



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GLP A UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA PARA SU POSTERIOR
ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE, POTENCIA Y
EMISIONES DE GASES A 2700 MSNM**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

CARLOS PATRICIO PICHASACA PICHIZACA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GLP A UN MOTOR DE
COMBUSTION INTERNA A GASOLINA PARA SU POSTERIOR
ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE, POTENCIA Y
EMISIONES DE GASES A 2700 MSNM**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: CARLOS PATRICIO PICHASACA PICHIZACA

DIRECTOR: Ing. PAÚL ALEJANDRO MONTÚFAR PAZ

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Carlos Patricio Pichasaca Pichizaca

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Carlos Patricio Pichasaca Pichizaca, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 01 de julio 2024

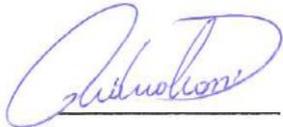


Carlos Patricio Pichasaca Pichizaca

C. I: 0302602867

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GLP A UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA PARA SUS POSTERIOR ANÁLISIS COMPARATIVO DE TORQUE, POTENCIA Y EMISIONES DE GASES**, realizado por el señor: **CARLOS PATRICIO PICHASACA PICHIZACA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian David Redroban Dillon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-01
Ing. Paúl Alejandro Montufar Paz DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-01
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-01

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis padres Patricio y Magdalena, a mis hermanos Kevin, Lourdes y Fanny, quienes siempre han sido mi fuente de inspiración y apoyo incondicional a lo largo de este camino académico a mis abuelos quienes me han enseñado a trabajar por alcanzar mis metas y objetivos a pesar de los obstáculos que se han presentado a lo largo de mi vida. Agradezco su amor, paciencia y sacrificio, que han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis profesores y mentores, cuyo conocimiento, orientación y estímulo han sido cruciales en mi formación académica y personal, a mis amigos y seres queridos, les agradezco por su comprensión, ánimo y alegría compartida durante los momentos difíciles y felices de esta etapa. Por último, agradezco a todas las personas que han contribuido de alguna manera a mi crecimiento y desarrollo como estudiante y como individuo. Este logro es también suyo.

Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Contextualización del problema.....	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.3. Problema general de investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6. Justificación de la investigación	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	5
1.7. Hipótesis	5
1.7.1. <i>Hipótesis nula:</i>	5
1.7.2. <i>Hipótesis alternativa:</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la conversión de motores de gasolina a GLP	6
2.2. Implementación de sistemas GLP en motores de combustión interna a gasolina .	7
2.2.1. <i>Conversión de un motor de gasolina a un motor de GLP</i>	8
2.2.2. <i>Estudio de los vehículos de GLP (gas licuado de petróleo) y GNC (gas natural comprimido) y sus aspectos futuros.</i>	9
2.3. Referencias Teóricas.....	10

2.3.1. Motores de combustión Interna	10
2.3.1.1. <i>Principios Termodinámicos:</i>	10
2.3.1.2. <i>Tipos de MCI:</i>	10
2.3.1.3. <i>Combustibles y Emisiones:</i>	11
2.3.1.4. <i>Eficiencia y Rendimiento de un motor de combustión interna:</i>	11
2.3.1.5. <i>Desarrollos Tecnológicos:</i>	11
2.3.2. Motores de encendido provocado MEP	11
2.3.2.1. <i>Componentes:</i>	12
2.3.2.2. <i>Admisión:</i>	13
2.3.2.3. <i>Compresión:</i>	13
2.3.2.4. <i>Combustión:</i>	13
2.3.2.5. <i>Escape:</i>	14
2.3.2.6. <i>Ventajas y desventajas</i>	14
2.3.2.7. <i>Aplicaciones:</i>	15
2.3.3. Conceptos básicos de torque, potencia y emisiones de gases	15
2.3.4. Proceso de combustión de un MCI	16
2.3.5. Los combustibles alternativos	18
2.3.6. Emisiones de gases producidos por los motores de combustión interna MEP	21
2.3.7. Normativas de emisiones de gases de escape	21
2.3.7.1. <i>Normas EURO de emisiones de gases</i>	21
2.3.7.2. <i>Límites de emisiones en Ecuador</i>	22
2.3.7.3. <i>Factores de Emisión de gases contaminantes</i>	22
2.3.7.4. <i>Importancia de la cuantificación de Factores de emisiones:</i>	23
2.3.7.5. <i>Factores que influyen en los factores de emisión:</i>	23
2.3.7.6. <i>Método directo para medición de emisiones de gases contaminantes con equipos homologados.</i>	24
2.4. Combustible Extra-85 RON	24
2.5. GLP como combustible alternativo	24
2.5.1. Propiedades del GLP	25
2.5.2. Fundamentos teóricos de la conversión a GLP.	26
2.5.2.1. <i>Propiedades del GLP</i>	26
2.5.2.2. <i>Relación aire-combustible del GLP</i>	26
2.5.2.3. <i>Sistema de alimentación</i>	26
2.5.2.4. <i>Modificaciones en el sistema de combustible</i>	26
2.5.2.5. <i>Ajuste del encendido de mezcla</i>	27
2.5.2.6. <i>Control y monitoreo</i>	27
2.5.3. Adaptación del sistema GLP al Motor con sistema convencional de combustible ...	27

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	29
3.1.	Enfoque de la investigación	29
3.2.	Cronograma de actividades	31
3.3.	Descripción del esquema y desarrollo del proyecto de investigación	32
3.3.1.	<i>Identificación del Problema:</i>	32
3.3.2.	<i>Recopilación y revisión de materiales bibliográficos:</i>	32
3.3.3.	<i>Identificación y elección del motor de combustión interna:</i>	32
3.3.4.	<i>Puesta a punto del motor de combustión interna:</i>	33
3.3.5.	<i>Identificación y cotización de sistema GLP compatible:</i>	33
3.3.6.	<i>Equipos de medición:</i>	34
3.3.6.1.	<i>Dinamómetro de motor Borghi & Saveri FA200 Reacondicionado.</i>	34
3.3.6.2.	<i>Dinamómetro de Rodillos DINOCOM</i>	36
3.3.6.3.	<i>Equipo de medición de Bujías Piezoeléctricas AVL</i>	38
3.3.6.4.	<i>Equipo de medición de consumo de combustible por método gravimétrico para combustible extra-85 RON.</i>	39
3.3.6.5.	<i>Equipo de medición de consumo de combustible mediante caudalímetro sensor de temperatura y presión.</i>	41
3.3.6.6.	<i>Analizador de gases MAHA MET 6,3</i>	47
3.3.6.7.	<i>Proceso de medición de emisiones de gases:</i>	49
3.3.6.8.	<i>Ecuación estequiométrica de combustible Extra y GLP:</i>	49
3.3.7.	<i>Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases con sistema convencional de Gasolina.</i>	51
3.3.8.	<i>Implementación de sistema GLP al motor de combustión interna a gasolina:</i>	53
3.3.9.	<i>Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases con sistema GLP:</i>	57
3.3.10.	<i>Mapas de consumo</i>	58
3.3.10.1.	<i>Generación de mapas de consumo y emisiones</i>	58

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
4.1.	Análisis e interpretación de resultados	60
4.2.	Evaluación de pruebas y ensayos del motor y sus efectos con el combustible con el sistema de gasolina convencional.	60
4.3.	Obtención de gráficos de torque y potencia en base a los datos de Presión vs Volumen	62

4.4.	Efectos de la conversión en las emisiones de gases.	64
4.4.1.	<i>Análisis con emisiones a 50% de carga</i>	65
4.4.2.	<i>Análisis con emisiones a 100% de carga</i>	69
4.5.	Estudio comparativo por análisis de varianza estadística ANOVA para diferenciar entre los grupos de toma de datos de la investigación.	75
4.5.1.	<i>Modelo Lineal general: Rendimiento térmico % vs. Carga; RPM; Combustible.</i> ...	75
4.6.	Mapas de consumo específico de combustible.	78
4.6.1.	<i>Mapas de consumo de MEP con combustible Extra</i>	78
4.6.2.	<i>Mapas de consumo de MEP con combustible GLP</i>	79

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
5.1.	Conclusiones	81
5.2.	Recomendaciones	83

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Tipos de motores de combustión interna sus características.	10
Tabla 2-2:	Definición de componentes de un MEP.	12
Tabla 2-3:	Descripción de ventajas, desventajas y su impacto de un MEP.	14
Tabla 2-4:	Descripción de aplicaciones de MEP en la industria.....	15
Tabla 2-5:	Descripción general de combustibles alternativos.....	19
Tabla 2-6:	Límites de emisiones de gases de acuerdo con normas EURO.	21
Tabla 2-7:	Límites de emisiones de gases en Ecuador con motores de gasolina marcha mínima o ralentí (prueba estática).	22
Tabla 2-8:	Ventajas de método directo de emisiones de gases.	24
Tabla 2-9:	Características generales de combustible Extra-85 RON.....	24
Tabla 2-10:	Propiedades físicas del GLP.....	25
Tabla 2-11:	Propiedades Químicas del GLP.....	25
Tabla 3-1:	Cronograma de actividades programadas.....	31
Tabla 3-2:	Datos técnicos de MCI.	33
Tabla 3-3:	Especificaciones técnicas de dinamómetro de rodillos.	37
Tabla 3-4:	Datos técnicos de la balanza gravimétrica de combustible	40
Tabla 3-5:	Características técnicas sensor de caudal volumétrico.....	41
Tabla 3-6:	Características técnicas sensor de caudal volumétrico.....	42
Tabla 3-7:	Resultados de pruebas de caudal y temperatura a 50% de carga.....	44
Tabla 3-8:	Resultados de pruebas de caudal y temperatura a 100% de carga.....	45
Tabla 3-9:	Valores importantes necesarios para los cálculos a 2700 msnm.	45
Tabla 3-10:	Rangos de precisión de medición de datos de analizador MAHA MET 6.3.....	48
Tabla 3-11:	Balance químico por el método algebraico.	51
Tabla 3-12:	Ecuaciones para el cálculo torque y potencia en base a la presión y volumen..	51
Tabla 3-13:	Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 50% Carga. .	52
Tabla 3-14:	Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 100% Carga.	52
Tabla 3-15:	Descripción de componentes de sistema GLP aplicado a la investigación.	54
Tabla 3-16:	Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 50% Carga con GLP.	57
Tabla 3-17:	Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 100% Carga con GLP.	57
Tabla 4-1:	Valores máximos de Torque.....	62
Tabla 4-2:	Valores máximos de potencia.....	63
Tabla 4-3:	Valores emisiones de gases a 50% de carga.....	68

Tabla 4-4:	Variación de emisiones de gases a 50% de carga en %.....	68
Tabla 4-5:	Valores emisiones de gases a 100% de carga.....	72
Tabla 4-6:	Variación de emisiones de gases a 100% de carga en %.....	72
Tabla 4-7:	Comparativa de componentes contaminantes Extra y GLP a 100% de carga..	73
Tabla 4-8:	Emisiones GLP vs Extra y su diferencia en porcentaje.....	73
Tabla 4-9:	Datos de emisiones de GLP y gasolina.	74
Tabla 4-10:	Información de factores de estudio.....	75
Tabla 4-11:	Resumen de análisis de Varianza.	76
Tabla 4-12:	Valores de grados de libertad y Fisher de estudio ANOVA.....	77
Tabla 4-13:	Análisis comparativo de F tabla de fisher.	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Diagrama de instalación de sistema GLP.....	8
Ilustración 2-2:	Fases de funcionamiento de motor de combustión interna.	13
Ilustración 2-3:	Esquema de la combustión perfecta.	17
Ilustración 2-4:	Componentes de un sistema GLP de tercera generación.....	28
Ilustración 3-1:	Esquema descriptivo de etapas del proyecto de investigación.	30
Ilustración 3-2:	Motor Chevrolet Aveo 2010.	32
Ilustración 3-3:	Diagrama de proceso de rectificación de motor.	33
Ilustración 3-4:	Esquema de alimentación de GLP en un MEP.....	34
Ilustración 3-5:	Dinamómetro DYNO_BORGHI&SAVERI.	34
Ilustración 3-6:	Programa DYNO_BORGHI&SAVERI.	35
Ilustración 3-7:	Interfaz de software para control de RPM de motor.	36
Ilustración 3-8:	Modelos de dinamómetro DINOCOM AWD 5000 GDFX	36
Ilustración 3-9:	Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.	37
Ilustración 3-10:	Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.	37
Ilustración 3-11:	Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.	38
Ilustración 3-12:	Curva de presión vs volumen representada en el software Indicom.	39
Ilustración 3-13:	Equipo de medición de consumo de combustible.	40
Ilustración 3-14:	Equipo de medición de consumo de combustible caudalímetro digital.	42
Ilustración 3-15:	Equipo de medición de temperatura de combustible.....	43
Ilustración 3-16:	Equipo de medición de temperatura de combustible.....	44
Ilustración 3-17:	Curva de consumo de GLP en gr/s vs RPM a 50% de carga	46
Ilustración 3-18:	Curva de consumo de GLP en gr/s vs RPM a 100% de carga	47
Ilustración 3-19:	Esquema de alimentación de GLP en un MEP.....	47
Ilustración 3-20:	Interfaz de software de control y almacenamiento de datos MAHA	49
Ilustración 3-21:	Diagrama descriptivo de sistema GLP de estudio.....	53
Ilustración 3-22:	Circuito de sistema GLP implementado para el estudio.	54
Ilustración 3-23:	Suich de encendido de conmutador modo GLP.	56
Ilustración 3-24:	Mapa de consumo en función de PME, RPM y SFC	58
Ilustración 4-1:	Gráfica de potencia entre equipo AVL y Dinamómetro de rodillos.....	60
Ilustración 4-2:	Ecuación de corrección de potencia.	61
Ilustración 4-3:	Ecuación de corrección de potencia.	61
Ilustración 4-4:	Gráfica de Torque entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. ...	62
Ilustración 4-5:	Gráfica de Potencia entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. .	63
Ilustración 4-6:	Grafica de Torque y Potencia Gasolina 84 RON vs GLP	64

Ilustración 4-7:	Gráfica emisiones de CO ₂ entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.	65
Ilustración 4-8:	Gráfica emisiones de HC Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. .	66
Ilustración 4-9:	Gráfica emisiones de NO _x entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.	66
Ilustración 4-10:	Gráfica emisiones de CO Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. .	67
Ilustración 4-11:	Gráfica emisiones de O ₂ Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. ...	67
Ilustración 4-12:	Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 50% Carga.....	68
Ilustración 4-13:	Gráfica emisiones de CO ₂ entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.	69
Ilustración 4-14:	Gráfica emisiones de HC Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. .	70
Ilustración 4-15:	Gráfica emisiones de NO _x entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.	70
Ilustración 4-16:	Gráfica emisiones de CO Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. .	71
Ilustración 4-17:	Gráfica emisiones de O ₂ Extra y GLP en diferentes regímenes de motor. ...	71
Ilustración 4-18:	Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 100% Carga.....	72
Ilustración 4-19:	Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 100% Carga con valores promediados.	74
Ilustración 4-20:	Residuos para rendimiento térmico %.....	76
Ilustración 4-21:	Mapa de consumo diseñado a partir de datos Extra con PME, FSC y RPM.	78
Ilustración 4-22:	Mapa de consumo diseñado a partir datos de GLP con PME, FSC y RPM.	79

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** BANCO DINAMOMÉTRICO DE PRUEBAS
- ANEXO B:** COMPONENTES DE SISTEMA GLP.
- ANEXO C:** CONEXIONES DE CAÑERÍA SISTEMA GLP.
- ANEXO D:** CONEXIONES ELECTRICAS SISTEMA GLP.
- ANEXO E:** CERIFICACIÓN DE INTEGRIDAD SISTEMA GLP.
- ANEXO F:** INICIO DE PRUEBAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS
- ANEXO G:** TABLA DE DISTRIBUCIÓN F FISHER, APLICADO PARA ESTUDIO ANOVA.
- ANEXO H:** INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DE SONDA DE TEMPERATURA DE SISTEMA GLP.
- ANEXO I:** ESQUEMA DE MONTAJE DE CIRCUITO DE CONMUTADOR DUAL GLP/GASOLINA.

RESUMEN

El presente estudio se centró en la implementación de un sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en un motor de combustión interna a gasolina, con el propósito de realizar un análisis comparativo de torque, potencia y emisiones de gases a 2700 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se inició definiendo el problema de investigación, sus objetivos generales y específicos, así como la justificación teórica, metodológica y práctica del estudio, incluyendo hipótesis nula y alternativa. Además, se realizó una investigación exhaustiva de los antecedentes de investigación relacionados con la conversión de motores de gasolina a GLP y la implementación de sistemas GLP en motores de combustión interna a gasolina, abordando conceptos teóricos sobre motores de combustión interna y motores de encendido provocado (MEP), así como los fundamentos del GLP como combustible alternativo. Definiendo los delimitantes de la investigación se desarrolló el marco metodológico del estudio, detallando el enfoque de la investigación, el cronograma de actividades y la descripción del esquema y desarrollo del proyecto, incluyendo los pasos desde la identificación del problema hasta la obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases con sistema convencional de gasolina y GLP, mediante los resultados obtenidos tras la implementación del sistema GLP, incluyendo el análisis e interpretación de los datos, la evaluación de pruebas y ensayos, así como el estudio comparativo por medio de análisis estadístico ANOVA y la generación de mapas de consumo específico de combustible, se obtuvo una variación de 3.2% en el torque y 0.42% en la potencia tras la conversión, además de una disminución significativa de emisiones de gases, destacando la reducción de 6.6% en CO₂. En base a los resultados se espera contribuir al conocimiento científico y tecnológico en el campo de los motores de combustión interna y el uso de GLP como combustible alternativo.

Palabras clave: <MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA> <IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS GLP> <VARIACIÓN DE RENDIMIENTO> <EMISIONES DE GASES> <ANÁLISIS COMPARATIVO>.

1122-DBRAI-UPT-2024



SUMMARY

This study focused on the implementation of a Liquefied Petroleum Gas (LPG) system in a gasoline internal combustion engine, with the purpose of performing a comparative analysis of torque, power and gas emissions at 2700 meters above sea level (masl). We began by defining the research problem, its general and specific objectives, as well as the theoretical, methodological and practical justification of the study, including null and alternative hypotheses. In addition, an exhaustive investigation of the research background related to the conversion of gasoline engines to LPG and the implementation of LPG systems in gasoline internal combustion engines was carried out, addressing theoretical concepts on internal combustion engines and spark ignition engines (MEP), as well as the fundamentals of LPG as an alternative fuel. Defining the delimiters of the research, the methodological framework of the study was developed, detailing the research approach, the schedule of activities and the description of the scheme and development of the project, including the steps from the identification of the problem to obtaining data on torque, power and gas emissions with conventional gasoline and LPG systems, through the results obtained after the implementation of the LPG system, including the analysis and interpretation of the data, the evaluation of tests and trials, as well as the comparative study by means of ANOVA statistical analysis and the generation of specific fuel consumption maps, a variation of 3.2% in torque and 0.42% in power was obtained after the conversion. In addition to a significant reduction in gas emissions, highlighting the reduction of 6.6% in CO₂. Based on the results, it is expected to contribute to the scientific and technological knowledge in the field of internal combustion engines and the use of LPG as an alternative fuel.

Keywords: <INTERNAL COMBUSTION ENGINES> <IMPLEMENTATION OF LPG SYSTEMS> <VARIATION OF PERFORMANCE> <GAS EMISSIONS> < COMPARATIVE ANALYSIS>.



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema Mgs

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

El desarrollo continuo de la tecnología, que desde sus inicios trajo consigo grandes beneficios para la humanidad y se podría considerar al vehículo automotor como uno de los mejores inventos gracias a la aplicación constante de investigación y desarrollo tecnológico aplicado hacia los sistemas desarrollados como el motor de combustión interna, circuitos eléctricos diseño de carrocerías, entre otros. Sin embargo, a la par del progreso tecnológico se ha incrementado la contaminación con un impacto ambiental mundial a causa de los gases contaminantes producidos por los combustibles aplicados a los motores de combustión interna usados en los vehículos, en consecuencia, surge la necesidad de reducir las emisiones de gases contaminantes llevando a la búsqueda de alternativas más ecológicas y sostenibles en el sector del transporte. Una de las alternativas aplicables en la actualidad es el gas licuado de petróleo (GLP), un combustible que se presenta como una opción interesante debido a su bajo contenido en azufre, además de que se caracteriza por emitir una menor cantidad de dióxido de carbono y otros gases contaminantes.

En este contexto, convertir un motor de gasolina convencional a sistema GLP, es una práctica común en países europeos como España y en latinoamericanos como Perú, Colombia y Ecuador considerando que en este último las conversiones se encuentran reguladas y permitidas únicamente para vehículos de uso público tipo taxi, las conversiones se realizan únicamente en talleres autorizados. Las conversiones realizadas podrían tener un impacto positivo en las emisiones de gases contaminantes además de contribuir al ahorro de costos y reducción de consumo de combustible. La implementación de un sistema GLP y su posterior análisis ofrecerá resultados importantes para proporcionar información, considerando que puede servir como fuente de información para la selección de fuentes de energía adecuadas de acuerdo con las necesidades y condiciones de operación de un vehículo. Por lo tanto, en el presente trabajo se describe la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina y se lleva a cabo un análisis comparativo de los parámetros más relevantes, como el torque, la potencia y las emisiones de gases. Para ello, se utilizan procedimientos y metodologías adecuados, incluyendo la instrumentación del motor y la adquisición de datos en diferentes condiciones de operación. Los resultados obtenidos posteriores a la conversión podrían contribuir al desarrollo de conocimiento, análisis de las ventajas y desventajas de la conversión a GLP, además de la optimización del rendimiento del motor y lógicamente contribuir a la reducción de las emisiones de gases contaminantes. El presente trabajo pretende ser una contribución al desarrollo de soluciones más limpias y sostenibles en el sector del transporte, a través del estudio de la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Contextualización del problema

Ecuador es un país donde el parque automotor está en crecimiento constante durante los últimos años, a consecuencia, se aumenta los niveles de emisiones contaminantes generados por los motores de combustión interna, así como el consumo de combustible. Los diferentes fabricantes de vehículos ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente como la hibridación, uso común de cajas automáticas o la electrificación completa de vehículos, sin embargo, se pueden generar otros tipos de problemas a causa de las diferentes condiciones geográficas, económicas y tecnológicas presentes en el país. El uso de combustibles alternativos sugiere una solución acertada, mediante distintos estudios se ha logrado crear combustibles con un porcentaje adecuado de alcohol, aditivos para mejorar el octanaje de los combustibles y el uso de GLP en el que se encuentra centrado el tema de investigación y que pretende analizar y comprender de qué manera influye la conversión de un motor de combustión de gasolina a GLP, en las características de funcionamiento, entrega de torque, potencia y emisiones de gases.

En la carrera de ingeniería automotriz no se ha realizado investigaciones relacionadas al uso de combustibles alternativos como GLP en un MCI a gasolina, principalmente en el estudio de torque potencia y emisiones, por tal motivo surge la necesidad de realizar esta investigación que aportará al desarrollo tecnológico local y regional dando alternativas de movilidad.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

Las limitaciones de este estudio se centran en el análisis comparativo de un motor de combustión interna a gasolina y con un sistema GLP instalado a una altitud de 2700 metros sobre el nivel del mar. Dado que las condiciones de altitud pueden influir en la densidad del aire y, por tanto, en el rendimiento del motor, los resultados de este estudio no podrían ser generalizados para otras altitudes. Por lo tanto, este estudio solo puede ser aplicable a motores que funcionen a una altitud similar.

Además, el presente estudio se centra en el análisis comparativo de torque, potencia y emisiones de gases producidos por un motor de combustión interna a gasolina y con un sistema GLP instalado, pero no se incluyen otros factores que puedan afectar el rendimiento del motor, como la calidad del combustible y el mantenimiento del motor.

Por lo tanto, la delimitación del estudio se encuentra centrada en abordar la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina para un análisis comparativo de torque, potencia y emisiones de gases a una altitud de 2700msnm para un motor de banco de pruebas. Es necesario tener en cuenta que existen otros factores que podrían influir en el rendimiento del motor y que no se consideraron en el desarrollo de la investigación.

En conclusión, el estudio que se llevará a cabo será de gran importancia para comprender el impacto de la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina en términos de eficiencia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero considerados contaminantes atmosféricos de alto impacto, sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones y delimitaciones.

1.3. Problema general de investigación

La contaminación atmosférica es un problema grave en muchas ciudades del mundo, y la ciudad de Riobamba no es una excepción. La combustión de combustibles fósiles como la gasolina en los motores de combustión interna resulta ser una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos que contribuyen al cambio climático y afectan la calidad del aire.

Considerando este efecto, la implementación de un sistema de combustible GLP en un motor que funciona con gasolina convencional, podría ser una solución para reducir emisiones de gases y mejorar el rendimiento del motor sin afectar las condiciones de funcionamiento. Sin embargo se requiere investigar su viabilidad en condiciones específicas de funcionamiento, mediante pruebas, análisis de datos y comparación de los resultados obtenidos en la ciudad de Riobamba a una altitud de 2700 msnm.

1.4. Problemas específicos de investigación

1. ¿Cuál es el impacto de la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina en términos de eficiencia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos?
2. ¿Existe una variación de torque y la potencia del motor con el sistema GLP instalado frente a un MCI a gasolina?
3. ¿Qué emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos se producen con el sistema GLP instalado y cómo se comparan con las emisiones de la gasolina?

4. ¿Cuál es la viabilidad y rentabilidad de la implementación de un sistema GLP en motores de combustión interna y qué impacto tendría en la reducción de la contaminación atmosférica y el cambio climático?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar una conversión de sistema de combustión de gasolina a GLP basado en la norma NTE INEN 2 311:2008 para analizarse sus efectos en el torque, potencia y emisiones de gases.

1.5.2. Objetivos específicos

- Definir referencias bibliográficas referentes a sistemas de conversión de inyección de gasolina a GLP.
- Seleccionar e implementar un sistema de conversión de gasolina a GLP del mercado regional basado en la norma NTE INEN 2 311:2008.
- Analizar las características de desempeño de torque y potencia de un motor de gasolina con un sistema de GLP.
- Evaluar el impacto de la conversión del sistema GLP en las emisiones de gases contaminantes.

1.6. Justificación de la investigación

1.6.1. Justificación teórica

La implementación de un sistema de gas licuado de petróleo (GLP) en un motor de combustión interna a gasolina se podría considerar una opción cada viable en la industria automotriz debido a su eficiencia y reducción de emisiones contaminantes. Sin embargo, existen pocos estudios que aborden esta implementación en condiciones de altitud elevada, donde la densidad del aire puede influir en el rendimiento del motor. La presente investigación es relevante ya que contribuirá al conocimiento científico sobre el rendimiento de un motor de combustión interna a gasolina con un sistema GLP instalado a una altitud de 2700 metros sobre el nivel del mar.

1.6.2. Justificación metodológica

La metodología del presente estudio incluirá la instalación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina y la realización de pruebas en un banco dinamométrico para analizar el torque, la potencia y las emisiones de gases producidos. Además, se incluirá la comparación de los resultados de las pruebas con un motor de combustión interna a gasolina sin sistema GLP instalado. Para garantizar la fiabilidad de los resultados, se considera el uso de equipos de pruebas experimentales fiables y se utilizarán técnicas estadísticas adecuadas para analizar los datos.

1.6.3. Justificación práctica

El estudio será de gran importancia práctica ya que permitirá conocer el impacto de la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina en términos de eficiencia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Los resultados de la presente investigación podrían servir para contribuir a la industria automotriz para el rendimiento y la eficiencia de los motores de combustión interna a gasolina con la implementación de sistemas GLP en altitudes elevadas. Además, de contribuir como base para futuros estudios relacionados con la implementación de sistemas de combustibles alternativos en motores de combustión interna.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis nula:

La implementación de un sistema de GLP no varía el rendimiento y las emisiones de gases de un MCI convencional de 1600 cc a 2700 msnm.

1.7.2. Hipótesis alternativa:

La implementación de un sistema de GLP varía el rendimiento y las emisiones de gases de un MCI convencional de 1600 cc a 2700 msnm.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la conversión de motores de gasolina a GLP

La conversión de motores de gasolina a gas licuado de petróleo (GLP) es una práctica que ha logrado establecerse en los últimos años debido a su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y los contaminantes atmosféricos, así como para mejorar la eficiencia del motor. Esta tendencia se ha impulsado principalmente por la creciente preocupación por el cambio climático y la necesidad de encontrar alternativas más limpias y sostenibles para la movilidad.

El GLP se identificó por primera vez como un componente importante del petróleo en 1910. En el mismo año, el químico estadounidense, el Dr. Walter Snelling, identificó que el propano y el butano de la gasolina provocaban su evaporación. Pronto desarrolló un método práctico para eliminar estos gases de la gasolina. Dos años más tarde, en 1912, había puesto en marcha su primera instalación doméstica de propano, y en 1913 patentó la producción de propano a escala industrial. En 1928, el GLP se utilizó por primera vez como combustible para motores (en un camión) y se fabricó el primer frigorífico de GLP. En 1929, el nivel de ventas del combustible alcanzaba los 10 millones de galones en EE. UU. El uso extensivo del GLP no se desarrolló realmente hasta los años 1940-1960. A principios de los años 50 las empresas fabricaban bombonas de GLP para uso doméstico y se comercializaban en otros países bajo licencia (Sourove et al., 2016).

Acorde al avance de la tecnología y el desarrollo de sistemas más eficientes y seguros, la conversión de motores de gasolina a GLP experimentó un crecimiento significativo en las últimas décadas, sustentados en los beneficios de la conversión, tanto en términos de reducción de emisiones como de ahorro económico en el combustible (Vargas Ceballos, 2017).

Considerando el apartado de las emisiones de gases contaminantes, producidas por los motores de combustión interna, la implementación de un sistema GLP, de acuerdo a los estudios realizados y analizados puede reducir las emisiones de:CO₂ o dióxido de carbono, NO_x u óxidos de nitrógeno además de minimizar las emisiones de hidrocarburos no quemados o HC, estos gases son considerados los principales contaminantes atmosféricos y que contribuyen a al calentamiento global (Mecánico Automotriz, 2012).

En un estudio realizado referente al tema las pruebas realizadas con vehículos Bifuel GLP muestran una reducción de alrededor del 15% en las emisiones de gases de efecto invernadero. El GLP como combustible alternativo podría desplazar el 10% del uso actual de combustible común, o aportar reducciones significativas de las emisiones de CO, CO₂ y contribuir a reducir las emisiones nocivas de gases de efecto invernadero (Sourove et al., 2016).

