



Banco de pruebas para un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico.

***Gladys Esperanza Bejarano Tenza
José Isaías Montaña Galán
Mauro De Jesús López***

*Universidad ECCI
Facultad de Ingenierías
Programa: Ingeniería Mecánica
Bogotá, D.C.
Año 2019*

Banco de pruebas para un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico.

Tesis o trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Mecánico.

Director:
Vladimir Silva Leal
MSc. Ing.

Línea de Investigación:
I+D+i denominada Energía y Transporte,
Grupo de Investigación:

Gladys Esperanza Bejarano Tenza
José Isaías Montaña Galán
Mauro De Jesús López

Universidad ECCI
Facultad de Ingenierías
Programa: Ingeniería Mecánica
Bogotá, D.C.
Año 2019

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Dedicatorias

Le dedicó esta tesis con mucho amor y cariño a Dios primeramente porque él fue quien me permitió llegar a este punto llenándome de valor y sabiduría en los momentos más difíciles de mi vida, a mi madre Carmen Rosa Tenza por el regalo de la vida, el buen ejemplo y el amor incondicional, a mi padre Ángel Alberto Bejarano por enseñarme a ser una persona trabajadora, a mis hermanos por su compañía y gran cariño y a mis hijos Karen y Kevin Forero Bejarano. Por ser mi más grande motivación y porque me impulsaron a ser una mejor persona a luchar con gallardía para alcanzar esta meta. A mi compañero de tesis José Isaías Montaña. Por su perseverancia su dedicación y apoyo durante todo este proceso, porque cada vez que yo pensaba en renunciar me animó con sus palabras para continuar. Gracias a todos por no dejarme decaer. Gracias a ustedes hoy puedo decir con orgullo soy ingeniero mecánico.

Dedicatoria

Al Dios de la vida por ayudarme en todas las etapas de mis vida, a mi esposa Ana María que me apoya en todo momento, a mi madre María de los Santos quien inculco en mi vida el amor por el trabajo mis hijas. A mis hijas Keyth Camila y Daniela Tatiana a quienes amo tanto. Siempre fueron ellas el motivo de mis esfuerzos y la preocupación por dejar un legado de hacer las cosas bien.

La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones.

Albert Einstein

Dedicatoria

Dedico este trabajo de Tesis de Grado primero a Dios Todopoderoso por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados, a mi madre Elvira (QEPD) quien ya no nos acompaña en este mundo pero que me dio la vida y mi ser quien soy, a mi esposa Marilyn y mis Hijo David Tomás y Esteban, que con su cariño, afecto y apoyo decidido me impulsaron con sus palabras, a mis amigos incondicionales me brindaron su confianza, a mis profesores, compañeros y al Director Ingeniero Vladimir Silva por sus palabras de aliento para finalizar este proyecto de la mejor manera, a todos mil Gracias.

. Agradecimientos

Primero a Dios por la vida y por concedernos la fuerza y perseverancia para luchar por nuestras metas. A nuestras familias por el apoyo incondicional en cada uno de los momentos difíciles de la vida, por comprendernos cuando dedicábamos todo el tiempo a nuestras obligaciones académicas a veces olvidando del tiempo para compartir con ellos, en especial a nuestros hijos por ser el motivo de lucha día a día. A nuestros compañeros de clase por brindarnos una palabra de aliento cuando nos sentíamos cansados, por las risas que hicieron inolvidable esta etapa.

A la señora Luz López de Soler presidente del consejo ejecutivo de la universidad Ecci (escuela colombiana de carreras industriales) y al ingeniero William Darío Riaño Barón subdirector del centro de las tecnologías del transporte por hacer posible el convenio que nos permitió alcanzar este sueño, a nuestros profesores por compartir con nosotros sus conocimientos haciéndonos crecer como personas, como profesionales. Una especial gratitud a nuestro Director de tesis el ingeniero Vladimir Silva Leal por su apoyo y dedicación durante todo este proceso porque siempre nos animó a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se presentaron.

Mil y mil gracias porque sin ustedes este gran logro no hubiera sido posible.

Resumen

El propósito de este proyecto es la construcción de un banco de pruebas para motor mono cilíndrico de cuatro tiempos que permita conocer la evaluación del consumo de la gasolina corriente, gasolina extra y gas licuado de petróleo (GLP) y la incidencia del adelanto o atraso de chispa de encendido en estos combustibles mediante parámetros de comportamiento y su impacto en la eficiencia de generación de electricidad a la altura de Bogotá.

