GS4

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	63,2	5226
E10	65,9	5270
E12	70,0	5322
E15	70,5	5268
E20	75,3	5334
E25	77,1	5288

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Potencia motor vagoneta GAC GS4



Fuente: Elaboración propia

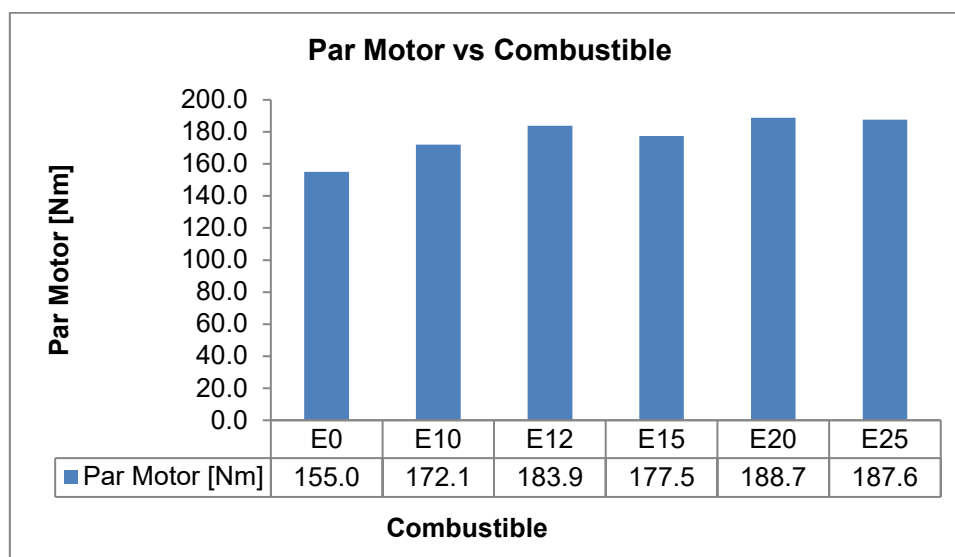
En la figura 32, se puede observar un incremento de la potencia con todas las mezclas de etanol, siendo la más destacada E25, por lo que se tiene una mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico de forma ascendente para todas las mezclas. En la tabla 14, se puede observar que las revoluciones se incrementan con la adición de etanol. Cabe destacar para este vehículo en particular resaltar la influencia del turbocompresor que tiene incorporado en el motor, el cual introduce aire a presión y por ende más oxígeno en la cámara de combustión.

Tabla 15. Resultados del par motor vagoneta GAC GS4

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	155,0	2803
E10	172,1	2882
E12	183,9	2841
E15	177,5	2846
E20	188,7	2900
E25	187,6	3046

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Par motor vagoneta GAC GS4



Fuente: Elaboración propia

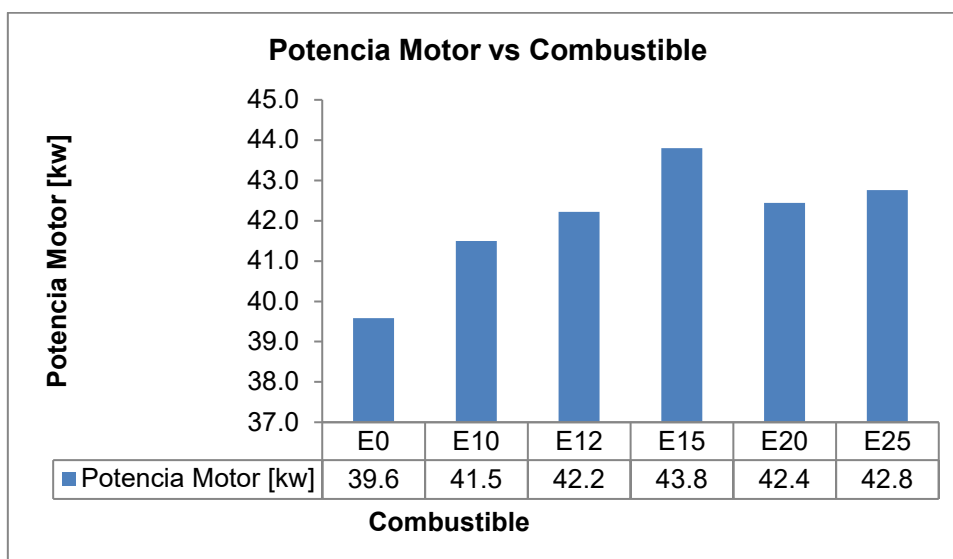
En la figura 33, se puede observar que el par motor se incrementa con todas las mezclas de etanol. Dejando atrás al combustible con 0% de etanol E0. Este incremento en el torque, es debido a que el etanol es un hidrocarburo oxigenador, por lo tanto genera mayor fuerza de explosión a bajas revoluciones. Además de la participación del turbocompresor como dispositivo para introducir aire y por ende oxígeno inducido a la cámara de combustión, generando una mejor combustión. En la tabla 15, se puede observar que las revoluciones se incrementan con la adición de etanol.

Tabla 16. Resultados de la potencia motor jeep Suzuki Jimny

Combustible	Potencia Motor [kw]	Revoluciones [rpm]
E0	39,6	5707
E10	41,5	6120
E12	42,2	6077
E15	43,8	6145
E20	42,4	6136
E25	42,8	6104

Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Potencia motor jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

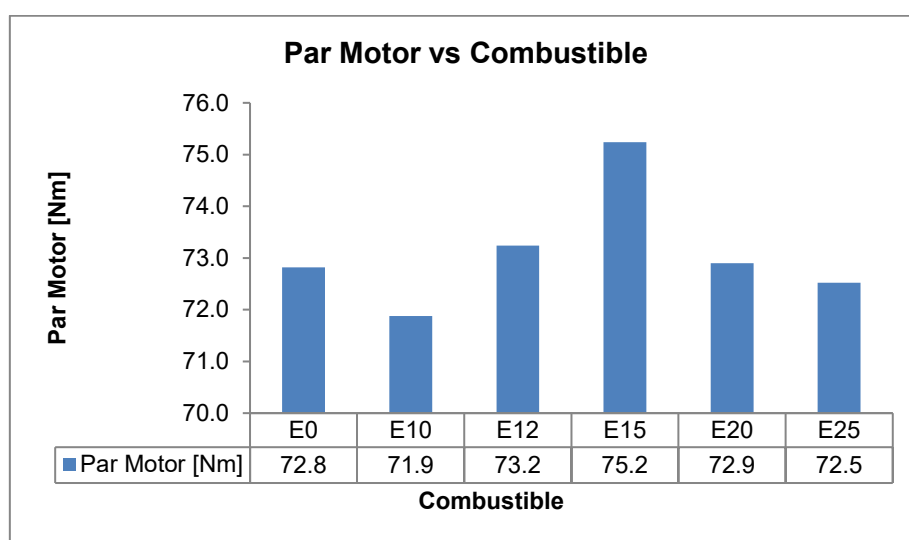
En la figura 34, se observa un incremento de la potencia con todas las mezclas de etanol, por lo que se tiene una mayor rapidez para desarrollar el trabajo mecánico respecto a E0. En la tabla 16, se puede observar que las revoluciones se incrementan con la adición de etanol.

Tabla 17. Resultados del par motor jeep Suzuki Jimny

Combustible	Par Motor [Nm]	Revoluciones [rpm]
E0	72,8	3189
E10	71,9	2557
E12	73,2	2576
E15	75,2	2597
E20	72,9	2595
E25	72,5	3247

Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Par motor jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se puede observar que el par motor se incrementa con las mezclas de etanol, siendo las más destacadas E12, E15 y E20. El combustible con el 0% de etanol E0, prácticamente se iguala a un E25. Este incremento en el par motor es debido a que el etanol es un hidrocarburo oxigenador, por lo tanto genera mayor fuerza de explosión a bajas revoluciones. En la tabla 17, se puede observar que las revoluciones disminuyen con E10, E12, E15 y E20, con E25 se incrementa.

4.2.3. Resultado de emisiones contaminantes

Para determinar el nivel de emisiones contaminantes que generan los automotores analizados con las diferentes mezclas, se utilizó un analizador de gases de la marca MAHA, conectado en el tubo de escape mediante una

sonda, bajo la Norma Boliviana sobre emisiones NB 62002, certificado por el Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). Mediante el cual se analizó diferentes gases como ser, el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), oxígeno (O₂) e hidrocarburos no quemados (HC).

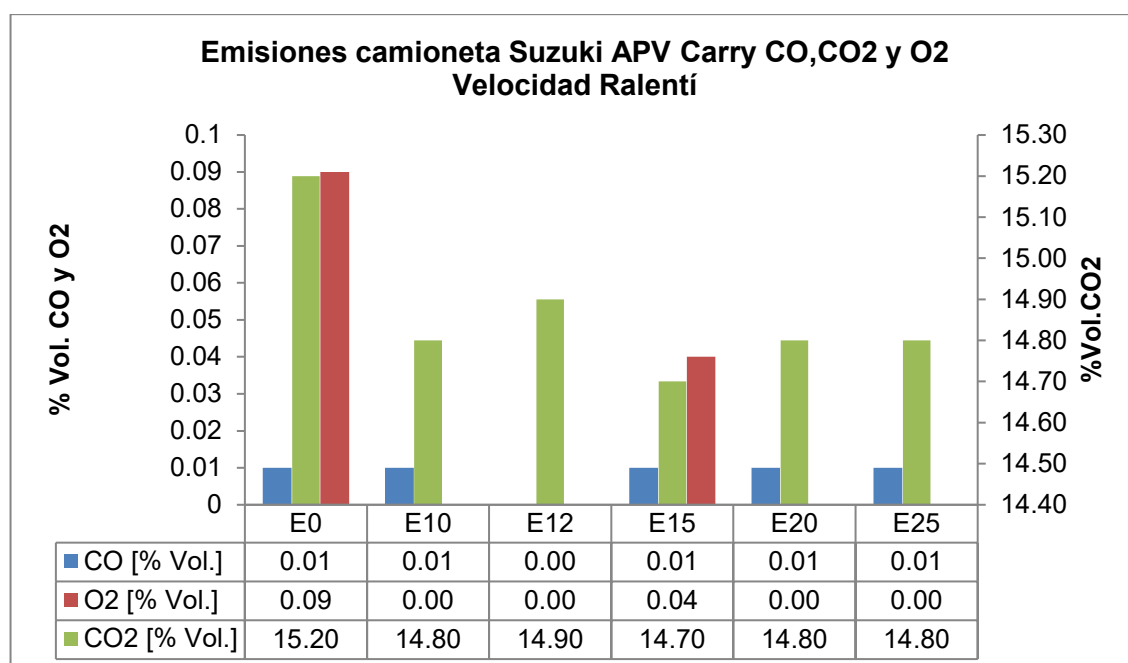
Las mediciones se realizaron en dos velocidades, una en ralentí a 700 rpm y en crucero a 2750 rpm, siguiendo el protocolo de mediciones, el cual se debe sincronizar las rpm del motor con el equipo de medición, para obtener los valores más próximos. Como se muestran en las figuras del 36 al 59.

Tabla 18. Resultado de la medición de gases de la camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralentí

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,20	0,09	29	1,002	700
E10	0,01	14,80	0,00	23	0,998	700
E12	0,00	14,90	0,00	9	0,999	700
E15	0,01	14,70	0,04	11	1,001	700
E20	0,01	14,80	0,00	19	0,999	700
E25	0,01	14,80	0,00	12	0,999	700

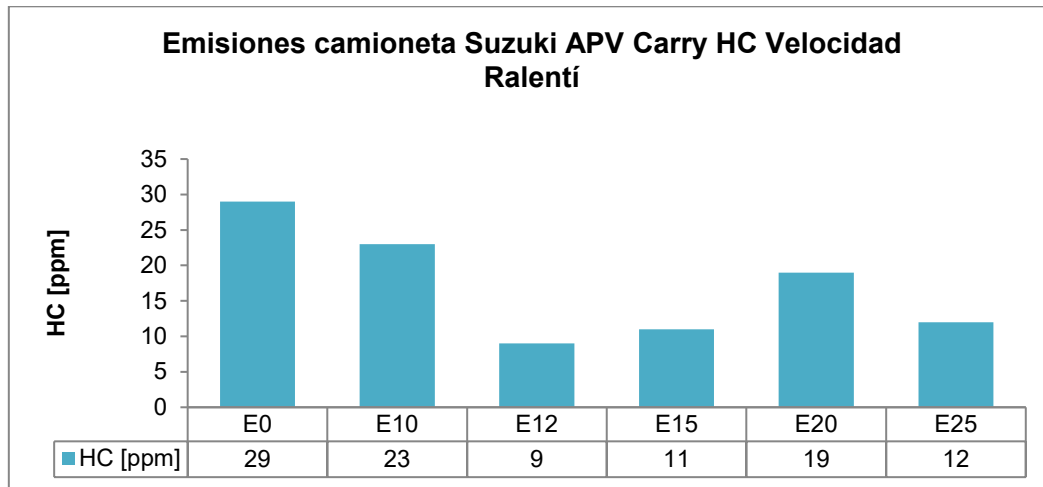
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 2010, con sistema de alimentación de inyección directa, en la figura 36, se puede observar un valor de 0,01 %Vol. de CO, para todas las mezclas y el combustible que no contiene etanol, cumpliendo a cabalidad la normativa boliviana sobre emisiones. Existen leves porcentajes de O₂, en el combustible que no contiene etanol y en la mezcla de E15, lo que significa que se tuvo una buena combustión dentro de los cilindros del motor. Para el CO₂, se tiene una leve disminución con la adición de etanol.

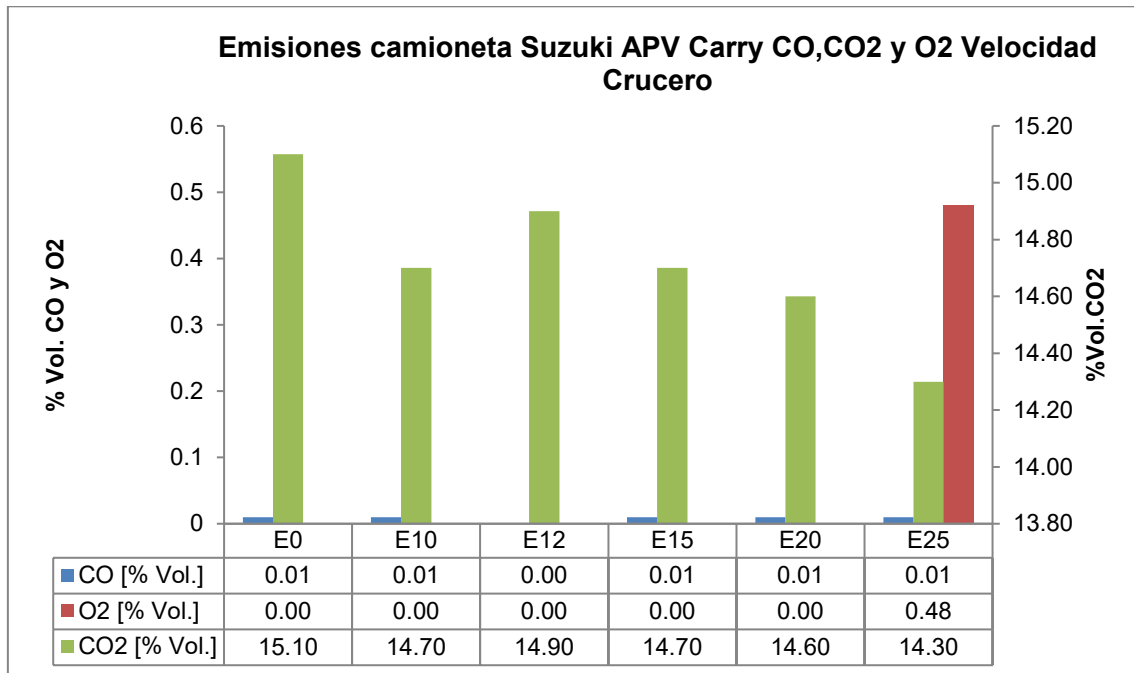
En la figura 37, se observa una considerable disminución de los hidrocarburos no quemados (HC), con la adición de etanol en todas las mezclas, generando una mejor combustión, respecto al combustible que no contiene etanol, cumpliendo la normativa boliviana.

Tabla 19. Resultado de la medición de gases de la camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,10	0,00	24	0,998	2710
E10	0,01	14,70	0,00	19	0,999	2700
E12	0,00	14,90	0,00	11	0,999	2770
E15	0,01	14,70	0,00	9	0,999	2740
E20	0,01	14,60	0,00	14	0,999	2770
E25	0,01	14,30	0,48	9	1,022	2740

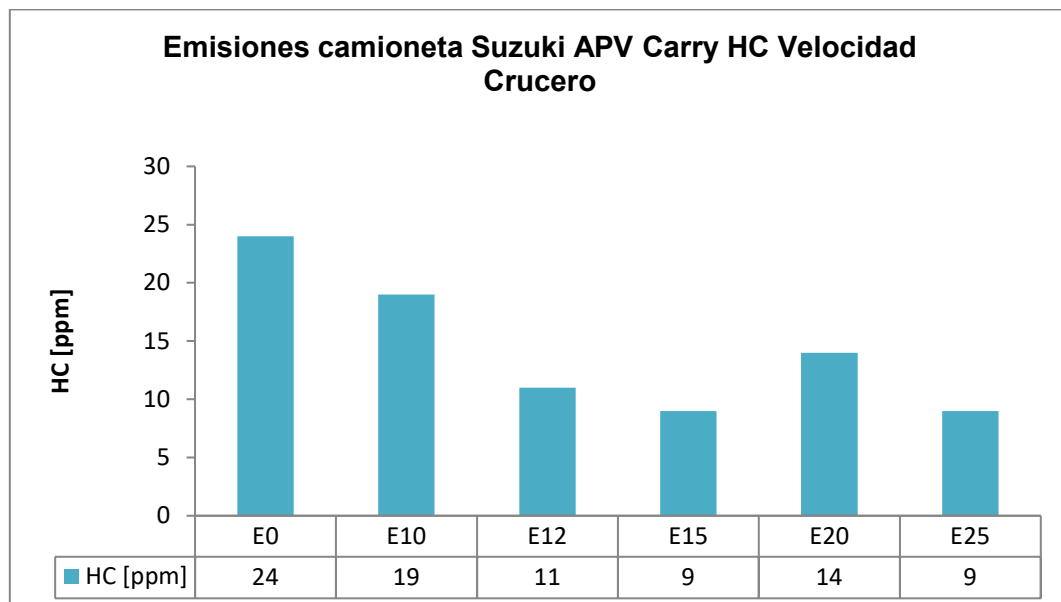
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Resultado de la medición de emisiones camioneta Suzuki APV Carry velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 38, se puede observar un valor de 0,01% Vol. de CO, para casi todas las mezclas y el combustible que no contiene etanol, cumpliendo a

cabalidad la normativa boliviana sobre emisiones. Existe un porcentaje de O₂, en la mezcla E25, debido a que el etanol es un compuesto oxigenador, para los demás se tiene 0% Vol. Para el CO₂, se tiene una leve disminución con la adición de etanol.