2.2. Implementación de sistemas GLP en motores de combustión interna a gasolina

La implementación de sistemas de gas licuado de petróleo (GLP) en motores de combustión interna a gasolina se ha convertido en una estrategia cada vez más popular en el ámbito de la movilidad sostenible y la reducción de emisiones contaminantes. Esta implementación implica la modificación del sistema de combustible de un motor de gasolina para que pueda funcionar tanto con gasolina como con GLP, brindando a los usuarios la opción de utilizar el combustible que mejor se adapte a sus necesidades (Lira & Condori, 2005).

Considerando el tema de costos de combustible, la implementación de sistemas GLP puede resultar en ahorros significativos para los propietarios con este tipo de sistema implementado en su vehículo. El GLP es generalmente más económico que la gasolina. La implementación de sistemas GLP en motores de combustión interna a gasolina podría ofrecer una mayor autonomía de combustible, al contar con dos opciones de combustible en los sistemas duales que son comunes en el mercado automotriz. Los conductores de los vehículos tendrían la flexibilidad de cambiar entre gasolina y GLP según sus necesidades y la disponibilidad de estaciones de servicio, resultando especialmente beneficioso en áreas donde la infraestructura de GLP está desarrollada y las estaciones de servicio están ampliamente disponibles.

Para la aplicación de sistemas GLP en motores de combustión interna convencionales, se han desarrollado sistemas de inyección GLP con tecnología eficiente y avanzada con el objetivo de garantizar un funcionamiento óptimo del motor, en el mercado existen sistemas duales, es decir que permiten el funcionamiento del motor con dos combustibles GLP y Gasolina y la transición se realiza mediante algún tipo de comando incluso cuando el motor se encuentra encendido. Sin embargo, es necesario mencionar las limitaciones que posee este sistema principalmente asociado a costos de equipos, instalaciones y mantenimientos necesarios, además de requiere estaciones de carga específicas para vehículos que funcionan con GLP.

2.2.1. Conversión de un motor de gasolina a un motor de GLP

Mustaffa de acuerdo con su investigación menciona que: en un estudio experimental y numérico del efecto del uso de gas licuado de petróleo (GLP) en lugar de gasolina sobre las características del motor de encendido por chispa, incluyendo el rendimiento, la combustión y las emisiones. (GLP) en lugar de gasolina sobre las características del motor de encendido por chispa, incluidos el rendimiento, la combustión y las emisiones.

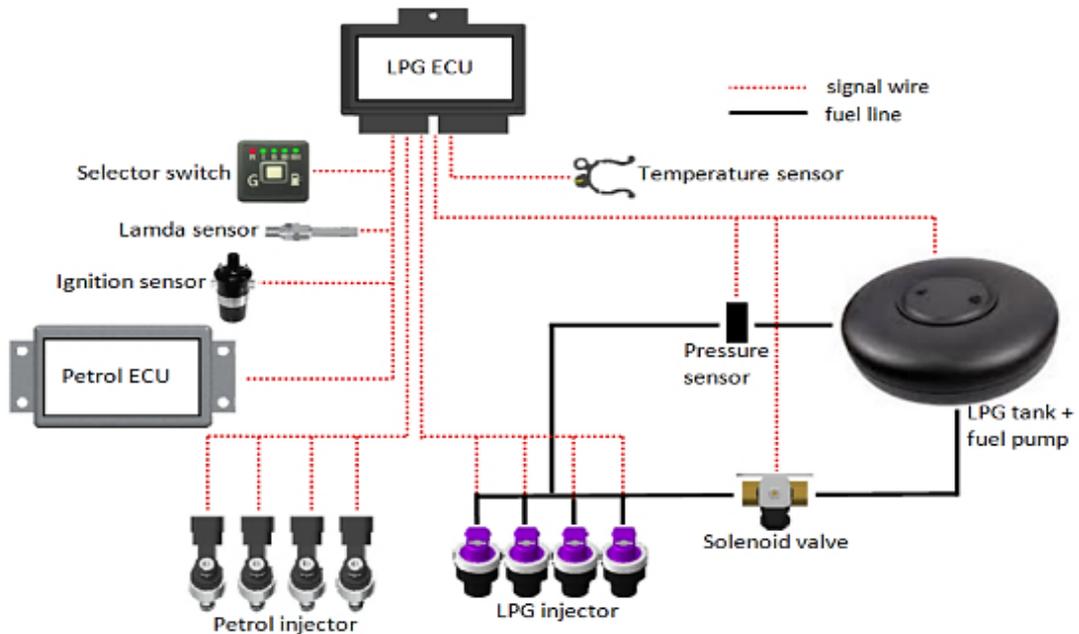


Ilustración 2-1: Diagrama de instalación de sistema GLP.

Fuente: (Mustaffa et al., 2016)

El motor TE200 mono cilíndrico de cuatro tiempos, capaz de desarrollar 2.5 kW a 3600 rpm, se ha modificado para funcionar con GLP a velocidad variable, para funcionar con GLP en condiciones variables de velocidad y carga. El análisis numérico se realizó con ayuda del software de simulación Diesel-RK, software de simulación Diesel-RK. Se ha realizado un estudio paramétrico del efecto de cambiar la relación de compresión y el tiempo de encendido en el rendimiento y las emisiones del motor, en el rendimiento del motor y las emisiones. Se realizan experimentos con dos modos (Gasolina y GLP) bajo cargas de (0, 25, 50, 75 y 100) % en términos de potencia de freno y diferentes velocidades (2400, 3000, 3600) rpm. Los resultados experimentales revelaron que:

- El uso de GLP redujo la eficiencia térmica del freno (ETPF) en un 4.5%, (BTE) en un 4.52%, y mejoró el consumo específico de combustible del freno (BSFC) en un 5.42% en comparación con la gasolina.

- La eficiencia volumétrica disminuyó un 4.65%. Reducción significativa de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) un 14.4% y un 11.54% respectivamente.
- Las emisiones de NO_x aumentaron al utilizar GLP.
- Los resultados numéricos comparados con la situación del combustible de gasolina mostraron que la presión pico y el calor aumentaron, Se observa un inicio de la combustión más temprano y más cercano al punto muerto superior (PMS) en comparación con la gasolina.
- La temperatura del cilindro y la temperatura de los gases de escape quemados aumentaron un 14.9%, 7.8%, respectivamente. Los resultados también mostraron una mejora del BSFC del (2.1%), y una disminución del BTE y η_v del (1%, 5.93%), respectivamente.
- Las emisiones de NO_x aumentaron al utilizar GLP en un (8%). Tanto los resultados experimentales como los numéricos validados con los resultados de los trabajos de otros investigadores y una buena convergencia capturada (Mustaffa et al., 2016).

2.2.2. Estudio de los vehículos de GLP (gas licuado de petróleo) y GNC (gas natural comprimido) y sus aspectos futuros.

Sourove M. realizó un estudio en el que explica que: En los vehículos GLP, el gas se mezcla fácilmente con el aire, lo que permite una combustión más completa. El combustible cuesta menos que la gasolina normal, pero los vehículos de GLP tienen menos energía por unidad de volumen, por lo que su ahorro de combustible y eficiencia son menores. Los vehículos GLP tienen una vida útil más larga gracias a sus características de combustión limpia, la principal diferencia entre estos vehículos y otros está en sus sistemas de almacenamiento de combustible. El GLP es un gas a temperatura ambiente y se vuelve líquido cuando se presuriza (la presión necesaria varía según la composición de la mezcla) suele almacenarse a unos 10 bares. Además, los vehículos de GLP necesitan un depósito especial lo bastante resistente para soportar la presión de almacenamiento del GLP de unas 130 libras por pulgada cuadrada. de combustible. El GLP tiene un octanaje 110+ que permite que la RC sea alta hasta 15:1, que está en el rango de 8:1 a 9,5:1. Un inconveniente es que los depósitos de combustible de GLP son mucho más pesados que los depósitos convencionales, que aumentaría el peso del vehículo. Muchos fabricantes de automóviles fabrican vehículos que funcionan con GLP y gasolina. Los especialistas afirman que el GLP es el combustible alternativo menos respetuoso con el medio ambiente porque procede de combustibles fósiles (Sourove et al., 2016).

2.3. Referencias Teóricas

2.3.1. Motores de combustión Interna

Los motores de combustión interna (MCI) representan una pieza clave en la industria moderna, ya que de acuerdo con su diseño pueden convertir la energía química contenida en el combustible en energía mecánica para producir un trabajo, impulsando así una amplia gama de aplicaciones, desde el transporte hasta la generación de energía.

2.3.1.1. Principios Termodinámicos:

Los MCI operan bajo los fundamentos de la termodinámica:

La primera ley de la termodinámica: establece la conservación de la energía, transformando la energía química del combustible en energía mecánica y térmica. La segunda ley dicta que la entropía aumenta en un proceso natural, lo que se refleja en la pérdida de energía utilizable en forma de calor residual en los MCI. Además, el ciclo de Carnot establece un límite teórico para la eficiencia de cualquier motor térmico, sirviendo como punto de referencia para evaluar el rendimiento real de los MCI (Ortiz F., 2015).

2.3.1.2. Tipos de MCI:

Existen dos tipos principales de MCI: Motores de encendido por chispa (MEP) y motores de encendido por compresión (MEC) cuyas diferencias se encuentran descritas en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Tipos de motores de combustión interna sus características.

Característica	Motores de Encendido por Chispa (MEP)	Motores de Encendido por Compresión (MEC)
Tipo de Encendido	Bujía	Compresión adiabática del aire
Combustible	Gasolina, Gas natural	Diésel, Gas natural
Aplicaciones	Vehículos ligeros (automóviles, motocicletas)	Vehículos pesados (camiones, buses), maquinaria industrial
Ventajas	Bajo costo, menor ruido y vibraciones, mayor aceleración	Mayor eficiencia, mayor torque a bajas revoluciones, mayor durabilidad
Desventajas	Menor eficiencia, menor torque a bajas revoluciones, mayor emisión de contaminantes	Mayor costo, mayor ruido y vibraciones, menor aceleración
Ejemplos	Motor Otto, Motor Wankel	Motor Diesel

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.3.1.3. Combustibles y Emisiones:

Los MCI pueden funcionar con una variedad de combustibles, desde gasolina y diésel hasta gas natural, propano e incluso hidrógeno. Sin embargo, la combustión de estos combustibles conlleva la emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, lo que plantea desafíos ambientales significativos.

2.3.1.4. Eficiencia y Rendimiento de un motor de combustión interna:

Se podría definir como la relación existente entre la energía mecánica que se produce y la energía química que ofrece el combustible consumido. Para mejorar la eficiencia se han desarrollado tecnologías como la inyección directa de combustible en el motor así como la turbolimentación, además de mejorar el rendimiento del motor, este tipo de tecnología reduce el consumo de combustible.

2.3.1.5. Desarrollos Tecnológicos:

En la búsqueda continua de mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de los MCI, se están desarrollando tecnologías innovadoras como la electrificación, donde los motores eléctricos complementan a los MCI en vehículos híbridos y eléctricos, reduciendo así su dependencia de combustibles fósiles y mitigando su impacto ambiental.

2.3.2. Motores de encendido provocado MEP

Los motores de Encendido Provocado (MEP) representan una clase esencial de motores de combustión interna que se caracterizan por la utilización de una bujía para iniciar el proceso de combustión de la mezcla aire-combustible. Su versatilidad y aplicabilidad los convierten en una pieza fundamental en una amplia variedad de sectores industriales, abarcando desde el ámbito automotriz hasta la maquinaria industrial de gran envergadura.

Los motores de combustión interna proporcionan potencia y torque para la propulsión por lo que son usados en diferentes aplicaciones alrededor del mundo, su funcionamiento se basa en los principios fundamentales de combustión así como en la conversión de energía química en energía mecánica (Villegas, 2007).

2.3.2.1. Componentes:

Los principales componentes de un MEP incluyen:

Tabla 2-2: Definición de componentes de un MEP.

Componente	Definición	Imagen
Bloque motor	Estructura base del motor que alberga los cilindros, el cigüeñal y los pistones.	
Culata	Cierra los cilindros y contiene las válvulas de admisión y escape.	
Pistones	Elementos móviles que se desplazan dentro de los cilindros y comprimen la mezcla aire-combustible.	
Cigüeñal	Transmite el movimiento lineal de los pistones a un movimiento rotativo.	
Bujías	Dispositivos que generan la chispa necesaria para iniciar el proceso de combustión.	

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El principio de funcionamiento de un motor de combustión interna a gasolina se puede dividir en cuatro etapas principales: admisión, compresión, combustión y escape. A continuación, se describirá cada una de estas etapas con más detalle:

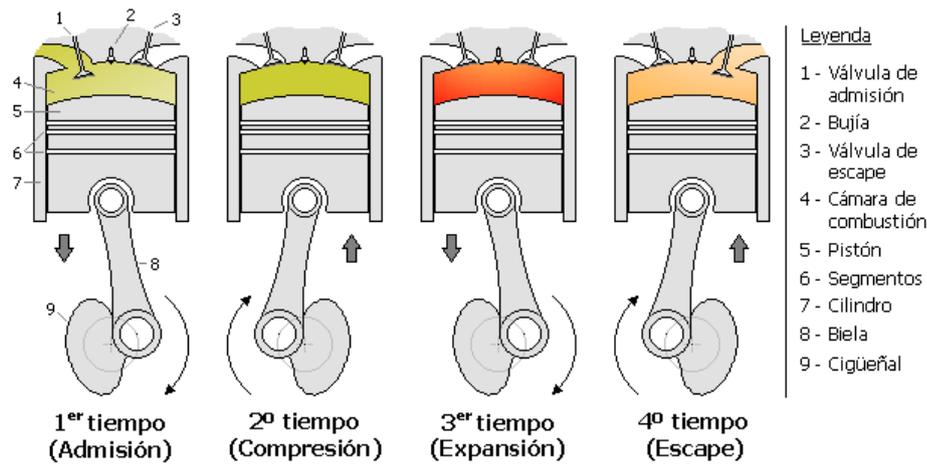


Ilustración 2-2: Fases de funcionamiento de motor de combustión interna.

Fuente: (Caballer A. 2010)

2.3.2.2. Admisión:

En esta etapa, el motor aspira una mezcla de aire y combustible (gasolina) hacia la cámara de combustión. Esto se logra mediante la apertura de la válvula de admisión, permitiendo que el pistón se mueva hacia abajo y cree un vacío en la cámara de combustión. El carburador o el sistema de inyección de combustible se encargan de proporcionar la cantidad adecuada de combustible para mezclarse con el aire (Orozco, 2014).

2.3.2.3. Compresión:

Cuando la mezcla de aire y combustible ha ingresado a la cámara de combustión, el pistón se mueve hacia arriba, comprimiendo la mezcla. Este proceso aumenta la presión y la temperatura de la mezcla, lo que mejora la eficiencia de la combustión posterior. Durante esta etapa, las válvulas de admisión y escape están cerradas (Orozco, 2014).

2.3.2.4. Combustión:

En este proceso el pistón alcanza su punto más alto en la etapa de compresión, La bujía genera una chispa eléctrica encendiendo la mezcla de aire y combustible. La combustión repentina y controlada genera una expansión rápida de los gases, empujando el pistón hacia abajo. La energía liberada durante la combustión se convierte en energía mecánica, que impulsa el movimiento del pistón y, a su vez, del cigüeñal (Orozco, 2014).

2.3.2.5. *Escape:*

Una vez que el pistón completa su carrera descendente, se inicia la etapa de escape. En este proceso las válvulas de gases de escape se abren y los gases de combustión resultantes son expulsados de la cámara de combustión hacia el sistema de escape, el pistón se mueve hacia arriba nuevamente, expulsando los gases residuales y se prepara la cámara de combustión para una nueva admisión de mezcla de aire y combustible (Orozco, 2014).

En este tipo de motores de combustión interna el proceso explicado anteriormente se repite de manera continua y sincronizada, su estructura relacionada con el número de cilindros varía de acuerdo con el diseño del motor, los movimientos de los pistones se sincronizan con el cigüeñal y el árbol de levas. Las nuevas tecnologías desarrolladas y aplicadas a este tipo de motores han permitido mejorar las características de rendimiento y condiciones de funcionamiento se podría mencionar a la inyección directa de combustible, la distribución variable se árbol de levas y mejoras en el sistema de control electrónico (Villegas, 2007).

2.3.2.6. *Ventajas y desventajas*

Tabla 2-3: Descripción de ventajas, desventajas y su impacto de un MEP.

Característica	Ventajas	Desventajas	Impacto
1. Simplicidad	Diseño y operación relativamente sencillos.		Facilidad de uso y mantenimiento.
2. Eficiencia	Buen rendimiento en la conversión de energía.	Emisiones	Bajo consumo de combustible y mayor potencia.
3. Costo	Económicos en comparación con otras opciones.		Accesibilidad para diversos sectores.
4. Versatilidad	Adaptables a diferentes aplicaciones y entornos.		Amplia gama de usos en diversos sectores.
5. Emisiones		Producen gases contaminantes.	Impacto ambiental negativo.
6. Ruido		Nivel de ruido elevado durante el funcionamiento.	Molestias sonoras y posibles riesgos auditivos.
7. Mantenimiento		Susceptibles a fallos si no se realizan mantenimientos periódicos.	Costos adicionales y posibles averías.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.3.2.7. Aplicaciones:

Tabla 2-4: Descripción de aplicaciones de MEP en la industria.

Sector	Aplicaciones	Ejemplos
Automotriz	Vehículos de pasajeros y comerciales	Automóviles, camionetas, motocicletas, autobuses, camiones pesados
Maquinaria industrial	Generadores eléctricos, bombas hidráulicas, compresores de aire	Generación de energía eléctrica, movimiento de maquinaria hidráulica, compresión de aire para herramientas neumáticas
Aviación	Aviones pequeños	Aviones Cessna, Piper Cherokee
Marítimo	Embarcaciones marítimas	Barcos de pesca, lanchas, yates

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.3.3. Conceptos básicos de torque, potencia y emisiones de gases

Torque: El torque se define como la fuerza de rotación aplicada a un objeto. En el contexto de los motores de combustión interna, el torque se refiere a la fuerza que genera el motor para hacer girar el cigüeñal. Se mide en unidades de fuerza por unidad de longitud, como Newton metro (Nm) o libra-pie (lb-ft). El torque es una medida de la capacidad de un motor para realizar trabajo y está relacionado directamente con la capacidad de aceleración y capacidad de carga del vehículo. Un mayor torque permite una mejor respuesta en la aceleración y una mayor capacidad para superar obstáculos o transportar cargas pesadas (Castillo et al., 2017).

Ecuación de torque:

$$T = F * d \quad (1)$$

- El par motor se expresa en Libras fuerza-pies (Lb ft) o Newton metros (Nm)

Potencia: La potencia es la tasa a la cual se realiza el trabajo. En los motores de combustión interna, la potencia se refiere a la cantidad de trabajo que el motor puede realizar en un período de tiempo determinado. Se mide en unidades de energía por unidad de tiempo, como caballos de fuerza (HP) o kilovatios (kW). La potencia es una medida de la velocidad a la que un motor puede generar trabajo y está relacionada con la velocidad máxima que puede alcanzar un vehículo. Un motor con mayor potencia puede generar más trabajo en menos tiempo, lo que resulta en una mayor velocidad y una mejor capacidad de respuesta (Castillo et al., 2017).

Ecuación de potencia:

$$P = 2\pi NT \quad (2)$$

- N corresponde a la velocidad del cigüeñal medida en Rev/min
- La potencia del motor se mide en caballos de fuerza (HP) o en Vatios (W)

Trabajo indicado: Se define como la energía transferida por la fuerza de expansión de los gases durante la combustión a lo largo del movimiento del pistón. Esta energía se utiliza para mover el cigüeñal y generar la potencia que impulsa el vehículo o la máquina. El cálculo del trabajo indicado en un MEP es complejo y requiere de información precisa sobre la presión y el volumen del cilindro en cada punto del ciclo de combustión (Payri & Desantes 2011, pp. 58-59).

Ecuación de trabajo indicado:

$$W = \int_{PMI\ Admision}^{PMI\ escape} p\,dv \quad (3)$$

- La ecuación corresponde a la integral del lapso de alta presión entre la PMI en admisión y escape.

Donde:

W es el trabajo realizado, *P* es la fuerza producida en el pistón, **PMI** es la presión medida indicada en ese instante *dv* es la distancia recorrida en el cilindro siendo la variación de volumen.

Consumo específico: Se define como la cantidad de combustible que se consume por unidad de trabajo realizado. Es una medida importante de la eficiencia del motor, ya que indica la cantidad de combustible que se necesita para producir una cantidad determinada de energía (Heywood 2018a, p. 66).

Ecuación de consumo específico:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{W} \quad (4)$$

Donde:

m_f: es la masa de combustible consumida en gr

W: Es el trabajo indicado en J

2.3.4. *Proceso de combustión de un MCI*

Un MCI está diseñado para aprovechar el poder calorífico de un combustible sin embargo se debe constatar que apenas se puede alcanzar el 25% del rendimiento total, esto en un motor de combustión interna a gasolina convencional, durante el proceso de la combustión se trata de alcanzar una mezcla estequiométrica ideal aproximándose a lo que se podría considerar como **combustión perfecta**, para aproximarse a esto la computadora con todos los parámetros

necesarios dentro de la electrónica del motor gestionará la mezcla para acercarse en la medida de lo posible a esta condición.

En la termodinámica y química, la combustión perfecta se describe como un proceso ideal en el cual el combustible reacciona en su totalidad con un agente oxidante y de esta forma generando productos específicos en proporciones estequiométricas. Este proceso sirve como referencia para analizar y comprender la parte teórica y práctica de la combustión.



Ilustración 2-3: Esquema de la combustión perfecta.

Fuente: Sánchez (2009).

En un esquema de combustión perfecta, se considera que la mezcla de combustible y oxidante está en proporciones precisas según la estequiometría de la reacción química. Por ejemplo, en la combustión completa del metano (CH₄) con oxígeno (O₂), la ecuación balanceada es:



En esta ecuación se muestra cómo un mol de metano reacciona con dos moles de oxígeno para producir un mol de dióxido de carbono y dos moles de agua. En el contexto de un esquema de combustión perfecta, todas las sustancias involucradas se consumen completamente, sin dejar residuos.

Durante este proceso teórico, se considera que la reacción ocurre a una temperatura constante, sin pérdida de energía térmica hacia el entorno. Además, la mezcla es homogénea y la velocidad de reacción es controlada únicamente por la disponibilidad de reactantes.

En la termodinámica, el concepto de combustión perfecta se usa como base para calcular propiedades como el calor liberado durante la reacción (entalpía de combustión) o para determinar el equilibrio de especies químicas en un sistema.

El concepto de la combustión perfecta es útil para realizar análisis teóricos, sin embargo, en la vida real, es poco probable que las condiciones cumplan con todos los requerimientos para el modelo ideal. En condiciones reales, factores como: la mezcla no homogénea, la presencia de impurezas, la variación en la velocidad de reacción y las pérdidas de calor, influyen significativamente en el proceso de combustión.

2.3.5. Los combustibles alternativos

Los combustibles alternativos para MEP son aquellos que pueden sustituir a la gasolina tradicional en estos motores, ofreciendo ventajas en términos de eficiencia, emisiones y sostenibilidad (Remache et al., 2021). Esta tabla describe algunos de los combustibles alternativos más relevantes, con un enfoque científico:

Tabla 2-5: Descripción general de combustibles alternativos.

Combustible	Propiedades	Ventajas	Desventajas	Consideraciones científicas
<p>Gas Natural (GNC)</p> 	<p>Compuesto principalmente por metano (CH_4). Incoloro e inodoro. Menor densidad energética que la gasolina.</p>	<p>Bajo costo, menor emisión de CO_2 y NO_x, mayor eficiencia.</p>	<p>Menor autonomía que la gasolina, infraestructura de carga limitada.</p>	<p>El metano tiene un alto potencial de calentamiento global (GWP), pero se quema de manera más limpia que la gasolina.</p>
<p>1. Gas Licuado de Petróleo (GLP)</p> 	<p>Mezcla de propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}). Incoloro e inodoro. Mayor densidad energética que el GNC.</p>	<p>Bajo costo, menor emisión de CO_2 y NO_x, mayor eficiencia.</p>	<p>Menor autonomía que la gasolina, infraestructura de carga limitada.</p>	<p>El GLP tiene un GWP menor que la gasolina, pero aún es un combustible fósil.</p>
<p>2. Biocombustibles</p>	<p>Combustibles derivados de biomasa, como el bioetanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) y el biodiesel (ésteres metílicos de ácidos grasos).</p>	<p>Renovable, biodegradable, reduce las emisiones de CO_2.</p>	<p>Menor densidad energética que la gasolina, mayor costo, producción puede competir con la producción de alimentos.</p>	<p>El uso de biocombustibles sostenibles puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.</p>

				
<p>3. Hidrógeno (H₂)</p> 	<p>Gas ligero, incoloro e inodoro. Alta densidad energética por unidad de masa.</p>	<p>Cero emisiones contaminantes, alta eficiencia.</p>	<p>Alto costo de producción y almacenamiento, infraestructura de carga limitada.</p>	<p>El hidrógeno es un combustible limpio, pero su producción y almacenamiento son desafiantes.</p>
<p>4. Electricidad</p> 	<p>No es un combustible en sí mismo, pero se utiliza para alimentar motores eléctricos.</p>	<p>Cero emisiones contaminantes, alta eficiencia, energía renovable.</p>	<p>Alto costo inicial del vehículo, infraestructura de carga limitada.</p>	<p>Los vehículos eléctricos son una alternativa viable a los MEP, especialmente con el desarrollo de la tecnología de baterías.</p>

Fuente: U. S. Department of Energy, 2021

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.3.6. Emisiones de gases producidos por los motores de combustión interna MEP

Las emisiones de gases son los subproductos de la combustión de combustibles en un motor de combustión interna. Estas emisiones pueden ser contaminantes y contribuir al deterioro de la calidad del aire y al cambio climático. Algunos de los gases emitidos por los motores de combustión interna incluyen dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y partículas en suspensión (PM). Reducir las emisiones de gases es un objetivo clave en la industria automotriz para mitigar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad (Rocha et al., 2018).

Implementar un sistema GLP permitiría analizar y mediante los resultados comparar los efectos del combustible GLP en el rendimiento del motor específicamente en las variaciones de Torque, Potencia y emisiones de gases, los resultados permitirían considerar al GLP como combustible alternativo frente a la gasolina convencional (Romero-Piedrahita & Mejía-Calderón, 2022).

2.3.7. Normativas de emisiones de gases de escape

2.3.7.1. Normas EURO de emisiones de gases

Las Normas EURO son un conjunto de normas establecidas por la Unión Europea (UE) para regular las emisiones contaminantes de los vehículos automotores. Las normas se aplican con el objetivo de proteger la salud pública y el medio ambiente mediante la reducción de la contaminación del aire. La primera norma EURO, EURO I, se introdujo en 1992. Desde entonces, se han implementado seis normas más, con la última, EURO VI, en vigor desde 2014. Cada nueva norma ha establecido límites de emisiones más estrictos que la anterior (EEA., 2024). La Norma aplicada al entorno automotriz ha demostrado ser efectiva para reducir las emisiones contaminantes del aire en la Unión Europea, se estima que redujo millones de muertes prematuras y la reducción de enfermedades respiratorias.

Tabla 2-6: Límites de emisiones de gases de acuerdo con normas EURO.

Norma	Año de Vigencia	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)	PN (1/km)
Euro I	1992	2.72	0.97	-	-	-
Euro II	1996	2.2	0.5	-	-	-
Euro III	2000	2.3	0.2	0.15	-	-
Euro IV	2005	1	0.1	0.08	-	-
Euro V	2009	1	0.1	0.06	0.05	-
Euro VI	2014	1	0.1	0.06	0.05	6x10 ¹¹

Fuente: Turbo oficina. N°39 2015 pag. 77.

2.3.7.2. Límites de emisiones en Ecuador

De acuerdo con la norma NTE INEN 2204, se establece los límites permitidos de emisiones de gases contaminantes producidos por vehículos automotores de gasolina. Los valores máximos se encuentran descritos en las siguientes tablas:

Tabla 2-7: Límites de emisiones de gases en Ecuador con motores de gasolina marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Año modelo	% CO*		Ppm HC*	
	0-1 500 **	1500 – 3 000 **	0-1 500 **	1500 – 3 000 **
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200
* Volumen				
** Altitud=Metros sobre el nivel del mar (MSNM)				

Fuente: NTE INEN 2204, 2002.

De acuerdo con los valores de la tabla:

- La norma NTE INEN 2204:2002 es una norma obsoleta, y se espera que sea reemplazada por una nueva norma en el futuro.
- La nueva norma se basará en normas internacionales más estrictas, como la norma Euro 6.
- Los vehículos que no cumplan con los límites de emisión de la nueva norma no podrán circular en Ecuador.

Además, es necesario considerar las regulaciones existentes para realizar ensayos de emisiones en condiciones estáticas y dinámicas dispuestas por la siguiente norma:

- NTE INEN 2203: Estable los mínimos requerimiento del sistema de escape para realizar ensayos de emisiones en el vehículo a gasolina en condiciones estáticas.

2.3.7.3. Factores de Emisión de gases contaminantes

Los valores de los **factores de emisiones de gases** se relacionan con la cantidad de un contaminante atmosférico emitido a causa de una actividad específica que genera la emisión. Estos valores sirven para medir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes, permitiendo a los gobiernos, empresas e individuos tomar decisiones informadas sobre la gestión ambiental.

2.3.7.4. *Importancia de la cuantificación de Factores de emisiones:*

La medición y el análisis de los factores de emisión son importantes para:

- **La evaluación del impacto ambiental:** Los factores de emisión permiten estimar la cantidad de gases contaminantes que se liberan a la atmósfera a partir de diferentes actividades, como la generación de energía, el transporte, la agricultura y la industria. La información es vital para la evaluación del impacto ambiental y desarrollar estrategias de mitigación frente al cambio climático y la contaminación del aire (Chamarravi O., Saavedra G. 2013)
- **El Cumplimiento de Normas:** De acuerdo con la legislación de la región, los gobiernos establecen normas y reglamentos ambientales que establecen límites en las emisiones de gases contaminantes, los factores de emisión son esenciales para verificar si las empresas y las actividades se ajustan a las normas establecidas (Tipanluiza et al., 2017).
- **Para el desarrollo de políticas públicas:** Mediante los datos obtenidos de los factores de emisión los gobiernos formulan políticas públicas con el objetivo de reducir las emisiones de gases contaminantes y promover la sostenibilidad ambiental (Sanchez et al., 2018).
- **Para tomar decisiones estratégicas:** Las empresas e industrias pueden utilizar los datos de los factores de emisiones, evaluar su huella de carbono e identificar oportunidades de mejora en sus procesos, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, con el objetivo de reducir sus emisiones y mejorar su eficiencia (Sandoval et al., 2022).