Este banco consta de un soporte metálico de perfil cuadrado de dos pulgadas, un motor estacionario marca Supra de cuatro tiempos dedicado a gasolina de 5,8 hp, a este motor se le implemento un mecanismo de adelanto y atraso de chispa de encendido, un dispositivo para la alimentación de gas GLP, un freno eléctrico (generador de AC de 4 kilovatios), un banco ventilado de 10 resistencias de 400 vatios cada una y que actúan como carga para el generador, un tablero de instrumentación (voltímetros, amperímetros, frecuencímetros, medidor de temperatura y probeta) y un tablero de control (interruptores de encendido/apagado, de resistencias, gas/gasolina y ventilador).

Palabras clave

Banco de pruebas, Generador AC, Variador de chispa, Frecuencia, Voltaje, Amperaje Consumo, Eficiencia.

Abstract

The purpose of this project is the construction of a test bench for single-cylinder engine times to allow us to know the evaluation of electric power, extra gasoline and liquefied petroleum gas (LPG) and the incidence of progress and interpretation of safety On these fuels through behavioral parameters and their impact on the generation efficiency of electricity at the height of Bogotá.

This bench consists of a metallic support of square profile of two inches, a stationary motor brand Supra of four times dedicated to a gasoline of 5.8 CV, this engine is implemented a mechanism of advancement and retardation of ignition spark, a device of LPG gas injection an electric brake (4 kilowatts AC generator), a bank of 10 resistors of 400 watts each and which act as a load for the generator, an instrumentation board (voltmeters, ammeters, frequency meters, temperature gauge and test tube) and a control panel (on / off switches, resistors, gas / gasoline and fan).

Keywords:

Test Bench, AC Generator, Spark Variator, Frequency, Voltage, Consumption Amperage, Efficiency

Tabla de contenido

Dedicatorias.....	4
Dedicatoria	4
Dedicatoria	6
. Agradecimientos	7
Resumen	8
Palabras clave	8
Abstract	9
Keywords:.....	9
Lista de gráficos.....	12
Lista de tablas.....	15
Lista de abreviaturas	16
Capítulo 1.....	17
1.1 <i>Introducción</i>	17
1.2 <i>Alcance</i>	18
1.3 <i>Objetivo General</i>	18
1.4 <i>Objetivos Específicos</i>	18
1.5 <i>Metodología</i>	19
1.6 <i>Planteamiento del problema</i>	20
1.6.1 <i>Formulación del problema</i>	20
1.6.2 <i>Descripción del problema</i>	20
1.6.3 <i>Oferta del GLP</i>	21
Capítulo 2.....	24
2.1 <i>Estado del Arte y Revisión Bibliográfica</i>	24
2.1.1 <i>Definición del Banco de prueba.</i>	24
2.1.2 <i>Bancos según su tecnología.</i>	24
c) <i>Bancos de prueba híbridos.</i> Es un banco de prueba que posee una masa inercial importante i al mismo tiempo cuenta con un dinamómetro para producir carga en régimen fijo. [1].....	25
2.1.3 <i>Aplicación</i>	25
<i>Según la forma de medir:</i>	25
2.1.4 <i>Motor de combustión interna ciclo Otto</i>	25
2.1.4 <i>Los cuatro tiempos realizados durante un ciclo y sus características:</i> ..	26
2.1.7 <i>Tipos de avances en el encendido:</i>	31
2.1.7 <i>Diagrama de distribución de un Ciclo Teórico frente al Ciclo real de un motor Otto de 4 Tiempos.</i>	31
2.1.8 <i>2.1.6 Rendimientos Térmicos Teóricos en los Ciclos de Trabajo</i>	32
Capítulo 3.....	36
3.1 <i>Parámetros para la construcción del Banco de pruebas</i>	36