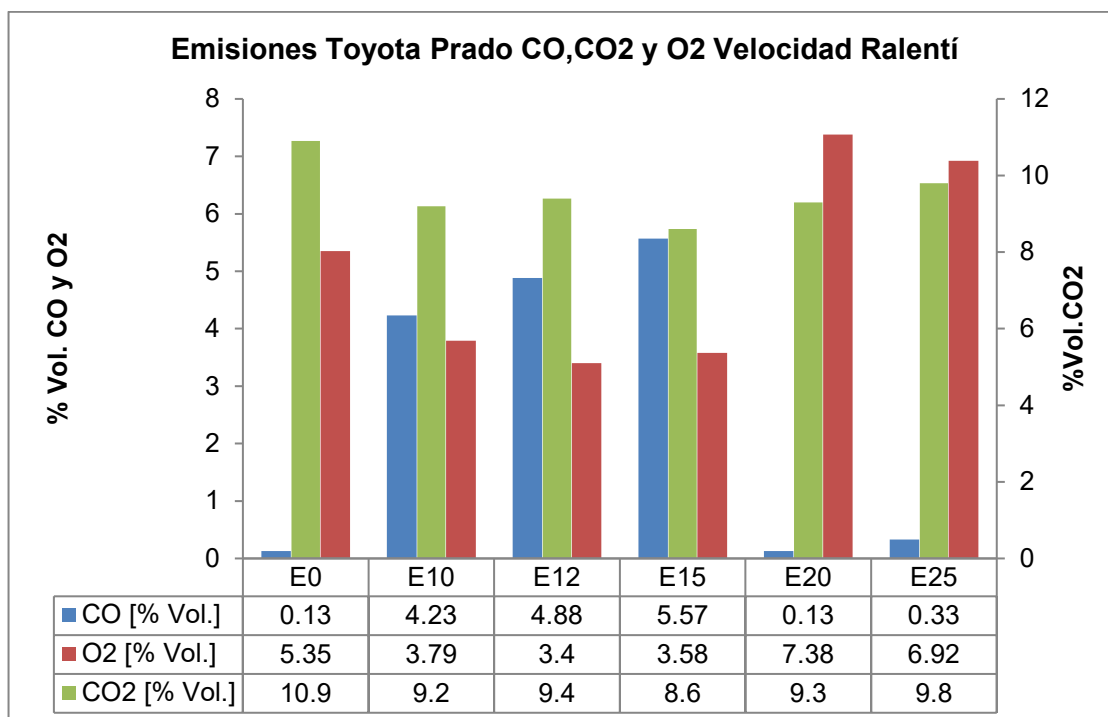
En la figura 39, se observa una considerable disminución de los hidrocarburos no quemados (HC), con la adición de etanol generando una mejor combustión en todas las mezclas, respecto al combustible que no contiene etanol, cumpliendo la normativa boliviana.

Tabla 20. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralentí

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,13	10,9	5,35	463	1,303	840
E10	4,23	9,2	3,79	355	1,035	1040
E12	4,88	9,4	3,4	486	0,987	870
E15	5,57	8,6	3,58	847	0,957	790
E20	0,13	9,3	7,38	1365	1,421	790
E25	0,33	9,8	6,92	1082	1,378	900

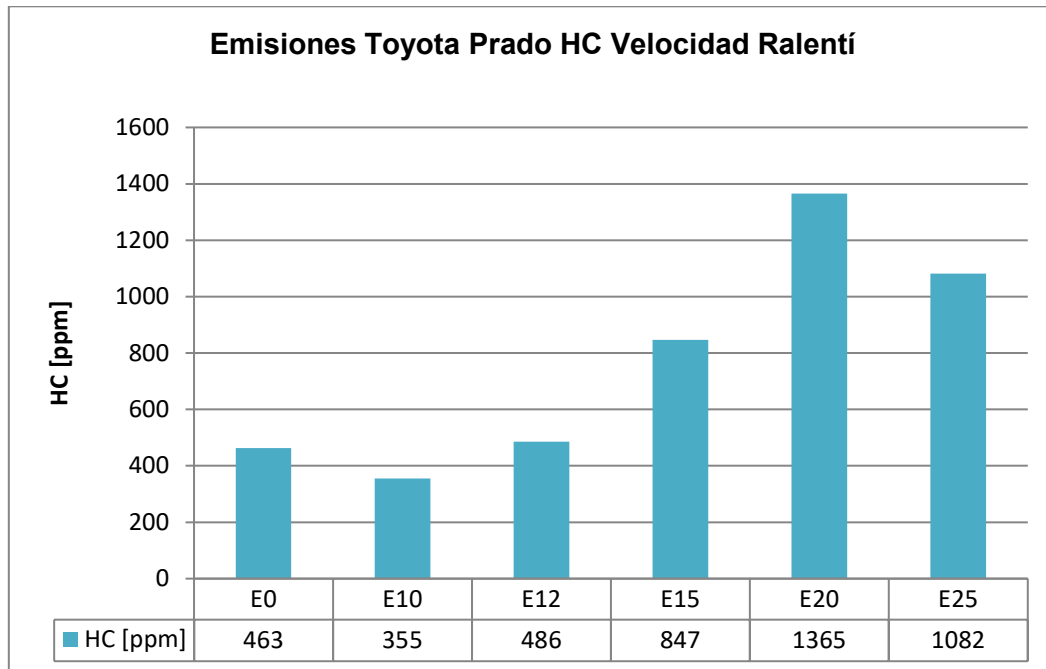
Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 1999, en la figura 40, se puede observar que las emisiones de CO, con las mezclas E10, E12 y E15, no cumplen la normativa boliviana, sin embargo para E0, E20 y E25 si se cumple. Existen porcentajes de O₂, que se incrementan con la adición de etanol en las mezclas, debido a que el etanol es un compuesto oxigenador. Para el CO₂, se tiene una leve disminución con la adición de etanol.

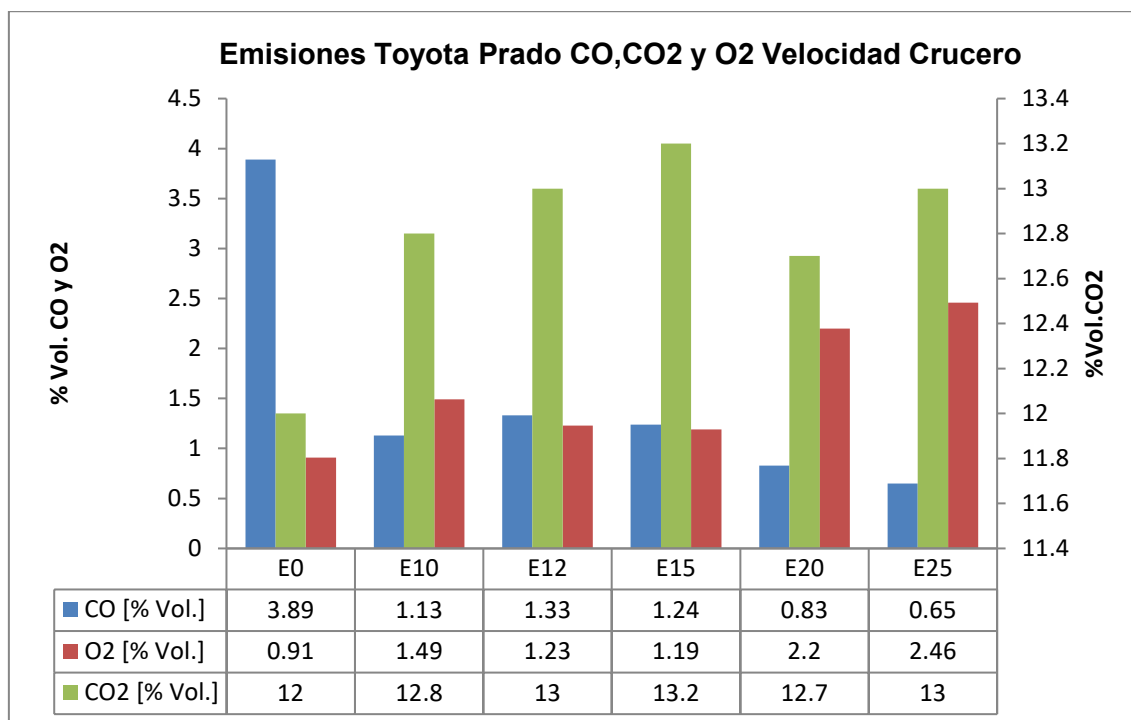
En la figura 41, sobre los HC, se observa que solo E10 cumple la normativa boliviana, para todas demás mezclas no se cumplen. Se debe recalcar que este vehículo tiene una particularidad, su sistema de alimentación es a carburador, por lo cual al tener componentes mecánicos este debe ser regulado manualmente como ser el cambio del chicler adecuado y el regulado en general de cuerpo del carburador, para obtener combustiones más completas, pese a esa falta de regulación al igual que la dosificación de combustible y el oxígeno del aire, se tuvo resultados aceptables en la mayoría de las mediciones, tomando siempre como base la norma sobre emisiones.

Tabla 21. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero

Combustible	CO [% Vol.]	CO2 [% Vol.]	O2 [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	3,89	12	0,91	232	0,92	2810
E10	1,13	12,8	1,49	277	1,026	2670
E12	1,33	13	1,23	185	1,011	2770
E15	1,24	13,2	1,19	186	1,011	2680
E20	0,83	12,7	2,2	670	1,055	2750
E25	0,65	13	2,46	387	1,087	2750

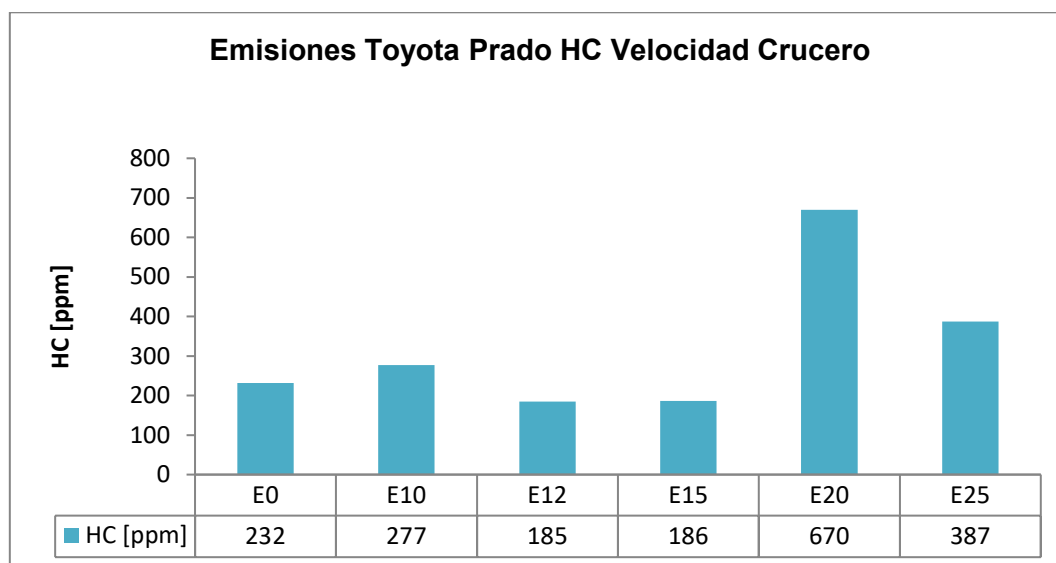
Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Toyota Prado Land Cruiser velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 42, se puede observar que las emisiones de CO, con todas las mezclas disminuye considerablemente, mientras más porcentaje de etanol tiene la mezcla disminuye mucho más, por lo cual cumplen la normativa boliviana, a excepción del combustible E0, que se encuentra fuera de la normativa. Los porcentajes de O₂, se incrementan conforme se tiene mayor contenido de etanol, debido a que este último es un compuesto oxigenador. En la medición del CO₂, se tiene un leve incremento con todas las mezclas.

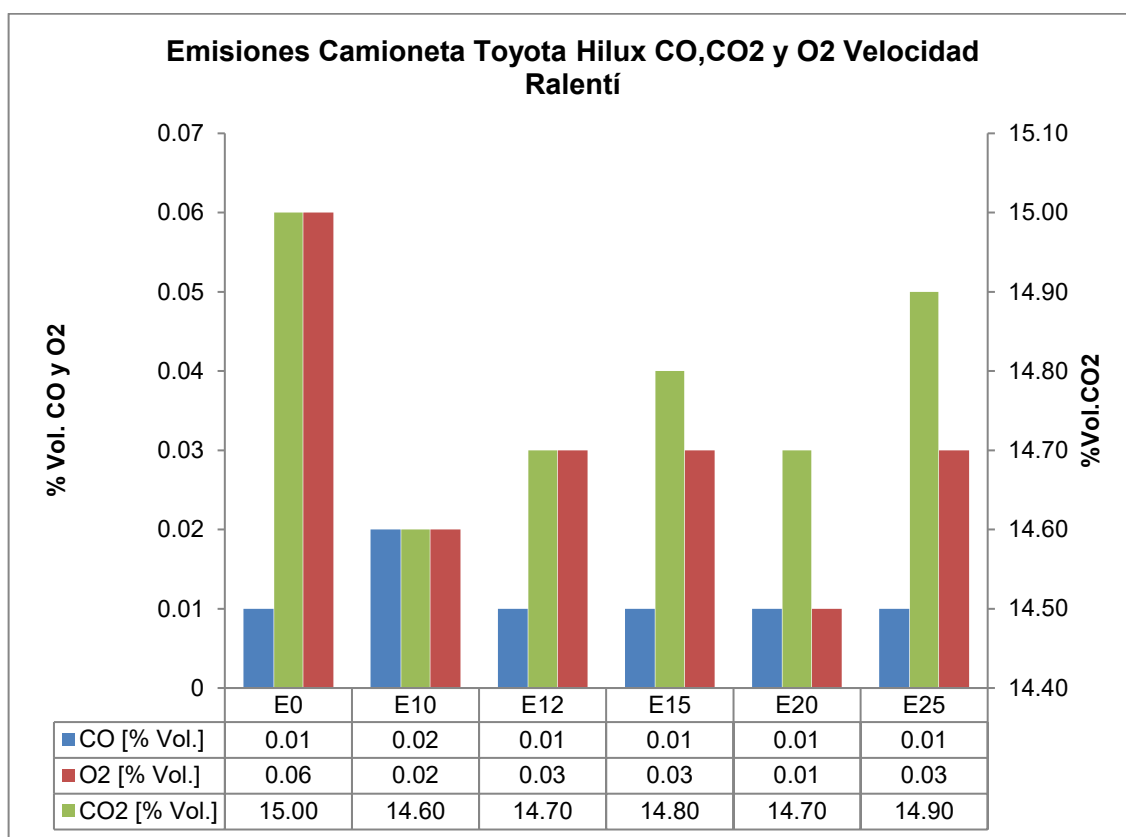
En la figura 43, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana, a excepción de E20, esto se debe a que el sistema de alimentación del motor no se encontraba regulado mecánicamente como ser el chicler adecuado y la regulación del carburador para el tipo de combustible que se puso a prueba, pese a aquello, los resultados fueron bastante favorables en relación a los demás combustibles.

Tabla 22. Resultado de la medición de gases de la camioneta Toyota Hilux velocidad ralenti

Combustible	CO [% Vol.]	CO2 [% Vol.]	O2 [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,00	0,06	67	0,999	650
E10	0,02	14,60	0,02	29	0,999	650
E12	0,01	14,70	0,03	30	0,999	650
E15	0,01	14,80	0,03	26	1,000	650
E20	0,01	14,70	0,01	29	0,999	650
E25	0,01	14,90	0,03	26	1,000	650

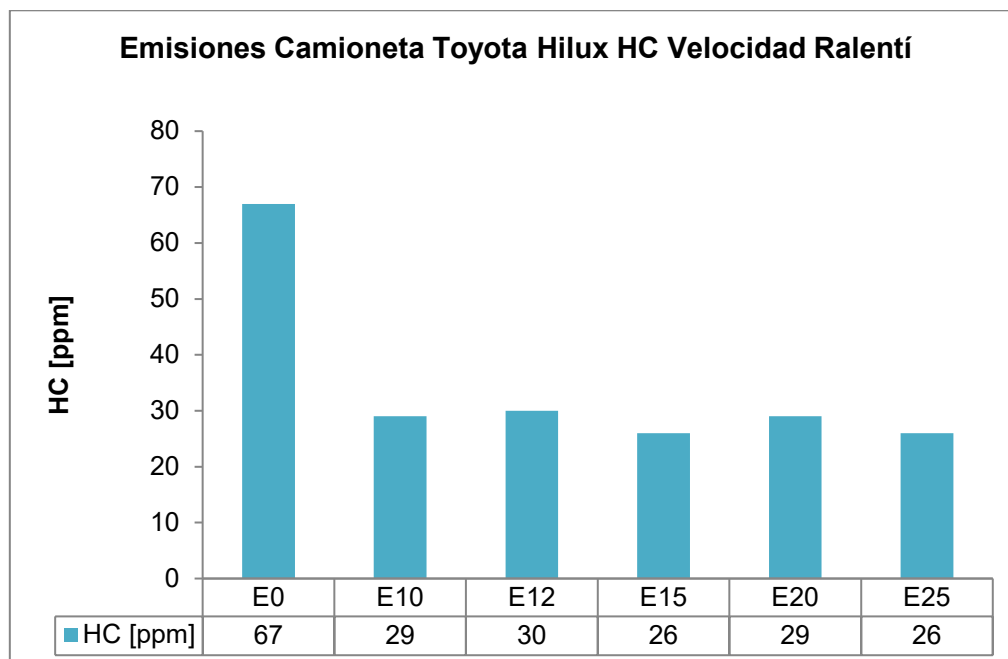
Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad ralenti



Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 2020, en la figura 44, se puede observar que las emisiones de CO de todas las mezclas de etanol cumplen con la normativa boliviana. Los porcentajes de O₂, se mantienen en un solo rango prácticamente invariante. En la medición del CO₂, se tiene un leve descenso para todas las mezclas manteniéndose invariante.