2.3.7.5. *Factores que influyen en los factores de emisión:*

Los factores de emisión pueden variar dependiendo de diversos factores, como:

- **Tipo de actividad:** Las emisiones de gases contaminantes varían considerablemente según la actividad que las genera. Por ejemplo, la generación de energía a partir de carbón produce más emisiones de CO₂ que la generación de energía a partir de energía solar.
- **Tecnología aplicada:** Las tecnologías aplicadas en las diferentes actividades pueden afectar significativamente los factores de emisión. Un claro ejemplo son los vehículos con tecnologías más modernas y eficientes que generalmente tienen menores emisiones que los vehículos con tecnologías más antiguas.
- **Combustible utilizado:** El tipo de combustible influye directamente en los factores de emisión. Por ejemplo, el gas natural produce menos emisiones de CO₂ que el carbón.
- **Condiciones climáticas y geográficas:** Las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad, pueden afectar a las emisiones de gases contaminantes.

2.3.7.6. Método directo para medición de emisiones de gases contaminantes con equipos homologados.

Los equipos de medición homologados miden directamente la concentración de gases contaminantes en la atmósfera. No se requiere de modelos o cálculos para obtener la concentración de gases, y los resultados de la medición se obtienen de forma inmediata.

Tabla 2-8: Ventajas de método directo de emisiones de gases.

Característica	Ventajas	Desventajas
Precisión	- Mayor precisión en la medición de emisiones.	- Equipos de medición costosos.
Confiabilidad	- Resultados más confiables.	- Requerimientos técnicos para la operación y mantenimiento.
Simplicidad	- Métodos más simples y fáciles de entender.	

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.4. Combustible Extra-85 RON

La gasolina Extra es un combustible de 85 octanos que se comercializa en Ecuador. Es la gasolina de mayor consumo en el país, debido a su precio accesible (Montero P., 2020).

Tabla 2-9: Características generales de combustible Extra-85 RON.

Característica	Valor
Octanaje	85
Precio	\$2,40 por galón
Combustión	Limpia y eficiente
Rendimiento	Buena en la mayoría de los vehículos
Emisión de contaminantes	Moderada
Combustible renovable	No
Compatibilidad	Alta compatibilidad con vehículos

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

2.5. GLP como combustible alternativo

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) ha emergido como una alternativa prometedora en el contexto de la movilidad sostenible. Este estudio se centra en la implementación del GLP en un motor de combustión interna a gasolina, explorando sus efectos en parámetros clave como el torque, la potencia y las emisiones de gases a una altitud de 2700 metros sobre el nivel del mar (msnm). El

uso de GLP, una mezcla de propano y butano promete no solo eficiencia energética sino también una reducción sustancial en las emisiones contaminantes (Sánchez A., pág. 1).

2.5.1. *Propiedades del GLP*

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) posee propiedades físicas y químicas consideradas una opción viable como combustible alternativo. Está constituido principalmente por propano y butano, el GLP posee una alta densidad energética, es decir contiene una considerable cantidad de energía en comparación con su volumen, esta característica es fundamental para garantizar un rendimiento eficiente en motores de combustión interna.

El GLP posee un punto de ebullición relativamente bajo, facilitando su almacenamiento y manejo. Por lo general se encuentra en estado líquido a presiones moderadas, se almacena de manera eficiente en tanques y se convierte en gas durante su liberación para la combustión en el motor.

El proceso de cambio de fase permite una mezcla homogénea con el aire, obteniendo una combustión más completa y de esta manera reducir las emisiones de gases contaminantes. Durante la fase de combustión, el propano y el butano generan dióxido de carbono CO₂ y agua H₂O como productos principales, en el proceso de combustión se minimiza la liberación de partículas sólidas y compuestos nocivos para la salud. Estas propiedades se podrían considerar para elegir al GLP como una opción para su uso como combustible (Chica, et al., 2010).

Tabla 2-10: Propiedades físicas del GLP.

Propiedad	Valor	Unidad
Masa molecular	44.1 g/mol (promedio)	g/mol
Densidad a 15°C y 1 atm	0.54 kg/m ³	kg/m ³
Punto de ebullición a 1 atm	-42°C	°C
Punto de congelación	-187.7°C	°C
Presión de vapor a 20°C	4.0 bar	bar
Inflamabilidad	Altamente inflamable	-

Fuente: GLP-Latam, 2015

Tabla 2-11: Propiedades Químicas del GLP.

Propiedad	Valor	Unidad
Calor de combustión	12.6 MJ/kg	MJ/kg
Índice de octano	110	-
Solubilidad en agua	Insoluble	-
Estabilidad química	Estable en condiciones normales	-

Fuente: GLP-Latam, 2015

2.5.2. Fundamentos teóricos de la conversión a GLP.

La conversión de motores de combustión interna a gasolina a GLP (gas licuado de petróleo) se basa en una serie de fundamentos teóricos relacionados con las propiedades del GLP y los aspectos técnicos de la adaptación del motor. Estos fundamentos son esenciales para comprender el proceso de conversión y maximizar los beneficios obtenidos. A continuación, se describen en detalle algunos de los aspectos teóricos clave (Arias R., 2019):

2.5.2.1. Propiedades del GLP

El GLP es una mezcla de hidrocarburos compuesta principalmente por propano y butano. Estos gases se licúan bajo presión moderada para facilitar su almacenamiento y transporte. El GLP tiene una alta densidad energética en comparación con la gasolina, lo que significa que contiene más energía por unidad de volumen. Esto permite una mayor autonomía de conducción con GLP en comparación con la gasolina (Vargas Ceballos, 2017).

2.5.2.2. Relación aire-combustible del GLP

La mezcla de aire combustible en un motor de combustión interna es fundamental para la eficiencia, existen relaciones estequiométricas derivadas de procesos de pruebas de funcionamiento práctico, en caso del GLP la relación estequiométrica es alrededor de 15:1 es decir se requiere 15 partes de aire por cada parte de GLP para una combustión completa (Romero-Piedrahita & Mejía-Calderón, 2022).

2.5.2.3. Sistema de alimentación

La conversión a GLP implica la instalación de un sistema de alimentación adecuado en el motor incluyendo: un tanque de almacenamiento de GLP, una válvula reguladora de presión, un sistema de inyección de GLP y un sistema de control electrónico. El sistema de inyección de GLP se encarga de suministrar la cantidad adecuada de GLP a la cámara de combustión en función de la demanda del motor (Castaño D, y Patiño G., 2010).

2.5.2.4. Modificaciones en el sistema de combustible

Para el proceso de conversión un motor de gasolina a GLP, se requieren modificaciones en el sistema de combustible existente. Es necesario la instalación de inyectores de GLP en lugar de los inyectores de gasolina, así como la adición de un sistema de mezcla y un sistema de encendido

dedicados para el GLP en el caso de ser necesario, por lo general en el mercado existen sistemas más simples que no requieren varias modificaciones en el sistema. Estas modificaciones permiten una correcta inyección y mezcla de GLP con el aire, así como una ignición adecuada (Mustaffa et al., 2016).

2.5.2.5. Ajuste del encendido de mezcla

En algunos casos la conversión de sistema GLP podría requerir ajustar el sistema de encendido de la mezcla, es decir se podría adelantar o retrasar, esto es aplicable para las computadoras programables, cuyo objetivo es modificar parámetros para garantizar un rendimiento óptimo del motor y llevarlos a condiciones de funcionamiento al límite.

2.5.2.6. Control y monitoreo

La conversión de un motor de gasolina convencional a GLP requiere un sistema de control y monitoreo adecuado para garantizar un funcionamiento adecuado se consideraría necesario la instalación de sensores de oxígeno, presión y temperatura, así como un sistema de gestión electrónica del motor, sin embargo, los nuevos sistemas disponibles en el mercado pueden adaptarse a las condiciones y componentes iniciales del sistema convencional de gasolina (Sourove et al., 2016).

2.5.3. Adaptación del sistema GLP al Motor con sistema convencional de combustible

El proceso de adaptación requiere un proceso cuidadoso entendiéndose que el sistema no debe presentar fugas que pongan en riesgo la integridad del conductor, así como de los ocupantes y del vehículo. El proceso de instalación con un sistema moderno de GLP implica la instalación de inyectores de GLP, ECU sensores, válvulas entre otros, diseñados para garantizar un correcto funcionamiento.

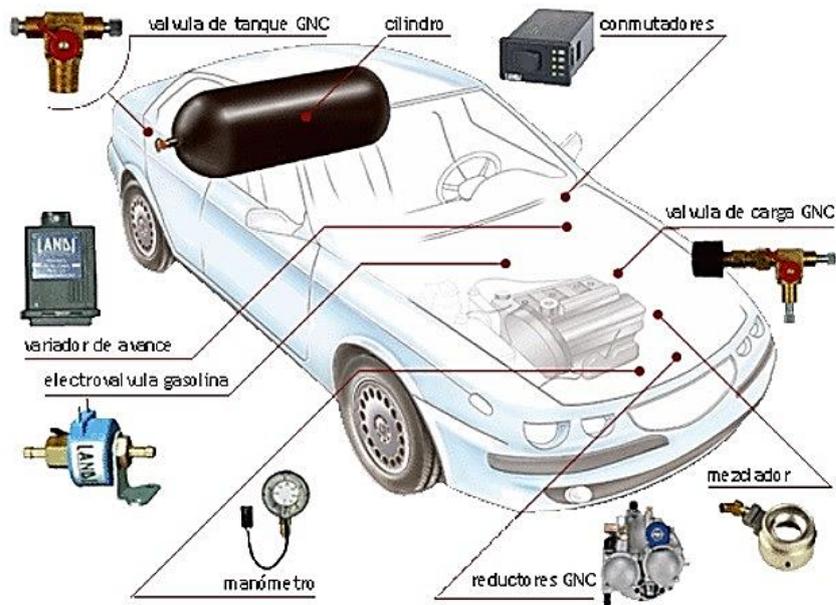


Ilustración 2-4: Componentes de un sistema GLP de tercera generación.

Fuente: MULTICARR ARZAPALO, 2019.

Adicionalmente de los inyectores, se requiere realizar ajustes en la relación aire-combustible para adaptar el motor al combustible GLP, el ajuste de la sincronización del sistema de encendido permite ignición precisa del GLP. Estas adaptaciones son esenciales para maximizar la eficiencia del motor con el nuevo sistema instalado.

La fase de adaptación del motor no solo implica ajustes mecánicos, sino también la implementación de sistemas de control electrónico que supervisen y regulen la inyección de GLP. Los sistemas están desarrollados y diseñados para optimizar la mezcla de combustible, garantizando una respuesta adecuada del motor en diversas condiciones de operación.

Para la implementación de sistema GLP en el motor es necesario un sistema que cumpla con las condiciones específicas de altitud (2700 msnm), considerando las variaciones en la densidad del aire y la presión atmosférica. El objetivo tras la conversión es que el motor mantenga su rendimiento eficiente.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

El presente proyecto de investigación se enfoca en abordar la problemática relacionada con la eficiencia y las emisiones de gases contaminantes en motores de combustión interna a gasolina. El propósito central es realizar la conversión de un motor de sistema a gasolina a sistema GLP para evaluar el impacto de la conversión en términos de rendimiento y emisiones, estableciendo un análisis comparativo.

Las pruebas de funcionamiento jugarán un papel crucial en la recopilación de datos. Se realizarán pruebas tanto antes como después de la conversión, utilizando un banco de pruebas dinámicas con sistema de inyección convencional de gasolina y, posteriormente, con el sistema GLP implementado. Durante estas pruebas, se medirán el torque, la potencia y las emisiones de gases, proporcionando información valiosa para el análisis comparativo.

El enfoque metodológico de esta investigación se estructura de manera rigurosa y sistemática, abordando cada fase con atención a los detalles para proporcionar una evaluación completa de la implementación de un sistema GLP en un motor de combustión interna a gasolina. Este enfoque busca contribuir significativamente al entendimiento de las implicaciones prácticas y ambientales de la conversión a GLP en el contexto de la movilidad sostenible.

El enfoque metodológico se basa en una serie de etapas claramente definidas que se muestran en el siguiente esquema:

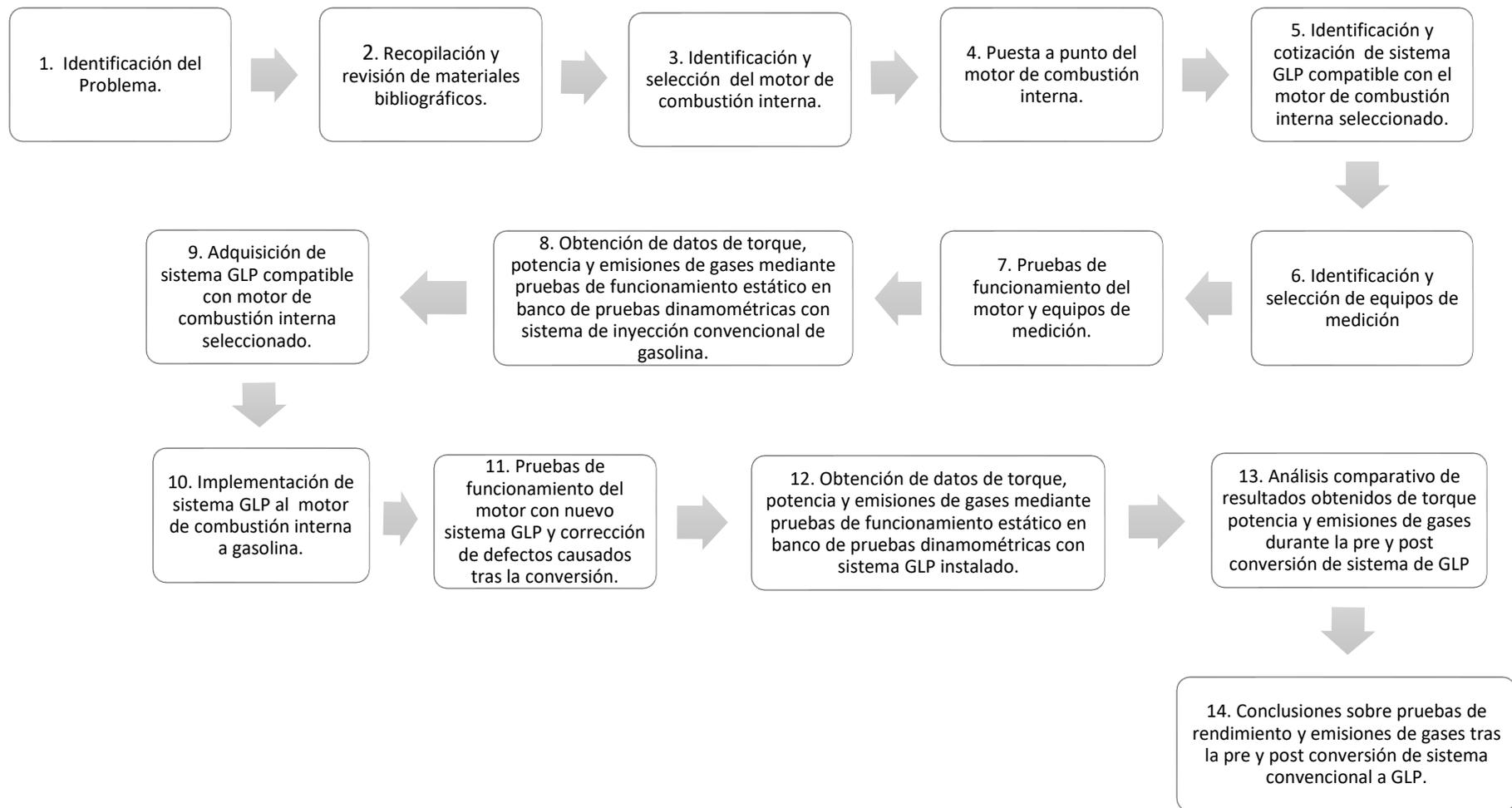


Ilustración 3-1: Esquema descriptivo de etapas del proyecto de investigación.

Realizado por: Pichasaca C., 2024.

3.2. Cronograma de actividades

Tabla 3-1: Cronograma de actividades programadas.

Actividad	Fecha de inicio	Fecha de fin	Duración (semanas)	Observaciones
1. Identificación del problema	16/10/2023	20/10/2023	1	
2. Recopilación y revisión de materiales bibliográficos	23/10/2023	27/10/2023	1	
3. Identificación y selección del motor de combustión interna	30/10/2023	3/11/2023	1	
4. Puesta a punto del motor de combustión interna	6/11/2023	10/11/2023	1	
5. Identificación y cotización de sistema GLP compatible con el motor de combustión interna seleccionado	13/11/2023	17/11/2023	1	
6. Identificación y selección de equipos de medición.	20/11/2023	24/11/2023	1	
7. Pruebas de funcionamiento del motor y equipos de medición	27/11/2023	1/12/2023	1	
8. Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases mediante pruebas de funcionamiento estático en banco de pruebas dinamométricas con sistema de inyección convencional de gasolina.	4/12/2023	8/12/2023	1	
9. Adquisición de sistema GLP compatible con motor de combustión interna seleccionado.	11/12/2023	12/12/2023		
10. Implementación de sistema GLP al motor de combustión interna a gasolina	13/12/2023	20/12/2023	1	
11. Pruebas de funcionamiento del motor con nuevo sistema GLP y corrección de defectos causados tras la conversión	03/01/2024	19/01/2024	1	
12. Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases mediante pruebas de funcionamiento estático en banco de pruebas dinamométricas con sistema GLP instalado	22/01/2024	02/02/2024	3	
13. Análisis comparativo de resultados obtenidos de torque potencia y emisiones de gases durante la pre y post conversión de sistema de GLP	19/02/2024	23/02/2024	1	
14. Conclusiones sobre pruebas de rendimiento y emisiones de gases tras la pre y post conversión de sistema convencional a GLP	26/02/2024	01/03/2024	1	Fin de las actividades programadas.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3. Descripción del esquema y desarrollo del proyecto de investigación

3.3.1. *Identificación del Problema:*

En este apartado, se describe el problema o la necesidad que motiva la realización de la investigación. Se detalla el contexto en el que surge la problemática y se justifica la importancia de abordar el tema de la conversión de motores de combustión interna a gasolina a GLP.

3.3.2. *Recopilación y revisión de materiales bibliográficos:*

Al definir e identificar la problemática que será abordada junto con los objetivos planteados, se determina que esta investigación se enmarca en un estudio de tipo campo o experimental, precedido por una revisión bibliográfica. Por lo tanto, para cumplir con estos requisitos, se llevará a cabo un análisis del comportamiento del motor bajo condiciones de operación mediante pruebas estáticas con el uso del banco dinamométrico.

3.3.3. *Identificación y elección del motor de combustión interna:*

De acuerdo con la disposición y complejidad de motores MEP en el laboratorio de Motores de la escuela de Ingeniería Automotriz de la Facultad de mecánica de la ESPOCH, se toma como modelo de pruebas al motor Chevrolet AVEO 1.6L cuyas características se describen a continuación:



Ilustración 3-2: Motor Chevrolet Aveo 2010.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 3-2: Datos técnicos de MCI.

Marca de origen	Chevrolet
Modelo	Aveo 2010
Cilindrada de Motor	1.61 L-16 Válvulas
Numero de cilindros	4
Distribución	DOHC
Combustible	Gasolina
Potencia Máxima	106 CV a 5800 rpm.
Par Máximo	145 Nm a 3600 rpm

Fuente: (Auto-Data.net 2010)

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.4. Puesta a punto del motor de combustión interna:

Al comprobar que el motor presentaba problemas de funcionamiento relacionados a desgaste, se procede a extraer el motor del banco de pruebas dinamométrico para su posterior rectificación proceso el cual se describe a continuación:

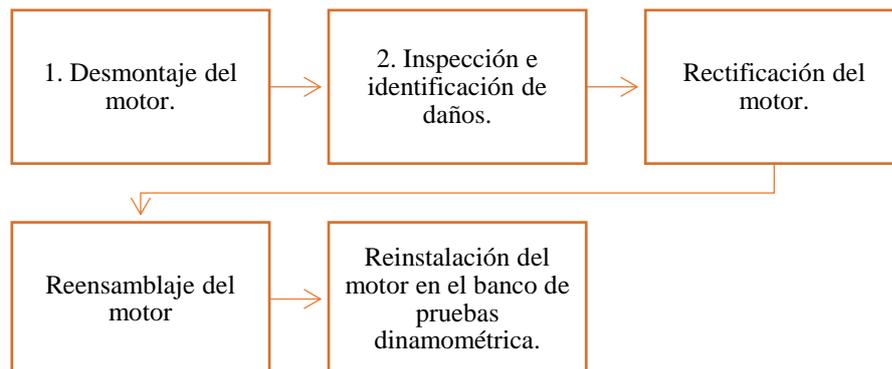


Ilustración 3-3: Diagrama de proceso de rectificación de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.5. Identificación y cotización de sistema GLP compatible:

Para identificar el equipo de conversión apto para el motor de pruebas se requirió de una exhaustiva investigación, considerando que la adaptación del sistema en nuestro país se encuentra restringido en vehículos particulares además de que no es común en la ciudad de Riobamba. De acuerdo con las características del motor es apto usar un sistema de tercera generación que suministra GLP dosificado directamente en la entrada antes del cuerpo de aceleración, se podría describir al sistema como parecido al sistema de carburación.

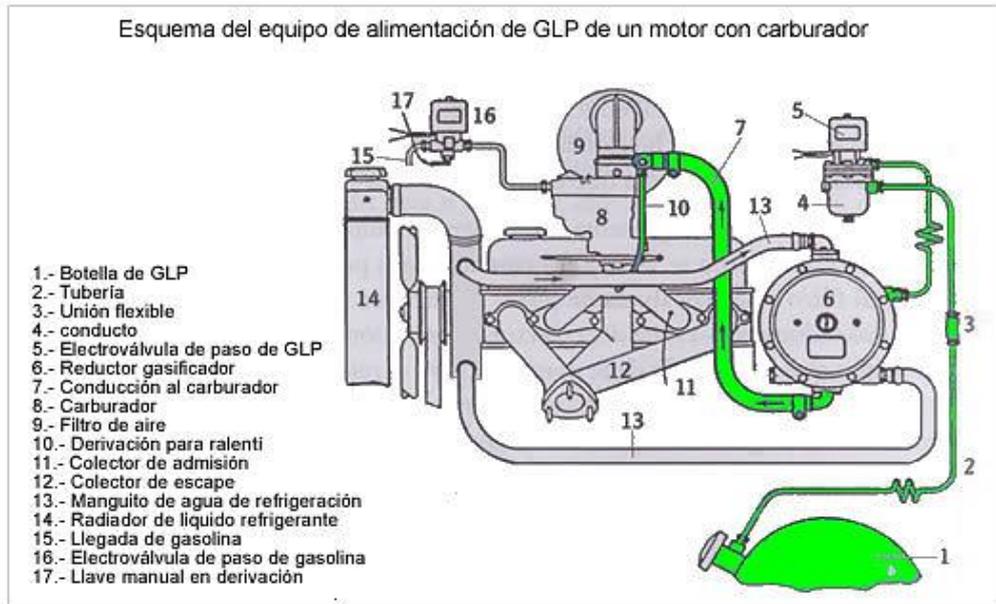


Ilustración 3-4: Esquema de alimentación de GLP en un MEP.

Fuente: (Valvulita, 2011)

3.3.6. Equipos de medición:

3.3.6.1. Dinamómetro de motor Borghi & Saveri FA200 Reacondicionado.



Ilustración 3-5: Dinamómetro DYNO_BORGHIS&SAVERI.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Como apoyo para la adquisición de datos en el apartado de monitoreo de RPM y simulación de cargas, se utilizó el dinamómetro BORGHI & SAVERI reacondicionado, mediante el software que incorpora este equipo.

Para realizar las pruebas se requiere seguir un orden de pasos necesarios para ejecutar de forma segura desde en proceso de encendido del motor, así como el panel del banco dinamométrico y aplicación de cargas (Cusanguá & Asqui, 2021 pag:78-88).

- Se requiere verificar que el motor acoplado al dinamómetro se encuentre en condiciones óptimas de funcionamiento, además de no existan elementos que puedan generar algún tipo problema con las piezas móviles.
- Se conecta la fuente de voltaje en el panel de control del dinamómetro indicada en la ilustración, de acuerdo con los parámetros de funcionamiento se debe aplicar un voltaje en CC de 8V. y activar el interruptor de encendido.
- Como el sistema es dual es necesario verificar el combustible tanto en el tanque de reserva de gasolina y del GLP.
- Verificar el funcionamiento correcto del sistema de refrigeración del motor y del dinamómetro además de que el reservorio cuente con el nivel adecuado de agua.
- Verificar fuente de alimentación eléctrica del sistema y del motor (Batería).
- Instalación de conducto de extracción de gases de escape hacia el exterior.
- Conexiones de cables de alimentación y conexión de circuito electrónico hacia el computador.
- Ejecución del software incorporado en la computadora denominado DYNO_BORGHI & SAVERI. (Cusanguá & Asqui, 2021).



Ilustración 3-6: Programa DYNO_BORGHI&SAVERI.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Interfaz del programa:

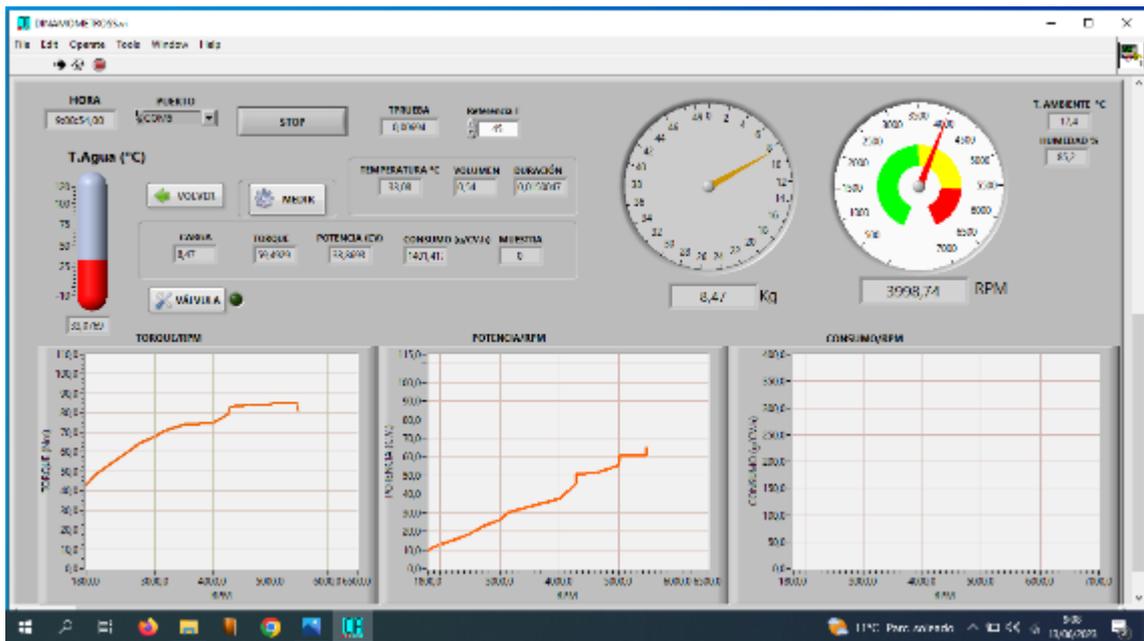


Ilustración 3-7: Interfaz de software para control de RPM de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.6.2. Dinamómetro de Rodillos DINOCOM

Este equipo se usó para obtener datos de torque y potencia iniciales. Las características se encuentran detalladas a continuación:



Ilustración 3-8: Modelos de dinamómetro DINOCOM AWD 5000 GDFX

Fuente: (Dynocom Inc, 2023)

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas de dinamómetro de rodillos.

Tipo de Dinamómetro	Dinamómetro de inercia
Marca:	DYNOCOM INC
Modelo:	AWD 5000 GDFX
Capacidad:	2250 hp
Resultados tras las pruebas:	Potencia Motor Torque Motor Potencia Rueda Torque a Rueda

Fuente: (Dynocom Inc, 2023)

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024



Ilustración 3-9: Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

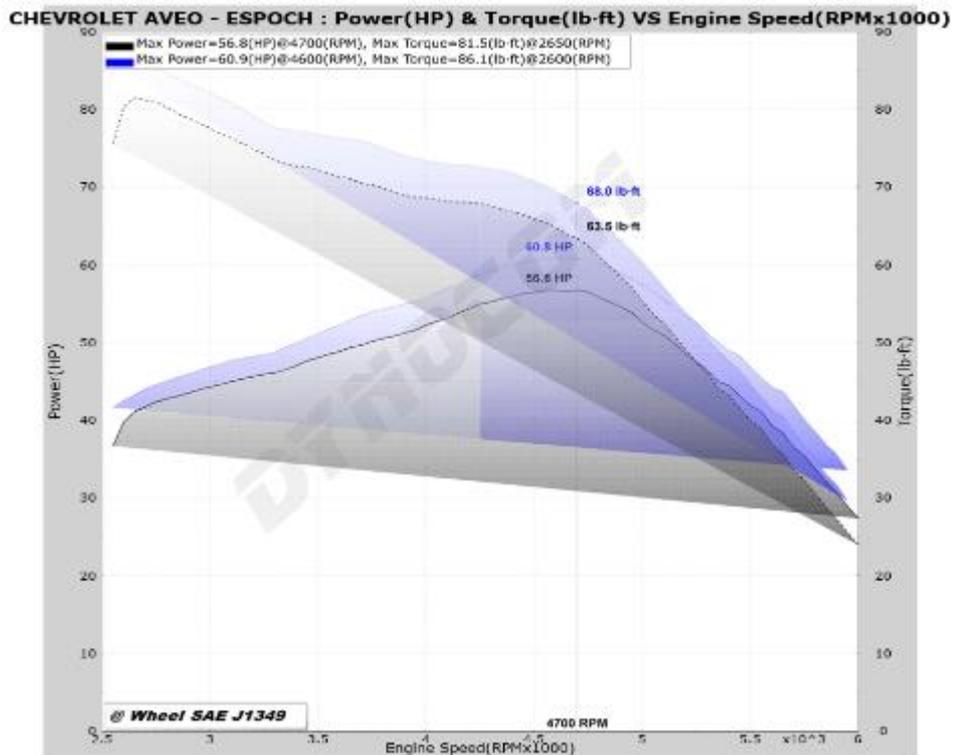


Ilustración 3-10: Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.