3.2	<i>Análisis de las características de cada uno de los elementos.</i>	36
Capítulo 4		45
4.1	<i>Construcción del banco de pruebas.</i>	45
4.2	Adquisición del generador	45
4.3	Adquisición del motor.	46
4.4	Construcción de la estructura metálica del banco de pruebas.	47
	Construcción del Banco de Resistencias (freno de motor)	48
	Tablero de Control	49
	Construcción y ensamble del tablero de instrumentos.	50
	Adquisición equipo conversión gas GLP:	51
	Implementación del variador de encendido VE.	51
	Desmontaje encendido original.	54
	Diseño y construcción del Variador de Encendido V.E.	54
	Adecuación del enfocador.	58
	Primera prueba de funcionamiento:	60
	Desensamble del equipo para acabado con electrostática:	61
	Reglilla de calibración.	63
	Apariencia final del banco de pruebas:	63
Capítulo 5		64
5.1	Protocolos de las pruebas.	64
	Especificaciones de pruebas de funcionamiento:	64
5.2	Verificación de los sistemas.	64
5.3	Enciendo del motor:	64
	Como operar el equipo en gasolina	65
	Como operar el equipo en GLP	65
	Alerta por bajo nivel del aceite.	65
	Apagada del motor.	65
	Datos Supervisados.	66
5.4	Protocolo de pruebas.	66
	Antes de encender el motor verifique:	66
5.5	Pruebas experimentales con gasolina y GLP	67
Capítulo 6		68
	. Conclusiones y recomendaciones	73
	.Conclusiones	73
	. Recomendaciones	74
	Anexos.	75
	Glosario	75
	Bibliografía.	LXXIX

Lista de gráficos

	<i>Pág.</i>
Gráfica 2.1. Banco de pruebas	25
Grafica 2.2 Fuente: motores de combustión interna.....	26
Gráfica 2.3: Se presenta el ciclo lógico de un proceso de combustión y su resultad.....	26
Grafica 2.4: ciclo de cuatro tiempos.....	27
Grafica2.5: tiempo de admisión.....	27
Grafica 2.6: tiempo de compresión.....	28
Grafica 2.7: tiempo de expansión.....	28
Grafica 2.8: ciclo termodinámico (Otto) PV.....	29
Grafica 2.9: Ciclo real de un motor de Cuatro tiempos.....	30
Grafica 2.10: Diagrama de distribución de un Ciclo Teórico frente al Ciclo real de un motor Otto.....	31
Grafica 2.11: Diagrama Indicador P-V 4 Tiempos.....	33
Gráfica 2.12: Comparación entre el área del diagrama Teórico y Real del Indicador.....	36
Gráfica2.13: Representación gráfica de la presión media indica.....	36
Gráfica 3.1: Motor Honda GX 270 9H.....	37
Grafica 3.2: generador de corriente alterna.....	39
Grafica 3.4: Conexión en paralelo de las 10 resistencias Al generador AC.....	40

Grafica 3.5: caja de resistencias.....	41
Gráfica 3.6: Ventilador de 10 pulgadas, 80 Vatios.....	41
Gráfica 3.7: plano estructura metálica.....	42
Gráfica 3.8: Bosquejo del tablero de control.....	42
Gráfica 3.9: Bosquejo del tablero de Instrumentos.....	43
Grafica 4.1: Motogenerador Tecumset.....	44
Grafica 4.2: Generador explosionado Maxa 4000	45
Gráfica 4.3: réplica del motor honda GX270.....	47
Grafica 4.4: estructura metálica del banco.....	48
Grafica 4.5: ruedas para la estructura.....	48
Grafica 4.6: Banco de Resistencias (freno motor).....	49
Gráfica 4.7: conexión eléctrica.....	50
Gráfica 4.8: caja de protección del banco de resistencias.....	50
Gráfica 4.9: Tablero de control.....	51
Gráficas 4.10: tablero de instrumentos.....	51
Grafica 4.11: equipo con versión gas GLP.....	52
Gráfica 4.12: variador de encendido.....	53
Grafica 4.13: volante motor.....	53
Grafica 4.14: cambio del sistema de encendido.....	54
Gráfica 4.15: Cremallera tipo Toyota.....	54
Gráfica 4.16: Plantilla de la base .cremallera.....	55
Gráfica 4.17: Plantilla de la base cremallera.....	56
Gráfica 4.18: Soporte metálico de la cremallera.....	57

Gráfica 4.19: adecuación del espacio para instalar el sensor CMP en el extremo De la cremallera.	57
Gráfica 4.20: sensor instalado.....	58
Gráfica 4.21: pieza base para desplazamiento.....	58
Gráfica 4.22: pieza de deslizamiento.....	59
Gráfica 4.23: ensamble del conjunto de desplazamiento.....	59
Gráfica 4.24: sistemas bifásicos.....	60
Gráfica 4.25: Antes de pintura.....	61
Gráfica 4.26: estado final de pintura.....	61
Gráfica 4.27: control de temperatura ATR226-12ABC.....	62
Gráfica 4.27A Esquema de conexiones de las resistencias del banco.....	63
Gráfica 4.28: estado final de pintura.....	62
Gráfica 4.29: control de temperatura ATR226-12 ABC.....	63
Gráfica 4.30: Instalación de la termocupla.....	63
Gráfica 4.31: Reglilla de avance.....	64