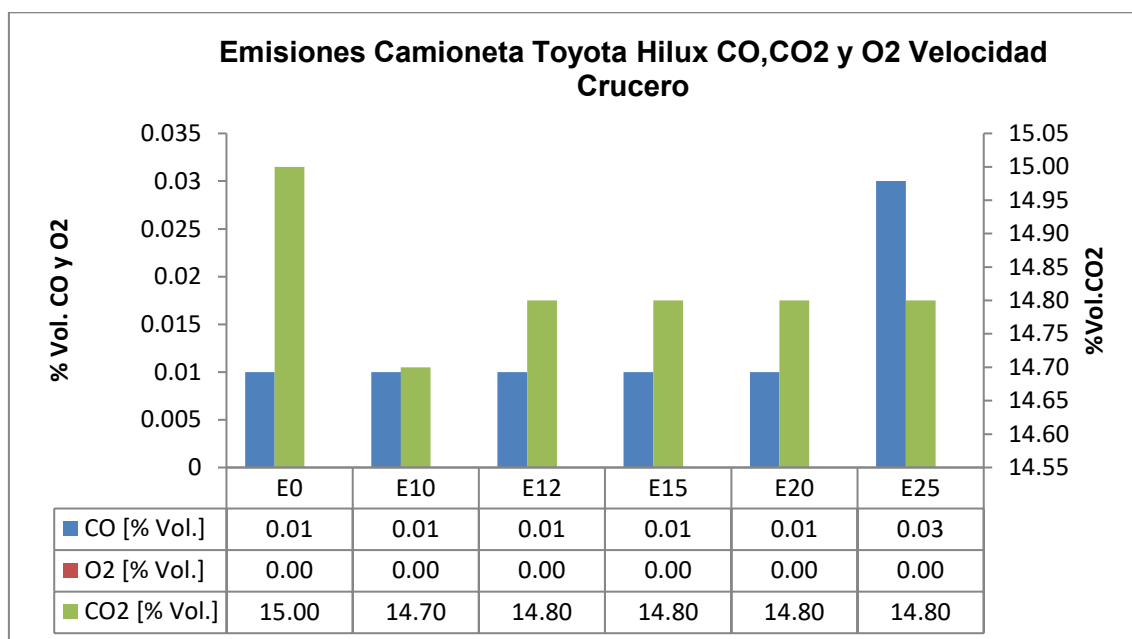
En la figura 45, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 23. Resultado de la medición de gases de la camioneta Toyota Hilux velocidad crucero

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,00	0,00	20	0,999	2700
E10	0,01	14,70	0,00	18	0,998	2790
E12	0,01	14,80	0,00	18	0,998	2790
E15	0,01	14,80	0,00	16	0,999	2790
E20	0,01	14,80	0,00	20	0,998	2720
E25	0,03	14,80	0,00	22	0,998	2770

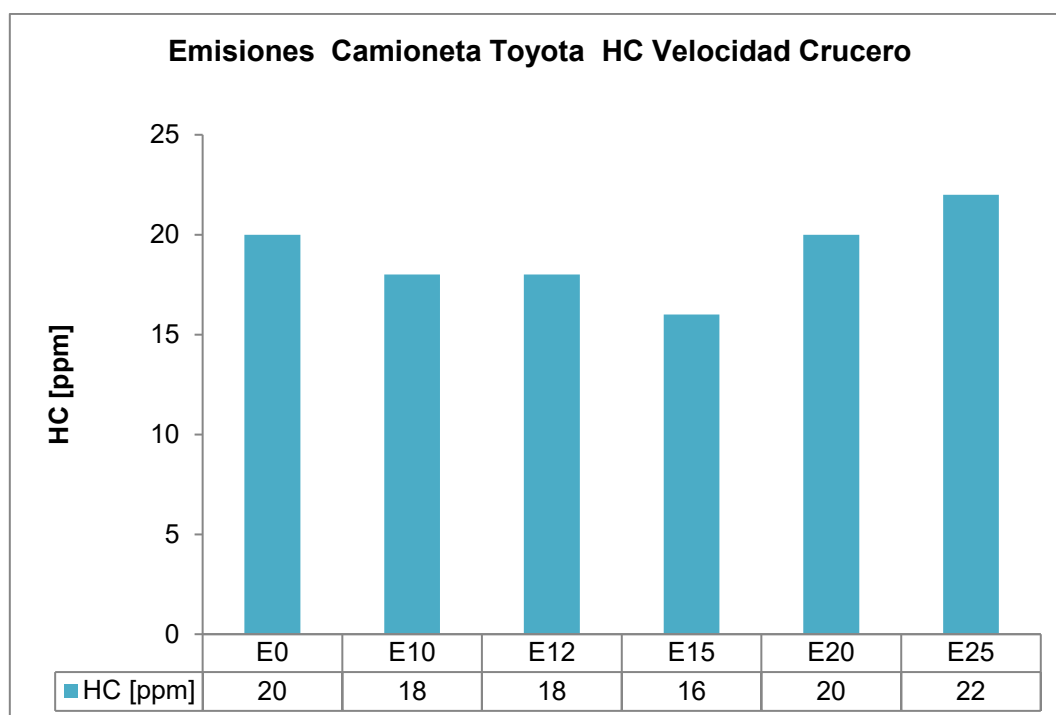
Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Resultado de la medición de emisiones camioneta Toyota Hilux velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 46, se puede observar que las emisiones de CO, con todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. Los porcentajes de O2,

registraron con 0% Vol. En la medición del CO₂, se tiene un leve descenso para todas las mezclas prácticamente invariante.

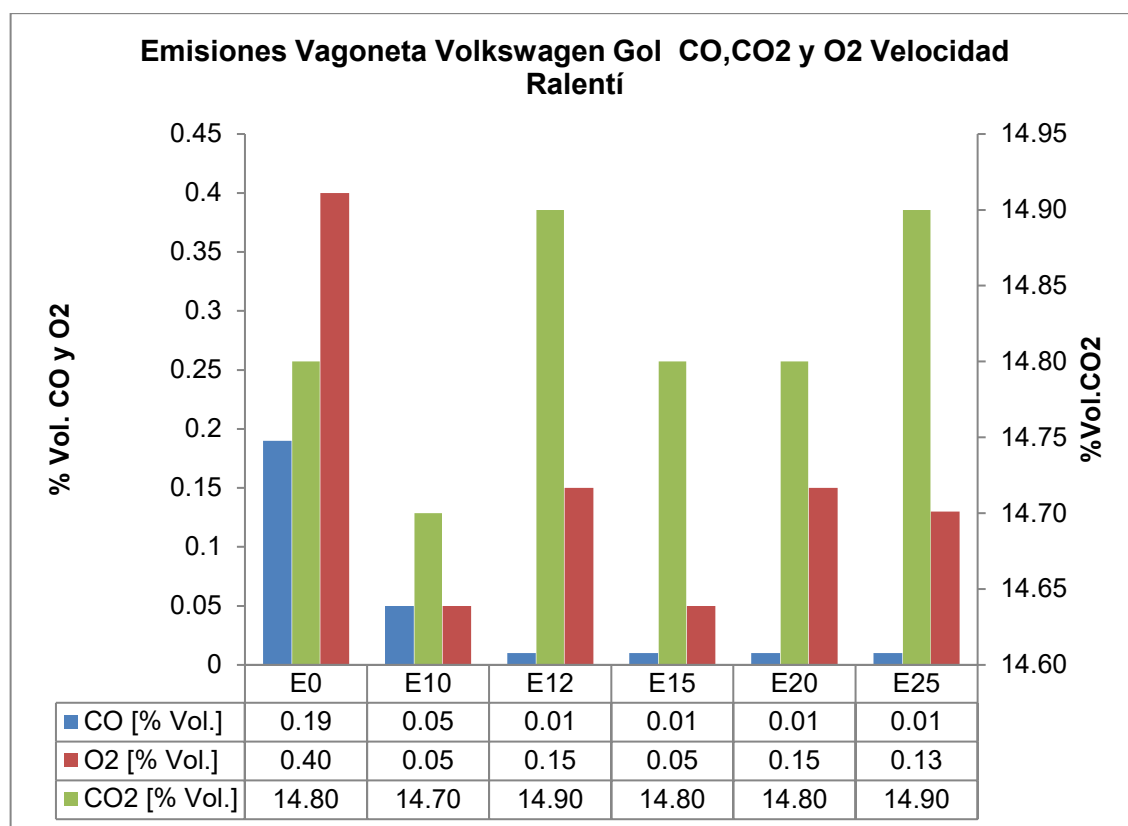
En la figura 47, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 24. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralenti

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,19	14,80	0,40	129	1,008	800
E10	0,05	14,70	0,05	15	1,000	800
E12	0,01	14,90	0,15	14	1,006	800
E15	0,01	14,80	0,05	18	1,001	800
E20	0,01	14,80	0,15	14	1,006	800
E25	0,01	14,90	0,13	16	1,005	800

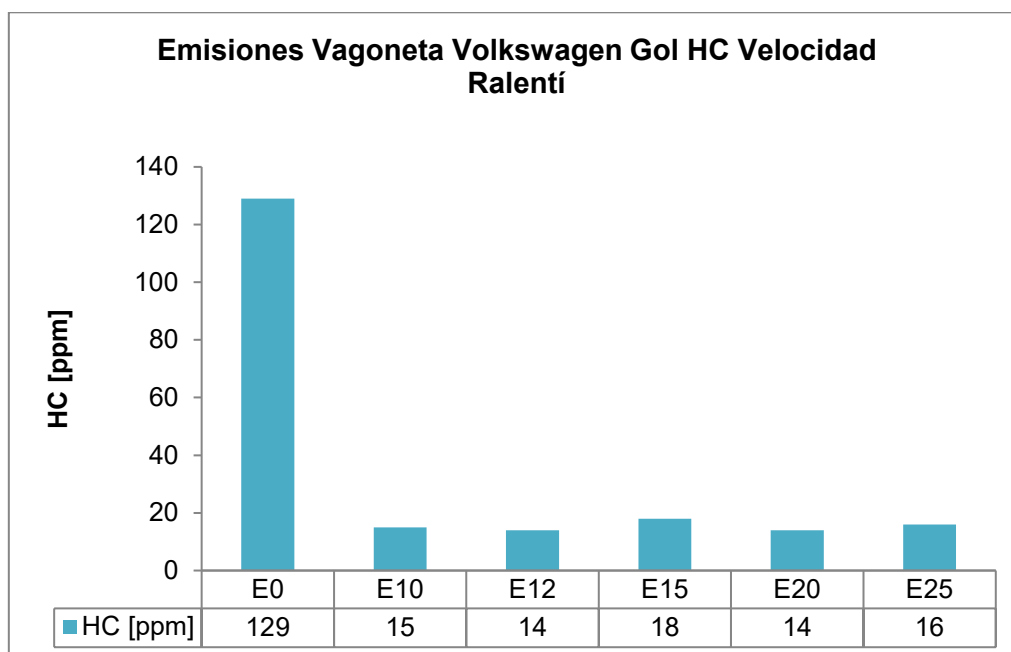
Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralenti



Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 2020, en la figura 48, se puede observar que las emisiones de CO, con todas las mezclas de etanol, cumplen con la normativa boliviana. Los porcentajes de O₂, registraron leves incrementos en todas las mezclas. En la medición del CO₂, se tiene leves cambios respecto del combustible que no tiene etanol, en comparación con las mezclas de etanol, prácticamente invariante.

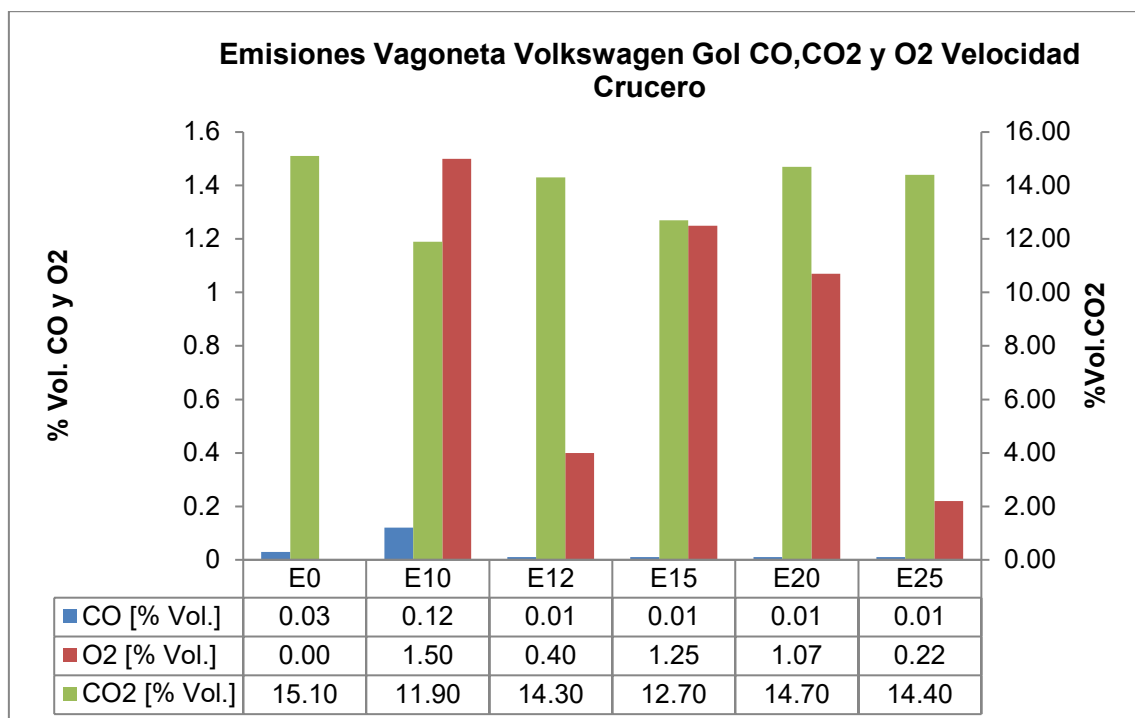
En la figura 49, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana, excepto el combustible que no tenía etanol E0. En general todas las mezclas tienen una disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 25. Resultado de la medición de gases de la vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero

Combustible	CO [% Vol.]	CO2 [% Vol.]	O2 [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,03	15,10	0,00	32	0,997	2980
E10	0,12	11,90	1,50	24	1,082	2740
E12	0,01	14,30	0,40	12	1,018	2610
E15	0,01	12,70	1,25	10	1,068	2620
E20	0,01	14,70	1,07	10	1,050	3090
E25	0,01	14,40	0,22	10	1,009	2560

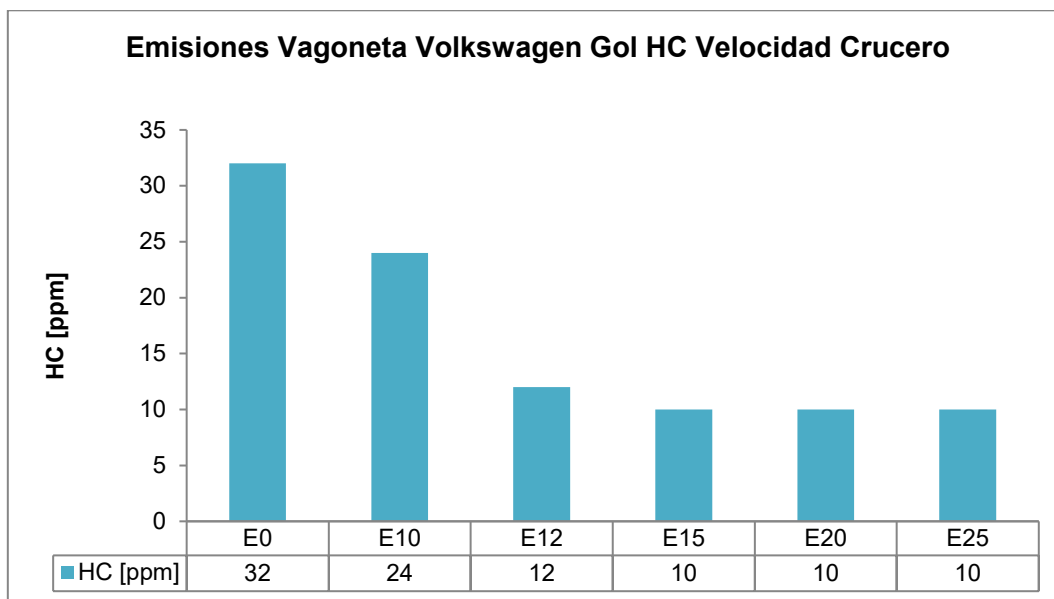
Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Resultado de la medición de emisiones vagoneta Volkswagen Gol velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 50, se puede observar que las emisiones de CO, de todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. Se registraron leves porcentajes de O₂, en todas las mezclas a excepción del combustible que no contenía etanol. En la medición del CO₂, se tiene leves cambios respecto del combustible que no tiene etanol en comparación con las mezclas, prácticamente invariante.