Fuente: Banco dinamométrico Mundo Tuerca 2023.

3.3.6.3. Equipo de medición de Bujías Piezoeléctricas AVL

El equipo de medición de bujías piezoeléctricas AVL es un sistema avanzado para la medición precisa de la presión y volumen en el interior del cilindro de un motor de combustión interna. Este sistema utiliza bujías especiales que contienen sensores piezoeléctricos que detectan las vibraciones acústicas generadas por la combustión. Estas vibraciones se convierten en señales eléctricas que se pueden analizar para obtener información sobre la presión y la temperatura dentro del cilindro.



Ilustración 3-11: Grafica de torque y potencia obtenidos en las pruebas.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Para el proceso de medición, es imperativo realizar una serie de pasos para configurar adecuadamente el equipo en el software correspondiente. Esto asegurará que el sistema pueda reconocer de manera efectiva las señales provenientes de las bujías piezoeléctricas, las cuales poseen una codificación específica para su identificación. El propósito de esta codificación es permitir que la tarjeta de adquisición de datos pueda interpretar de manera precisa y adecuada los valores capturados.

1. De acuerdo con el estudio de (Vera, D. & Arias, J., 2023), los pasos necesarios para la configuración son los siguientes (pág. 31):
2. Colocación precisa del sensor piezoeléctrico junto con su respectivo acoplamiento para el motor.
3. Verificación de que los valores de temperatura de funcionamiento se encuentren dentro de los parámetros normales.
4. Confirmación de una comunicación óptima entre los elementos que integran el sistema "AVL Ditest for analysis combustion".

5. Verificación de la correcta conexión del sensor de RPM y su emisión adecuada de señales al acondicionador de pulsos universal.
6. Realización de una aceleración progresiva cada 500 RPM, manteniendo la estabilidad durante 10 segundos para estabilizar el motor y obtener revoluciones puntuales de estudio.
7. Adquisición de datos de volumen vs. presión se lleva a cabo a intervalos de 500 RPM iniciando desde 1000 RPM hasta alcanzar 5500 RPM.
8. Exportación de los datos en formato (.txt), con la necesidad de crear una carpeta específica para su almacenamiento.
9. Para la obtención y análisis de cada conjunto de datos es necesario reiniciar el proceso y esperar que se cumpla el número de ciclos antes de exportar los datos obtenidos.

Seguir los pasos descritos permitirá obtener datos precisos y sobre todo garantizar la fiabilidad de las mediciones durante el funcionamiento del motor.

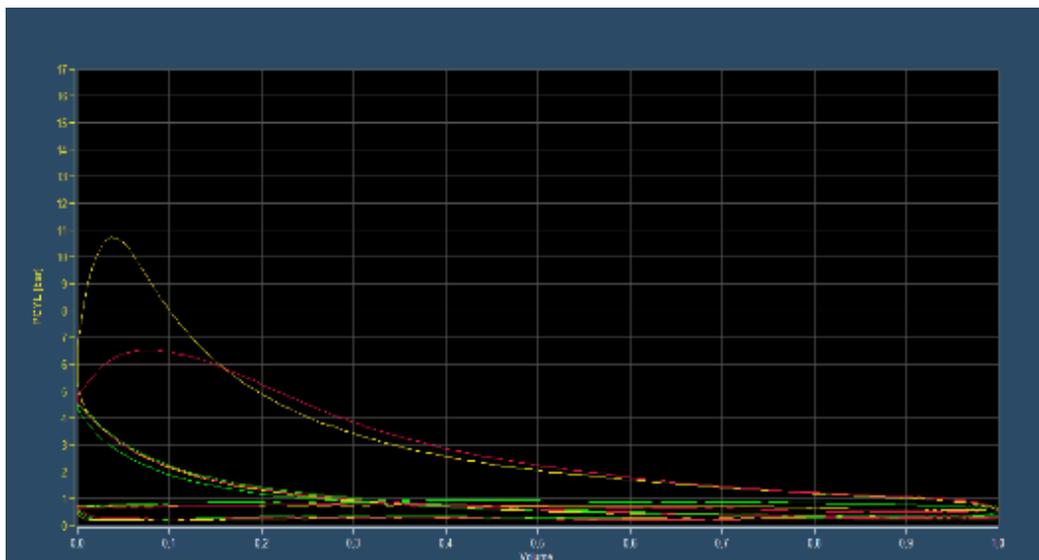


Ilustración 3-12: Curva de presión vs volumen representada en el software Indicom.

Fuente: Vera, D. & Arias, J., 2023

3.3.6.4. Equipo de medición de consumo de combustible por método gravimétrico para combustible extra-85 RON.

El enfoque gravimétrico emerge como una estrategia directa para cuantificar el consumo de combustible. Su fundamento reside en la premisa de que la masa de combustible consumido equivale a la diferencia entre la masa de combustible en el depósito antes y después de la evaluación. Mediante un sensor de presión emplazado en la base de la balanza, se captan mínimas variaciones, las cuales son interpretadas por un dispositivo Arduino, simplificando tanto la visualización como el registro de los datos relativos a la fluctuación del combustible.

En el ámbito de las pruebas en el banco, se han implementado ajustes en el contenedor, la bomba y las líneas de conducción externas para optimizar el proceso de cambio de combustible, reduciendo el riesgo de desperdicio y facilitando la tarea de limpieza de los excedentes. La adopción de un contenedor transparente ha propiciado una recarga constante cuando las condiciones de las pruebas así lo han demandado (Clavijo & Tamami, 2022).

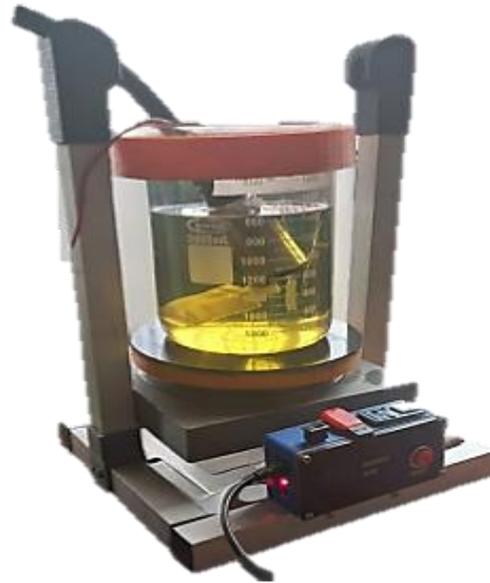


Ilustración 3-13: Equipo de medición de consumo de combustible.

Fuente: Pichasaca C., 2024

Tabla 3-4: Datos técnicos de la balanza gravimétrica de combustible

Componente:	Descripción
Balanza gravimétrica	Sensor de presión
Fuente de alimentación	5 V
Tarjeta Arduino	Nano
Accesorios necesarios para análisis visualización de datos	CPU, laptop
Volumen máximo de recipiente.	2 litros
Modelo de bomba externa.	Bosch de 4 bares
Tipo de almacenamiento	Tarjeta micro SD

Fuente: Clavijo & Tamami, 2022.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Proceso para pruebas de consumo:

1. Asegure un suministro adecuado de combustible en el depósito, garantizando un nivel óptimo para la realización de las pruebas.
2. Inicie el motor y establezca su funcionamiento bajo una carga controlada y predefinida.

3. Inicie el dispositivo Arduino para la recopilación de datos, almacenándolos en una tarjeta de memoria. Calcule el consumo de combustible para cada revolución específica utilizando los datos almacenados en un microSD. Para determinar el valor de la masa consumida, se realiza una resta entre el valor máximo y mínimo obtenido durante las pruebas, las cuales tienen una duración de 10 segundos (Clavijo & Tamami, 2022, pág. 32).

3.3.6.5. Equipo de medición de consumo de combustible mediante caudalímetro sensor de temperatura y presión.

En el ámbito de la investigación y desarrollo en la ingeniería de motores de combustión interna, la medición precisa del consumo de combustible es un aspecto crucial para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los sistemas propulsores. En este contexto, se ha desarrollado un equipo innovador de medición de consumo de combustible, que emplea tecnología de vanguardia y metodologías científicas rigurosas.

Para el estudio al no contar con un caudalímetro sensible y normado, fue necesario crear un circuito programado con Arduino y un sensor de caudal de efecto hall. Con las siguientes características:

Tabla 3-5: Características técnicas sensor de caudal volumétrico.

Parámetro:	Descripción
Caudalímetro digital	Con sensor de presión y pantalla de información TFT.
Fuente de alimentación	5 V
Tarjeta Arduino	Nano
Tipo de sensor y modelo	Sensor de efecto hall modelo: YF-S201C
Rango de medición	1-30 Litros por minuto.
Presión máxima admisible	< 1,75 MPa
Almacenamiento	Solo permite visualizar

Fuente: Arduino, Hwlibre., 2024.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024



Ilustración 3-14: Equipo de medición de consumo de combustible caudalímetro digital.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El caudalímetro se incorpora en la cañería de baja presión de combustible con los adaptadores necesarios. Este equipo de medición se fundamenta en la utilización de un sensor de caudalímetro, el cual ha sido meticulosamente programado con la plataforma Arduino. El caudalímetro es un dispositivo altamente sensible y preciso, diseñado para medir el flujo volumétrico de combustible que circula a través de él. La programación específica realizada en el Arduino permite la captura y el procesamiento eficiente de los datos del caudalímetro, asegurando una medición fiable y precisa del consumo de combustible.

Además del sensor de caudalímetro, el equipo de medición cuenta con una sonda de temperatura. Con las siguientes características:

Tabla 3-6: Características técnicas sensor de caudal volumétrico.

Parámetro:	Descripción
Sensor de temperatura	Sonda de temperatura de 4 mm
Fuente de alimentación electrónica	12 V Circuito integrado prefabricado con pantalla de información TFT
Rango de medición	-50 a 99°C
Calibración de temperatura	-10-10°C
Almacenamiento	Solo permite visualizar

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024



Ilustración 3-15: Equipo de medición de temperatura de combustible.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Esta sonda está diseñada para monitorear de manera continua la temperatura del combustible durante el proceso de combustión. La temperatura del combustible es un parámetro crítico que influye en su viscosidad, densidad y capacidad calorífica, y por lo tanto, tiene un impacto significativo en la eficiencia del motor y en las emisiones de escape. La incorporación de la sonda de temperatura permite una evaluación exhaustiva del comportamiento térmico del combustible en condiciones de operación real.

Para los cálculos correspondientes al consumo es necesario medir la presión de trabajo del combustible para lo cual se usó un sensor de presión conectado a un osciloscopio PicoScope, junto con el software correspondiente de la misma marca. El sensor de presión tiene la capacidad de detectar mínimas variaciones en la presión del sistema de combustible, lo que proporciona información valiosa sobre la inyección y la combustión del combustible en el motor. El osciloscopio PicoScope, con su software especializado, permite la visualización y el análisis detallado de las señales de presión, facilitando la identificación de patrones y tendencias relevantes para el rendimiento del motor.

Sin embargo, no se registró ningún aumento de temperatura entendiéndose que la presión normal de trabajo corresponde a la presión atmosférica en ese punto.

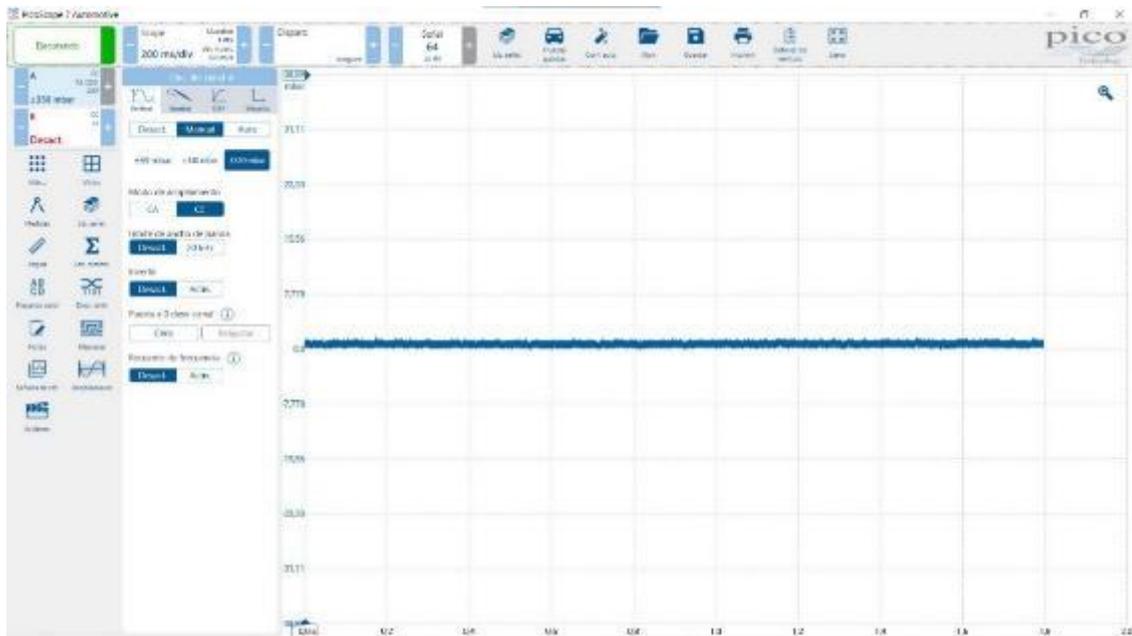


Ilustración 3-16: Equipo de medición de temperatura de combustible.

Fuente: Software PicoScope 7.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Para calcular el consumo se realizó pruebas desde 1000 RPM a 5500 RPM cada 500 RPM con 50 y 100% de carga, se monitorean los datos obteniendo la siguiente tabla de datos.

Tabla 3-7: Resultados de pruebas de caudal y temperatura a 50% de carga.

RPM	Temperatura °C	Temperatura K	L/min Sensor
1000	21,7	5927,355	1,593900
1500	21,8	5954,67	2,578411
2000	22,3	6091,245	2,859704
2500	22,6	6173,19	3,381664
3000	22,8	6227,82	4,266174
3500	23,2	6337,08	4,481646
4000	23,5	6419,025	5,531997
4500	25,2	6883,38	6,516526
5000	25,3	6910,695	7,641702
5500	25,6	6992,64	7,782349

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 3-8: Resultados de pruebas de caudal y temperatura a 100% de carga.

RPM	Temperatura °C	Temperatura K	L/min Sensor
1000	22,5	6145,875	1,031294
1500	22,6	6173,19	2,015823
2000	23,2	6337,08	2,719058
2500	26,6	7265,79	3,562939
3000	24,5	6692,175	4,125527
3500	24,8	6774,12	4,969409
4000	25,2	6883,38	6,235232
4500	25,4	6938,01	12,423699
5000	25,7	7019,955	12,648228
5500	25,8	7047,27	13,267581

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Al considerar que el sensor de caudal corresponde a un sensor de H₂O es necesario aplicar un factor de corrección para encontrar el valor real del caudal de GLP y transformar este valor de caudal volumétrico a flujo de masa, conversión importante para el estudio.

Parámetros iniciales:

Tabla 3-9: Valores importantes necesarios para los cálculos a 2700 msnm.

R	0,0823	atm·L/K·mol	Para factor de corrección		
Presión atmosférica	0,73032322	atm	densidad del agua	996,46	kg/m ³
Densidad molar GLP	43.234	g/mol	Densidad del glp	70,22786917	kg/m ³

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Los valores de la tabla 3-9 son necesarios para realizar los cálculos correspondientes al factor de corrección y transformación de caudal volumétrico en L/min a flujo másico en gr/s, además es necesario recalcar que corresponde a las condiciones de altitud y temperatura donde se realizó el estudio.

Para la conversión es necesario deducir la fórmula de la densidad del GLP, para lo cual se iniciará a partir de la deducción de la ley ideal de los gases a partir de la cual se obtiene el valor de la densidad cuya fórmula se representa en la ecuación (6) (Quimitube., 2015).

Fórmulas de cálculo de consumo en gr/s a partir caudal expresado en L/min:

- Densidad:

$$d = \frac{P * M}{R * T} \quad (6)$$

- Factor de corrección:

$$F_C = Q_{agua} \left(\frac{\rho_{gas}}{\rho_{agua}} \right) \quad (7)$$

La fórmula es una aproximación que se basa en la diferencia de densidades entre el agua y el GLP, considerando que la única diferencia entre los dos fluidos que afecta a la medición del sensor es la densidad.

La fórmula se deriva del principio de conservación de masa, que establece que: El caudal de un fluido a través de un área dada es constante (Víctor S. et al., 2000). En este caso, se considera que el caudal medido por el sensor diseñado para agua se ajustará proporcionalmente para representar el caudal real de GLP, considerando la diferencia de densidades.

Este valor se multiplica por el caudal inicial medido para obtener el valor de GLP.

- Para la conversión de caudal volumétrico en m³/s a flujo másico en Kg/s utilizamos la formula descrita en la ecuación (8):

$$Q_{masa\ de\ GLP} = Q_{volumétrico} \frac{m^3}{s} * Densidad\ de\ GLP \quad (8)$$

Tras la recopilación de datos se obtuvo las siguientes curvas de consumo de GLP.

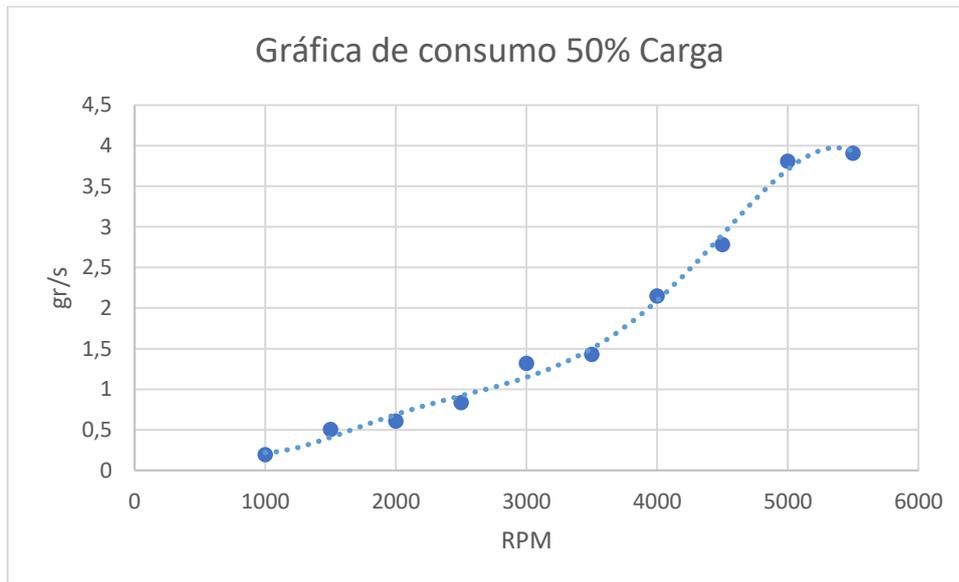


Ilustración 3-17: Curva de consumo de GLP en gr/s vs RPM a 50% de carga

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

En la Ilustración 3-17, se tiene la relación entre las RPM del motor y el consumo de combustible GLP con 50% de carga. Se observa que el consumo de combustible aumenta a medida que

aumentan las RPM del motor. Es decir, el motor necesita más combustible para generar más potencia a velocidades más altas.

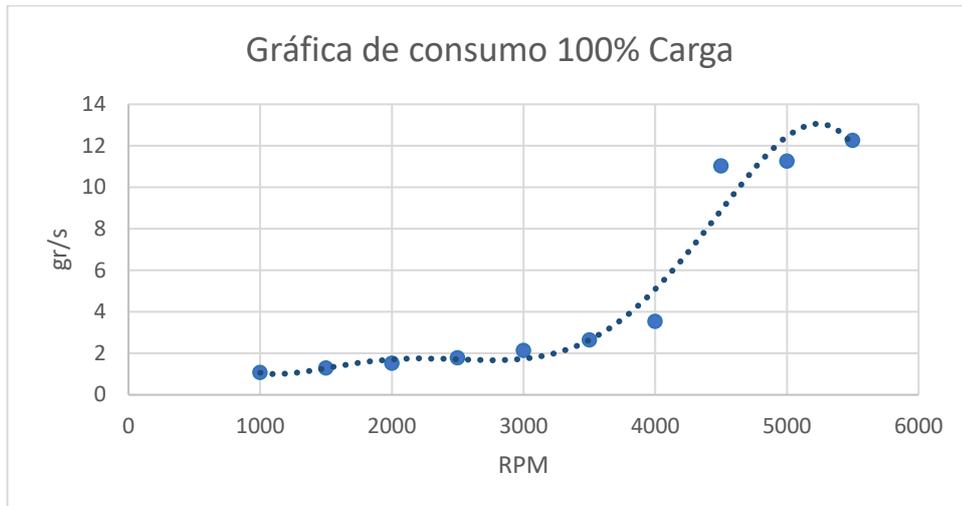


Ilustración 3-18: Curva de consumo de GLP en gr/s vs RPM a 100% de carga

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La Ilustración 3-18, muestra la relación entre el RPM del motor y el consumo de combustible GLP a una carga del 100%. Se observa que el consumo de combustible aumenta a medida que aumenta el RPM del motor, sin embargo, a diferencia de la gráfica 3-14 a 50% de carga esta presenta un consumo bajo hasta las 3000 RPM, a partir de este punto el consumo aumenta drásticamente, se podría decir que a partir de las 3000 RPM con una carga al 100% necesita más combustible para generar más potencia a velocidades más altas.

3.3.6.6. Analizador de gases MAHA MET 6,3



Ilustración 3-19: Esquema de alimentación de GLP en un MEP

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El analizador de gases MAHA MET 6.3 es un equipo de medición de última generación diseñado para analizar las emisiones de gases de escape en vehículos con motores de gasolina, diésel y GLP. Se caracteriza por su precisión, confiabilidad y facilidad de uso, lo que lo convierte en una

herramienta indispensable para talleres automotrices, centros de inspección técnica vehicular y estaciones de servicio.

Características principales:

- **Medición precisa de gases:** El MET 6.3 mide con precisión los siguientes gases:
 - **HC:** Hidrocarburos no quemados
 - **CO:** Monóxido de carbono
 - **CO2:** Dióxido de carbono
 - **O2:** Oxígeno
 - **Lambda:** Relación aire-combustible
- **Diseño compacto y robusto:** El MET 6.3 es un equipo compacto y ligero, lo que facilita su transporte y almacenamiento. Cuenta con una carcasa de plástico de alta calidad que lo protege contra golpes y polvo.
- **Pantalla táctil intuitiva:** El MET 6.3 cuenta con una pantalla táctil a color de alta resolución que facilita la navegación y el control del equipo. La interfaz es intuitiva y fácil de usar, incluso para usuarios sin experiencia previa.
- **Conectividad y software:** El MET 6.3 se puede conectar a una computadora a través de una interfaz USB o LAN. Esto permite transferir datos de medición para su análisis e impresión. También se puede utilizar un software opcional para realizar diagnósticos y configuraciones avanzadas.
- **Versatilidad:** El MET 6.3 es compatible con una amplia gama de vehículos, incluyendo automóviles, camiones, motocicletas y vehículos pesados.
- **Cumplimiento de normas:** El MET 6.3 cumple con las normas internacionales de medición de emisiones de gases de escape, como la norma ISO 3930 (MAHA, 2022).

Tabla 3-10: Rangos de precisión de medición de datos de analizador MAHA MET 6.3.

Componentes para medir	CO	CO2	HC	O2	NOx
Rango de medición	0-15.0% (vol.)	0-20.0% (vol.)	0-2000 ppm (hexano, vol.) 0-4000 ppm (propano, vol.)	0-25.0% (vol.)	0-5000 ppm (vol.)
Precisión de medición	0.03% (vol.)	0.05% (vol.)	10 ppm (vol.)	0.1% (vol.)	32-120 ppm (vol.)
Rango de error de medición	0.001% (vol.)	0.01% (vol.)	10 ppm (vol.)	0.01% (vol.)	1 ppm (vol.)
Principio de medición	Rayos infrarrojos	Rayos infrarrojos	Rayos infrarrojos	Electroquímica	Electroquímica
Valor lambda	Rango de presentación 0.5-9.999/div. Capaz:0.001/calculado basado en Brettschneider				

Fuente : (MAHA 2024, MAHA MET 6.3).

3.3.6.7. Proceso de medición de emisiones de gases:

Las pruebas de emisiones de gases se realizaron en 10 regímenes de motor entre 1000 rpm y 5500rpm en dos fases a media carga 4V y carga completa 8V. para el proceso se requiere seguir los siguientes pasos:

- Verificar que la temperatura operativa del vehículo se encuentre dentro de los rangos aceptables definidos.
- Inspeccionar la integridad del sistema de escape y asegurarse de que no haya grietas presentes ni modificaciones al diseño original.
- Garantizar la limpieza de la sonda de medición y colocarla en el tubo de escape de manera que quede firmemente sujeta para evitar una toma incorrecta de mediciones.
- Realizar la toma de mediciones cuando el motor se encuentre en un estado de estabilidad de revoluciones durante un período de 10 segundos.
- Para obtener un único valor de emisiones en las revoluciones específicas, calcular el promedio de las mediciones tomadas durante los 10 segundos mientras se estabilizan las revoluciones por minuto (rev/min) del motor.

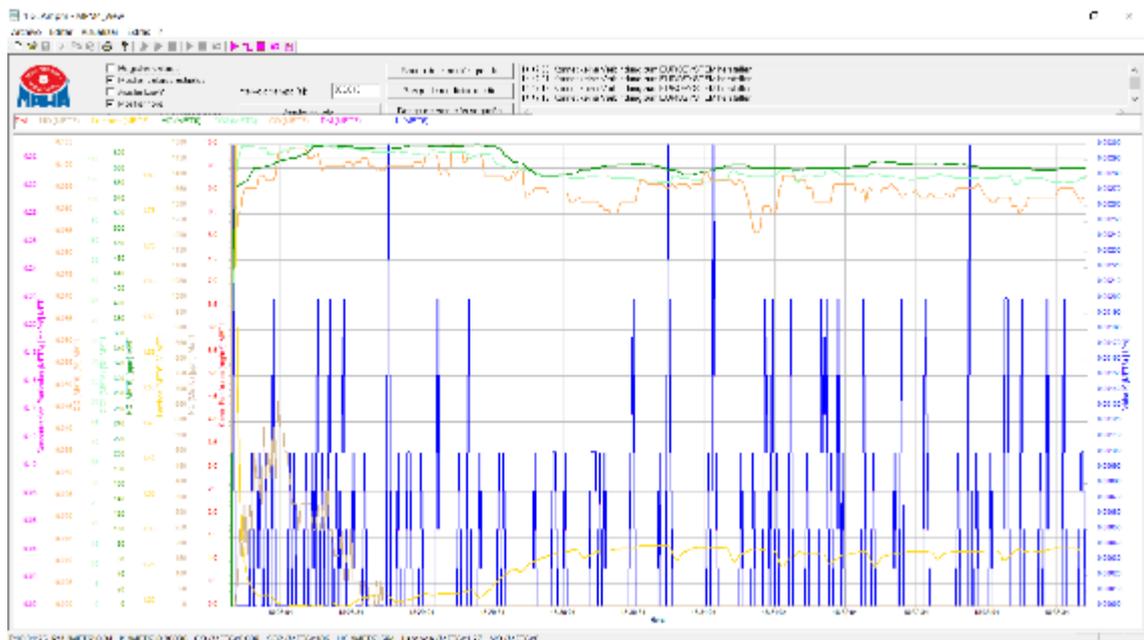


Ilustración 3-20: Interfaz de software de control y almacenamiento de datos MAHA

Fuente: Software de recopilación de datos MAHA MET 6.3.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.6.8. Ecuación estequiométrica de combustible Extra y GLP:

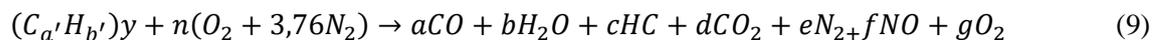
Según lo manifiesta (Guamán J, 2023) la ecuación estequiométrica de combustión es una representación química que describe la combustión completa de un combustible en presencia de

oxígeno. Esta ecuación precisa la cantidad exacta de oxígeno necesaria para quemar completamente una cantidad determinada de combustible. La importancia de la ecuación estequiométrica radica en su capacidad para determinar la cantidad óptima de aire necesaria para quemar un combustible de manera eficiente. También se utiliza para calcular las emisiones generadas durante el proceso de combustión (pág. 19-21).

La ecuación estequiométrica puede variar dependiendo del tipo de combustible:

- En la práctica, la cantidad de aire requerida para una combustión eficiente puede ser mayor que la cantidad estequiométrica debido a que, en ocasiones, no todo el combustible se quema completamente.
- Las emisiones resultantes de la combustión pueden incluir gases como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y las partículas finas.

En base al estudio de (Guamán J, 2023) la ecuación que representa la fórmula de combustión está dada por la ecuación (9), (pág.20):



Las variables **a, b, c, d, e, f, g** y **n** son coeficientes estequiométricos desconocidos y definidos como:

n: Moles formados de aire consumido/mol de combustible consumido

a: Moles formados de CO / mol de combustible consumido

b: Moles formados de H₂O / mol de combustible consumido

c: Moles formados de C₃H₆ / mol de combustible consumido

d: Moles formados de CO₂ / mol de combustible consumido

e: Moles formados de N₂/ mol de combustible consumido

f: Moles formados de NO/ mol de combustible consumido

g: Moles formados de O₂/ mol de combustible consumido

El balance de ecuaciones mediante el método algebraico para reactivos como para los productos de la reacción serían los siguientes:

Tabla 3-11: Balance químico por el método algebraico.

Elemento	Reactantes	Ecuación
Carbono	1	$a + 3c + d$
Hidrógeno	y	$2b + 6c$
Oxígeno	$0.42m$	$a + b + 2d + f + 2g$
Nitrógeno	$1.58m$	$2e + f$

Fuente: (Guaman J, 2023)

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.7. Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases con sistema convencional de Gasolina.