Lista de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1.1 Estimación de la demanda energética colombiana.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 1.2. Demanda de GLP– PD --- Fuente: SUI.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 1.3 Producción total de GLP disponible para la venta – BPD.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 1.4 usos del GLP.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5.1 Límites máximos de emisión permisible para vehículos convertidos a gas natural vehicular o GLP.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 5.2. Límites máximos de emisión permisibles para.....</i>	<i>70</i>
<i>Vehículos accionados con gasolina en velocidad de crucero y en Condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 6.1: producción de CO GLP VS Gasolina.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6.2: producción de CO2.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 6.3: comportamiento del O2.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 6.4: comportamiento HC.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6.5: comportamiento del factor lambda.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 6.6: consumo.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 6.7: comportamiento de la intensidad.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 6.8: comportamiento del voltaje.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 6.9: comportamiento de la frecuencia.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 6.10: ppm de HC con GLP según avance de encendido.....</i>	<i>79</i>

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Definición
A	Amperio
CMP	Posición del árbol de levas
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
EDIS	Sistema de Ignición Electrónica Sin Distribuidor
Ppm	Parte por millón
P	Potencia
P	W
°F	Grados Farenhait
Fr	Frecuencia
GND	Tierra - Negativo de la Batería, Inducido a Partes Metálicas del Motor, Carrocería y/o Chasis
HC	Hidrocarburos
HP	Caballos de fuerza
Hz	Hercio
I	Intensidad
Mm	Milímetro
NOX	Óxido de Nitrógeno
OHC	Árbol de levas en la culata
R	Resistencia
T	Temperatura / Tesla / Tiempo / Periodo
V	Voltios
W	Watio
Ω	Ohmio (omega)

Capítulo 1

1.1 Introducción

En Colombia uno de los combustibles más importantes que tenemos es el Gas Licuado de Petróleo GLP y debido a sus características podría jugar un papel muy importante hacia un cambio energético sostenible y seguro.

El Gas Licuado de Petróleo GLP también llamado propano se produce en un 60% en el momento de la extracción de gas natural y petróleo del suelo. El 40% restante se produce durante el refinado de crudo de petróleo. El GLP es, por tanto, un producto secundario que existe de forma natural. Anteriormente, el GLP se quemaba por venteo (antorcha) en el momento de la extracción del petróleo, desperdiciando esta fuente de energía. A nivel mundial como a nivel nacional la oferta del gas han ido de la mano con la demanda, donde históricamente el déficit se ha manejado de manera responsable dado que se recurre a importaciones cuando es necesario para no perturbar el crecimiento de demanda energética. Frente a este aspecto en Colombia, tanto Ecopetrol como empresas privadas agrupadas (Gasnova) suplen estos déficits de la demanda con producción nacional e importaciones.

El GLP es una fuente energética única, con diversas ventajas debido a su naturaleza, tiene múltiples aplicaciones, como usos en la industria. Es energía limpia por su bajo contenido en carbono, además es eficiente, ofrece beneficios al consumidor por su uso y economía. Es amigable con el medio ambiente ya que reduce en un 68% las emisiones de óxido de nitrógeno y 15 % de las emisiones de dióxido de carbono.

Uno de los usos más comunes, es facilitar la generación de electricidad de manera eficiente y descentralizada mediante moto generadores, contribuyendo a mejorar la calidad del aire en interiores y exteriores, así como reducir los gases de efecto invernadero ya que el GLP es un 20% inferior a la del fueloil de calefacción y un 50% inferior a la del carbón.

1.2 Alcance

En la generación de energía eléctrica, las unidades electrógenas están compuestas básicamente de un generador de corriente alterna, que es movido por un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos que a su vez vienen dedicados a gasolina, estos son equipos que prestan un gran servicio en hogares que se encuentran en lugares remotos donde no hay redes eléctricas que suplan los electrodomésticos.

Este tipo de motores presentan una arquitectura sólida, donde el sistema de encendido es por autoinducción y el ángulo de encendido es fijo, calculado para características específicas de la gasolina.