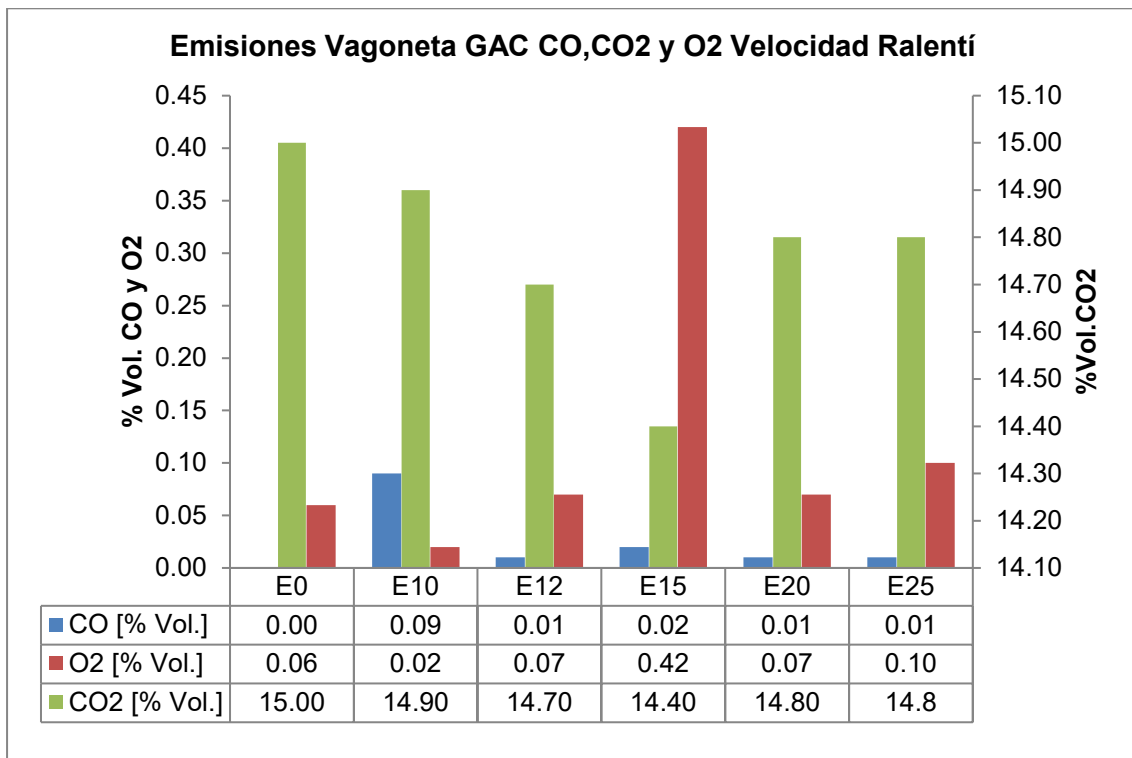
En la figura 51, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. En general todas las mezclas tienen una gran disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 26. Resultado de la medición de gases de la vagoneta GAC GS4 velocidad ralenti

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,00	15,00	0,06	22	1,001	850
E10	0,09	14,90	0,02	11	0,998	850
E12	0,01	14,70	0,07	14	1,002	860
E15	0,02	14,40	0,42	13	1,019	840
E20	0,01	14,80	0,07	6	1,002	850
E25	0,01	14,8	0,10	12	1,003	850

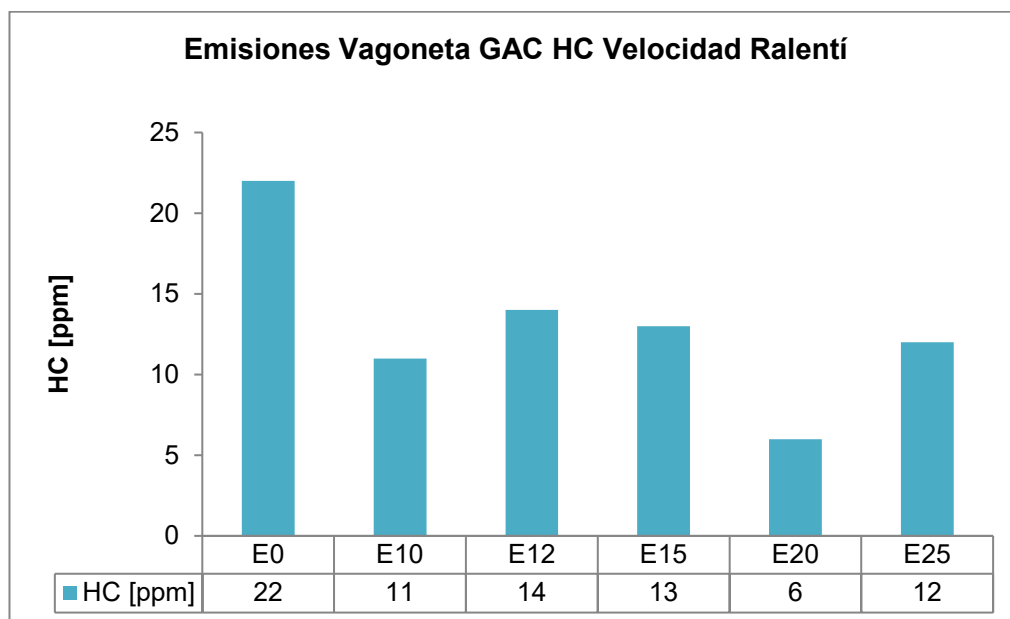
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Resultado de la medición de emisiones wagoneta GAC GS4 velocidad ralenti



Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Resultado de la medición de emisiones wagoneta GAC GS4 velocidad ralenti



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 2022, en la figura 52, se puede observar que las emisiones de CO, todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. Respecto al O₂, se registraron leves porcentajes en todas las mezclas. En la medición del CO₂, se tiene leves cambios respecto del combustible que no tiene etanol en comparación con las mezclas, prácticamente invariante.

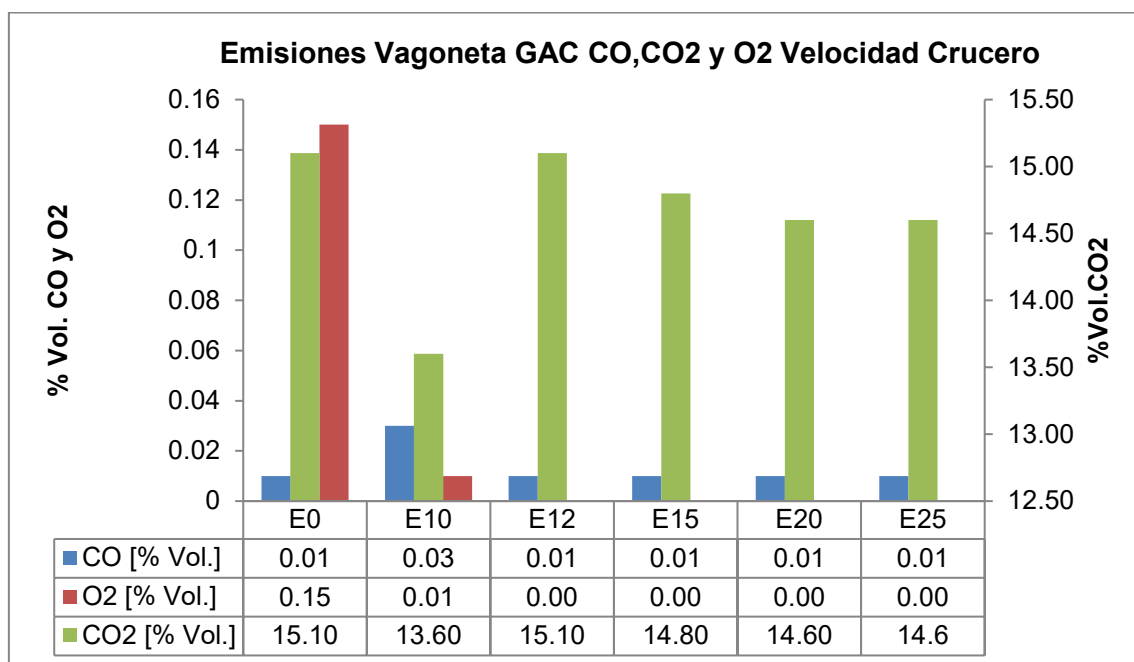
En la figura 53, sobre los HC, se observa que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. En general todas las mezclas tienen una gran disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 27. Resultado de la medición de gases de la vagoneta GAC GS4 velocidad cruceo

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	15,10	0,15	71	1,003	2650
E10	0,03	13,60	0,01	10	0,999	2610
E12	0,01	15,10	0,00	11	0,999	2680
E15	0,01	14,80	0,00	9	0,999	2900
E20	0,01	14,60	0,00	6	0,999	2560
E25	0,01	14,6	0,00	10	0,999	2640

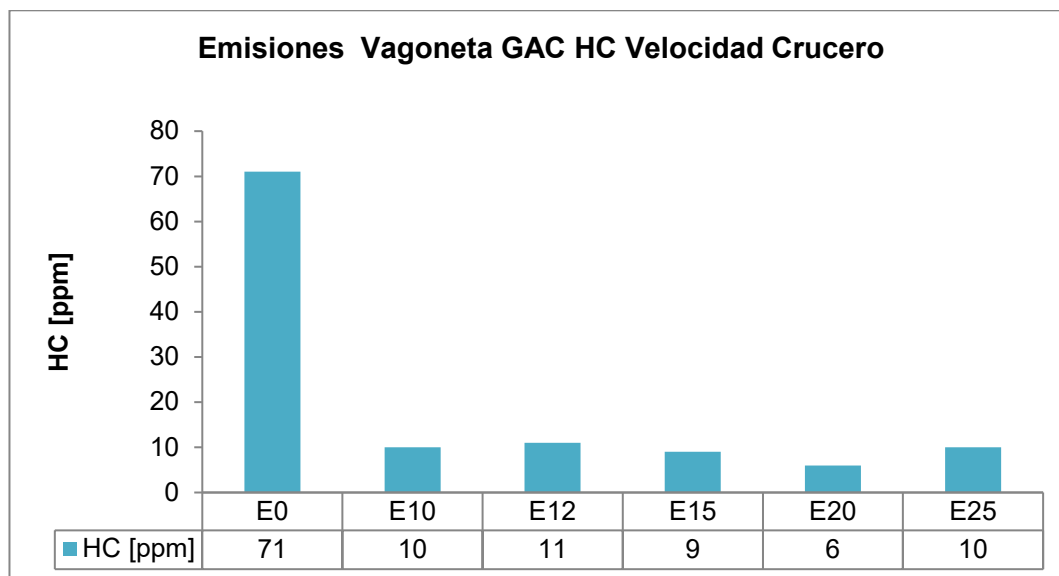
Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad cruceo



Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Resultado de la medición de emisiones vagoneta GAC GS4 velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 54, se puede observar que las emisiones de CO de todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana y se mantienen invariantes, respecto al combustible que ni tiene etanol. Los porcentajes de O₂, registraron leves porcentajes en todas las mezclas. En la medición del CO₂, se tiene leves cambios respecto del combustible que no tiene etanol en comparación con las mezclas, prácticamente invariante.

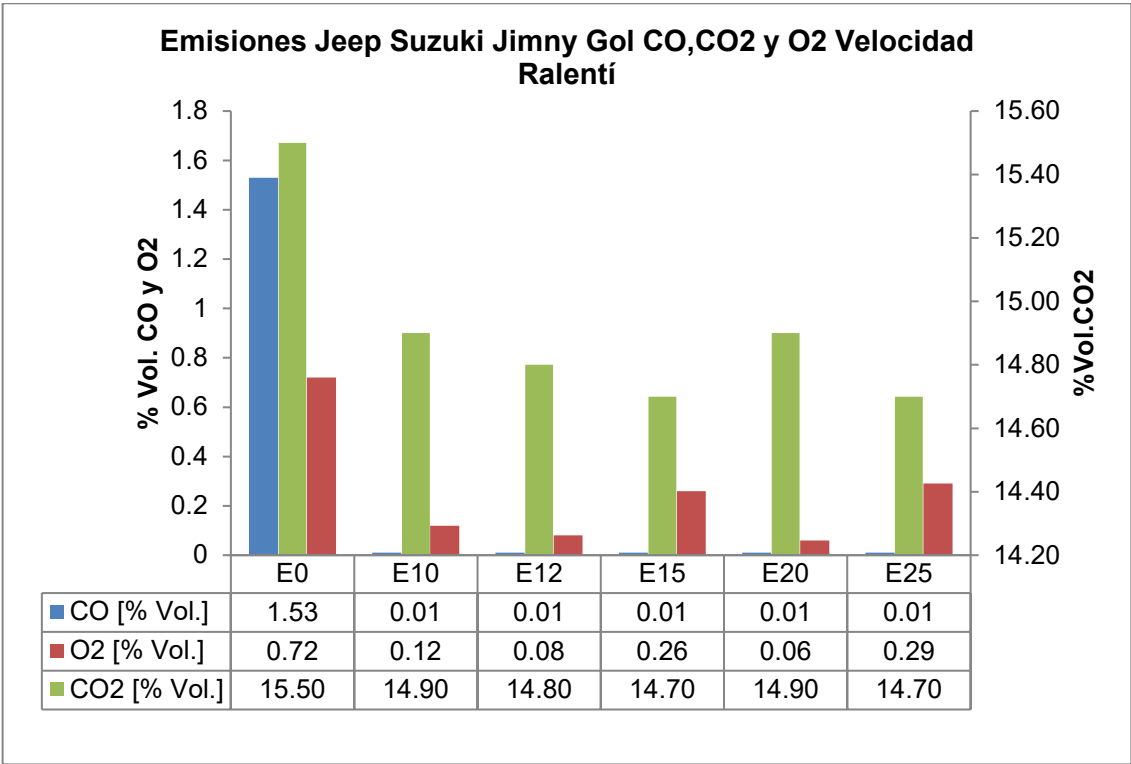
En la figura 55, sobre los HC, se observa que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. En general todas las mezclas tienen una gran disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 28. Resultado de la medición de gases de la jeep Suzuki Jimny velocidad ralenti

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	1,53	15,50	0,72	117	0,985	710
E10	0,01	14,90	0,12	13	1,004	700
E12	0,01	14,80	0,08	12	1,003	700
E15	0,01	14,70	0,26	14	1,011	700
E20	0,01	14,90	0,06	10	1,002	700
E25	0,01	14,70	0,29	8	1,013	700

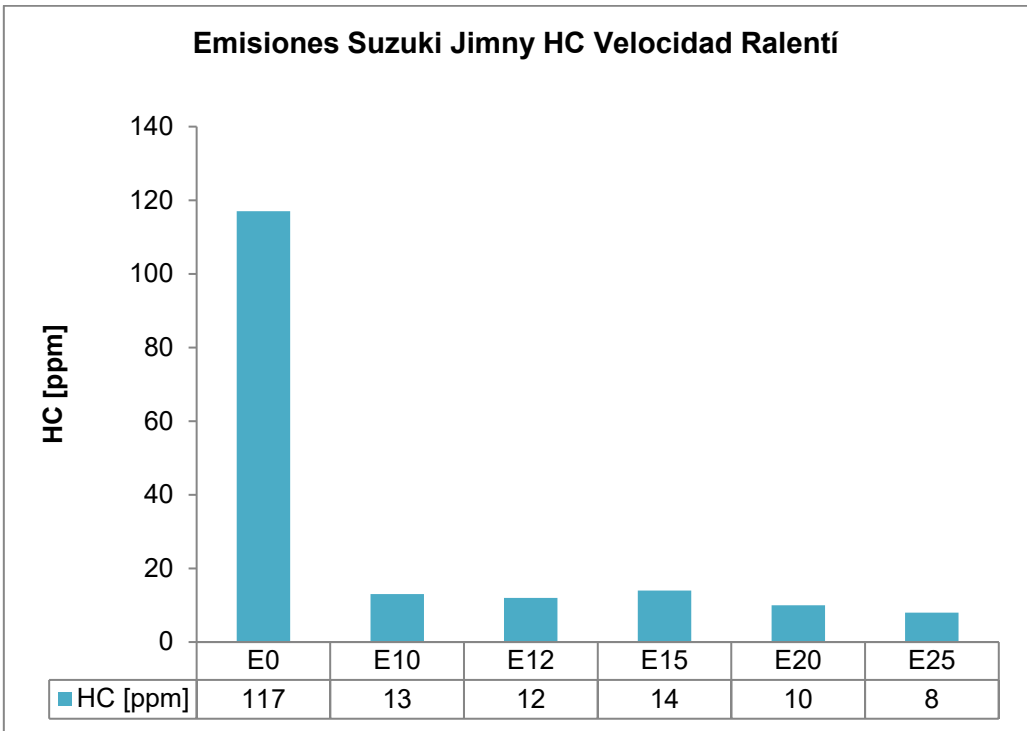
Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad ralentí



Fuente: Elaboración propia

Para este vehículo modelo 2018, en la figura 56, se puede observar que las emisiones de CO, de todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana disminuyendo considerablemente, respecto al combustible que tiene no contiene etanol. Los porcentajes de O₂, registraron leves proporciones en todas las mezclas. En la medición del CO₂, se tiene leves cambios respecto del combustible que no tiene etanol en comparación con las mezclas, prácticamente se mantiene invariante.