Para iniciar en este apartado se usa el equipo AVL realizando las conexiones necesarias y adecuadas del equipo así, se obtendrá valores presión y volumen de cada cilindro y en base a esta información se debe realizar cálculos para obtener los valores deseados, las fórmulas aplicadas se encuentran descritas en la siguiente tabla:

Tabla 3-12: Ecuaciones para el cálculo de torque y potencia en base a la presión y volumen.

Término	Ecuación:
Trabajo instantáneo	$W_{insta} = \Delta Volm * Presión[kPa] * 1000[J]$
Trabajo neto	$W_{neta} = W_{insta} + \dots + W_{insta720} [J]$
Trabajo total	$W_{total} = W_{neta 1} + W_{neta 2} + W_{neta 3} + W_{neta 4} [J]$
Tiempo del ciclo	$t_c = \frac{120}{rpm} [s]$
Velocidad angular	$\omega = \frac{rpm * \pi}{60} [rad/s]$
Potencia Indicada	$N = \frac{W_{total}}{t_c} [watts]$
Torque Indicado	$T = \frac{N}{\omega} [N.m]$

Fuente: Vera, D. & Arias, J., 2023

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Posterior a los cálculos realizados se obtiene las siguientes tablas de valores considerando que el análisis se realiza a 50% de carga y 100% de carga:

Tabla 3-13: Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 50% Carga.

RON	RPM	Potencia Extra (Hp)	Torque Extra (N.m)	Trabajo (J)
85	1000	1,648737506	11,74052843	147,5358315
85	1500	1,996353171	9,477247923	119,0946098
85	2000	4,234817808	15,07790012	189,474481
85	2500	4,68562813	16,29273301	204,7405213
85	3000	8,087886643	19,19773215	241,2458172
85	3500	9,245282786	18,80997777	236,3731518
85	4000	14,5686516	25,93555185	325,9157566
85	4500	13,21909054	23,53302265	295,7246843
85	5000	33,93483454	43,93586424	552,1143533
85	5500	13,56934619	19,32524663	242,8482114

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con los datos de la tabla 3-13, se obtuvo valores a partir de la presión y volumen de cada cilindro, en base a las fórmulas descritas anteriormente, con 50% la potencia máxima se obtiene a 5000 con un valor de 33.94 Hp, el mayor torque se obtiene a las mismas RPM con un valor de 43.935 Nm.

Tabla 3-14: Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 100% Carga.

RON	RPM	Potencia Extra (Hp)	Torque Extra (N.m)	Trabajo (J)
85	1000	5,641795199	37,81201315	475,1597709
85	1500	9,381413136	44,53619704	559,6583577
85	2000	14,02953761	49,95160983	627,7104419
85	2500	18,18690584	51,80300305	650,9757353
85	3000	22,09894464	52,4549414	659,1682342
85	3500	27,49563281	55,94120307	702,9778905
85	4000	33,46476424	59,57498004	748,6412785
85	4500	36,21475831	57,30720196	720,1435387
85	5000	42,68086174	60,78540324	763,851905
85	5500	47,80845499	61,89821805	777,8359484

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con los datos de la tabla 3-14, se obtuvo valores a partir de la presión y volumen de cada cilindro, en base a las fórmulas descritas anteriormente, con 100% la potencia máxima se obtiene a 5500 con un valor de 47 Hp, el mayor torque se obtiene a las mismas RPM con un valor de 61 Nm.

De acuerdo con los valores obtenidos se puede constatar que son progresivos, es decir no existe una caída de potencia o torque a determinadas RPM, que es lo más común en el comportamiento de un MEP en condiciones normales de funcionamiento, para lo cual se efectuará un análisis para balancear estos valores y así obtener valores más cercanos a un modelo real.

3.3.8. Implementación de sistema GLP al motor de combustión interna a gasolina:

En este apartado se describe el proceso de conversión de sistema convencional de gasolina a GLP. Cabe recalcar que el sistema usado es de tercera generación y corresponde aún sistema con un funcionamiento similar a un sistema de carburación donde el GLP se introduce directamente en el cuerpo de aceleración y su calibración se produce en el reductor de presión de GLP, se procura que la instalación cumpla con los apartados de seguridad mencionados en las siguientes normas técnicas:

- NTE INEN 2 317:2008 relacionado con mantenimiento revisión y reparación de vehículos con sistema GLP.
- NTE INEN 2 311:2008 relacionada con los requisitos mínimos que se deben cumplir para realizar la conversión de motores de combustión interna a gasolina.

El objetivo en este apartado es adaptarse a los requisitos necesarios de acuerdo con las normas durante el proceso de conversión funcionamiento del sistema y mantenimientos, considerando en esencia el apartado de seguridad.

Antes de las pruebas de funcionamiento es necesario verificar que no existan fugas especialmente en el sistema de alta presión.

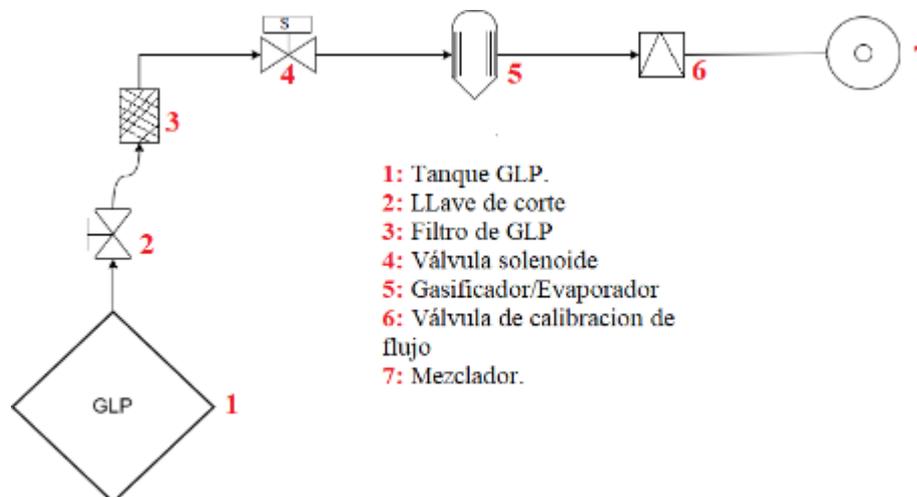


Ilustración 3-21: Diagrama descriptivo de sistema GLP de estudio.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

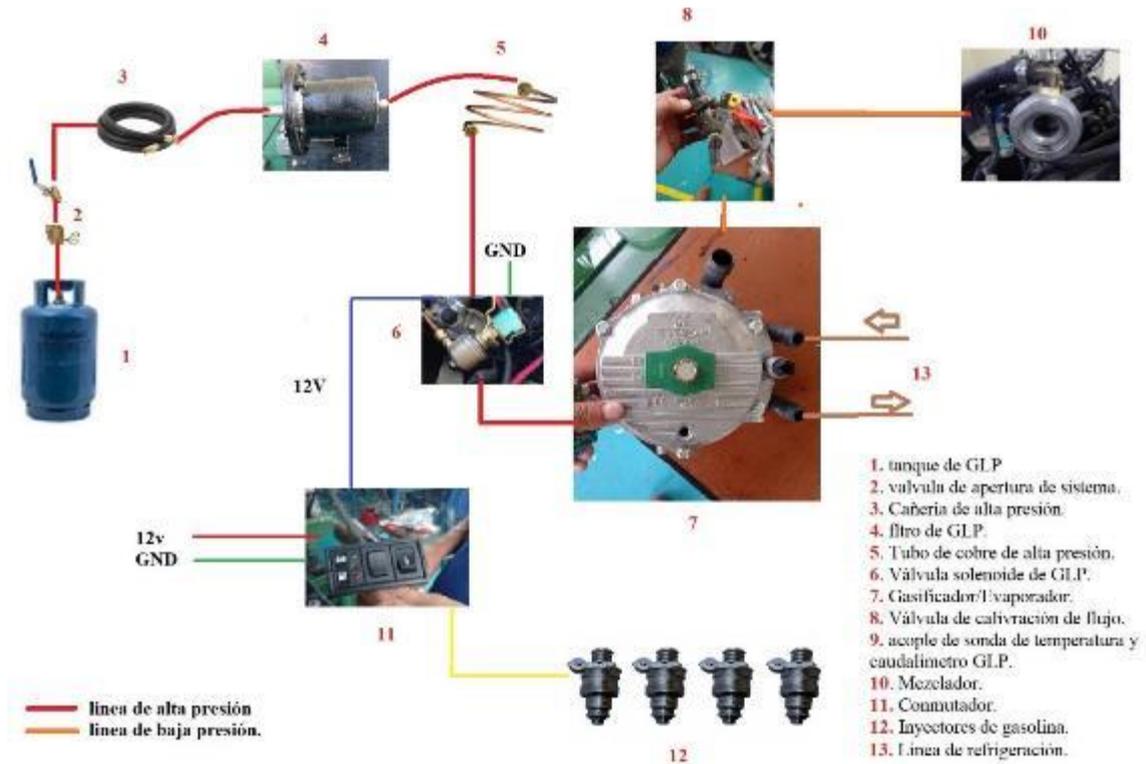


Ilustración 3-22: Circuito de sistema GPL implementado para el estudio.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Las partes del circuito se encuentran descritos a continuación:

Tabla 3-15: Descripción de componentes de sistema GPL aplicado a la investigación.

Nombre	Imagen	Descripción
Botella de GPL (1)		Almacena el GPL en estado líquido a alta presión, considerando que se requiere recargar el combustible en el tanque, se consideró usar un tanque de gas de uso doméstico para las pruebas.
Válvula de apertura con conexión a boquilla de Tanque GPL con salida de ¼ in. (2)		Permite el flujo seguro de GPL del tanque hacia el circuito de alta presión.
Manguera de alta presión ¼ in (3)		Permite el flujo de GPL desde la botella hasta el filtro de GPL.

Filtro de GLP		Permite retener impurezas en el sistema de alta presión de GLP.
Tubo de cobre de 1/8 in		Permite el flujo de GLP a alta presión desde el filtro hacia la electroválvula.
Válvula solenoide de GLP.		Permite el flujo de GLP del sistema de alta presión hacia el Gasificador está comandada por el conmutador del sistema.
Gasificador		Permite vaporizar el GLP que ingresa desde del sistema de alta presión, y lo reduce a baja presión, este requiere una adaptación al sistema de Refrigeración del motor para evitar que el diagrama interno se congele evitando el paso del GLP.
Válvula de calibración de flujo.		Permite ajustar el paso adecuado de GLP desde el Gasificador hacia el Mezclador.
Tubería de 1in para GLP		Permite el flujo de GLP desde la válvula de calibración de flujo de GLP hacia la entrada del Mezclador.

Mezclador		<p>Permite el ingreso de GLP vaporizado en el cuerpo de aceleración que viene desde la válvula de calibración de flujo de GLP, este tiene agujeros internos por donde sale el GLP y que es absorbido por el motor.</p> <p>El mezclador e coloca entre el Cuerpo de aceleración y el depurador de aire.</p>
Conmutador de sistema GLP		<p>Permite cambiar y activar el sistema ya sea a Gasolina o GLP mediante un suich de 3 estados.</p> <p>Se activa en dirección a los símbolos del combustible requerido.</p>
Abrazadera de manguera de radiador.		Se usa para los acoples realizados para la entrada y salida de refrigeración del Gasificador.
Abrazadere sin fin de manguera de 1 in		Se usa para las conexiones de la manguera de baja precisión de GLP desde el Gasificador hasta el mezclador, esto para evitar fugas de GLP.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Para encender el sistema de GLP para las pruebas se abre la válvula de tanque GLP se verifica que el conmutador se encuentre en modo GLP y se arranca el motor, en este proceso debería indicarse el funcionamiento del sistema encendiendo la luz led de color verde del conmutador.



Ilustración 3-23: Suich de encendido de conmutador modo GLP.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3.3.9. Obtención de datos de torque, potencia y emisiones de gases con sistema GLP:

Posterior a la conversión de sistema GLP mediante el equipo AVL realizando las conexiones necesarias y adecuadas del equipo, los cálculos se replican de la tabla 3-2 y se obtiene valores medidos a 50% y 100% de carga obteniendo los siguientes valores:

Tabla 3-16: Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 50% Carga con GLP.

RON	RPM	POTENCIA GLP (Hp)	TORQUE GLP (N.m)	Trabajo (J)
110	1000	2,164568737	15,41372153	193,6945373
110	1500	2,384452255	11,31966303	142,2470809
110	2000	6,358539348	22,63932607	284,4941618
110	2500	7,954601494	22,65763341	284,7242187
110	3000	10,89464945	25,85997692	324,9660541
110	3500	14,04707318	28,57945401	359,1400111
110	4000	16,59139472	29,5365	371,1666057
110	4500	20,40315622	32,2865	405,7241248
110	5000	24,56599594	34,9865	439,6533255
110	5500	29,06938153	37,6365	472,9542076

Realizado por: Pichasaca C, 2024

De acuerdo con los datos de la tabla 3-16, se obtuvo valores a partir de la presión y volumen de cada cilindro, en base a las fórmulas descritas anteriormente, con 50% de cargar, la potencia máxima se obtiene a 5500 con un valor de 29 Hp, el mayor torque se obtiene a las mismas RPM con un valor de 37 Nm.

Tabla 3-17: Datos de torque y potencia a diferentes regímenes de motor con 100% Carga con GLP.

RON	RPM	POTENCIA GLP (Hp)	TORQUE GLP (N.m)	Trabajo (J)
110	1000	5,979786768	42,58158518	535,0959808
110	1500	10,57163107	50,18649512	630,6620975
110	2000	15,82252667	56,33547593	707,9324693
110	2500	20,61137327	58,7087788	737,7562727
110	3000	24,72303588	58,68358964	737,4397364
110	3500	31,79438798	64,68722967	812,883702
110	4000	35,2398239	62,73499463	788,351193
110	4500	27,49855133	48,95374833	615,1709445
110	5000	48,45271977	62,7323559	788,3180337
110	5500	43,47583127	61,91758618	778,0793354

Realizado por: Pichasaca Carlos, 2024

De acuerdo con los datos de la tabla 3-17, se obtuvo valores a partir de la presión y volumen de cada cilindro, en base a las fórmulas descritas anteriormente, con 100% de cargar, la potencia

máxima se obtiene a 5000 con un valor de 48 Hp, el mayor torque se obtiene a las mismas RPM con un valor de 62 Nm.

En relación con los datos obtenidos con el combustible extra a 50 y 100% de carga, el comportamiento es similar sin embargo existen datos incongruentes por lo cual se requiere un tratamiento de datos para balancear estos valores y así obtener valores más cercanos a un modelo real.

3.3.10. Mapas de consumo

3.3.10.1. Generación de mapas de consumo y emisiones

Para crear mapas de consumo específico de combustible (BSFC) y emisiones, se siguen estos pasos:

1. Obtención de datos:

- Se recopila información del consumo específico de combustible a partir del trabajo indicado, medido con el equipo AVL.
- Se calcula la presión media efectiva (PME), que representa la presión constante durante la carrera de expansión del motor.

2. Construcción de mapas:

- Se utilizan los datos de consumo y PME para crear mapas de BSFC y emisiones en gramos por kilovatio-hora (g/kWh).
- El software Minitab19 se emplea para generar gráficos de contorno mediante el método de interpolación polinomial Akima.

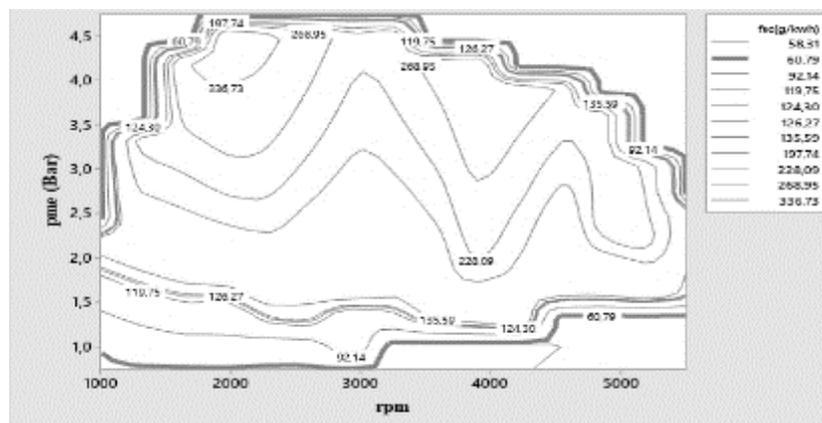


Ilustración 3-24: Mapa de consumo en función de PME, RPM y SFC

Fuente: Minitab 2019.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

3. Ejes del mapa:

- **Eje X (RPM):** Corresponde a la velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM), un factor crucial para el rendimiento. Las RPM afectan la velocidad de giro y el trabajo realizado en un periodo de tiempo.
- **Eje Y (PME):** La presión media efectiva (PME) en bares indica la cantidad de trabajo que el motor obtiene de una cantidad de combustible. El aumento en la PME mejora el rendimiento y reduce el consumo.
- **Eje Z (BSFC):** El consumo específico de combustible en g/kWh indica la cantidad de combustible necesaria para generar una cantidad de energía mecánica. Un menor BSFC implica un mayor rendimiento.

4. Interpolación y generación de mapas:

- Se define el método de interpolación polinomial Akima y los niveles de contorno.
- Minitab19 genera la gráfica con los datos, creando el mapa de consumo y emisiones.

Este proceso permite crear mapas que visualizan el comportamiento del consumo y las emisiones del motor en función de las RPM y la PME. Estos mapas son herramientas útiles para optimizar el rendimiento y reducir el consumo de combustible en motores de combustión interna.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

En la siguiente sección se presenta la evaluación e interpretación de los datos en base acuerdo al conjunto obtenido luego de la las distintas pruebas y ensayos de torque, potencia, emisiones de gases y consumo de combustible antes de la conversión y luego de la implementación del sistema GLP.

4.2. Evaluación de pruebas y ensayos del motor y sus efectos con el combustible con el sistema de gasolina convencional.

Para este apartado, en el estudio realizado se debe considerar que los combustibles usados corresponden a la gasolina Extra de 85 octanos y GLP de 110 octanos respectivamente.

Al analizar los datos de torque y potencia entre el dinamómetro de rodillos y el equipo AVL, se evidencia una diferencia significativa de 11.98% entre ambos equipos de medición su diferencia de puede observar en la siguiente gráfica:

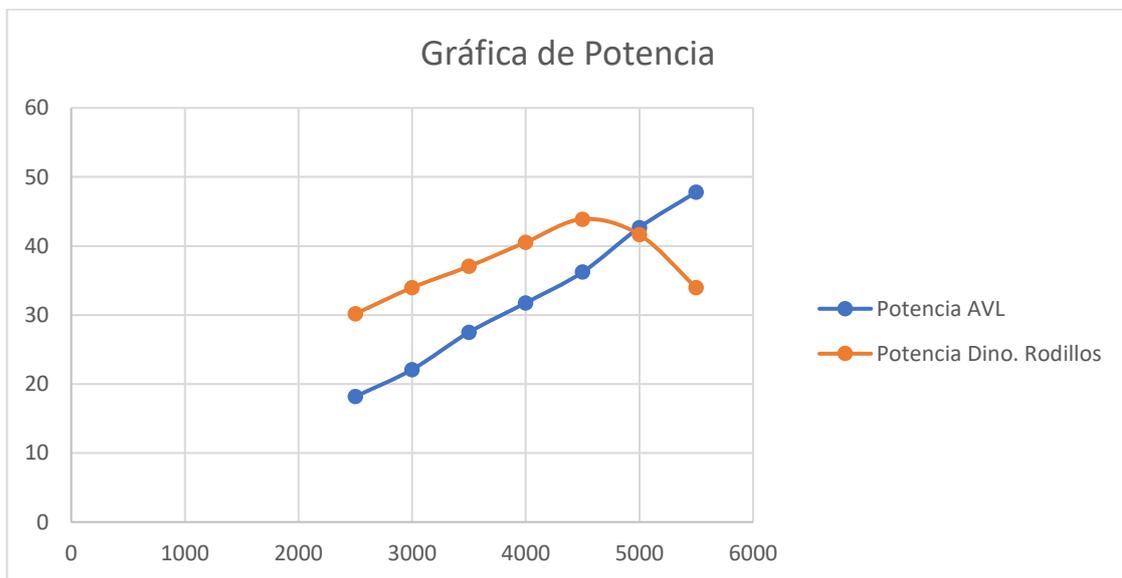


Ilustración 4-1: Gráfica de potencia entre equipo AVL y Dinamómetro de rodillos.

Realizado por: Pichasaca Carlos, 2024

En la ilustración 4-1, existe una diferencia entre los valores medidos de ambos equipos, esto se debe a que el dinamómetro de rodillos evalúa los valores con factor de corrección (SAE J1349). Para equilibrar los equipos es necesario realizar un cotejamiento de datos para obtener curvas

balanceadas para su estudio por lo cual se obtiene la ecuación mediante los datos iniciales de los equipos de medición obteniendo una ecuación de corrección de datos.

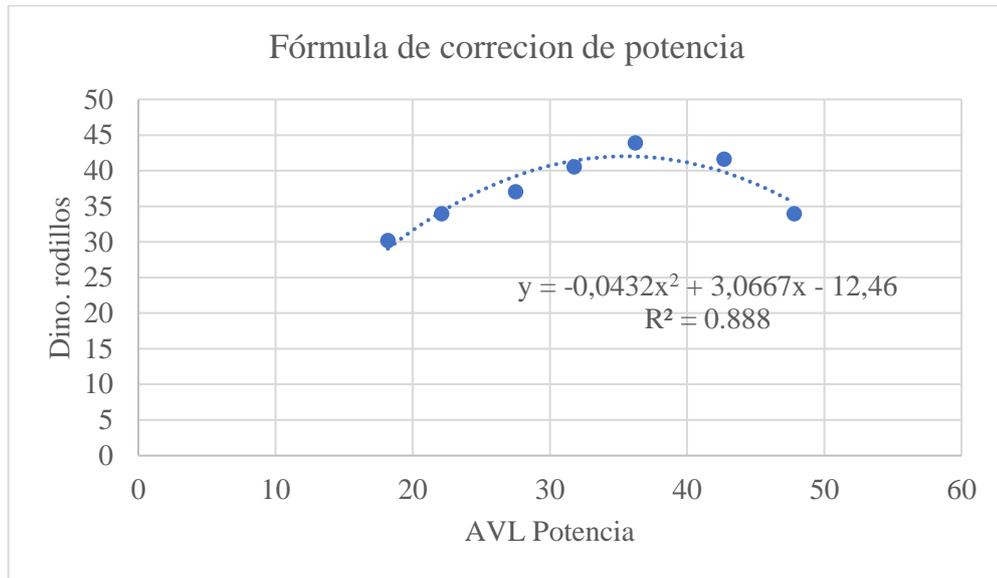


Ilustración 4-2: Ecuación de corrección de potencia.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con la ilustración 4-2, para obtener la fórmula se aplica una tendencia exponencial de segundo grado, para lo cual se realiza un diagrama de dispersión cuyos datos en el eje (Y) corresponden a los del dinamómetro de rodillos y en el eje (X) los datos de las bujías AVL, con un valor $R^2 = 0.888$.

Además, es necesario generar una ecuación de corrección de Torque cuyo resultado es el siguiente:

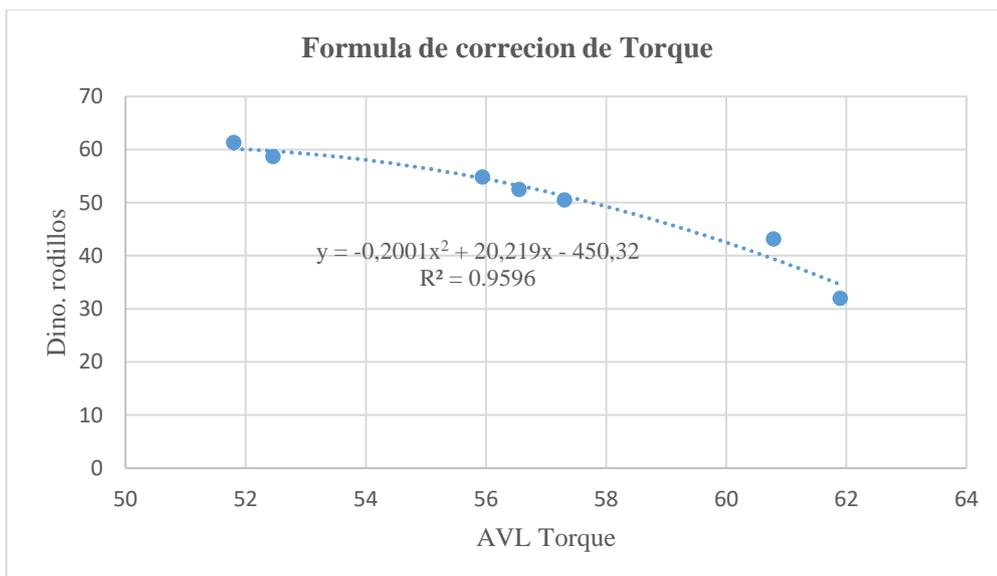


Ilustración 4-3: Ecuación de corrección de potencia.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Las fórmulas de corrección de torque y potencia permitirán generar una evaluación más precisa del conjunto de datos obtenido.

4.3. Obtención de gráficos de torque y potencia en base a los datos de Presión vs Volumen

Para obtener los valores agrupados mostrados en la tabla se inicia en base a los datos de presión volumen obtenidos mediante el equipo AVL y las fórmulas descritas en el capítulo anterior, obteniendo los siguientes resultados:

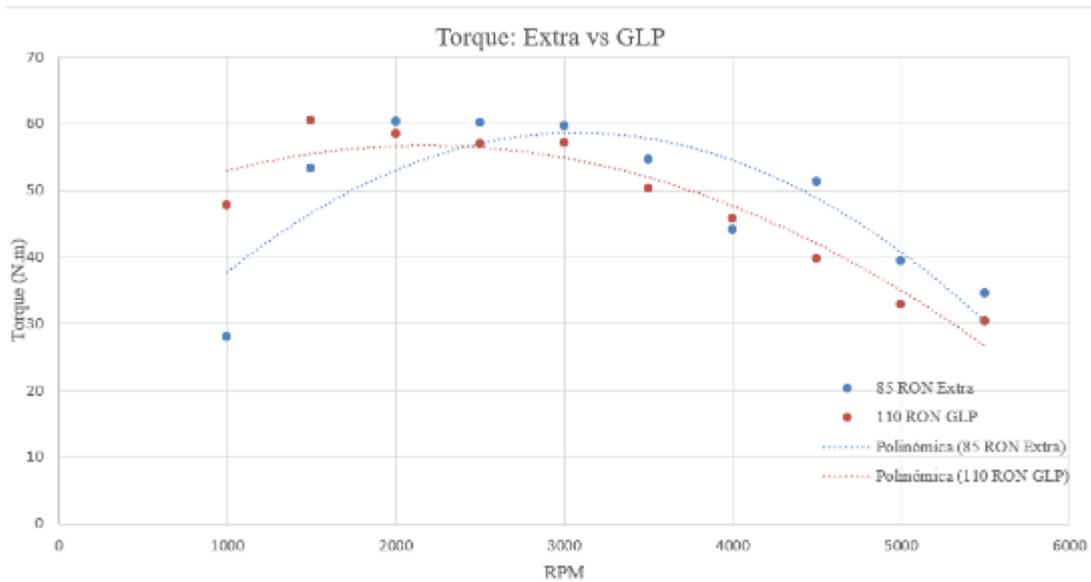


Ilustración 4-4: Gráfica de Torque entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 4-1: Valores máximos de Torque.

Combustible	Torque máx. (Nm)	RPM
GLP	58.402	2000
Extra	60.369	

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con la ilustración 4-1:

- El torque del motor con Extra aumenta con las RPM hasta los 2000 RPM con un valor de, 60,969 Nm y del GLP es de 58.402 Nm, luego comienza a disminuir.
- El torque del Extra y del GLP aumenta con las RPM hasta alcanzar un punto máximo.
- El punto máximo de torque del Extra se alcanza a unas 2000 RPM.
- El torque del Extra comienza a disminuir después de alcanzar su punto máximo, mientras que el del GLP se mantiene relativamente constante.

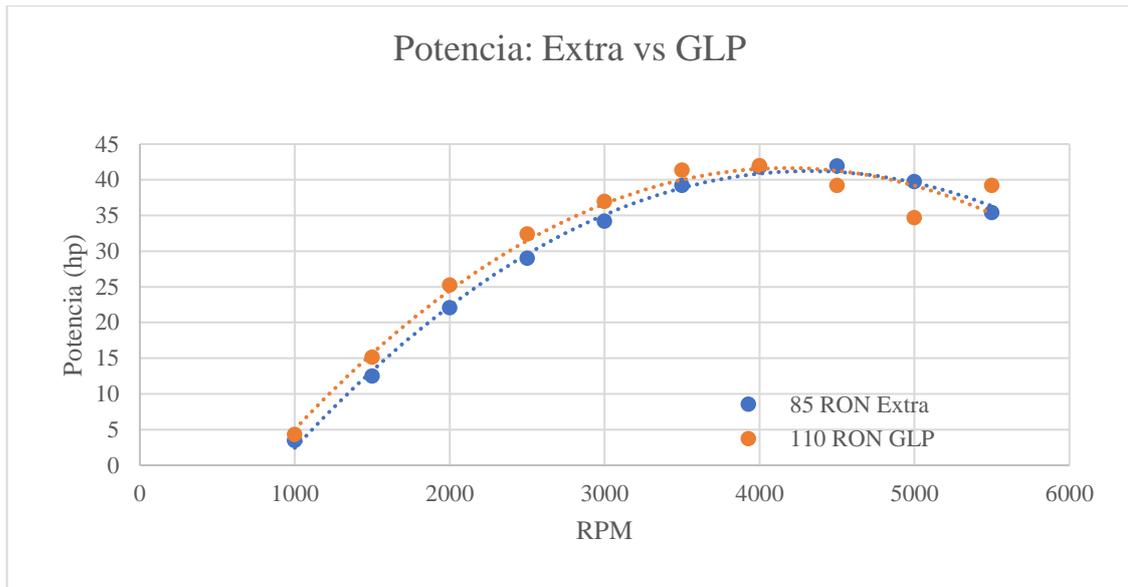


Ilustración 4-5: Gráfica de Potencia entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 4-2: Valores máximos de potencia.

Combustible	Potencia máx. (HP)	RPM
GLP	41.962	4000
Extra	41.787	

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

- Al tener dos combustibles diferentes el comportamiento durante la combustión varía siendo el máximo valor de combustible GLP a 4000 RPM con 41.962 HP para el GLP y 41.787 para el Extra.