Se piensa que las condiciones favorables de la oferta a futuro del GLP en todo el país y con las cualidades excepcionales de este gas como combustible se puede aprovechar de mejor manera en este tipo de motores, teniendo presente que el GLP tiene un poder calorífico y octanaje superior que el de la gasolina, sabemos que el ángulo debe variar, y es acá donde se ve la necesidad de construir un banco de pruebas para motores mono cilíndricos de cuatro tiempos con variador de chispa, que nos permitirá investigar de manera experimental la incidencia del adelanto o atraso de la chispa de encendido cuando es sometido a pruebas con GLP y así determinar el consumo del GLP en los motores mono cilíndricos de cuatro tiempos cuando estos vienen dedicados a gasolina.

1.3 Objetivo General

Construir un banco de pruebas para la evaluación de los parámetros y comportamientos de un motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de combustión interna, cuando es sometido a pruebas de gasolina y GLP.

1.4 Objetivos Específicos

- ✓ *Determinar los parámetros para la construcción de un banco de pruebas en motores mono cilíndricos de cuatro tiempos.*
- ✓ *Construir el banco de pruebas para el análisis de motores mono cilíndricos de cuatro tiempos.*
- ✓ *Realizar pruebas experimentales con gasolina y gas licuado de petróleo (GLP) aplicando los protocolos necesarios.*

- ✓ *Analizar los resultados del comportamiento del adelanto y atraso de la chispa de encendido en función del régimen nominal de generación (3600 RPM) con los combustibles GLP, Gasolina.*

1.5 Metodología

Para esta investigación se consultó el estado del arte sobre diseño y construcción de bancos de pruebas para gasolina, se realizó un estudio sobre combustibles alternativos y su uso en Colombia con énfasis en GLP, se compila la información bibliográfica, artículos, proyectos de referencia, Web. A partir de esto se determinó el tamaño, el tipo y características del motor, del generador, del banco de resistencias (freno eléctrico al motor), del tablero de control y de los instrumentos de medición, con base en esta información se establece un prototipo sencillo que facilite el uso y lectura de todos los componentes, que disminuya la concentración de esfuerzos y además distribuir de las cargas tanto estáticas como dinámicas.

Para la construcción de este proyecto se pensó que el banco de pruebas debe responder a necesidades pedagógicas, técnicas y exigentes trabajos repetitivos. Es así como se definió un orden específico en la construcción del banco de pruebas así:

Se construyó la estructura metálica para el banco de pruebas.

Se ensambla del motor de cuatro tiempos mono cilíndrico de 5,8 hp con el generador de corriente alterna en el banco de 4Kw

Se realiza la construcción y ensamble de un banco de resistencias tubulares con su respectivo cableado, interruptores, caja de control y con las conexiones necesarias al generador.

Se instalaron los instrumentos de medición de potencia eléctrica, temperatura y consumo de gasolina.

Posteriormente se acopla del sistema de gas en la alimentación de combustible.

Se diseña, se construye y se instala el variador de chispa realizando algunas adecuaciones al enfocador del motor.

Se realizan pruebas para determinar su funcionamiento.

Se realizó el desensamble, se pinta la estructura y ensamble definitivo del banco de pruebas.

Se cambia el sistema de autoinducción por uno electrónico de alto voltaje.

Se realizan balanceos al volante y se instalan reglas de medición de los grados en tiempo de encendido.

Se diseña y se ajusta los sistemas de aceleración independiente tanto para gasolina como para el GLP.

Una vez concluido el montaje se realiza pruebas con gasolina corriente y extra con el fin de recopilar datos que nos sirven de referencia para el estudio de eficiencia del gas. En las pruebas posteriores con GLP se hicieron variaciones en el avance de encendido y ajustes a la mezcla alcanzando mayor eficiencia energética.

1.6 Planteamiento del problema

1.6.1 Formulación del problema.

¿Es posible mejorar la eficiencia del GLP o propano comercial en motores mono cilíndricos, utilizados la generación eléctrica? ¿Se puede ajustar el adelanto y atraso de la chispa de encendido de un motor de combustión interna, cuatro tiempos mono cilíndrico cuándo este es sometido al uso de GLP sin afectar la eficiencia?