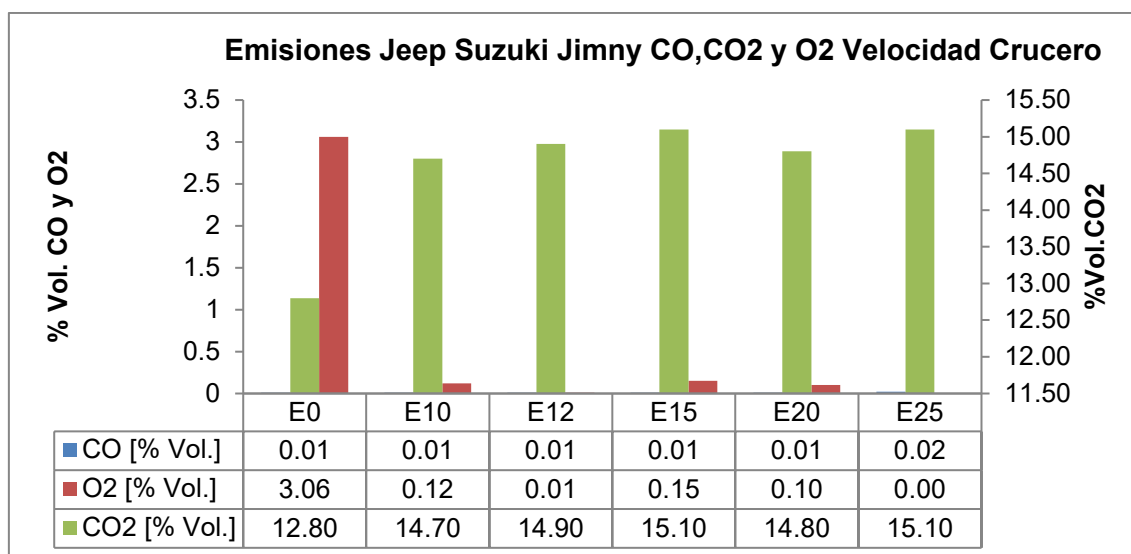
En la figura 57, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. En general todas las mezclas tienen una gran disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

Tabla 29. Resultado de la medición de gases de la jeep Suzuki Jimny velocidad crucero

Combustible	CO [% Vol.]	CO ₂ [% Vol.]	O ₂ [% Vol.]	HC [ppm]	Lambda	RPM
E0	0,01	12,80	3,06	15	1,167	2470
E10	0,01	14,70	0,12	9	1,005	2540
E12	0,01	14,90	0,01	8	0,999	2670
E15	0,01	15,10	0,15	14	1,006	3080
E20	0,01	14,80	0,10	8	1,004	2720
E25	0,02	15,10	0,00	8	0,999	2560

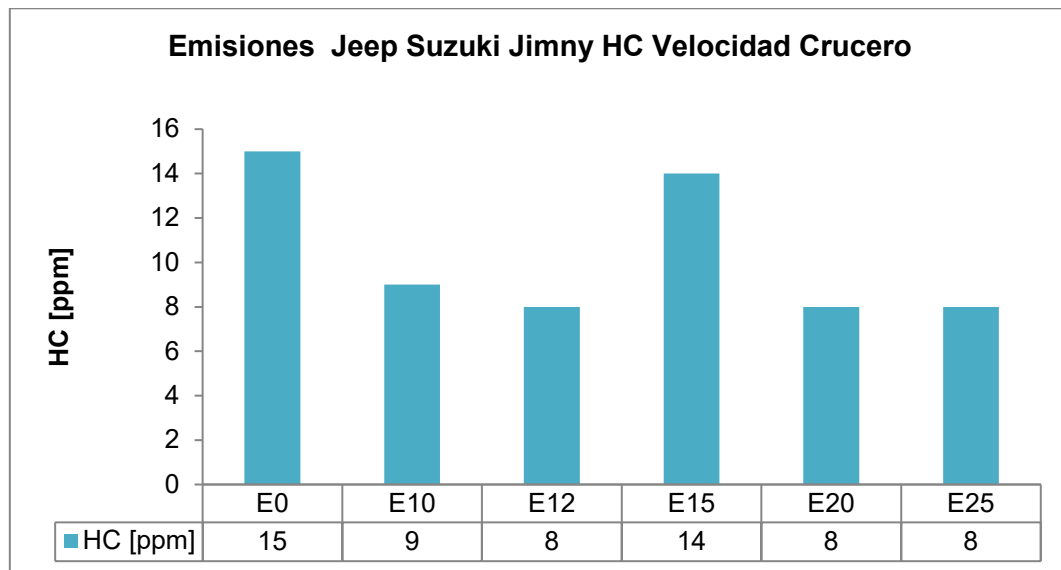
Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Resultado de la medición de emisiones vagoneta jeep Suzuki Jimny velocidad crucero



Fuente: Elaboración propia

En la figura 58, se puede observar que las emisiones de CO, con todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana, manteniéndose invariante, respecto al combustible que tiene no contiene etanol. Los porcentajes de O₂, se registraron leves porcentajes en todas las mezclas. En la medición del CO₂, se tiene cambios respecto del combustible que no tiene etanol, se observa leves incrementos.

En la figura 59, sobre los HC, se puede observar que todas las mezclas cumplen con la normativa boliviana. En general todas las mezclas tienen una gran disminución de HC muy apreciable. Esto se debe a que el etanol es un compuesto oxigenante, mejorando la combustión.

4.2.4. Resultados de los rendimientos de los combustibles para cada automotor

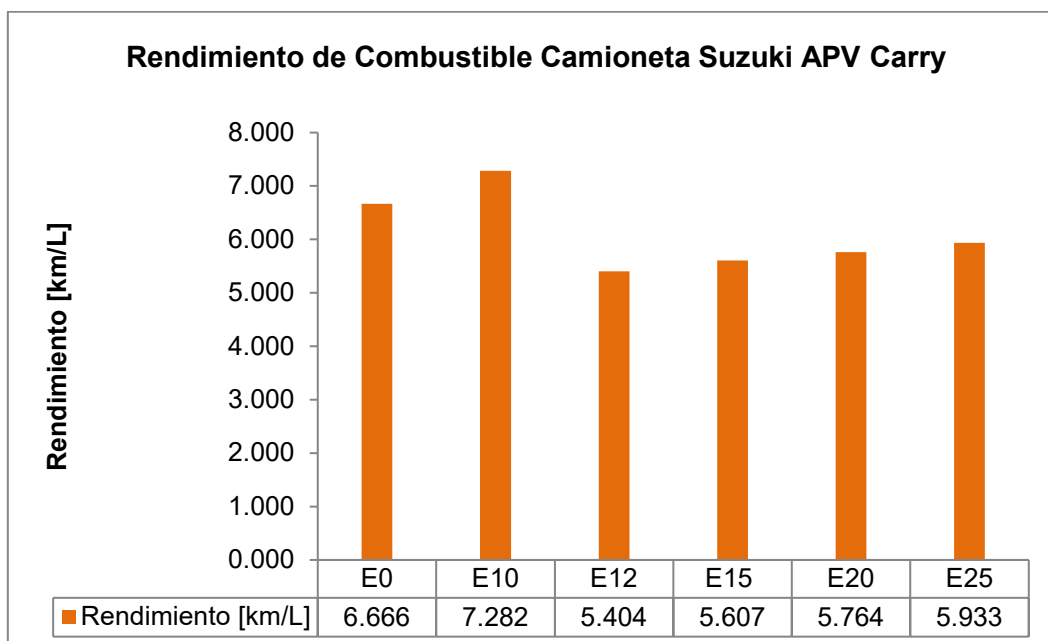
Aplicando la fórmula de rendimiento de combustible, descrito en la parte de metodología de la investigación, con ayuda del dinamómetro de chasis y una balanza de precisión, bomba de combustible auxiliar y ductos, se adquirieron los siguientes resultados, para verificar el rendimiento de cada automotor con cada combustible. Las velocidades a las que cada automotor fue sometido son de carácter referencial, el cual está en función de las rpm restringidas por el dinamómetro.

Tabla 30. Resultados del rendimiento de combustible de la camioneta Suzuki APV Carry

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	6,666	59,33
E10	7,282	59,29
E12	5,404	59,45
E15	5,607	59,64
E20	5,764	59,35
E25	5,933	59,96

Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la camioneta Suzuki APV Carry



Fuente: Elaboración propia

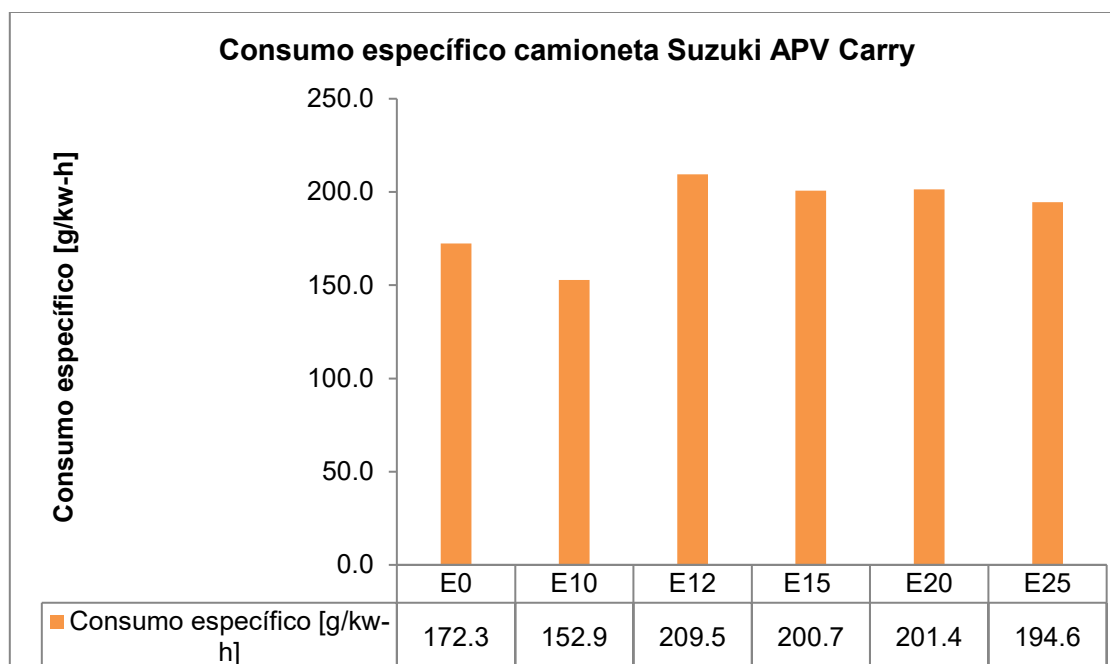
En la figura 60, se puede observar que con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tiene una caída en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 59,29 km/h. a 2754 rpm. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, este consumo de combustible es regulado automáticamente por la unidad de control de motor (ECU), por ser un automotor que cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible.

Tabla 31. Resultados del consumo específico de la camioneta Suzuki APV Carry

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	1612	37,4	0,25	172,3
E10	1456	38,1	0,25	152,9
E12	1976	37,7	0,25	209,5
E15	1912	38,1	0,25	200,7
E20	1870	37,1	0,25	201,4
E25	1860	38,2	0,25	194,6

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Resultado de la medición del consumo específico de la camioneta Suzuki APV Carry



Fuente: Elaboración propia

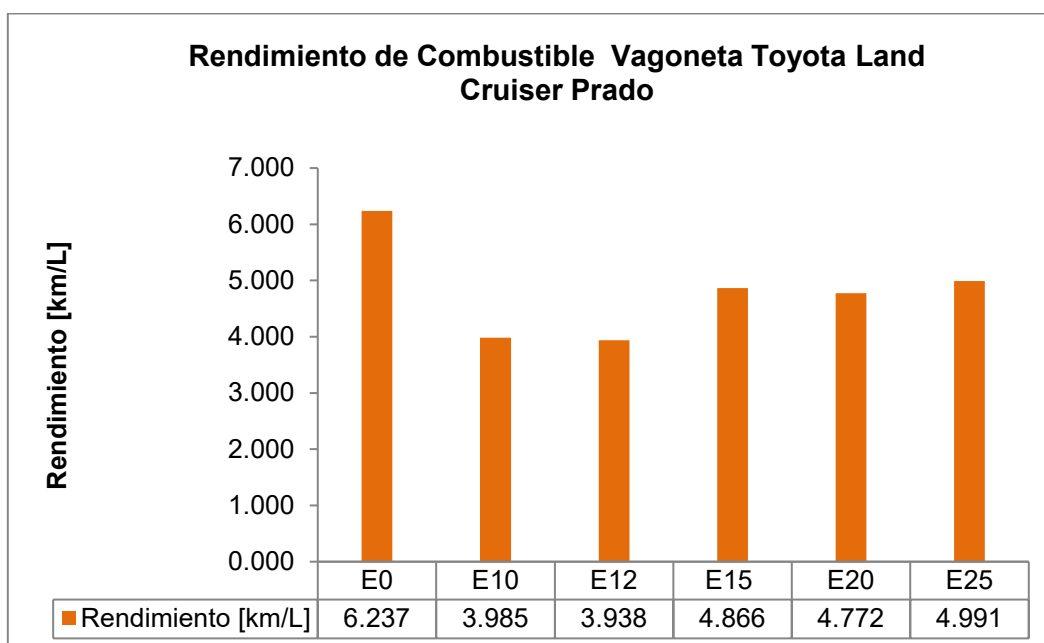
En la figura 61, se puede observar que con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tiene un mayor consumo específico. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, la unidad de control de motor (ECU) envía la orden de incrementar el flujo de combustible para compensar la demanda del mismo, puesto que este vehículo cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible.

Tabla 32. Resultados del rendimiento de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	6,237	83,06
E10	3,985	82,76
E12	3,938	83,00
E15	4,866	84,62
E20	4,772	82,76
E25	4,991	82,33

Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado



Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, se puede observar que con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tuvo una leve caída en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 83,06 km/h. a 2759 rpm, en comparación al combustible con 0% de etanol. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina, por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, este consumo de combustible para este automotor es regulado mecánicamente por un carburador.

Sin embargo, como este combustible casi ya no se encuentra disponible en el mercado local, la segunda comparación se la realizó con el combustible con el

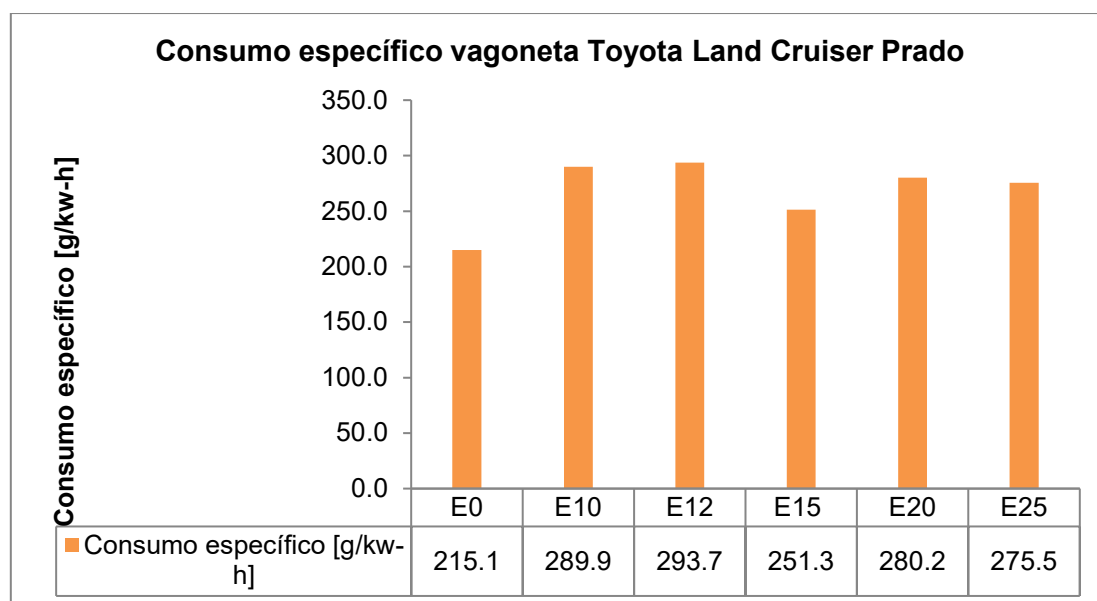
10% de etanol, el cual con la adición de etanol se tuvo mayor rendimiento en kilómetros recorridos, estos se podrían mejorar con una regulación del carburador con la dosificación correcta de combustible y la entrada de oxígeno.

Tabla 33. Resultados del consumo específico de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	2412	44,9	0,25	215,1
E10	3714	51,2	0,25	289,9
E12	3786	51,6	0,25	293,7
E15	3126	49,8	0,25	251,3
E20	3150	45,0	0,25	280,2
E25	3036	44,1	0,25	275,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Resultado de la medición del consumo específico de la vagoneta Toyota Land Cruiser Prado



Fuente: Elaboración propia

En la figura 63, se puede observar que con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tiene un mayor consumo específico. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, además que el motor de este vehículo tiene un sistema de alimentación por carburador, el cual influye en los resultados obtenidos ya que estos pueden mejorar con un regulado de la entrada de combustible y la entrada de aire en el carburador. Sin embargo los

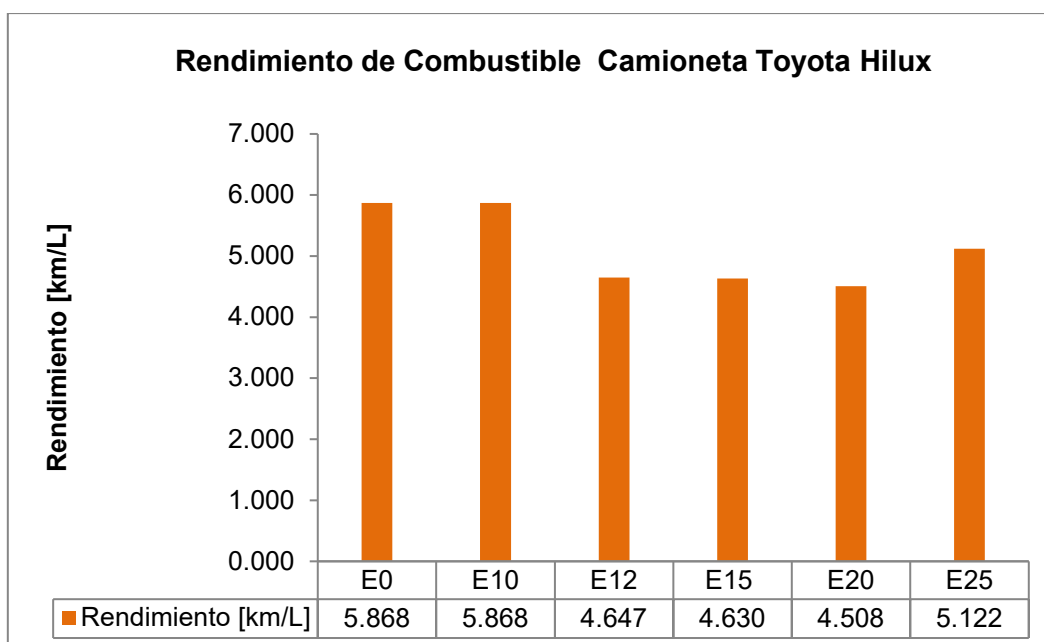
resultados son aceptables, puesto que aun en la ciudad de La Paz existen vehículos con estos sistemas de alimentación mecánico.