En general, la gráfica muestra que el GLP produce una potencia similar a la del combustible extra. Se debe considerar que los valores obtenidos de torque y potencia pueden variar de acuerdo con las condiciones de temperatura altura condiciones de motor de prueba y composición de GLP existen varios estudios que nos sirven de referencia con el objetivo de sondear estudios similares y resultados obtenidos.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de una evaluación de estado de motores de vehículos a Gasolina modificados para funcionar con GLP.

El experimento fue desarrollado para analizar la varianza del desempeño del automóvil con sistema GLP en la universidad Católica San Pablo que se encuentra a una altura de 2335 msnm (LITE_UCSP 2010). Obteniendo los siguientes resultados:

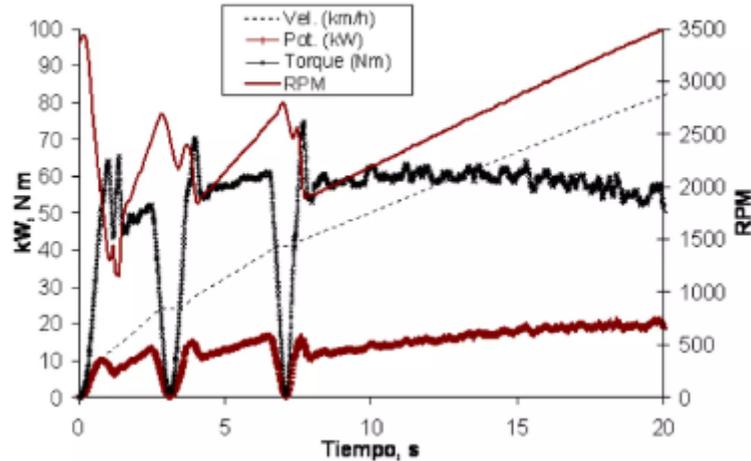


Ilustración 4-6: Grafica de Torque y Potencia Gasolina 84 RON vs GLP

Fuente: (LITE_UCSP 2010).

En la ilustración 4-6 se puede observar la variación de la potencia y el torque (en las ruedas de un automóvil), la potencia máxima en la gasolina es de 22KW, con un torque de 62.5 Nm; La potencia máxima con combustible GLP es de 19KW con un torque de 56.5 Nm, con una variación del 15-20% respectivamente (LITE_UCSP 2010).

De acuerdo con los datos obtenidos en la presente investigación frente a los datos de referencia podemos constatar que la implementación de un sistema GLP puede variar de manera significativa al rendimiento de un MEP esta puede ser positiva o negativa, los resultados variarán de acuerdo a varias condiciones importantes a considera como:

- Altura.
- Temperatura.
- Composición de combustible.
- Características de los equipos utilizados.
- Tipo de motor.
- Condiciones mecánicas de vehículo.
- Tipo de sistema GLP/Dual.

4.4. Efectos de la conversión en las emisiones de gases.

El estudio llevado a cabo para investigar la implementación de un sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP), considerando tanto el octanaje como el tipo de combustible, en las emisiones generadas por el motor, se presenta mediante un análisis detallado respaldado por un conjunto de gráficos comparativos. Estos gráficos muestran las variaciones en las emisiones de los principales gases producto de la combustión, tales como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono

(CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y oxígeno (O2). Se abarca una comparación entre dos tipos de combustibles: el combustible convencional (Extra, con un índice de octano de 85 RON) y el GLP (con un índice de octano de 110 RON). Además, se consideran diferentes niveles de carga del motor, representados por el porcentaje de carga, que incluyen el funcionamiento a plena carga (100%) y a media carga (50%). Este enfoque permite una evaluación exhaustiva de cómo la introducción del sistema GLP afecta las emisiones del motor en comparación con el combustible convencional, y cómo estas variaciones pueden ser influenciadas por el grado de carga del motor.

4.4.1. Análisis con emisiones a 50% de carga

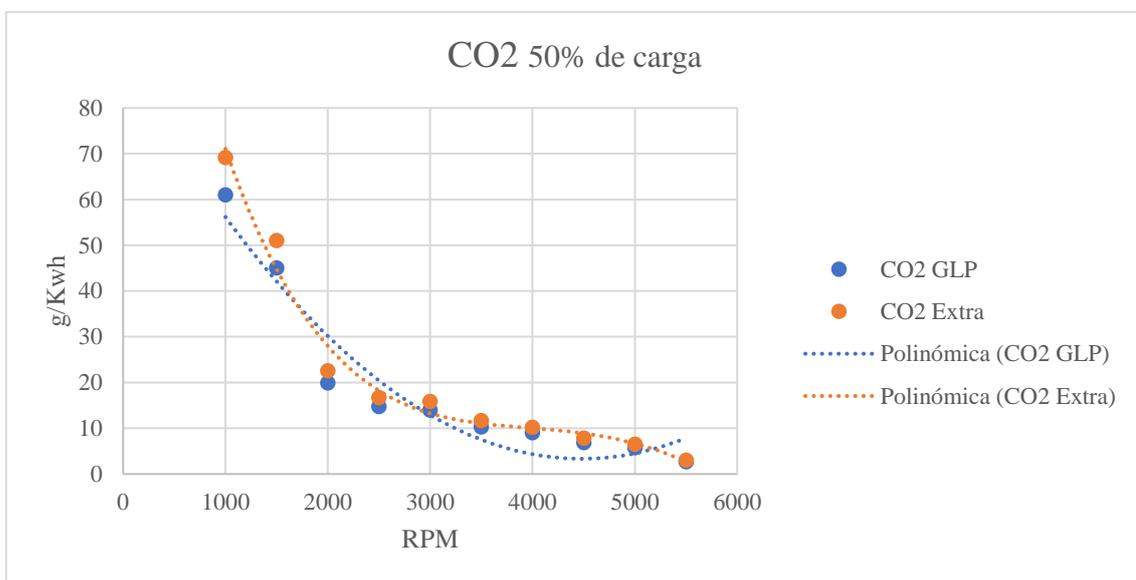


Ilustración 4-7: Gráfica emisiones de CO2 entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-7, muestra en el eje X las distintas RPM del motor y en el eje Y las emisiones de CO2 en g/Kwh se puede observar que, el Extra produce más emisiones de CO2 que el GLP.

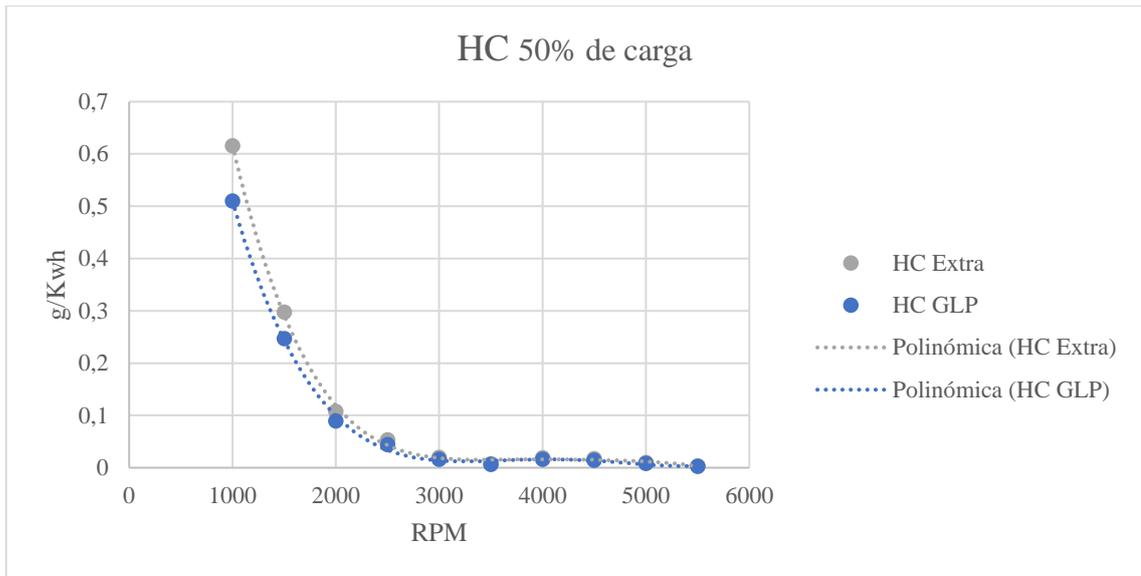


Ilustración 4-8: Gráfica emisiones de HC entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-8, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh, de acuerdo con la gráfica GLP es el combustible más eficiente, a diferencia de combustible extra. Sin embargo, se observa que a partir de las 3000 RPM las emisiones de HC son ligeramente similares.

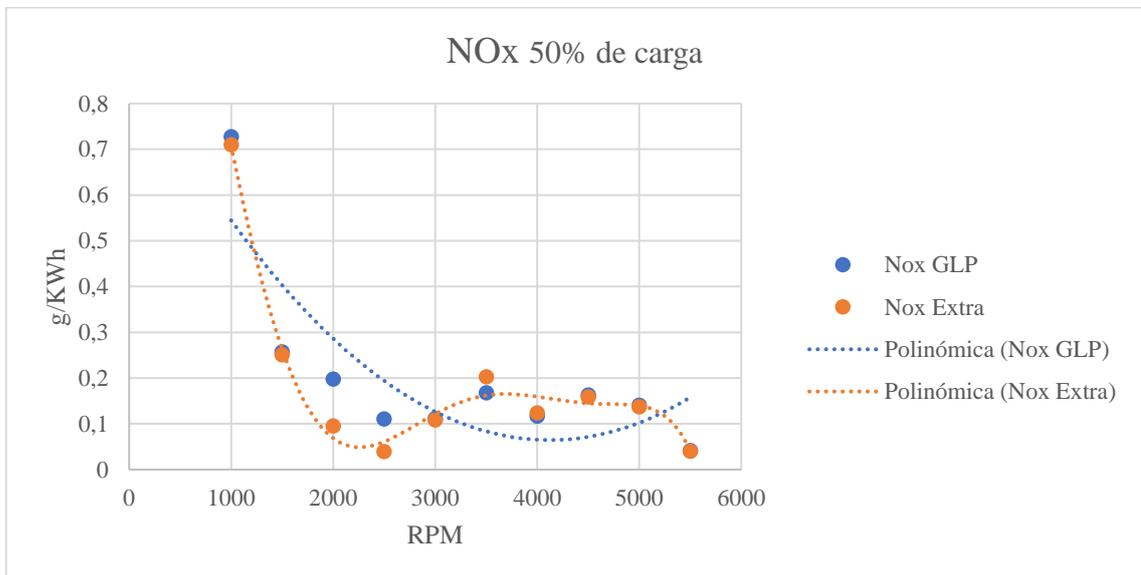


Ilustración 4-9: Gráfica emisiones de NOx entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-9, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a NOx, de acuerdo con la gráfica el GLP es el combustible con emisión de NOx más estable, a diferencia de combustible extra.

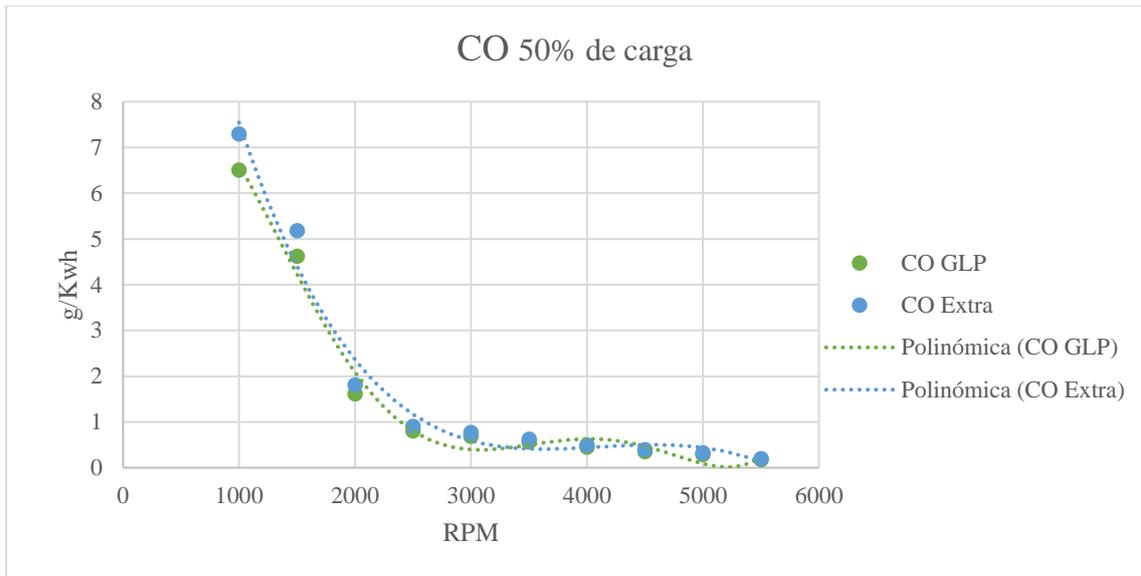


Ilustración 4-10: Gráfica emisiones de CO entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-10, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a CO, de acuerdo con la gráfica el GLP es el combustible con emisión de CO más estable y con mejor eficiencia a diferencia del combustible extra, además existe una ligera semejanza de emisiones a partir de las 5000 RPM.

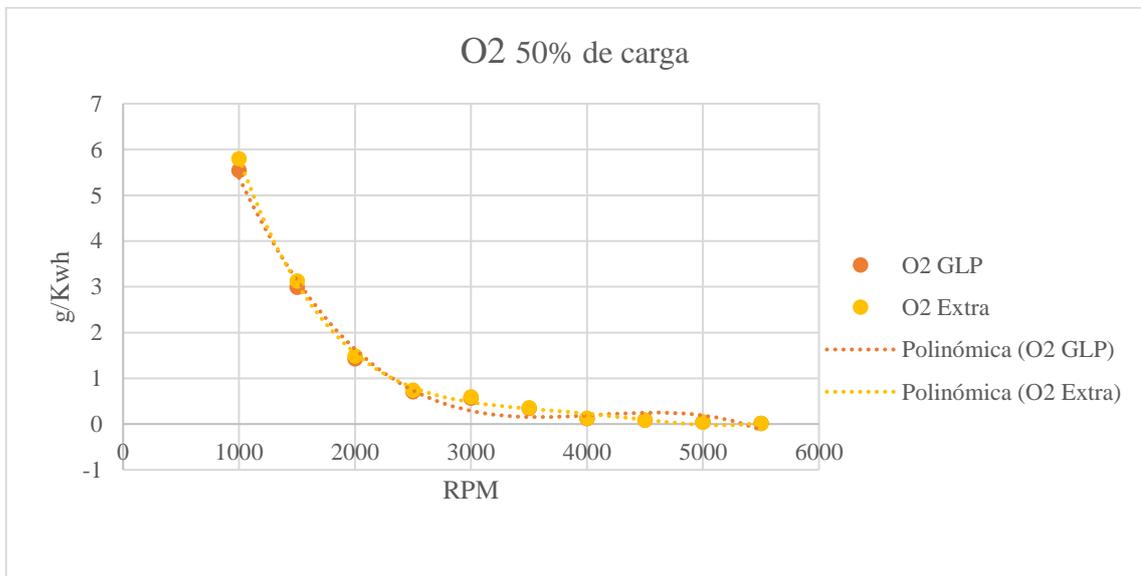


Ilustración 4-11: Gráfica emisiones de O2 entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-11, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a O2, de acuerdo con la gráfica se podría deducir que

el motor funcionando con sistema GLP combustiona de manera más eficiente el combustible a diferencia de cuando funciona con combustible extra.

Tabla 4-3: Valores emisiones de gases a 50% de carga.

Emisiones 50% de Carga	
CO2	
Tipo de combustible	(g/Kwh)
GLP	18.927
Extra	21.459
HC	
	(g/Kwh)
GLP	0.095
Extra	0.115
NOx	
	(g/Kwh)
GLP	0.203
Extra	0.187
O2	
	(g/Kwh)
GLP	1.182
Extra	1.238

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 4-4: Variación de emisiones de gases a 50% de carga en %.

Tipo de gas	CO2 (%)	HC (%)	NOx (%)	O2 (%)
Variación % de GLP frente a Extra.	-13.378%	-20.627%	+8.192%	-4.71%

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

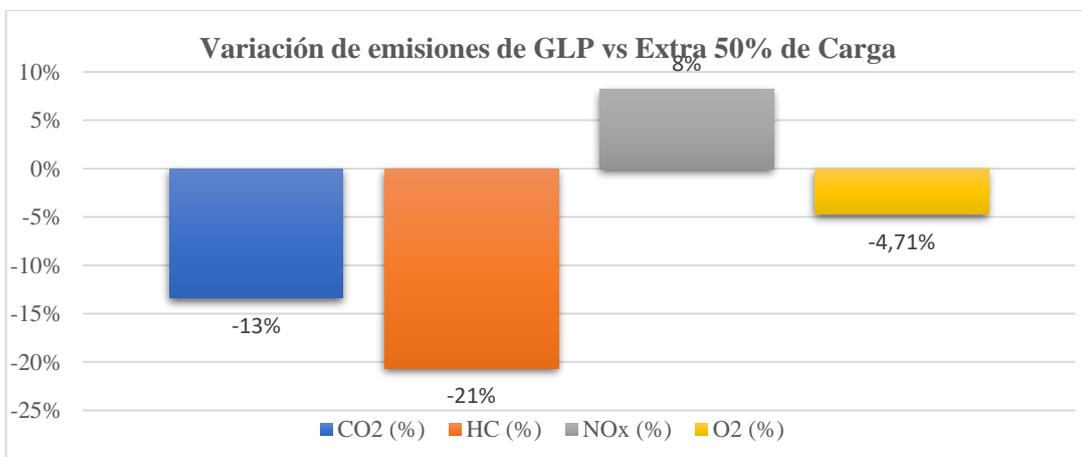


Ilustración 4-12: Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 50% Carga.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

- **Emisiones de CO₂:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 13.378 % menos de emisiones de CO₂ que la gasolina extra. Esto significa que el GLP es una mejor opción para el medio ambiente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Emisiones de HC:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 20.627 % menos de emisiones de HC que la gasolina extra. Esto significa que el GLP es una mejor opción para la salud pública en términos de emisiones de contaminantes del aire.
- **Emisiones de NO_x:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 8.192 % más de emisiones de NO_x que la gasolina extra. Esto significa que el GLP no sería una opción para la salud pública en términos de emisiones de gases que contribuyen a la lluvia ácida.
- **Emisiones de O₂:** El GLP produce un 4.71 menos de emisiones de O₂ que la gasolina extra. Esto significa que el GLP se combustiona de una mejor manera en el MEP.

4.4.2. Análisis con emisiones a 100% de carga

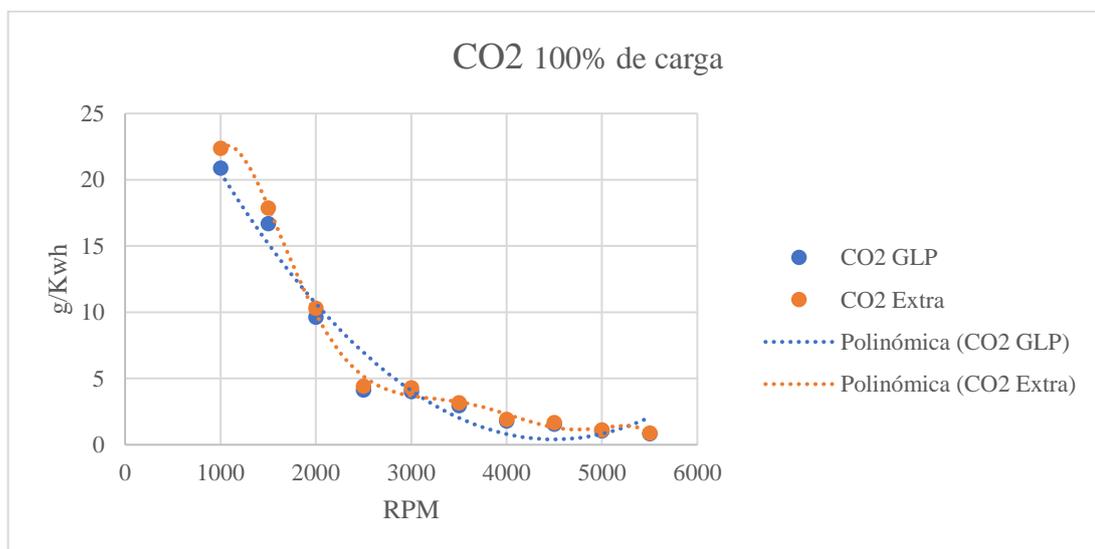


Ilustración 4-13: Gráfica emisiones de CO₂ entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-13, muestra en el eje X las distintas RPM del motor y en el eje Y las emisiones de CO₂ en g/Kwh se puede observar que, el Extra produce más emisiones de CO₂ que el GLP hasta las 2500 RPM. Sin embargo, a partir de estas RPM se comporta de manera semejante con pequeñas variaciones de emisiones.

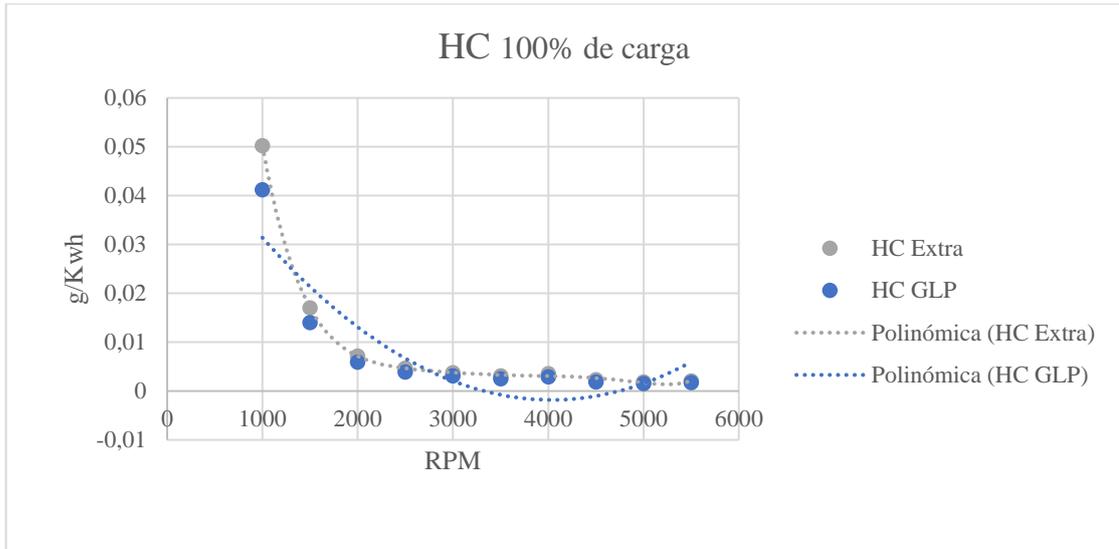


Ilustración 4-14: Gráfica emisiones de HC entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-14, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh, de acuerdo con la gráfica el motor a partir de las 2000 RPM presenta un comportamiento similar funcionando con los tipos de combustibles tendiendo a disminuir, esto está relacionado con la eficiencia durante la combustión.

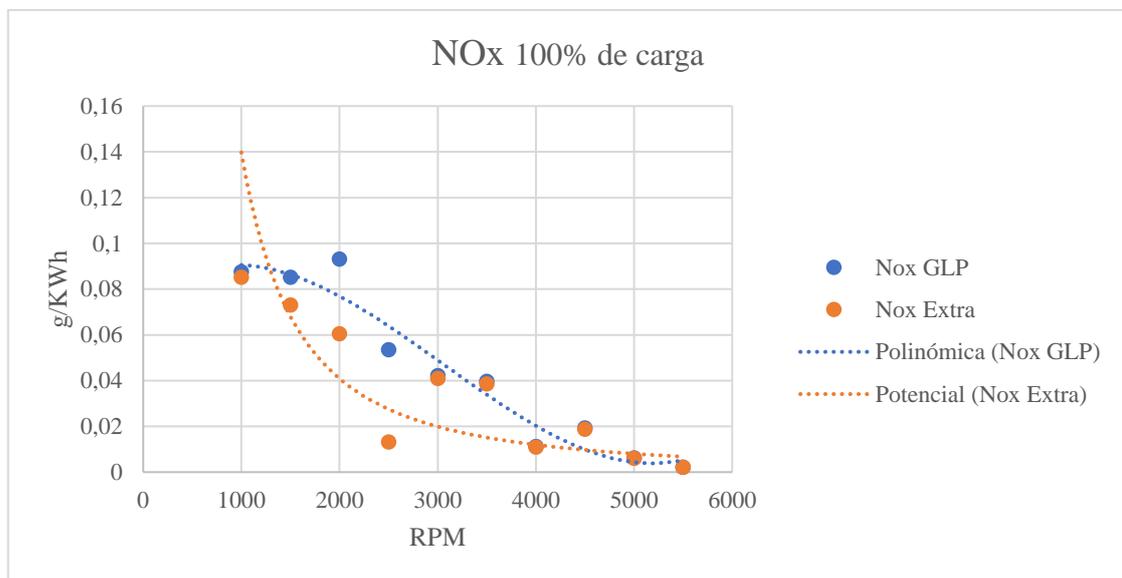


Ilustración 4-15: Gráfica emisiones de NOx entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-15, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a NOx, de acuerdo con la gráfica el GLP emite mayor cantidad de NOx hasta las 4000 RPM a diferencia del combustible Extra.

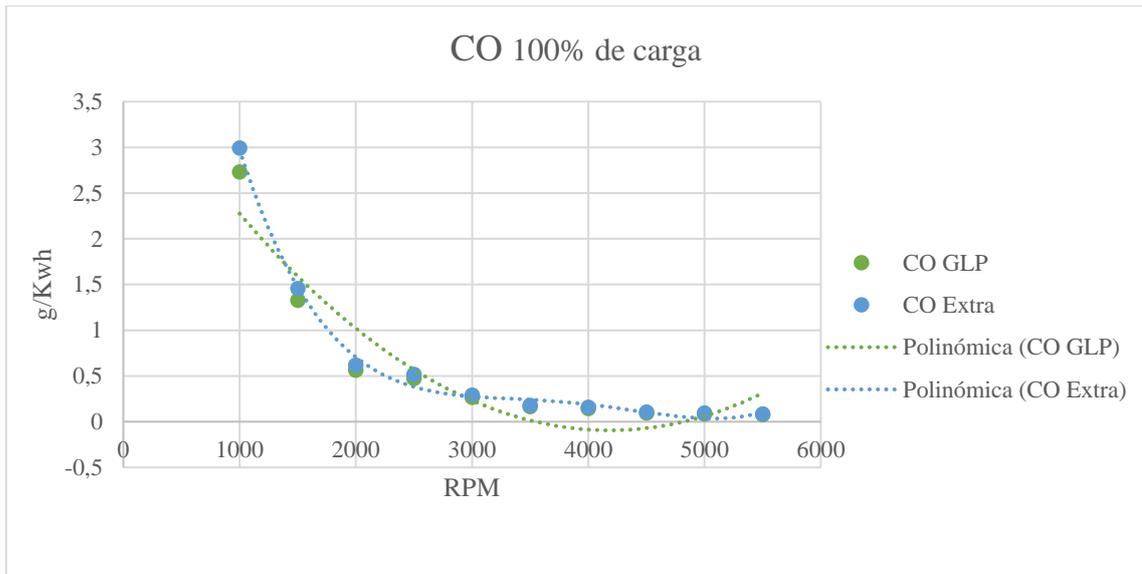


Ilustración 4-16: Gráfica emisiones de CO entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-16, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a CO, de acuerdo con la gráfica cuando el motor funciona con combustible GLP emite ligeramente una menor cantidad de gas CO frente al Extra.

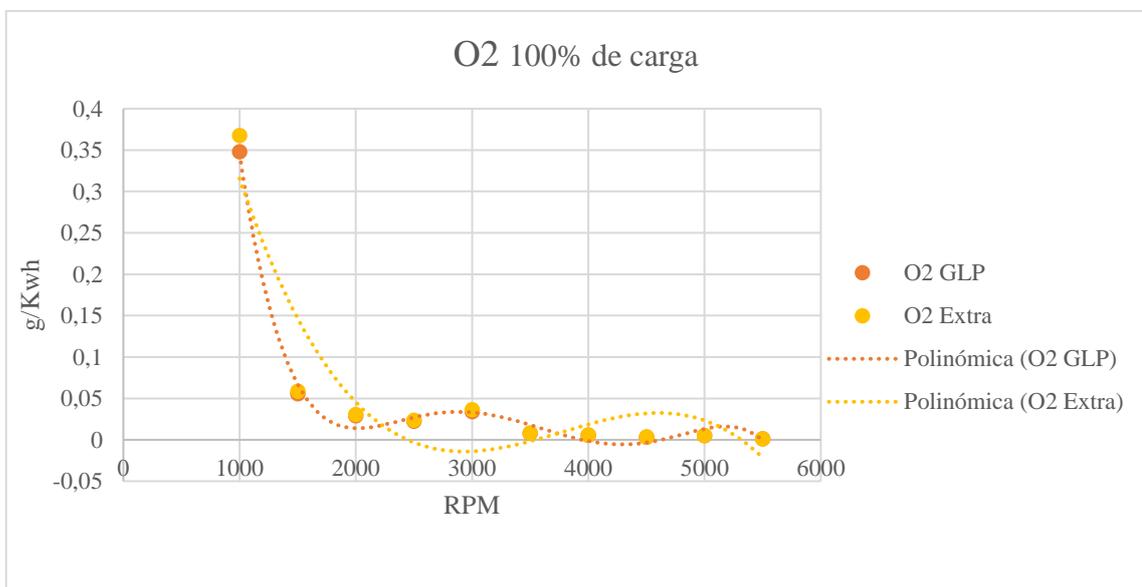


Ilustración 4-17: Gráfica emisiones de O2 entre Extra y GLP en diferentes regímenes de motor.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

La gráfica 4-17, muestra en el eje X el régimen del motor en RPM y el eje Y se muestran los valores de emisión en g/Kwh relacionados a O2, de acuerdo con la gráfica cuando el motor funciona con combustible GLP presenta emisiones ligeramente menores de O2 que el combustible extra, sugiriendo que el combustible GLP se combustiona de mejor manera en el MEP.

Tabla 4-5: Valores emisiones de gases a 100% de carga.