1.6.2 Descripción del problema.

Las proyecciones del crecimiento de la demanda de las fuentes energéticas en Colombia son constantes, según la Unidad de Planeación Minero Energético (UPME) la demanda energía final crecerá a una tasa de 2,32% promedio anual en el período 2013 - 2030, que equivale a un aumento de aproximadamente 126 millones de barriles equivalentes de petróleo, destacándose el aumento de la electricidad y del gas natural con tasas de crecimiento promedio anual de 3,46% y 2,88%, respectivamente, seguidos por el ACPM, cuyo incremento se sitúa alrededor de 2,63%.

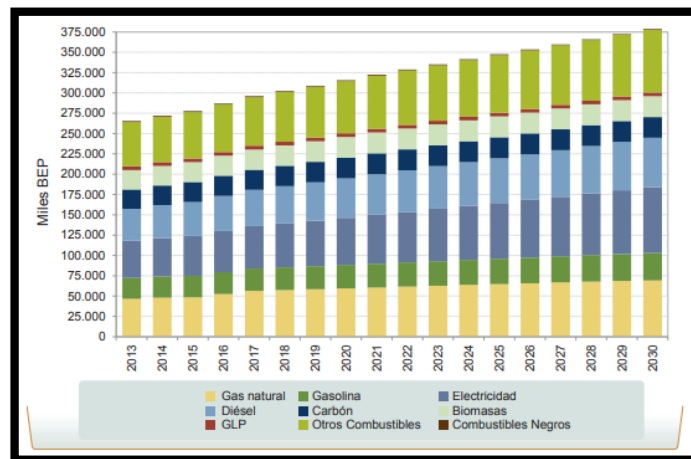


Tabla 1.1 Estimación de la demanda energética colombiana

Fuente: UPME

En la Grafica 1 se observa que las demás fuentes energéticas crecen de manera moderada siendo el GLP el de menor tasa de crecimiento, en este análisis es de resaltar que en términos absolutos, todos los energéticos presentan crecimientos positivos.

La demanda de GLP en Colombia, históricamente se ha visto limitada por la oferta de este combustible, sin embargo la entrada en producción de campos operados por agentes privados, y la reducción en el consumo derivado del mayor uso de gas natural generaron una transformación total del sector. En el periodo comprendido

entre 2005 y 2015, los cambios en la demanda de combustible son notorios, no obstante se alcanzaron mercados en departamentos del país en los cuales no se tenía presencia representativa como son Chocó, Vichada, Guainía, Guaviare, entre otros.

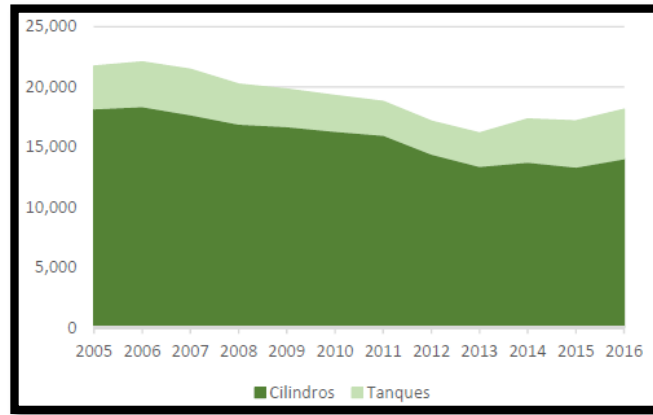


Tabla 1.2. Demanda de GLP – BPD.
Fuente: SUI

A pesar de que el GLP se posiciona con un 3% en la demanda de las fuentes energéticas en Colombia, según se observa en la Gráfica 2, a partir del año 2012, la demanda cayó en un promedio anual de 3%, presentando un ligero repunte durante el año 2014 con una variación del 7% respecto al año 2013. En el 2016 la demanda se ubicó en 18,136 BPD, con una tendencia de crecimiento con respecto al 2015 del 5.72%.

1.6.3 Oferta del GLP

El Ministerio de Minas mediante la Resolución 40694 de 2016 solicitó a los agentes productores y/o importadores de GLP las proyecciones de producción por fuente y por un horizonte de cinco años contados a partir del 2016. Con base en la información recibida, el Ministerio definió y publicó un horizonte de producción de GLP hasta el año 2021, aclarando que algunos productores privados no habían remitido la información solicitada. En la Gráfica 3, se presenta la producción total disponible para la venta reportada por los productores en el horizonte definido hasta el año 2021.