Tabla 34. Resultados del rendimiento de la camioneta Toyota Hilux

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	5,868	85,73
E10	5,868	85,97
E12	4,647	85,98
E15	4,630	85,30
E20	4,508	85,72
E25	5,122	86,01

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la camioneta Toyota Hilux



Fuente: Elaboración propia

En la figura 64, se observa que el combustible con 0% de etanol, se compara prácticamente con uno que posee 10% de etanol anhidro y con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tuvo una leve caída en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 85,97 km/h. a 2774 rpm. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, este consumo de combustible es regulado automáticamente por la unidad de control de motor (ECU), por ser un automotor que cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible, además que se este vehículo posee un motor

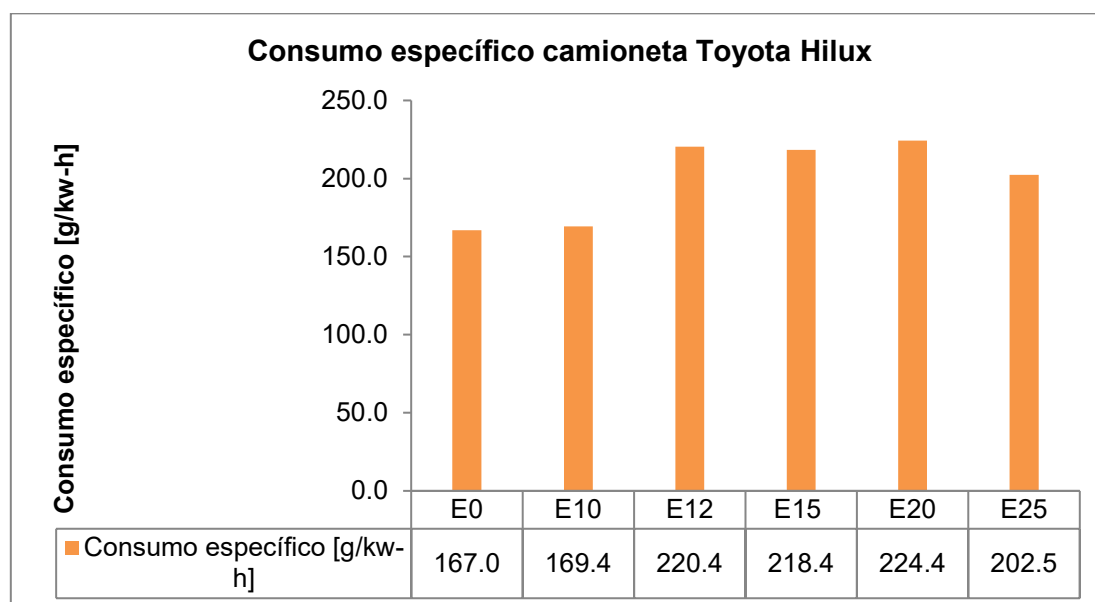
grande lo cual demanda más cantidad de combustible para su desempeño mecánico.

Tabla 35. Resultados del consumo específico de la camioneta Toyota Hilux

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	2650	63,5	0,25	167,0
E10	2606	61,5	0,25	169,4
E12	3308	60,0	0,25	220,4
E15	3316	60,7	0,25	218,4
E20	3444	61,4	0,25	224,4
E25	3056	60,4	0,25	202,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Resultado del consumo específico de la camioneta Toyota Hilux



Fuente: Elaboración propia

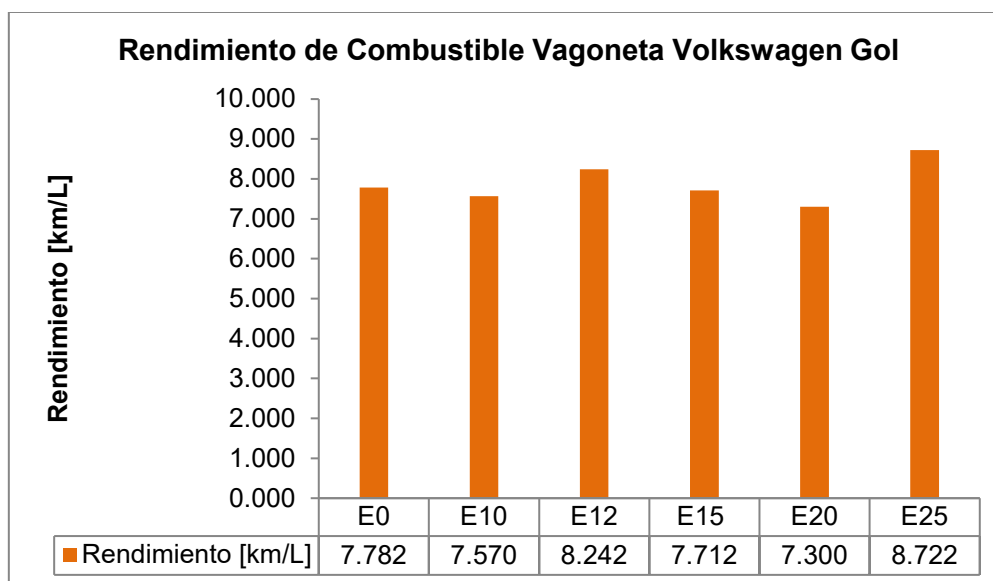
En la figura 65, se puede observar que con mezclas mayores al 10% de etanol anhidro, se tiene un mayor consumo específico. Esto se debe a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina por ende se quema un poco más rápido en la cámara de combustión, la unidad de control de motor (ECU) envía la orden de incrementar el flujo de combustible para compensar la demanda del mismo, puesto que este vehículo cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible además que es un motor relativamente grande.

Tabla 36. Resultados del rendimiento de la vagoneta Volkswagen Gol

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	7,782	69,85
E10	7,570	70,31
E12	8,242	69,85
E15	7,712	69,96
E20	7,300	70,48
E25	8,722	70,11

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta Volkswagen Gol



Fuente: Elaboración propia

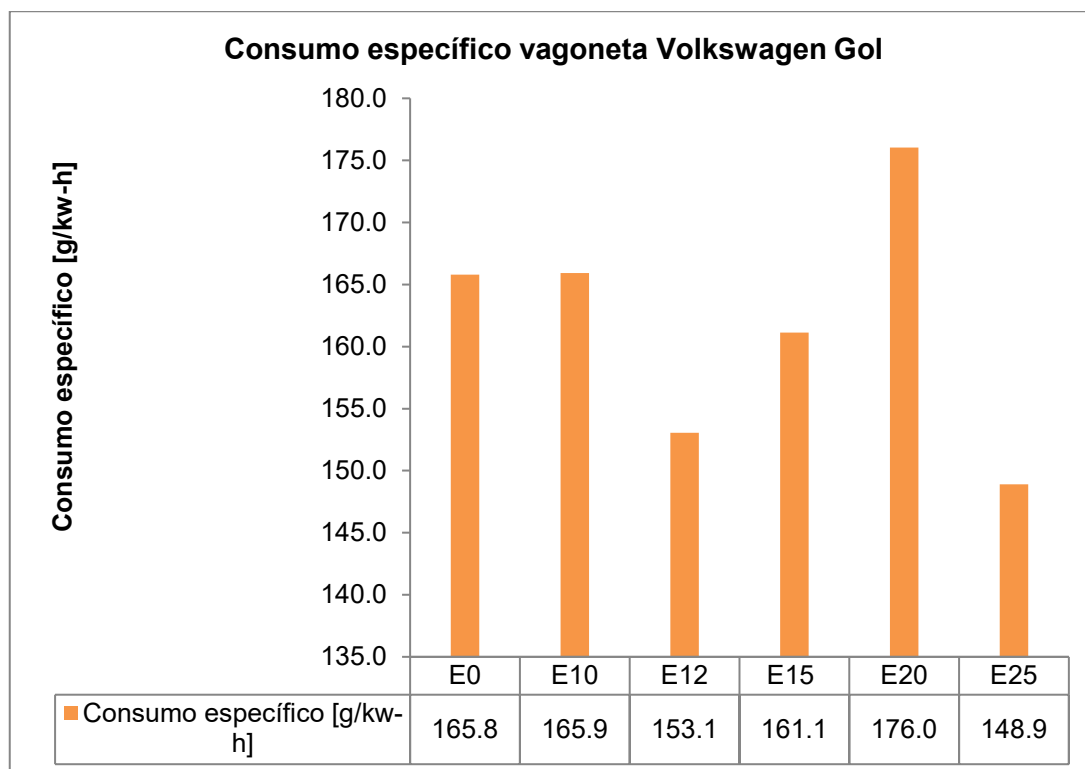
En la figura 66, se observa que con mezclas mayores al 10% de etanol se tuvo un incremento en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 70,11 km/h a 2761 rpm, siendo la más destacada la mezcla con el 25% de etanol. Esto se debe a que este automotor se fabrica en el país de Brasil y ya está incluido la tecnología para un mejor rendimiento con etanol, puesto que Brasil es uno de los países que ya está utilizando el etanol hace mucho tiempo como un combustible reglamentado y normado para su parque automotor, a pesar de que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina, este consumo de combustible es regulado automáticamente por la unidad de control de motor (ECU), por ser un automotor que cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible.

Tabla 37. Resultados del consumo específico de la vagoneta Volkswagen Gol

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	1628	39,3	0,25	165,8
E10	1666	40,2	0,25	165,9
E12	1536	40,1	0,25	153,1
E15	1642	40,8	0,25	161,1
E20	1756	39,9	0,25	176,0
E25	1472	39,5	0,25	148,9

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Resultado del consumo específico de la vagoneta Volkswagen Gol



Fuente: Elaboración propia

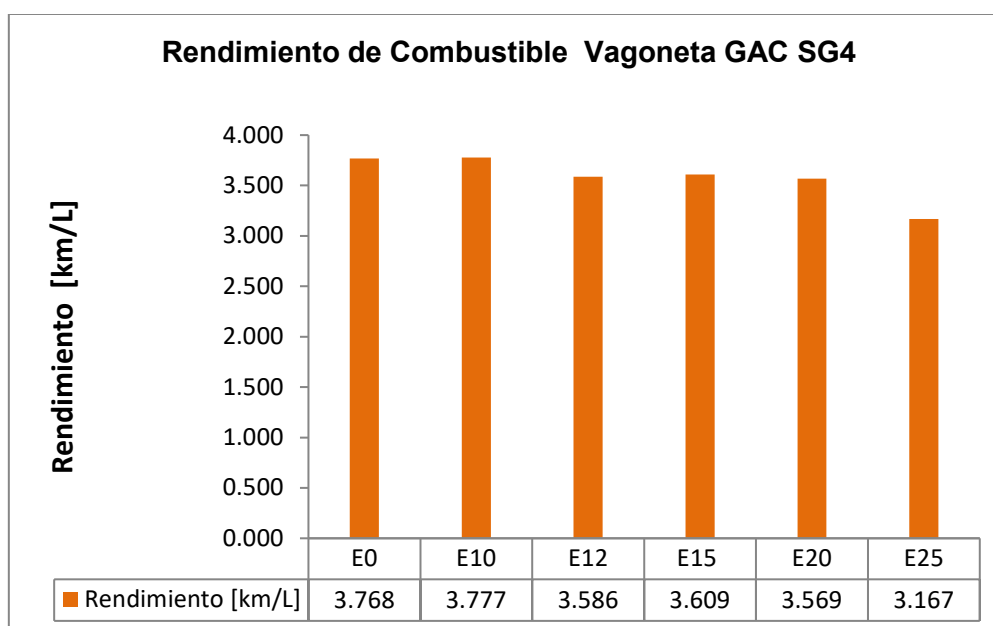
En la figura 67, se puede observar que con mezclas del 10%, 12%, 15% y 25% de etanol anhidro, se tiene un menor consumo específico. Esto se debe a que este tipo de motores procedentes de países donde ya están usando los biocombustibles hace bastantes años atrás como lo es Brasil, ya tienen incorporado la tecnología para trabajar con los mismos de manera que se tenga un menor consumo y mayor eficiencia.

Tabla 38. Resultados del rendimiento de la vagoneta GAC SG4

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	3,768	78,28
E10	3,777	79,93
E12	3,586	80,05
E15	3,609	80,81
E20	3,569	80,44
E25	3,167	80,62

Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Resultado de la medición del rendimiento de combustible de la vagoneta GAC SG4



Fuente: Elaboración propia

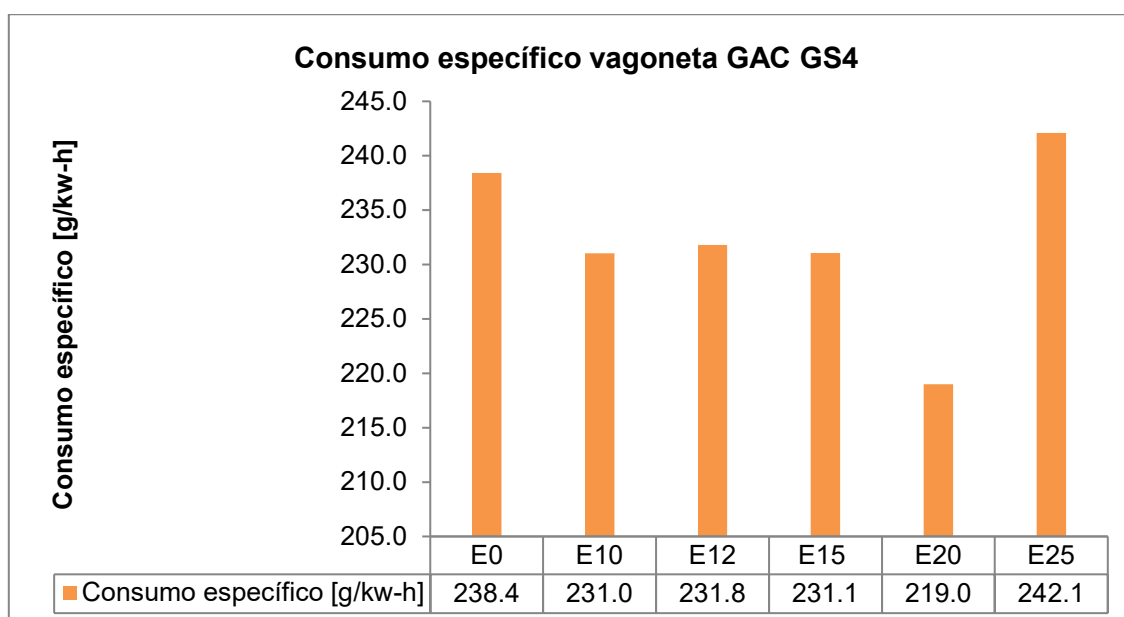
En la figura 68, se observa que el combustible con 0% de etanol, se compara exactamente con uno que posee 10% de etanol anhidro y con las demás mezclas prácticamente se mantuvo constante, con una leve caída con el 25% en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 79,93 km/h. a 2759 rpm. La influencia del poder calorífico menor del etanol en todas la mediciones es imperceptible, este consumo de combustible es regulado automáticamente por la unidad de control de motor (ECU), por ser un automotor que cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible, además que se este vehículo posee un motor pequeño lo cual demanda menos cantidad de combustible para su desempeño mecánico.

Tabla 39. Resultados del consumo específico de la vagoneta GAC SG4

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	3768	63,2	0,25	238,4
E10	3804	65,9	0,25	231,0
E12	1346	70,0	0,083	231,8
E15	1352	70,5	0,083	231,1
E20	1368	75,3	0,083	219,0
E25	1550	77,1	0,083	242,1

Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Resultado del consumo específico de la vagoneta GAC SG4



Fuente: Elaboración propia

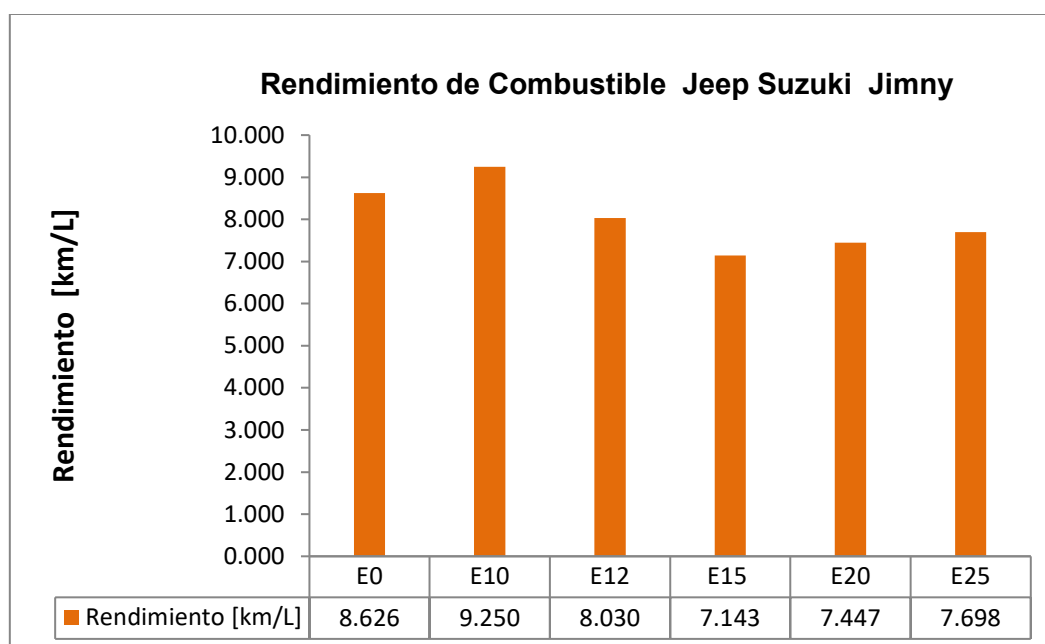
En la figura 69, se puede observar que con mezclas de 10%, 12%, 15% y 20% se tiene un menor consumo específico. Pese a que el etanol tiene un poder calorífico menor que la gasolina, debe resaltar la influencia del turbocompresor, e cual introduce aire a presión a la cámara de combustión generando mejores prestaciones en ese tipo de motores con un bajo consumo de combustible de combustible y con alta eficiencia, el cual es controlada por la unidad de control de motor (ECU).