Emisiones 100% de Carga	
CO2	
Tipo de combustible	(g/Kwh)
GLP	6.359
Extra	6.809
HC	
Tipo de combustible	(g/Kwh)
GLP	0.008
Extra	0.010
Nox	
Tipo de combustible	(g/Kwh)
GLP	0.044
Extra	0.038
O2	
Tipo de combustible	(g/Kwh)
GLP	0.051
Extra	0.054

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Tabla 4-6: Variación de emisiones de gases a 100% de carga en %.

Tipo de gas	CO2 (%)	HC (%)	NOx (%)	O2 (%)
Variación % de GLP frente a Extra.	-7.066%	-21.802%	+13.677%	-5.782%

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

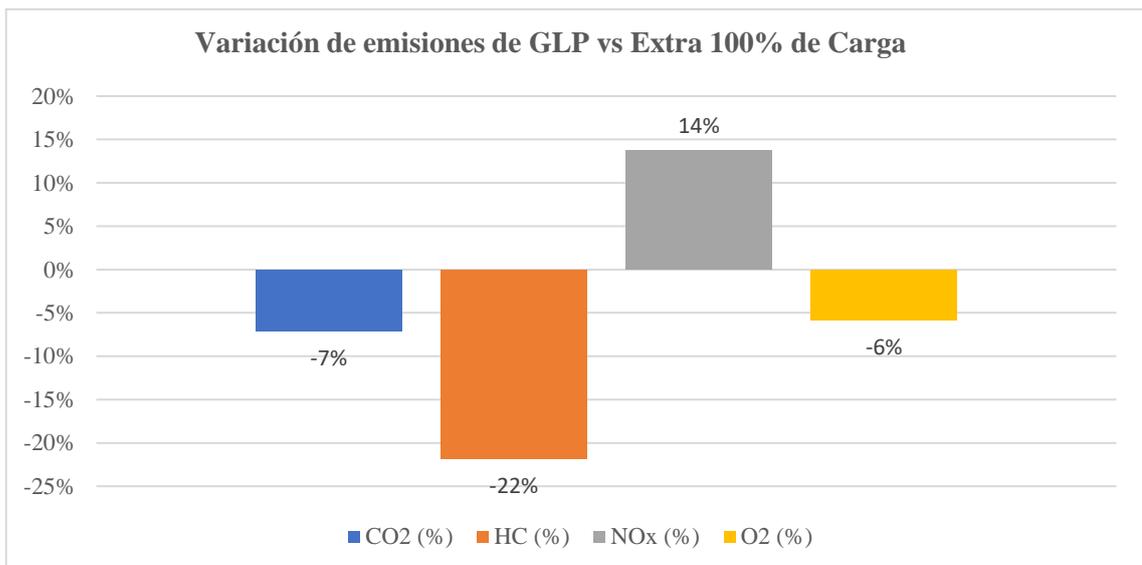


Ilustración 4-18: Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 100% Carga.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

- **Emisiones de CO2:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 7.006% menos de emisiones de CO2 que la gasolina extra. Esto significa que el GLP es una mejor opción para el medio ambiente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Emisiones de HC:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 21.802% menos de emisiones de HC que la gasolina extra. Esto significa que el GLP es una mejor opción para la salud pública en términos de emisiones de contaminantes del aire.
- **Emisiones de NOx:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 13.677% más de emisiones de NOx que la gasolina extra. Esto significa que el GLP no se podría considerar una opción para la salud pública en términos de emisiones de gases que contribuyen a la lluvia ácida.
- **Emisiones de O2:** El motor cuando funciona con combustible GLP produce un 5.782% menos de emisiones de O2 que la gasolina extra. Esto significa que el GLP es una peor opción para la eficiencia del combustible.

Tabla 4-7: Comparativa de componentes contaminantes Extra y GLP a 100% de carga.

Tipo de combustible	Emisiones				
	CO2 (g/Kwh)	CO (g/Kwh)	C5H12(g/Kwh)	NO (g/Kwh)	O2 (g/Kwh)
GLP	20.895	2.728	0.041	0.093	0.347
Extra	22.371	2.992	0.050	0.085	0.367

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Se visualiza que la de menor efecto incidente contaminante promedio en el motor es el GLP, seguida de la gasolina Extra (derivando en que el CO2 es mayor en comparación a la del GLP), teniendo mayores agentes contaminantes en su composición la gasolina Extra.

A partir de los datos obtenidos podemos realizar un análisis de emisiones considerando la variación de los datos entre los combustibles GLP y Extra obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 4-8: Emisiones GLP vs Extra y su diferencia en porcentaje.

Emisión	GLP 110 RON	Gasolina 85 RON	Diferencia
CO2	20.895 g/kWh	22.371 g/kWh	6.60% menos
CO	2.728 g/kWh	2.992 g/kWh	8.80% menos
HC	0.041 g/kWh	0.050 g/kWh	17.90% menos
NOx	0.093 g/kWh	0.085 g/kWh	9.46% mas
O2	0.347 g/kWh	0.367 g/kWh	5.40% menos

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

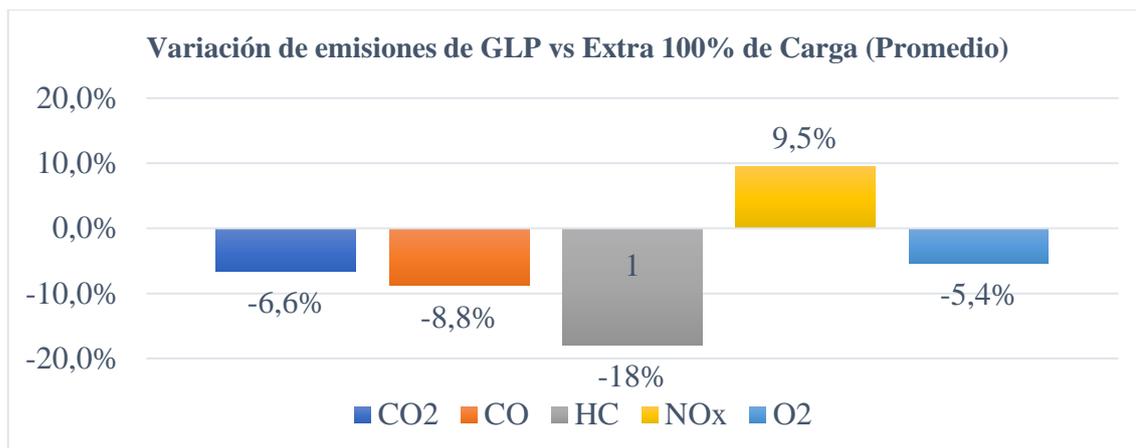


Ilustración 4-19: Representación de emisiones de gases Extra vs GLP a 100% Carga con valores promediados.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con los valores de variación obtenidos en la tabla 4-8 y la gráfica 4-19, podemos deducir que el uso de GLP como combustible alternativo reduce drásticamente las emisiones de CO en un 8.80%, el del CO₂ en un 6.60%, los hidrocarburos en un 17.90%, los NO_x aumentan en un 9.46% siendo estos los más importantes a tomar en cuenta considerando que producen un impacto negativo en el medio ambiente.

En base a la revisión exhaustiva de información relevante al tema se tiene una postura positiva respecto al uso de GLP como combustible en motores de encendido provocado (MEP), para corroborar los resultados obtenidos se ha tomado como ejemplo los siguientes datos correspondiente al estudio de consumo aceleración y emisiones de un vehículo usando combustible GLP.

Tabla 4-9: Datos de emisiones de GLP y gasolina.

No.	Emisiones	Gasolina	GLP
1	CO (g/km)	0.87	0.72
3	HC (g/km)	0.14	0.12
3	NO _x (g/km)	0.12	0.16

Fuente: (Koay, L. K., Sah, M. J. M., & bin Othman, R. 2019).

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Los resultados de las tablas sirven para comparar y refutar los beneficios del GLP frente a la Gasolina Extra, es decir el sistema GLP reduce la emisión de gases contaminantes de CO y HC. En ambas tablas, el GLP emite significativamente menos gases de efecto invernadero y contaminantes que la Gasolina.

- Las diferencias porcentuales en las emisiones de CO₂, CO, HC y O₂ son ligeramente diferentes en las dos tablas, ya que se tratan de estudios realizados en lugares y condiciones distintas.

4.5. Estudio comparativo por análisis de varianza estadística ANOVA para diferenciar entre los grupos de toma de datos de la investigación.

En este estudio, la regresión te permite modelar la relación entre una variable independiente (en este caso, rendimiento térmico) con dos factores (RPM y tipo de combustible) y una covariable (Carga). A continuación, se muestran los resultados obtenidos con el análisis estadístico de ANOVA por medio del programa MINITAB versión 19.1, con el fin de comparar los parámetros que son afectados directamente por las RPM y el tipo de combustible combinando datos de 50% y 100% de carga en operación de consumo energético:

4.5.1. Modelo Lineal general: Rendimiento térmico % vs. Carga; RPM; Combustible.

Para este modelo de estudio se considera la variación del rendimiento térmico en base a diferentes factores para lo cual es necesario agrupar datos de tipo de combustible, RPM, Rendimiento térmico % y la carga considerando que en el estudio se tomaran valores de 50% y 100% de carga.

- Se pueden realizar análisis de regresión lineal para determinar la relación entre el rendimiento térmico y cada una de las variables independientes.
- Se pueden realizar pruebas de significancia con el objetivo de determinar si la relación entre el rendimiento térmico y cada una de las variables independientes es estadísticamente significativa.
- Se pueden calcular coeficientes de determinación (R^2) para determinar la cantidad de variación en el rendimiento térmico que se explica por cada una de las variables independientes.

Tabla 4-10: Información de factores de estudio.

Factor	Tipo	Niveles	Valores
RPM	Fijo	10	1000; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000; 5500
Combustible	Fijo	2	Extra; GLP

Fuente: Minitab 19

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

En la tabla 4-10, se puede observar los valores y tipos de los factores que intervienen la variación del rendimiento térmico.

Tabla 4-11: Resumen de análisis de Varianza.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Carga	1	1779.1	1779.07	34.46	0.000
RPM	9	451.8	50.20	0.97	0.471
Combustible	1	1463.1	1463.06	28.34	0.000
Error	67	3459.0	51.63		
Falta de ajuste	28	2115.3	75.55	2.19	0.012
Error puro	39	1343.8	34.46		
Total	78	7134.7			

Fuente: Minitab 19

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

De acuerdo con la tabla 4-11 se puede deducir que:

- La eficiencia del motor varía según la velocidad y la carga.
- La eficiencia del motor es generalmente mayor a velocidades y cargas más altas.
- La eficiencia del motor es menor a velocidades y cargas bajas.
- El tipo de combustible también afecta la eficiencia del motor.
- La eficiencia del motor no es constante y varía según las condiciones de operación.
- Se podría optimizar la eficiencia del motor seleccionando valores de velocidades y las cargas adecuadas.
- El tipo de combustible afecta a la eficiencia del motor.

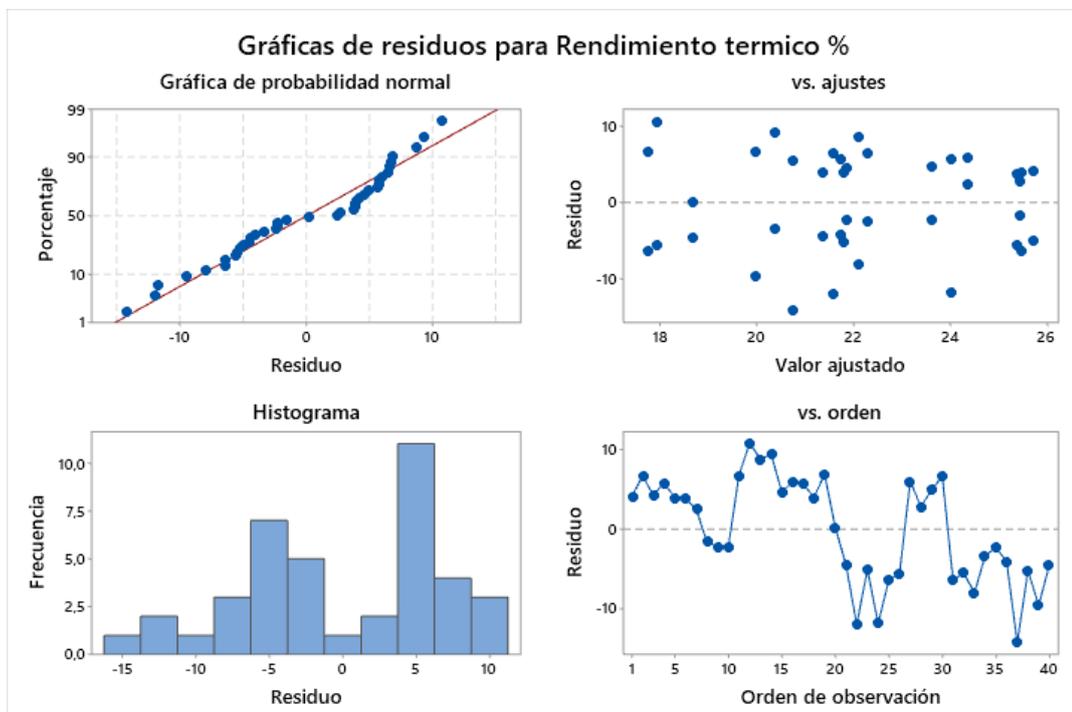


Ilustración 4-20: Residuos para rendimiento térmico %.

Fuente: Minitab 19.

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

Las gráficas de residuos proporcionan información sobre la calidad del modelo ANOVA además, una distribución normal y un histograma simétrico indican un modelo válido.

La comparación entre la probabilidad normal y los ajustes se ilustra en dos gráficos: en el primero, el eje x representa el valor del residuo (diferencia entre el valor observado y el predicho) y el eje y la densidad de probabilidad de los residuos, mostrando una distribución normal simétrica; desviaciones de esta normalidad pueden indicar problemas con el modelo. En el segundo gráfico, el eje x muestra el orden de observación y el eje y la frecuencia de los residuos; asimetrías o picos/valles pronunciados se generarían por problemas en el modelo. La evaluación de los valores ajustados, es decir, los valores predichos por el modelo, frente a los valores observados permiten evaluar la precisión del modelo.

Tabla 4-12: Valores de grados de libertad y Fisher de estudio ANOVA.

Factores	GL Numerador	GL Denominador	F Tabla	F Análisis de varianza
Combustible	1	-	3.98665	28.34
Error	-	67		

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El valor crítico obtenido de la tabla F se compara con la del análisis ANOVA esto nos sirve para poder tomar una decisión de acuerdo con la hipótesis planteada.

Tabla 4-13: Análisis comparativo de F tabla de fisher.

F tabla Fisher $\alpha=0,05$	F tabla de estudio Anova	Decisión
3.98665 <	28.34	Hip. Alternativa

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El valor crítico obtenido de la tabla F comparada con la del análisis ANOVA es menor por lo cual se toma la hipótesis Alternativa que tiene el siguiente enunciado:

- **La implementación de un sistema de GLP no varía el rendimiento y las emisiones de gases de un MCI convencional de 1600 cc a 2700 msnm.**

4.6. Mapas de consumo específico de combustible.

4.6.1. Mapas de consumo de MEP con combustible Extra

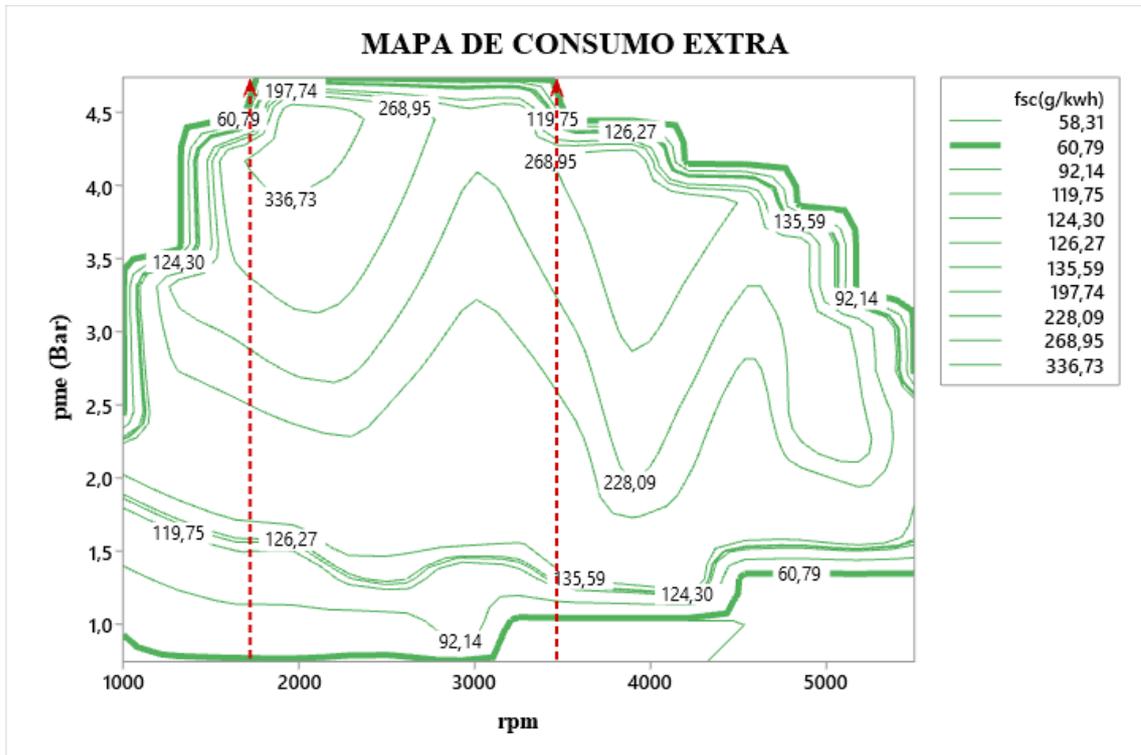


Ilustración 4-21: Mapa de consumo diseñado a partir de datos de Extra con PME, FSC y RPM.

Fuente: Minitab 19

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El gráfico representa el rendimiento de consumo de combustible Extra-85 RON. Existe una región clara que muestra un alto rendimiento de consumo de combustible comprendida entre los 1700 a 3450 RPM donde se encuentra el valor máximo de la PME generada dentro del motor con un valor cercano a 5 bares. En esta región se produce un alto rendimiento y bajo consumo de combustible. La región representa los puntos donde el combustible es aprovechado de manera más eficiente, lo sirve para evaluar el desempeño del motor cuando función con combustible Extra.

Ejes del mapa:

- **Eje X (RPM):** Representa la velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM).
- **Eje Y (PME):** La presión media efectiva (PME) en bares indica la cantidad de trabajo que el motor puede obtener de una cantidad de combustible.

Interpretación:

- El mapa muestra que el consumo de combustible aumenta con la PME para todas las RPM.
- El consumo de combustible también aumenta con las RPM a PME bajas.

- A PME altas, el consumo de combustible es relativamente constante con respecto a las RPM.
- La zona de menor consumo de combustible se encuentra en la parte inferior izquierda del mapa (bajas RPM y baja PME).

4.6.2. Mapas de consumo de MEP con combustible GLP

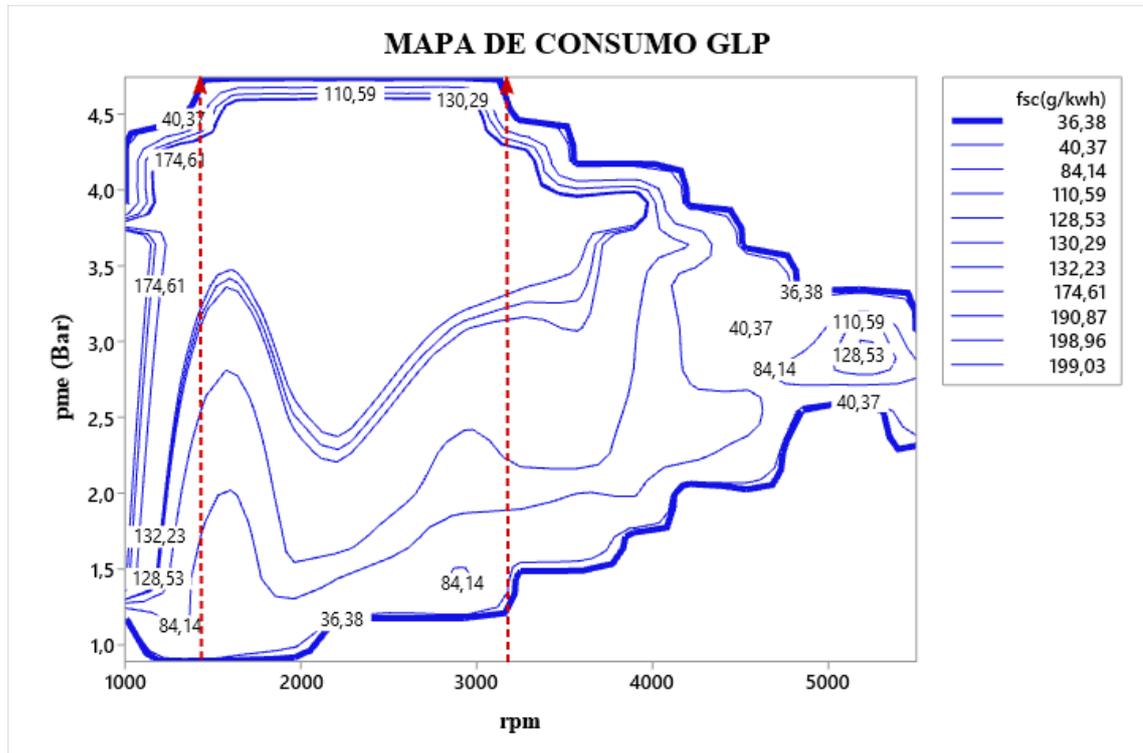


Ilustración 4-22: Mapa de consumo diseñado a partir de datos de GLP con PME, FSC y RPM.

Fuente: Minitab 19

Realizado por: Pichasaca Carlos. 2024

El gráfico representa el rendimiento de consumo de combustible GLP 110 RON. Existe una región clara marcada, en la cual se observa un alto rendimiento de consumo de combustible comprendida entre los 1350 a 3100 RPM donde, el valor máximo de la PME generada dentro del motor se aproxima a 5 bares. En esta región se produce un alto rendimiento y bajo consumo de combustible. La región representa los puntos donde el combustible es aprovechado de manera más eficiente, la representación gráfica sirve para evaluar el desempeño del motor cuando funciona con combustible GLP.

Ejes del mapa:

- **Eje X (RPM):** Representa la velocidad del motor en revoluciones por minuto (RPM).
 - **Eje Y (PME):** La presión media efectiva (PME) en bares indica la cantidad de trabajo que el motor puede obtener de una cantidad de combustible.
1. Los colores del mapa representan el consumo de combustible en g/kWh.

Interpretación:

- El mapa muestra que el consumo de combustible aumenta con la PME para todas las RPM.
- El consumo de combustible también aumenta con las RPM a PME bajas.
- A PME altas, el consumo de combustible es relativamente constante con respecto a las RPM.
- La zona de menor consumo de combustible se encuentra en la parte inferior izquierda del mapa (bajas RPM y baja PME).

Las gráficas muestran diferencias claras durante el funcionamiento de motor con combustible Extra-85 RON y GLP-110 RON denotando el aprovechamiento del combustible se genera en diferentes regímenes de motor siendo en el GLP más temprano. La diferencia de comportamiento de los mapas de consumo se debe al octanaje de combustible, así como a las propiedades físicas y químicas de cada combustible aplicado para el estudio.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El proceso de conversión del sistema convencional de gasolina a GLP se llevó a cabo, asegurando la aplicación y adaptación a las normas técnicas establecidas, como la NTE INEN 2 317:2008 y la NTE INEN 2 311:2008. Es importante destacar que se optó por un sistema de tercera generación, con un diseño que simula el funcionamiento de un sistema de carburación, donde el GLP se introduce directamente en el cuerpo de aceleración y su calibración se realiza en el reductor de presión de GLP. El cumplimiento de estas normativas técnicas garantiza la seguridad, fiabilidad y eficacia del sistema de conversión, tanto en su funcionamiento como para mantenimiento, con énfasis en la detección y prevención de posibles fugas, especialmente en el sistema de alta presión, como medida de precaución antes de proceder a las pruebas de funcionamiento.

El estudio comparativo de las curvas de torque y potencia en un motor Chevrolet Aveo 1.6 litros utilizando un dinamómetro de rodillos y equipo AVL reveló una discrepancia del 11.98% entre ambos. Es esencial corregir los datos considerando normativas y condiciones de prueba para obtener resultados precisos. Las correcciones mostraron un buen ajuste en la potencia ($R^2 = 0.8889$), aunque el torque exhibió mayor dispersión ($R^2 = 0.9596$). Observamos que el torque del motor alimentado con GLP aumenta hasta 2000 RPM con 58.402 Nm, mientras que con gasolina extra alcanza su valor máximo de 60.369 Nm y luego disminuye. Aunque ambos combustibles muestran un incremento gradual en el torque hasta un punto máximo, el de gasolina extra es ligeramente mayor y presenta una declinación después del pico, en contraste con el GLP que se mantiene constante. En cuanto a la potencia máxima, se alcanza a 4000 RPM con valores de 41.787 Hp para gasolina extra y 41.962 Hp para GLP, indicando una viabilidad comparable en el rendimiento del motor bajo ambos combustibles. Estas variaciones sugieren una influencia significativa en la eficiencia y rendimiento del motor bajo distintas condiciones de combustible.

Basándonos en el análisis detallado respaldado por gráficos comparativos realizados en el estudio sobre la implementación del sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en las emisiones del motor, se concluye que existen variaciones significativas en las emisiones de los principales gases producto de la combustión al comparar el GLP con el combustible convencional. Los gráficos muestran que, si bien el GLP presenta un índice de octano más alto y, por ende, se esperaría una reducción en las emisiones, la realidad es que las diferencias no son siempre tan marcadas y

pueden depender del nivel de carga del motor. Se observa que, tanto a plena carga como a media carga, el GLP tiende a ofrecer beneficios en términos de reducción de emisiones, especialmente en el caso de CO₂ y NO_x, aunque estas variaciones pueden ser influenciadas por diversos factores, incluyendo el diseño del motor y la calidad del combustible.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) muestra un desempeño superior relacionado a emisiones de gases frente a la gasolina Extra, específicamente en condiciones de carga del 100%. Se obtuvo una reducción significativa del 6.60% en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 8.80% en las emisiones de monóxido de carbono (CO), del 17.90% en las emisiones de hidrocarburos (C₅H₁₂) y un aumento del 9.46% en las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO), considerando que GLP presenta un contenido de oxígeno mayor y un contenido de carbono menor en comparación con la gasolina Extra. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y la conveniencia del uso del GLP como alternativa más ecológica y menos contaminante en aplicaciones de motores de combustión interna. Sin embargo, es necesario aclarar que los resultados descritos se obtuvieron únicamente en el motor de estudio y se debe considerar que los valores pueden variar en otros tipos de motores con diferentes características.

Mediante el análisis estadístico realizado, existe una diferencia significativa entre los tipos de combustible en relación con la variable en estudio, dada por el valor F de la tabla Fisher igual a: 28.34 que supera el valor F crítico igual a: 3.98665. Esta diferencia determina la influencia del tipo de combustible en la variable analizada, lo cual es crucial para tomar decisiones en el contexto del estudio. Además, el análisis del modelo lineal general se considera como una herramienta efectiva para examinar el rendimiento térmico en función de diversos factores, como el tipo de combustible, las RPM y la carga del motor. Mediante el uso de análisis de regresión lineal, pruebas de significancia y cálculos de coeficientes de determinación (R^2), se logra una comprensión más profunda de cómo estos factores afectan el rendimiento del motor. Esta información proporciona una base sólida para identificar los principales impulsores de cambios en el rendimiento del motor en diferentes condiciones de operación, lo que resulta fundamental para la optimización y el diseño de sistemas de combustible más eficientes.

5.2. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos y a las conclusiones se recomienda:

En la implementación y Mantenimiento del Sistema GLP: Se recomienda seguir un proceso meticuloso y riguroso durante la conversión del sistema de gasolina a GLP, cumpliendo con normativas técnicas específicas y prestando atención a la detección y prevención de fugas. Además, es esencial realizar inspecciones regulares y mantenimiento preventivo para garantizar la seguridad y eficacia a largo plazo del sistema.

En la evaluación y Comparación del Rendimiento del Motor: Se recomienda realizar estudios comparativos del rendimiento del motor utilizando diferentes tipos de combustible en diversas condiciones de carga y RPM. Con el objetivo de comprender de mejor manera la influencia de estos factores en el rendimiento del motor y las emisiones de gases, mediante el uso de herramientas analíticas para identificar los principales impulsores de cambios en el rendimiento.

Para las consideraciones Ambientales y de Sostenibilidad: Se recomienda considerar al combustible GLP como una alternativa más ecológica y menos contaminante en motores de combustión interna, dada la reducción significativa de emisiones de gases contaminantes, de acuerdo con los resultados obtenidos en comparación con la gasolina extra. Sin embargo, es importante realizar estudios adicionales para evaluar el impacto ambiental y la sostenibilidad del uso del GLP en diferentes contextos y aplicaciones.

En la optimización y Diseño de Sistemas de Combustible: De acuerdo con los resultados del análisis estadístico y del modelo lineal general, se recomienda la aplicación de estas herramientas para optimizar y diseñar sistemas de combustible más eficientes que mejoren el rendimiento y las emisiones de gases contaminantes. La comprensión de cómo afectan los factores como el tipo de combustible y las condiciones de operación permitiría desarrollar sistemas que maximicen la eficiencia y minimicen el impacto ambiental necesario para contrarrestar los efectos negativos causados en la atmósfera.

GLOSARIO

GLP: El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de gases como el propano y el butano que se licua bajo presión para facilitar su almacenamiento y transporte. Se utiliza comúnmente como combustible en hogares, industrias y vehículos por ser eficiente y menos contaminante que otros combustibles fósiles.

MCI: Un Motor de Combustión Interna (MCI) es un motor donde la combustión del combustible ocurre dentro del motor, generando energía para mover vehículos o maquinaria. Funciona quemando una mezcla de aire y combustible en un cilindro, lo que mueve un pistón y produce energía mecánica.

MEP: El Motor de Encendido Provocado (MEP) es un tipo de motor de combustión interna que utiliza una chispa eléctrica, generada por una bujía, para iniciar la combustión del combustible. Este tipo de motor es típico en los motores de gasolina, conocidos por su capacidad de operar a altas velocidades.