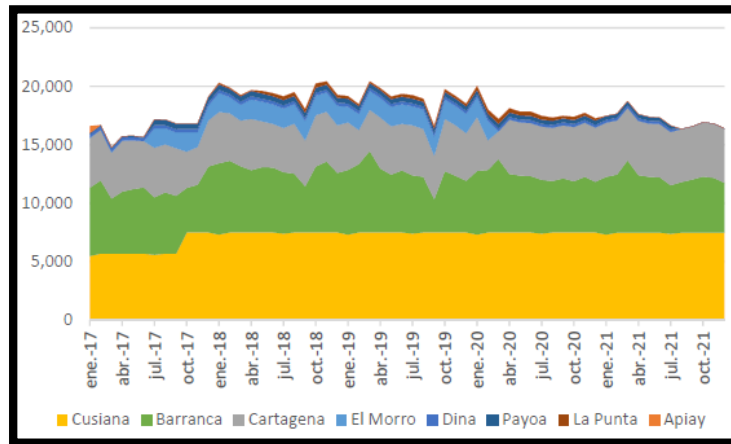


Tabla 1.3 Producción total de GLP disponible para la venta – BPD
Fuente: MME y Cálculos UPME

Según el documento, DIRECCIÓN DE ESTUDIOS SECTORIALES de la contraloría general de la nación Para el año 2017 la demanda se situó en 18.000 BPD de los cuales Ecopetrol aportó para la oferta 15.832 BPD, el 86%, el restante fue atendido por terceros e importaciones.

Básicamente la demanda de GLP corresponde al consumo del sector residencial, y es utilizada esencialmente para la cocción de alimentos, que por ser declarado como un servicio público domiciliario su abastecimiento debe ser garantizado prioritariamente por el Estado.

El Gobierno Nacional con el fin de garantizar el abastecimiento de GLP a los sectores prioritarios en el territorio nacional expidió el Decreto 2251 de 2015, por el cual establece el orden de atención del GLP producido en el país y estipula que “una vez descontadas las cantidades mínimas de GLP requeridas para garantizar la continuidad operativa de las refinerías”, se deben atender en su orden a:

Los usuarios residenciales, pequeños usuarios comerciales y pequeños usuarios industriales, aunque La Ley ni la regulación no definen el pequeño usuario comercial ni industrial, lo que no permite aplicar la regulación.

Los contratos vigentes con garantía de suministro sin interrupciones.

A su vez, en el mismo decreto se suspende las exportaciones en firme, las cuales deben ser reconocidas si son entregadas para el consumo interno.

Usos del GLP en Colombia 2017

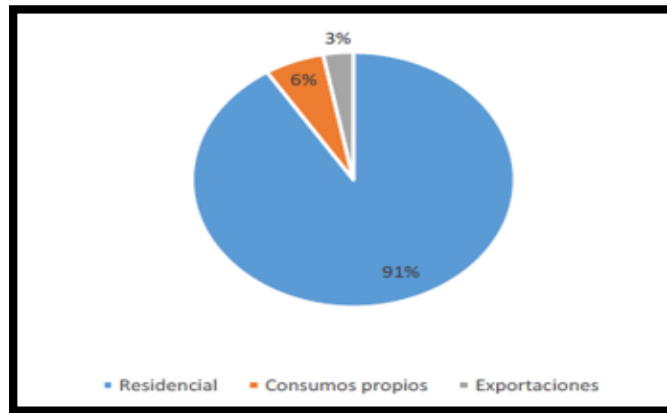


Tabla 1. 4 usos del GLP

Fuente: datos tomados documento Upme "Cadena del GLP 2017" - procesado CGR.

Tenido en cuenta el panorama de la demanda y de la oferta se cree que es posible la generación de energía eléctrica con moto generadores para beneficio de la población más vulnerable y que aún viven en Zonas No Interconectadas (ZNI) y que puedan disfrutar del uso de electrodomésticos y porque no sistemas refrigeración micro industrial o de calefacción que les permita un vida más digna. Se piensa que estos moto generadores a ser alimentados con GLP y ajustado el ángulo de encendió nos permiten obtener energía de óptima calidad.

Capítulo 2

2.1 Estado del Arte y Revisión Bibliográfica

En este capítulo se relaciona brevemente información bibliográfica a fin a los principios, funcionamiento, y características de los motores mono cilíndricos de cuatro tiempos.