Tabla 40. Resultados del rendimiento del combustible jeep Suzuki Jimny

Combustible	Rendimiento [km/L]	Velocidad [km/h]
E0	8,626	70,86
E10	9,250	66,68
E12	8,030	66,85
E15	7,143	66,68
E20	7,447	66,70
E25	7,698	66,70

Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Resultado de la medición del rendimiento de combustible del jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

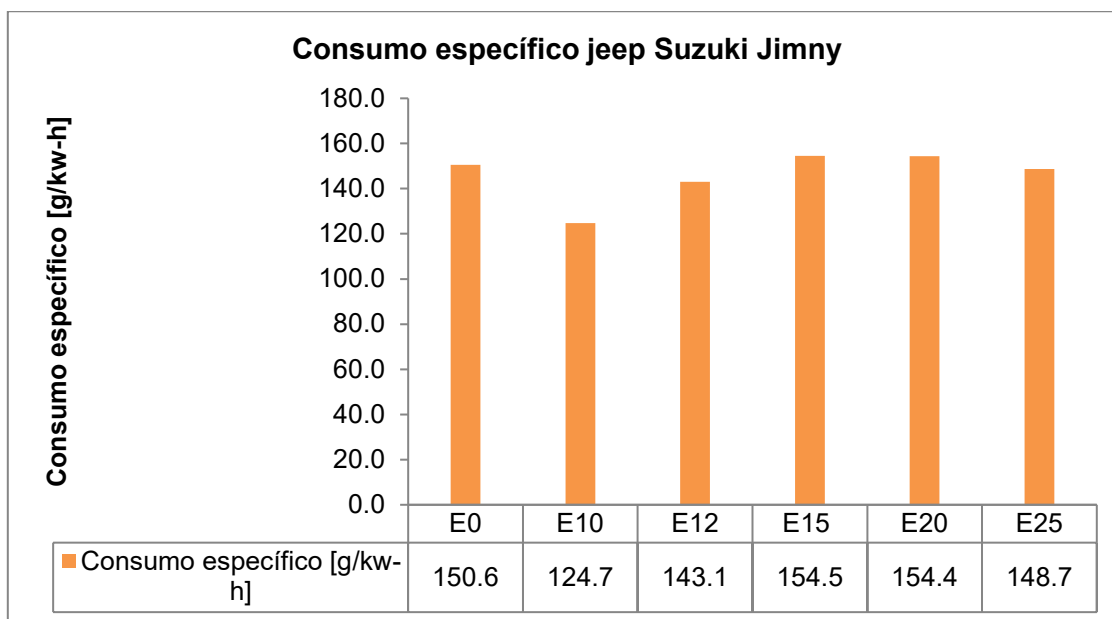
En la figura 70, se puede observar que el combustible con 0% de etanol, se compara prácticamente con uno que posee 10% de etanol anhidro y con las demás mezclas tiene una leve caída, ascendiendo de nuevo con el 25%, en el rendimiento de kilómetros recorridos a una velocidad alcanzada de 66,68 km/h. a 2751 rpm. La influencia del poder calorífico menor del etanol solo influye en algunas mediciones de manera casi imperceptible, este consumo de combustible es regulado automáticamente por la unidad de control de motor (ECU), por ser un automotor que cuenta con la tecnología de inyección directa de combustible, además que se este vehículo posee un motor pequeño lo cual demanda menos cantidad de combustible para su desempeño mecánico.

Tabla 41. Resultados del consumo específico del jeep Suzuki Jimny

Combustible	m [g]	P [kw]	t [h]	Consumo específico [g/kw-h]
E0	1490	39,6	0,25	150,6
E10	1294	41,5	0,25	124,7
E12	1510	42,2	0,25	143,1
E15	1692	43,8	0,25	154,5
E20	1638	42,4	0,25	154,4
E25	1590	42,8	0,25	148,7

Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Resultado del consumo específico del jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

En la figura 71, se puede observar que el combustible con el 10%, 12% y 25% de etanol anhidro, se tiene un menor consumo específico a pesar de que el poder calorífico del etanol es menor que la gasolina, combinando dos factores importantes que es el de consumo y eficiencia. Este vehículo tiene la tecnología de inyección directa lo cual ayuda bastante en el desempeño mecánico del mismo.

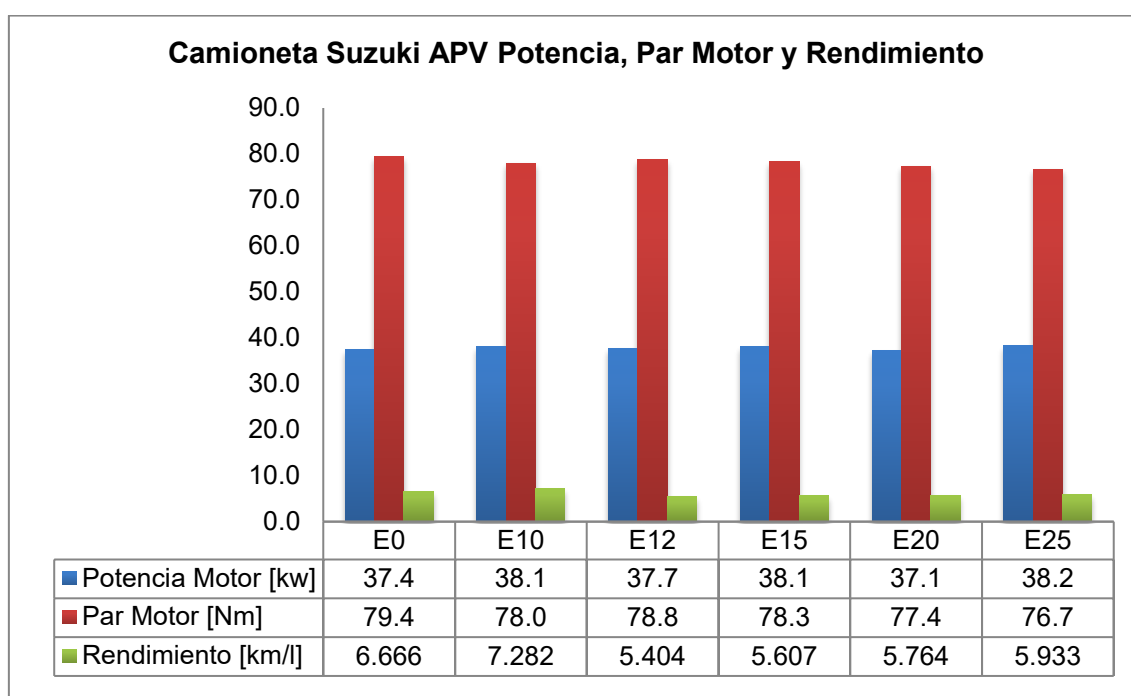
A continuación se presenta las figuras con la combinación de potencia, par motor y rendimiento.

Tabla 42. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento camioneta Suzuki Carry APV

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	37,4	79,4	6,666
E10	38,1	78,0	7,282
E12	37,7	78,8	5,404
E15	38,1	78,3	5,607
E20	37,1	77,4	5,764
E25	38,2	76,7	5,933

Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento camioneta Suzuki Carry APV



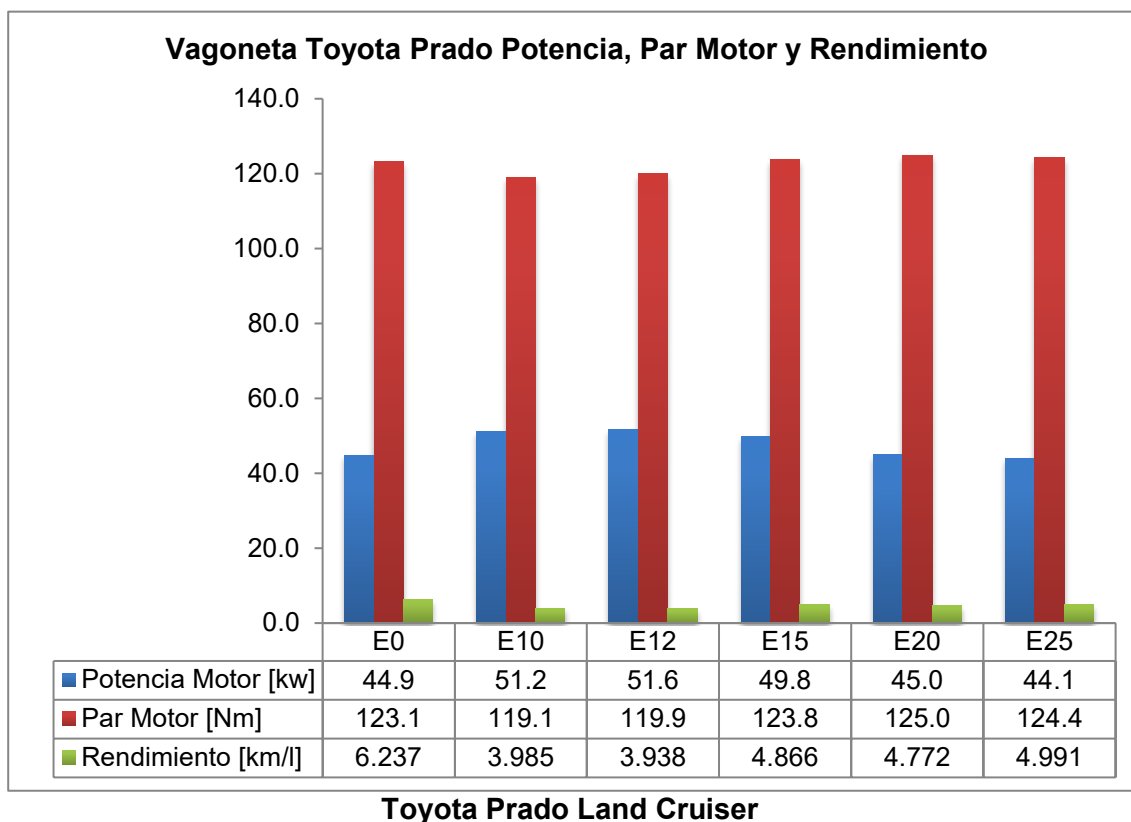
Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta Toyota Land Cruiser Prado

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	44,9	123,1	6,237
E10	51,2	119,1	3,985
E12	51,6	119,9	3,938
E15	49,8	123,8	4,866
E20	45,0	125,0	4,772
E25	44,1	124,4	4,991

Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta



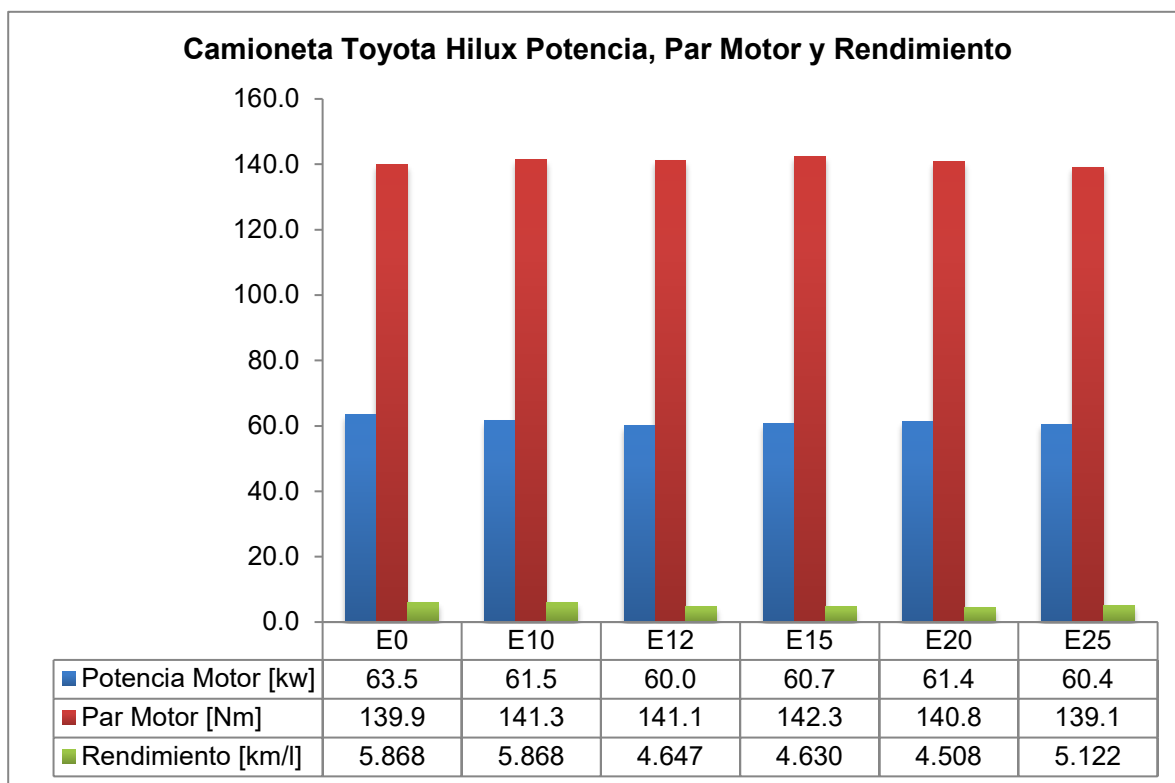
Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento camioneta Toyota Hilux

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	63,5	139,9	5,868
E10	61,5	141,3	5,868
E12	60,0	141,1	4,647
E15	60,7	142,3	4,630
E20	61,4	140,8	4,508
E25	60,4	139,1	5,122

Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento camioneta Toyota Hilux



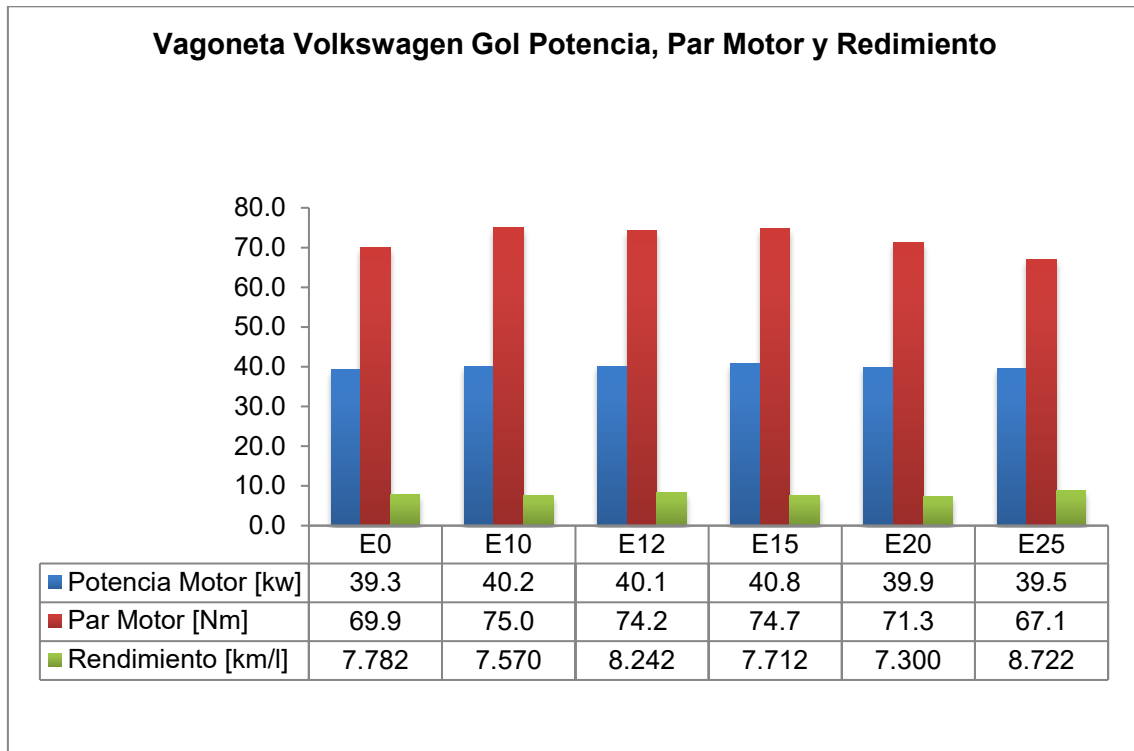
Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta Volkswagen Gol

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	39,3	69,9	7,782
E10	40,2	75,0	7,570
E12	40,1	74,2	8,242
E15	40,8	74,7	7,712
E20	39,9	71,3	7,300
E25	39,5	67,1	8,722

Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta Volkswagen Gol



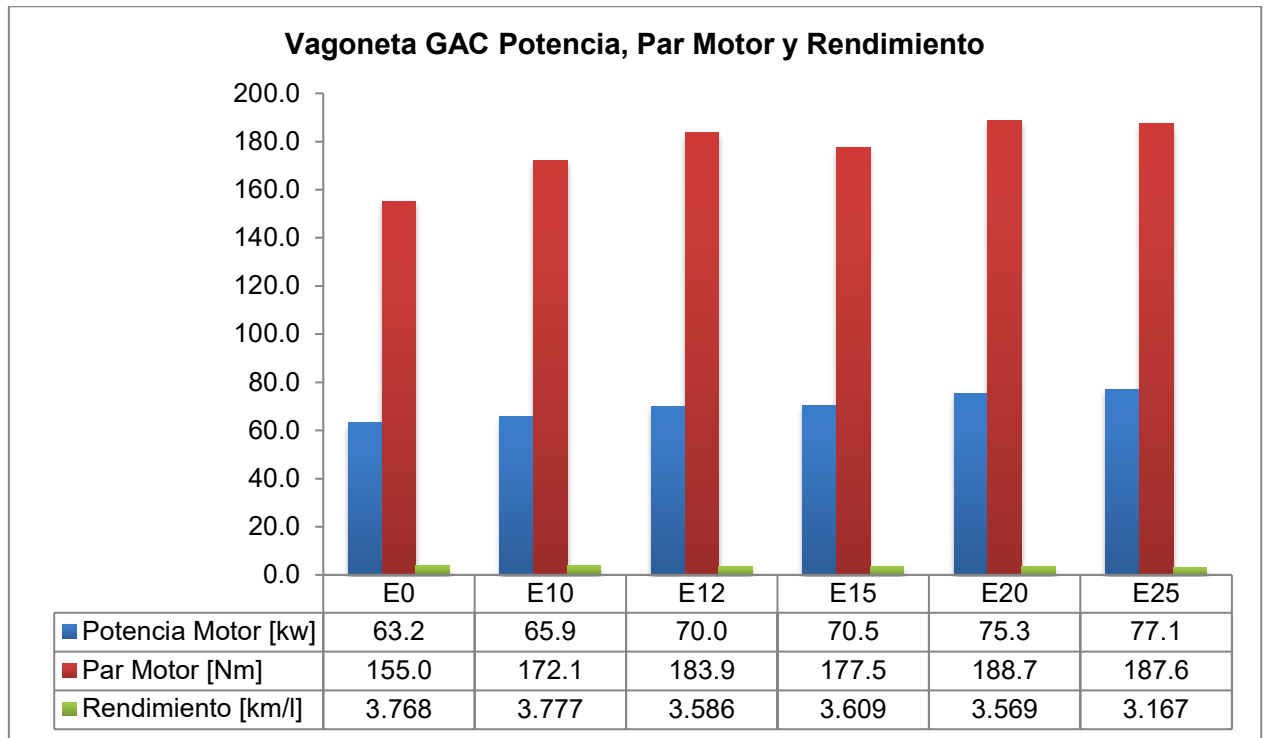
Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento vagoneta GAC GS4

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	63,2	155,0	3,768
E10	65,9	172,1	3,777
E12	70,0	183,9	3,586
E15	70,5	177,5	3,609
E20	75,3	188,7	3,569
E25	77,1	187,6	3,167

Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento vagoneta GAC GS4



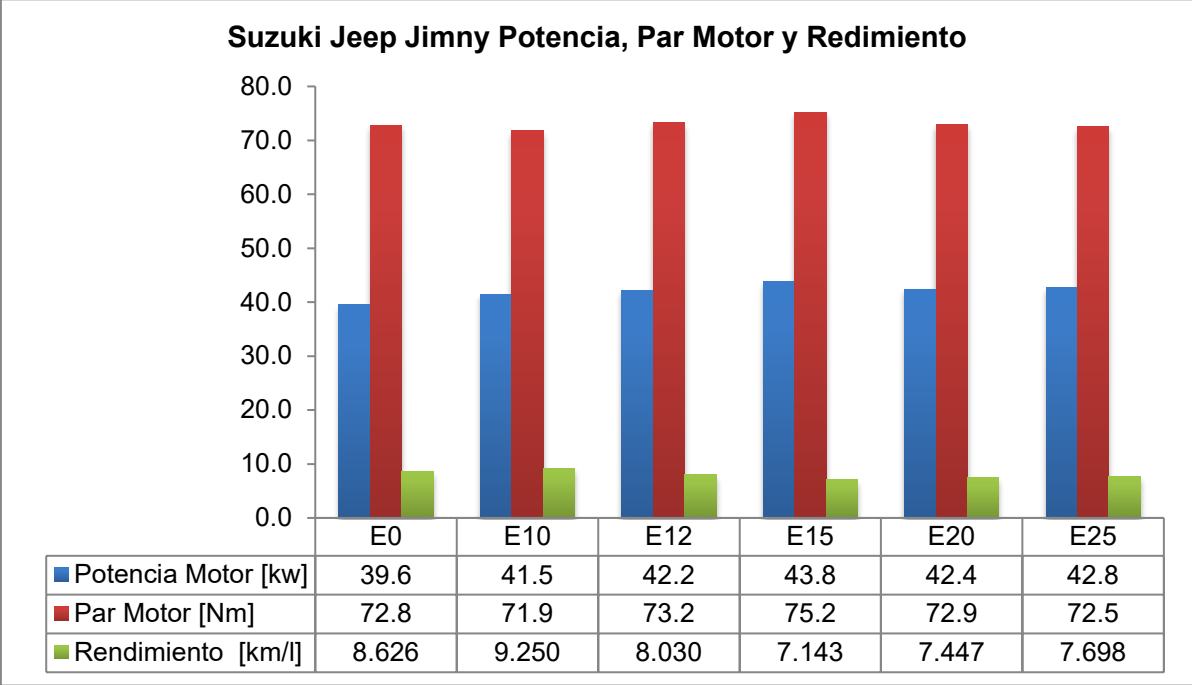
Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Resultado general de las mediciones Potencia, Par motor y Rendimiento jeep Suzuki Jimny

Combustible	Potencia Motor [kw]	Par Motor [Nm]	Rendimiento [km/l]
E0	39,6	72,8	8,626
E10	41,5	71,9	9,250
E12	42,2	73,2	8,030
E15	43,8	75,2	7,143
E20	42,4	72,9	7,447
E25	42,8	72,5	7,698

Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Resultado general de Potencia, Par Motor y Rendimiento jeep Suzuki Jimny



Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante la elaboración de este trabajo de investigación, se observaron comportamientos similares en los vehículos que fueron puestos a prueba, con las mezclas de etanol y gasolina, estos fueron de diferentes marcas y fabricantes del mundo, los cuales se encuentran circulando en la actualidad en parque automotor de la ciudad de La Paz. Dentro de las conclusiones más importantes que se puede destacar de este trabajo se encuentran los siguientes:

El etanol anhidro es miscible en las proporciones del 12%, 15%, 20% y 25%, con la gasolina base que ya contiene el 10% de etanol y que es comercializado en las distintas estaciones de servicio de la ciudad de La Paz, esta miscibilidad, no depende de la temperatura a la que se llevó a cabo la mezcla por lo tanto no hay peligro de una separación de fases.

La potencia y el par motor, que cada vehículo desarrolla con cada una de las mezclas de etanol anhidro y gasolina es un referente para romper mitos respecto al uso de los biocombustibles, donde se observan cambios importantes en el desempeño mecánico de la potencia y el par motor, donde se pusieron a prueba desde el modelo más antiguo 1990, hasta el último modelo 2022, cada uno con distintas tecnologías. La mayoría de los vehículos puestos a prueba ya contaban con un sistema de inyección electrónica, el cual es controlado por una computadora exclusivamente del vehículo, para una mejor eficiencia en el desempeño de cada uno de estos, con estos sistemas sofisticados se obtuvieron resultados interesantes donde se puede decir que al aumentar etanol en la mezcla de aire combustible, se tiene una disminución progresiva de la capacidad calorífica, pero en la mayoría de los casos se obtuvo niveles superiores o iguales al de una gasolina pura, encontrando un balance adecuado entre un mayor octanaje y una menor capacidad calorífica. Lo que significa que a pesar del menor poder calorífico del etanol la potencia y el par motor se desarrollaron igual o mayor en comparación con el combustible que no contiene etanol. Para el caso del motor a carburador para obtener mejor resultados, simplemente debe ser regulado para el tipo de combustible que se va a utilizar, como ser el cambio del chicler y la entrada correcta de aire, sin realizar ninguna modificación al motor, se puso a prueba este vehículo, ya que

en la actualidad una gran mayoría del parque automotor sigue usando el carburador como sistema de alimentación.

La problemática sobre la contaminación ambiental cada vez va más en ascenso, pese a que muchos países del mundo ya tienen normativas para disminuir aquello, como en el caso de los motores de combustión interna, los cuales general gases contaminantes que son liberados en el medio ambiente causando daños a la salud pública a corto y a largo plazo.

Las mediciones que se realizó sobre las emisiones de gases de escape de cada automotor, en su mayoría presentan una gran disminución como ser, el CO y los HC, debido a una mejor combustión dentro de la cámara de de combustión por el mayor contenido de oxígeno que tiene el etanol en las diferentes mezclas puestas a prueba. Esto se observó para todos los casos en los motores de inyección directa y turbo alimentado, incluso con un motor de alimentado por un sistema de carburador, sin embargo no todas las mediciones fueron satisfactorias en este caso en particular, pero esto se debió a una mala regulación del carburador como ser un chicler no adecuado y a la regulación de la entrada del aire, por ser este tipo de motores con aspiración natural, sin embargo subsanando eso detalles técnicos se obtendría mejores resultados, pese a ello la mayoría de los resultados estuvieron dentro de la normativa boliviana sobre emisiones, además que influyó también el desgaste de los elementos mecánicos del automotor por ser este el modelo más antiguo de todos. Así de esta manera se puede afirmar que para utilizar las diferentes mezclas de etanol y gasolina no es necesario realizar grandes modificaciones al motor.

En general utilizar mezclas de etanol anhidro y gasolina reduce considerablemente las emisiones de gases contaminantes, los cuales están sometidos a un control ambiental mediante la normativa NB 62002, lo que significa un beneficio para el medio ambiente y la salud de todas las personas que día a día están expuestas respirar estos gases contaminantes y dañinos para la salud pública, por otro lado considerando también el aspecto económico a nivel macro al utilizar etanol anhidro mezclado con la gasolina en grandes volúmenes se generaría más empleos en el área agrícola con los ingenios

sucroalcoleros del país y de esta manera evitar importaciones de grandes volúmenes de gasolina para nuestro país y de esta manera evitar que las divisas se vayan a otros países para ya no retornar más a nuestro país, ya que se disminuiría la importación de la misma considerablemente.

Se recomienda realizar pruebas con mezclas con más porcentaje de etanol anhidro para obtener valores límites permisibles en los automotores.

Se recomienda realizar más pruebas a vehículos con motores a carburador y regularlos de manera que se pueda obtener resultados óptimos para este tipo de motores de tecnología antigua, que en la actualidad hay bastantes circulando en la ciudad de La Paz y en toda Bolivia.

Se recomienda medir el octanaje de cada mezcla para temas de investigaciones futuras.

Se recomienda medir los posibles efectos que causarían las mezclas de etanol y gasolina en los materiales elastoméricos de los sistemas de alimentación de los automotores.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- i. Benajes Calvo, J., & Navarro Arévalo, E. (2011). Motores de combustión interna alternativos. Barcelona: Reverté, S.A.
- ii. Camarillo Montero, J. A. (Agosto de 2011). Estudio de la combustión de un motor monocilíndrico de ignición alimentado con mezclas gasolina-etanol anhidro e hidratado a distintas concentraciones. Recuperado el 14 de Marzo de 2022, de <https://lopezva.files.wordpress.com/2011/09/tesis-mezclas-de-etanol-y-gasolina.pdf>
- iii. Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (Marzo de 2017). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100049#B8. Recuperado el 18 de Marzo de 2022, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100049#B8
- iv. Desantes Fernández, J., & Molina Alcaide, S. (2011). Introducción a la combustión . En Motores de combustión interna alternativos (págs. 354-388). Barcelona: Reverté S.A. .
- v. Domene, M. (27 de Junio de 2011). Seguridad y Salud Laboral. Recuperado el 1 de Noviembre de 2022, de La toxicidad de los aditivos antidetonantes de la gasolina: <https://archivosseguridadlaboral-manueldomene.blogspot.com/2011/06/la-toxicidad-de-los-aditivos.html?m=1>
- vi. Genta, G., Morello, L., Cavallino, F., & Filtri, L. (2014). The Motor Car. New York : Springer.
- vii. Guzmán Beckmann, L. (8 de Noviembre de 2013). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2840>. Recuperado el 14 de Marzo de 2022, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2840>
- viii. Hsieh, W.-D., Chen, R.-H., Wu, T.-L., & Lin, T.-H. (05 de Febrero de 2001). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00508-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00508-8). Recuperado el 05 de Mayo de 2022, de [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00508-8](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00508-8).
- ix. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Saturnismo.html>. (s.f.). Recuperado el 1 de Diciembre de 2022, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Saturnismo.html>: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Saturnismo.html>
- x. Lapuerta Amigo, M., & Hernández Adrover, J. (2015). Combustibles . En Motores de combustión interna alternativos (págs. 390-413). Barcelona : Reverté S.A.
- xi. Mohina, G., & Davel, L. (2010). Química. Problemas y ejercicios de aplicación para química. Buenos Aires: EUDEBA .
- xii. Potter, M., & Wiggert, D. (2006). Mecánica de Fluidos . México D.F.: Thompson.
- xiii. QUÍMICA. ES . (s.f.). Recuperado el 1 de Diciembre de 2022, de <https://www.quimica.es/enciclopedia/Saturnismo.html>: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Saturnismo.html>
- xiv. Reif, K. (2014). Basic of the gasolina (SI) engine. En Fundamentals of Automotive and Engine Technology, Bosch. Wiesbaden: Springer.

- xv. Rodríguez Aumente, P., & Nogueira Goriba, J. (2011). Curvas características y aplicaciones . En Motores de combustión interna alternativos (págs. 952-978). Barcelona: Reverté.
- xvi. Rubio Gómez, G. (Enero de 2018).
<https://scholar.google.es/citations?user=SWCZIoAAAAAJ&hl=es>. Recuperado el 15 de Marzo de 2022, de
<https://scholar.google.es/citations?user=SWCZIoAAAAAJ&hl=es>
- xvii. Sodré, J. R., & Costa, R. C. (01 de Febrero de 2011).
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.09.007>. Recuperado el 05 de Mayo de 2022, de <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.09.007>.
- xviii. Solís, D. (05 de junio de 2022). Opinión. Recuperado el 30 de Agosto de 2022, de <https://www.opinion.com.bo/articulo/pais/22-millones-vehiculos-bolivia-20-poblacion/20220604194902869218.html>
- xix. Tinaut Fluixá, F., & López Sánchez, J. (2015). Combustión en MEP. En Motores de combustión interna alternativos (págs. 538-577). Barcelona : Reverté S.A.
- xx. Torres, J., Molina, D., Pinto, C., & Rueda, F. (2002). Estudio de la mezcla con gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. C.T.F Cienc. Tecnol, Futuro [online]. Scielo , 71-82.
- xxi. Wyman. (1996). Manual sobre bioetanol, producción y utilización: tratamiento previo de biomasa, Taylor y Francis Washington DC. Scientific Research An Academic Publisher , 179-202.
- xxii. YPFB. (28 de 11 de 2022). Recuperado el 28 de 11 de 2022, de ypfbrefinacion: <https://www.ypfbrefinacion.com.bo/carburantes.php>
- xxiii. Yücesu, H. S., Topgül, T., Çinar, C., & Okur, M. (05 de Mayo de 2006).
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.03.006>. Recuperado el 05 de Mayo de 2022, de <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.03.006>.

7. ANEXOS

a) Matriz de consistencia

Objetivo general de la investigación:

Evaluar el funcionamiento de los motores de combustión interna, con diferentes concentraciones de etanol anhidro en la gasolina usada en vehículos a 3600 msnm.

Título de la tesis de maestría:

Evaluación del impacto del etanol anhidro en combustibles utilizados por vehículos de combustión interna a 3600 msnm.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
Se desconoce el efecto de las mezclas de etanol anhidro con gasolina en el desempeño energético de un motor de combustión interna.	Evaluar el funcionamiento de los motores de combustión interna, con diferentes concentraciones de etanol anhidro en la gasolina usada en vehículos a 3600 msnm.	La incorporación del etanol anhidro en los combustibles usados en motores de combustión interna mejorará el desempeño energético termodinámico en los vehículos de uso cotidiano en los sistemas de transporte urbano y disminuirá las emisiones contaminantes, sin necesidad de realizar modificaciones al motor, en la ciudad de La Paz.
Problemas específicos	Objetivos específicos	
Se desconoce el efecto de las mezclas de la gasolina con un mínimo porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Se desconoce el efecto de las mezclas de la gasolina con un mediano porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Se desconoce el efecto de las mezclas de la gasolina	Analizar la influencia de las mezclas de la gasolina con un mínimo porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Analizar la influencia de las mezclas de la gasolina con un mediano porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Analizar el efecto de las mezclas de la gasolina con un gran porcentaje de etanol anhidro en el desempeño	

con un gran porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Se desconoce el efecto de las mezclas de gasolina y etanol anhidro en las emisiones de un motor de combustión interna. Se desconoce el efecto del consumo de un motor de combustión interna con mezclas de etanol anhidro y gasolina. Se desconoce la temperatura y densidad de las mezclas de etanol anhidro y gasolina.	energético de un motor de combustión interna. Analizar el efecto de las mezclas de la gasolina con un gran porcentaje de etanol anhidro en el desempeño energético de un motor de combustión interna. Analizar el efecto de las mezclas de gasolina y etanol anhidro en las emisiones de un motor de combustión interna. Analizar el efecto del consumo de un motor de combustión interna con mezclas de etanol anhidro y gasolina. Analizar la temperatura y densidad de cada una de las mezclas de etanol anhidro y gasolina.	
--	--	--

b) Matriz de operacionalización de variables

Variables Independientes	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Temperatura	Temperatura	°C.	Numérica Continua
Mezclas	Etanol–Gasolina Anhidro	L.	Numérica Continua
Cilindrada	Centímetros Cúbicos	A 1600 B 2700 C 1800 D 2700	Categórica Ordinal

		E 1500	
Humedad Relativa del Aire	Humedad	%	Categórica Nominal
Variable Dependientes	Indicadores	Valor final	Tipo de variable
Par motor	Torque	N-m.	Numérica Continua
Potencia	Kilowatts	kw.	Numérica Continua
Velocidad angular	Revoluciones	rpm.	Numérica Continua
Emisiones	Partes por millón	%vol.	Categórica Ordinal
Consumo de	Volumen	l.	Categórica Ordinal
Combustible	Peso	gr.	Numérica Continua

c) Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de medición necesarios para realizar el estudio serán:

Cantidad	Unidad	Descripción
1	Pza.	Kit de laboratorio portátil
1	Pza.	Probeta de plástico 2000 ml.
2	Pza.	Probeta de plástico 1000 ml.
1	Pza.	Piseta de 500 ml.
1	Pza.	Pipeta graduada
1	Pza.	Vaso de precipitado
1	Pza.	Dinamómetro de chasis marca MAHA
1	Pza.	Turbina simulador de viento marca MAHA
1	Pza.	Analizador de gases marca MAHA
1	Pza.	Bomba de combustible
1	Pza.	Balanza digital de precisión
3	Pza.	Baldes de plástico transparente graduados de 20 l.
6	Pza.	Bidones de 20 l.
3	Pza.	Azul de metileno de 5 ml.
3	l.	Agua destilada

d) Tabla de emisiones Norma Boliviana de Emisiones

Límites máximos permisibles para vehículos a gasolina con motor de cuatro tiempos			
Vehículos a gasolina			
Años de fabricación	CO % de volumen	HC (ppm)	
		Altura sobre el nivel del mar	
		Hasta 1800 msnm	Mayor a 1800 msnm
Hasta 1997	6	600	650
1998 a 2004	2,5	400	450
2005 en adelante ⁽¹⁾	0,5	125	125
(1) Después de tres años de uso, para la categoría 2005 en adelante, los límites permisibles aplicables estarán de acuerdo a los valores especificados para los años de fabricación de 1998 a 2004.			

e) Ley de 15 de septiembre de 2018 N° 1198

f) Vehículos puestos a prueba en el dinamómetro

Camioneta Suzuki APV 2010	Toyota Land Cruiser Prado 1999	Camioneta Toyota Hilux 2020
		
Cilindrada real: 1590 cc.	Cilindrada real: 2694 cc.	Cilindrada real: 2694 cc.
Par máximo: 127Nm/4500 rpm	Par máximo: 240Nm/4000 rpm	Par máximo: 245Nm/ 4000 rpm
Potencia máxima: 69 kw / 5750 rpm	Potencia máxima: 113 kw / 4800 rpm	Potencia máxima: 122 kw / 5200 rpm

VW Gol 2020



Cilindrada real: 1598 cc.
Par máximo: 143 Nm /
2500 rpm
Potencia máxima: 74 kw /
5250 rpm

Vagoneta GAC 2022



Cilindrada real: 1495 cc.
Par máximo: 270 Nm /
1700- 4000 rpm
Potencia máxima: 124 kw /
5000 rpm

Jeep Suzuki Jimny 2018



Cilindrada real: 1462 cc.
Par máximo: 130 Nm / 4000
rpm
Potencia máxima: 75 kw /
6000 rpm