PME: La Presión Media Efectiva (PME) es una medida que refleja la eficiencia de un motor. Indica la presión promedio que, si se aplicara de manera constante en el pistón durante el ciclo de trabajo, produciría la misma potencia que el ciclo real del motor.

RON: El Número de Octano (RON) mide la resistencia de un combustible a la detonación prematura en un motor. Un RON más alto significa que el combustible es mejor para motores de alta compresión, mejorando la eficiencia y reduciendo la emisión de contaminantes.

RPM: Las Revoluciones por Minuto (RPM) indican la velocidad a la que gira el cigüeñal de un motor. Cuantas más RPM, más rápido funciona el motor, lo que afecta directamente la potencia y el rendimiento del motor.

SFC: Consumo Específico de Combustible. El Consumo Específico de Combustible (SFC) mide la eficiencia de un motor en términos de la cantidad de combustible usado para generar una cierta cantidad de potencia. Un SFC más bajo significa que el motor es más eficiente, utilizando menos combustible para producir la misma cantidad de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUIAR, Klever & ROJANO, Danilo.** Análisis comparativo de dos estrategias para la medición de consumo de combustible y validación de las mismas en un dinamómetro (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2023. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/15382/1/65T00368.pdf>.
2. **ARDUINO.** *Arduino Nano Every*. En línea. *Arduino Official Store*. 2024. [consultado el 20/04/2024]. Disponible en: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano-every>.
3. **ARIAS, Xavier & VERA Diego.** Estudio del efecto del octanaje sobre desempeño y emisiones del motor de combustión interna. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2023.
4. **ARIAS, Rosa.** *Aplicación y estandarización del método de cálculo volumétrico en tanques estacionarios de plantas de almacenamiento y envasado de GLP*. [en línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20000>
5. **AUTODATA.** *Chevrolet Aveo Hatchback | Ficha técnica, Consumo, Medidas*. En línea. Технически характеристики, Разход на гориво на автомобили. [s. f.]. [consultado el 18/06/2024]. Disponible en: <https://www.auto-data.net/es/chevrolet-aveo-hatchback-generation-3144>
6. **CALDERÓN, Mario.** Identificación del fallo de los inyectores de un MEC mediante el análisis de las señales de los sensores CKP y CMP utilizando RNA. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2022. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23661/1/UPS-CT010144.pdf>.
7. **CARRERAS, Rita; et al.** Motores alternativos de combustión interna [en línea]. Primera. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. [consulta: 14 mayo 2023]. vol. 1. ISBN 84-8301-818-5. Disponible en: https://www.academia.edu/13386319/Motores_alternativos_de_combusti%C3%B3n_inter
8. **CARRERAS, Roman; et al.** Motores alternativos de combustión interna [en línea]. Primera. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. [consulta: 14 mayo 2023]. vol. 1. ISBN 84-8301-818-5. Disponible en: https://www.academia.edu/13386319/Motores_alternativos_de_combusti%C3%B3n_inter.
9. **CASTAÑO, Dante & PATIÑO, Gema.** Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural (Trabajo de titulación) (Pregrado). Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2020. [en línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/64>
10. **CASTILLO, Javier & MARTÍNEZ, Jericó.** Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión

- Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático Determination of Torque and Power of a Gasoline Internal Combustion Engine by Usi. *Revista Politécnica-Abril* [en línea], vol. 39, no. 1, Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292017000100049
11. **CHAMARRAVI, Oscar & SAAVEDRA, German.** *Evaluación del impacto ambiental generado por la emisión de gases en motores que utilizan complementos lubricantes, en la ciudad de Bogotá DC.* 2013. Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/691/EVALUACION%20DEL%20IMPACTO%20AMBIENTAL%20GENERADO%20POR%20LA%20EMISION%20DE%20GASES%20EN%20MOTORES%20QUE%20UTILIZAN%20COMPLEMENTOS%20LUBRICANTES%20EN%20LA%20CIUDAD%20DE%20BOGOT%C3%81%20D.C..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 12. **CHICA, Fernanda & RIVERA, Nancy.** Gas licuado de petróleo como combustible alternativo para motores diesel con la finalidad de reducir la contaminación del aire. *Ingenius*, no. 4, ISSN 1390-650X. DOI 10.17163/ings.n4.2010.08.
 13. **CLAVIJO, Germania & TAMAMI, Bernardo.** Validación experimental del modelo de cálculo de consumo de combustible desarrollado por el toolbox qss de simulink. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. [en línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18860>
 14. **COLIN & KIRKPATRICK** *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. Third Edition.* Colorado: s.n. vol. 1. ISBN ISBN 978-1-118 53331-4.
 15. **COLIN & KIRKPATRICK** *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. Third Edition.* Colorado: s.n. vol. 1. ISBN ISBN 978-1-118 53331-4.
 16. **COLIN & KIRKPATRICK** *Internal Combustion Engines Applied Thermosciences. Third Edition.* Colorado: s.n. vol. 1. ISBN ISBN 978-1-118 53331-4. CONNER NICK, 2020. Qué es el ciclo de Otto - pV, diagrama de Ts - definición. [en línea]. [consulta: 14 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-ciclo-de-otto-pv-diagrama-de-ts-definicion/>.
 17. **CUSANGUÁ, Ian. & ASQUI, Cecibel.** Reacondicionamiento del dinamómetro borghi&saveri fa200 instalado en el taller de ingeniería automotriz de la ESPOCH para la obtención de curvas de torque, potencia y consumo de combustible de manera digital. 2021. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. [en línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18860>
 18. **DARQUEA, Diego** Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal* [en línea], vol. 3, no. 3, [consulta: 18 mayo 2023]. DOI

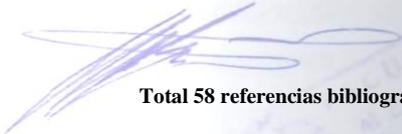
- 10.33890/innova.v3.n3.2018.635. Disponible
<https://revistas.uide.edu.ec/index.php/innova/article/view/635>.
- 19. DARQUEA, Diego.** Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. INNOVA Research Journal [en línea], vol. 3, no. 3, [consulta: 17 mayo 2023]. DOI 10.33890/innova.v3.n3.2018.635. Disponible en: <http://201.159.222.115/index.php/innova/article/view/635>.
- 20. DYNO DYNAMICS.** *Dynotech 2WD - Dinámica Dyno*. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.dyno.com.au/dynotech/dynotech-2wd>. EP PETROECUADOR, 2023. Precios de venta en terminales para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. [en línea]. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/05/ESTRUCTURA-DE-PRECIOS-SEGMENTO-AUTOMOTRIZ-Y-OTROS-MAYO-2023.pdf>.
- 21. DYNOCOM.** *AWD 5000 GDFX - Dynocom*. En línea. Dynocom - Automotive Software & Hardware Data Systems. 2023. [consultado el 18/05/2023]. Disponible en: <https://dynocom.net/product/awd-5000-fx/>.
- 22. EP PETROECUADOR.** Socialización del plan piloto para la implementación de las nuevas gasolineras Eco Plus 89 octanos y Súper Premium 95 octanos – EP PETROECUADOR. [en línea], 2022. [consulta: 19 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.eppetroecuador.ec/?p=14160>.
- 23. FONSECA, Jennifer & GRANIZO Javier.** Análisis comparativo de las curvas de torque y potencia obtenidas por el sensor AVL y el dinamómetro. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17992>.
- 24. GUAMAN, J.** Efecto sobre el consumo y los factores de emisión ante la implementación de un generador de hidrógeno como fuente de combustible adicional para un vehículo GREAT WALL M4 2017 (Trabajo de titulación) (Pregrado). Riobamba-Ecuador. 2022. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20070>
- 25. HEYWOOD, Javier.** *Internal Combustion Engine Fundamentals 2E* [en línea]. Segunda. S.l.: s.n. 18 mayo 2023]. ISBN 1260116115. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Internal_Combustion_Engine_Fundamentals.html?hl=es&id=OmJUDwAAQBAJ.
- 26. HWLIBRE.** *Arduino Nano: todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo*. En línea. Hardware libre. 2024. [consultado el 20/04/2024]. Disponible en: <https://www.hwlibre.com/arduino-nano/>
- 27. LIRA, Georgina & CONDORI, Jenny.** *Un sistema de alimentación dual glp/gasolina de bajo costo para motores automotrices de pequeña cilindrada*. 2005. S.l.: s.n.

28. **MAHA.** *MET 6.3 / MAHA.* En línea. Home | MAHA. 2024. [consultado el 18/03/2024]. Disponible en: <https://www.maha.de/es/productos/tecnologia-de-medicion-de-gases-de-escape/medidor-de-gases-de-emision/met-63~p2172>.
29. **MECÁNICO AUTOMOTRIZ.** Conversión de motores conversión de motores gasolineros A GAS GNC (GNV) Y GLP. [en línea], Disponible en: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1430-curso-conversion-motor-gasolina-gas-gnc-gnv-glp-componentes>
30. **MONTERO, Pedro.** Análisis De Las Propiedades De La Gasolina Super Y Ecopaís Al Ser Mezclado Con Un Aditivo. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Internacional del Ecuador. Quito-Ecuador. 2022. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/4236/1/T-UIDE-0054.pdf>
31. **MONTUFAR, Perla; et al.** Desarrollo de un ciclo de conducción por micro viajes y obtención de los factores de emisión. *Dominio de las Ciencias*, 2021, vol. 7, no 4, p. 1001-1019.
Disponible en: <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/download/2143/4546>
32. **MONTUFAR, Prudencio & PÉREZ, Joel.** Desarrollo de un ciclo de conducción por micro viajes y obtención de los factores de emisión. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 1001-1019. Disponible en: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2143>
33. **MULTICARR,** *Arzapalo Conversión de Vehículos a Sistema DUAL GLP.* [En línea]. Bienvenido a Multicarr Arzapalo. 2019. [consultado el 18/06/2024] Disponible en: <https://www.multicarr.com/servicio/conversión-de-vehículos-sistema-dual-glp>
34. **MUSTAFFA, Niuka; et al.** Conversion of a gasoline engine into an LPG-fuelled engine. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 14, ISSN 18196608.
35. **NTE INEN 2203.** *Medición de gases de escape en motores de combustión interna.* Medición de gases de escape en motores de combustión interna. 2022.
36. **NTE INEN 2204:** *Gestión ambiental. aire. vehículos automotores límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que emplean gasolina.*
37. **NTE INEN 2311:2008:** *Vehículos automotores. funcionamiento de vehículos con GLP. conversión de motores de combustión interna con sistema de carburación de gasolina por carburación dual GLP/gasolina o solo GLP. requisitos.*
38. **NTE INEN 2317.2008:** *Vehículos automotores. funcionamiento de vehículos con GLP. Centro de servicio especializado para conversión y mantenimiento de sistemas de carburación con sistema GLP/gasolina o solo GLP.*
39. **OROZCO, Piero.** *Motor de combustión interna.* [en línea], vol. 2, Disponible en: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Ch3wd5Dam_cJ:https://rua.ua.es

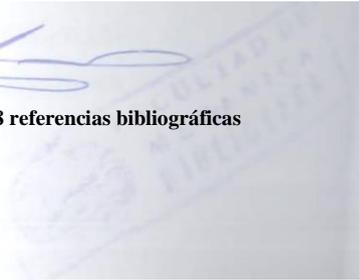
/dspace/bitstream/10045/17062/1/motorcombustioninterna.pdf+&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=co

40. **ORTÍZ, Fernando.** *Introducción a los motores de combustión interna motores diésel marinos descripción breve.* Introducción a los motores de combustión interna motores diésel marinos descripción breve. 2015.
41. **PAYRI, Gonzalo; et al.** *Motores de combustión interna alternativos.* Editorial Universitat politécnica de valencia, 2011.
42. **PICOSCOPE.** *PicoScope 7 Software.* En línea. PC Oscilloscope, Data Logger & RF Products | Pico Technology. [s. f.]. [consultado el 18/04/2024]. Disponible en: <https://www.picotech.com/products/picoscope-7-software>
43. **QUIMITUBE.** *Densidad de un gas: la ley de los gases ideales | Quimitube.* En línea. Toda la Química de 2º de Bachillerato y Selectividad. 25/05/2015. [consultado el 18/06/2024]. Disponible en: <https://www.quimitube.com/densidad-de-un-gas-ley-gases-ideales/>.
44. **REMACHE, Ángela.** Conducción ecológica: evaluación de los parámetros operacionales del Motor de Encendido Provocado (MEP) en una ruta mixta de la ciudad de Quito. *Revista Científica y Tecnológica UPSE* [en línea], vol. 8, no. 1, ISSN 1390-7638. DOI 10.26423/rctu.v8i1.552. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-76972021000100018
45. **ROCHA, Johana; et al.** Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas.//Analysis of Gases of the Engine of a Vehicle through Static and Dynamic Tests. *Ciencia Unemi*, 2018, vol. 11, no 28, p. 97-108. Disponible en: <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/download/711/668>
46. **ROCHA, Jofre; et al.** Study of a gasoline engine in altitude conditions with mixtures containing organic additive in the fuel. *Informacion Tecnologica*, vol. 29, no. 5, ISSN 07180764. DOI 10.4067/S0718-07642018000500325.
47. **ROMERO, Carmen & MEJÍA, Laura.** Evaluación del desempeño de un motor-generator que utiliza GLP de alto contenido de butano como combustible. *Revista UIS Ingenierías*, vol. 21, no. 1, ISSN 16574583. DOI 10.18273/revuin.v21n1-2022012.
48. **SÁNCHEZ, Pedro & OCHOA, Wilmer.** Emisiones de CO₂, crecimiento económico y escolaridad: análisis subnacional para Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 2018, vol. 11, no 2, p. 69-76. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/download/237/235>
49. **SANDOVAL, Enriqu & QUAHARRE, Carlos.** Estudio de línea de base para la obtención de indicadores de economía de combustible de referencia para la implementación de estrategias de reducción de emisiones en vehículos ligeros LDVs. *Revista Canalización del*

- Conocimiento Científico*, 2022, vol. 1. Disponible en: <http://www.revistasguatemala.usac.edu.gt/index.php/rccc/article/viewFile/1721/1609>
50. **SOUROVE, Mariana; et al.** Study of LPG (Liquefied Petroleum Gas) And CNG (Compressed Natural Gas) Vehicles And It's Future Aspects. , no. February 2019.
 51. **TIPANLUISA, Luis; et al.** Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica*, 2017, vol. 28, no 1, p. 03-12. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v28n1/art02.pdf>
 52. **U.S DEPARTAMENT OF ENERGY.** *U.S. energy and employment reports*. En línea. www.energy.gov. 2021. Disponible en: <https://www.energy.gov/policy/2021-us-energy-and-employment-report>.
 53. **UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO.** *Evaluación del estado de motores de vehículos a gasolina modificados para funcionar a GLP*. En línea. [Es.slideshare.net](http://es.slideshare.net) 2024. Disponible en: <https://es.slideshare.net/ucsp/evaluacion-del-estado-de-motores-de-vehiculos-a-gasolina-modificados-para-funcionar-a-glp>
 54. **VALVULITA,** *Guía de conversión a GLP automotriz*. En línea. 09/04/2011. [consultado el 18/06/2024]. Disponible en: <https://www.valvulita.com/content/guia-de-conversion-glp-automotriz>.
 55. **VARGAS, Camila.** Estudio Nacional E Internacional De Producción, Aplicaciones, Almacenamiento E Infraestructura Del Gas Licuado De Petróleo (Glp) Y Su Impacto En La Eficiencia De Motores De Combustión Interna Estacionarios.
 56. **WYLIE, Victor.** *Mecánica de Fluidos*, Novena Edición. Editorial: Mc Graw Hill. (pág. 115-118) Disponible en: *Mecánica De Los Fluidos Streeter 9 Edición : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive*
 57. **VILLEGAS, Anahi.** *Motores de combustión interna*. 2007. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=VILLEGAS%2C+Anahi.+Motores+de+combusti%C3%B3n+interna.&oq=VILLEGAS%2C+Anahi.+Motores+de+combusti%C3%B3n+interna.&aqs=chrome..69i57j0i512i546.2957j0j9&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
 58. **ZAGLINSKIS, Jerag; et al.** Research into the influence of turbocharger system leakage on the parameters of the external work of 1.9 tdi diesel engine. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania* [en línea], vol. 5, no. 5, [consulta: 19 mayo 2023]. ISSN 2029-2252. DOI 10.3846/MLA.2013.86.



Total 58 referencias bibliográficas



ANEXOS

ANEXO A: BANCO DINAMOMÉTRICO DE PRUEBAS



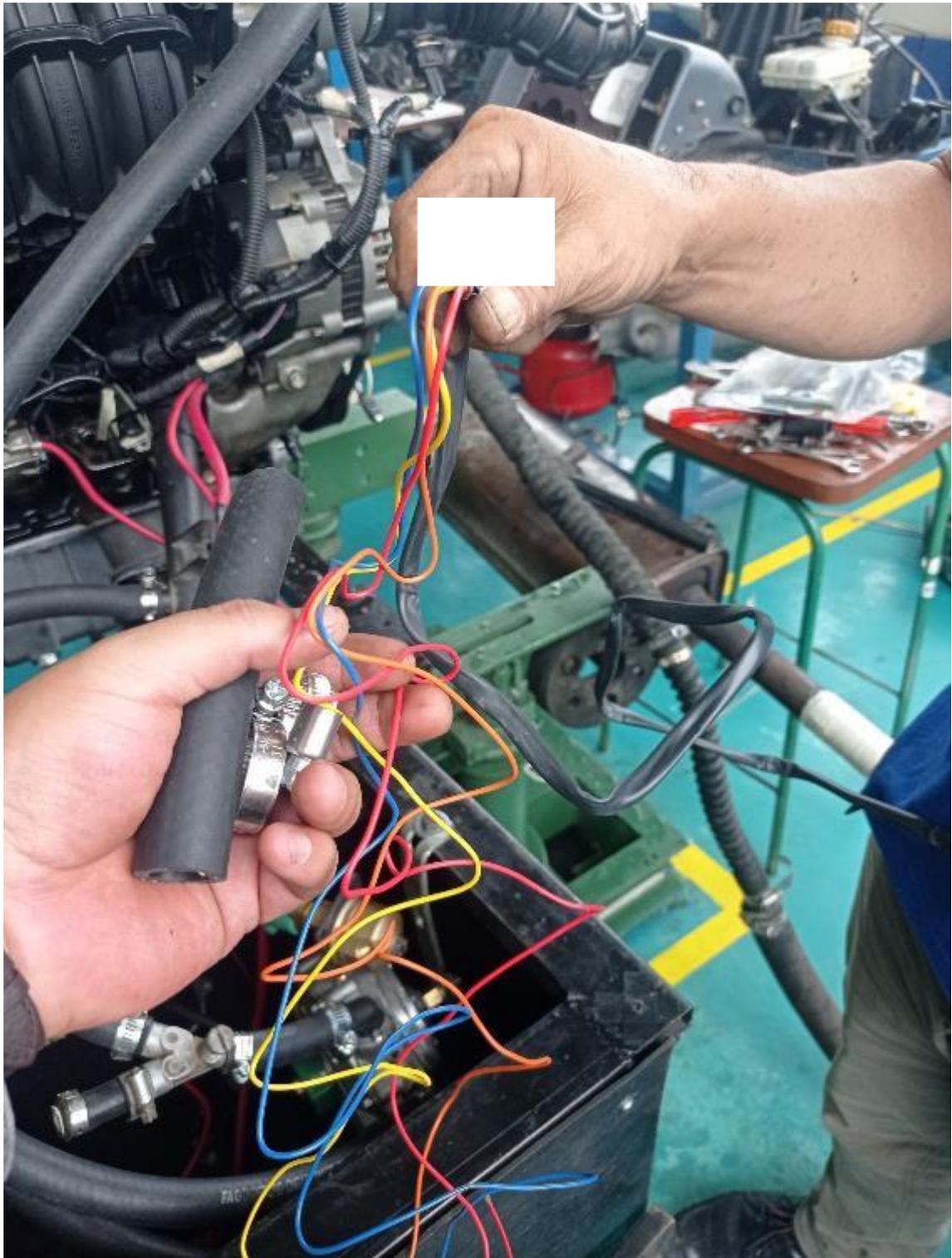
ANEXO B: COMPONENTES DE SISTEMA GLP.



ANEXO C: CONEXIONES DE CAÑERÍA SISTEMA GLP.



ANEXO D: CONEXIONES ELÉCTRICAS SISTEMA GLP.



ANEXO E: CERTIFICACIÓN DE INTEGRIDAD SISTEMA GLP.



ANEXO F: INICIO DE PRUEBAS Y RECOLECCIÓN DE DATOS



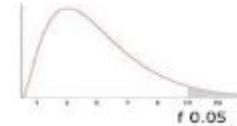
ANEXO G: TABLA DE DISTRIBUCIÓN F FISHER, APLICADO PARA ESTUDIO ANOVA.

Cátedra: Probabilidad y Estadística
 Facultad Regional Mendoza
 UTN

Tabla D-9: VALORES CRÍTICOS

DISTRIBUCIÓN F (0,05)

Área a la derecha del valor crítico = 0,05



g.d.l.	Grados de libertad del Numerador															g.d.l.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,065	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,591	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,188	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,954	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

ANEXO H: INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN DE Sonda DE TEMPERATURA DE SISTEMA GLP.

STC-1000 Operation Instruction

Main function
Switch the modes between cool and heat. Control temperature by setting the temperature set value and the difference value; Temperature calibration; Refrigerating control output delay protection; Alarm when temperature exceeds temperature limit or when sensor error.

Specification and size
 ◆ Front panel size: 75(L)×34.5(W)(mm)
 ◆ Product size: 75(L)×34.5(W)×85(D)(mm)
 ◆ Mounting size: 71(L)×28(W)(mm)
 ◆ Sensor length: 1m(include the probe)

Technical parameters
 ◆ Temperature measuring range: -50°C ~ 99°C
 ◆ Accuracy: ±1°C(-50°C ~ 70°C)
 ◆ Power supply: 12V 24V 110-220VAC 50Hz/60Hz
 ◆ Sensor: NTC sensor (1PC)
 ◆ Relay contact capacity: Cool(10A/220VAC)/Heat(10A/220VAC)
 ◆ Ambient temperature: 0°C ~ 60°C
 ◆ Relative humidity: 20 ~ 85%(No condensate)
 ◆ Resolution: 0.1°C
 ◆ Power consumption: <3W
 ◆ Storage temperature: -30°C ~ 75°C

Panel instruction



Display instruction: Three-digit LED + Minus digit + Status indicator light
 (Status indicator light (Cool, Heat) + Set indicator light (Set))
 Key instruction: "S" key: the key to set; "A" key: Up key;
 "V" key: Down key; "Power" key: the key to turn on and off the power

Indicator light status instruction

Indicator light	Function	Note
Cool indicator light	On: Refrigeration starts; Off: Refrigeration stops; Flash: compressor delay	Cool, Heat indicator light can not be "on" status simultaneously
Heat indicator light	On: heating starts; Off: heating stops	
Set indicator light	On: parameter setting status	

Key operation instruction

- The way to check parameter:
Under normal working status, press "A" key it displays temperature setting value, press "V" key it displays the difference value.
- The way to set parameter:
Under controller normal working status, press "S" key for 3s or more to enter parameter modifying mode, and the "Set" indicator light on, screen displays the first menu code "F1".
Press "A" key or "V" key to adjust up and down and display the menu item and the code of the menu item. Press "S" key to display the parameter value of the current menu. Press both "S" key and hold "A" key or "V" key simultaneously to choose and adjust the parameter value of the current menu value promptly. After finishing the setting, press and release the "Power" key instantly to save the parameter modified value and return to display the normal temperature value. If no key operation within 10 seconds, system won't save modified parameter, screen back to display normal temperature.
- Restore system data
When electrified, system will check itself, screen will display "E" if error exit, please press any key at this time, and it restores default value and enter into normal working mode. It is advised to reset the parameter value under such conditions.

Operati
Under co
status, pro
Under th
also switch the working mode between heating and cooling.
Controller starts refrigerating with cool indicator light on when the measuring temperature value \geq temperature set value + difference value, and the refrigerating relay is connected; if the "Cool" indicator light flashes, it indicates the refrigerating equipment is under compressor delay protect status; when the measuring temperature values temperature set value, the Cool indicator light on, and refrigerating relay disconnects.
System starts heating when the measuring temperature value \leq the temperature set value-difference value, and the "Heat" indicator light on, the heat relay connects. When the measuring temperature \geq temperature set value, the "Heat" indicator light is off, and the heat relay disconnects.

Menu instruction

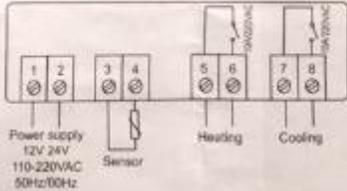
Code	Function	Set range	Default	Note
F1	Temperature set value	-50.0 ~ 99.9°C	10.0°C	
F2	Difference set value	0.3 ~ 10.0°C	0.5°C	
F3	Compressor delay time	1 ~ 10 minutes	3 minutes	
F4	Temperature calibration value	-10.0°C ~ 10.0°C	0°C	

Error description
Alarm when sensor error: Controller activate the sensor error alarm mode when sensor open circuit or short circuit, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nine tube displays "EE"; press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal temperature when the error and the fault is cleared.
Alarm when the measuring temperature exceeds temperature measuring range: Controller activates the error alarm function when the measuring temperature exceeds the temperature measuring range, all the running status is closed off with the buzzer alarms, and the nine tube displays "HH". Press any key can cancel alarm sound, system back to display the normal working mode when the temperature restores to normal measuring range.

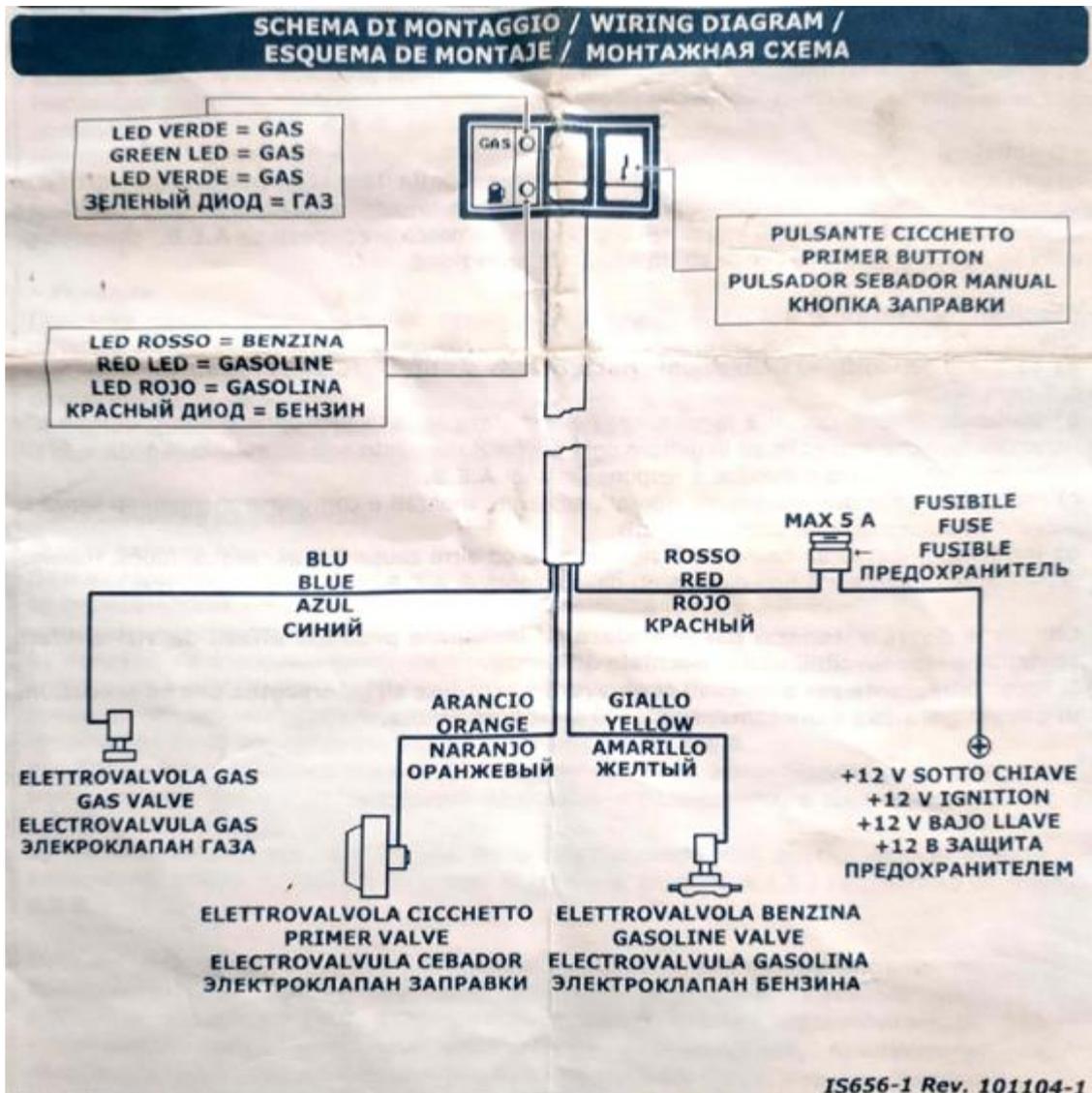
Safety Regulations

- ◆ Danger:
 - Strictly distinguish the sensor down-lead, power wire and output relay interface from one another, and prohibit wrong connections or overloading the relay.
 - Dangers: Prohibit connecting the wire terminals without electricity cut-off.
- ◆ Warning:
 - Prohibit using the machine under the environment of over damp, high temp., strong electromagnetic interference or strong cosmon.
- ◆ Notice:
 - The power supply should conform to the voltage value indicated in the instruction.
 - To avoid the interference, the sensor down-lead and power wire should be kept a proper distance.

Wiring diagram



ANEXO I: ESQUEMA DE MONTAJE DE CIRCUITO DE CONMUTADOR DUAL GLP/GASOLINA.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 25/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR

Nombres – Apellidos: Carlos Patricio Pichasaca Pichizaca

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: Mecánica

Carrera: Ingeniería Automotriz

Título a optar: Ingeniero Automotriz


Ing. Paul Alejandro Montufar Paz
Director del Trabajo de Titulación


Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos
Asesor del Trabajo de Titulación