2.1.1 Definición del Banco de prueba.

Es un dispositivo que sirve para medir las prestaciones de los motores y sus características de funcionamiento. El banco de pruebas se emplea tanto para la obtención de datos importantes sobre la puesta a punto de prototipos como para la determinación de ciertos datos fundamentales necesarios para la prueba de los motores fabricados en serie y/o usados. [1]

Para analizar exclusivamente el comportamiento del motor, éste se fija sobre un soporte apropiado y se conecta a un freno dinamométrico por medio de juntas. En cambio, cuando se desea analizar las prestaciones globales del sistema motor-transmisión de un vehículo, se emplean bancos de rodillos directamente por las ruedas. Ambos sistemas de medida se usan desde los comienzos de la historia del automóvil. [1].



Figura 2.1. Banco de pruebas. [1]

2.1.2 Bancos según su tecnología.

- a) **Bancos de prueba dinamométricos**, son los encargados de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar distintas condiciones operativas del motor. [1]

- b) **Bancos de prueba inerciales.** No posee un elemento que produzca una carga, sino que cuenta con una masa inercial opone resistencia al motor o vehículo, solamente mientras está acelerándose. [1]
- c) **Bancos de prueba híbridos.** Es un banco de prueba que posee una masa inercial importante i al mismo tiempo cuenta con un dinamómetro para producir carga en régimen fijo. [1]

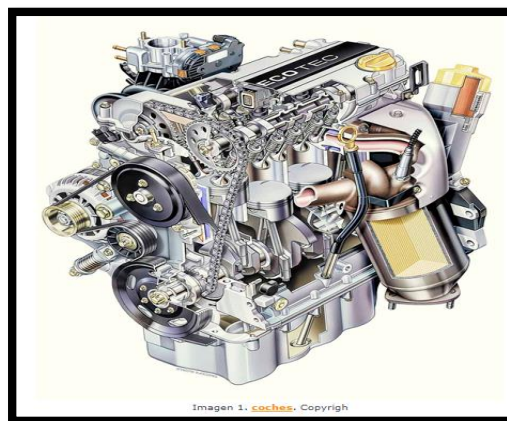
2.1.3 Aplicación

Según la forma de medir:

- a) **De motores:** Solo se mide el motor y este debe desmontarse del vehículo para medirse. [1]
- b) **De chasis.** Se mide completo a través de sus ruedas. Puede unirse un rodillo (simple o doble) o puede montarse dinamómetros individuales en cada rueda. [1]

2.1.4 Motor de combustión interna ciclo Otto

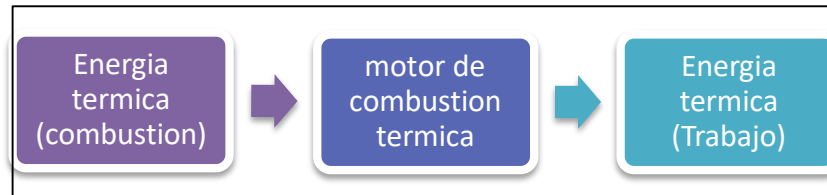
En el siglo XVIII, alrededor de 1961, el Ingiero Alemán Federico Augusto Otto, realizo sus primeros análisis con un motor de gas de 4 tiempos, el cual lo tendría que abandonar debido a algunas fallas de tipo técnico. En el año 1867 los alemanes Otto y Langen idearon un motor de 4 tiempos de gasolina, con ignición de la mezcla comprimida la cual fue presentada un año más tarde en Paris. Este magnífico resultado provocado por la chispa en la mezcla comprimida en lugar de solo aspirada, que aumenta de manera considerable los rendimientos de los motores.



Grafica 2.2: motores de combustión interna
Fuente: Educativa

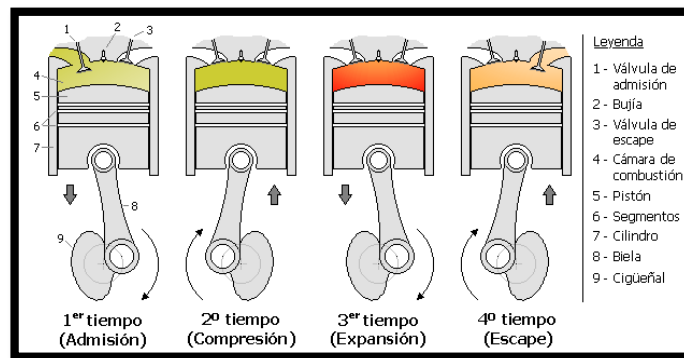
Los motores de combustión interna es una máquina que obtiene la energía mecánica directamente de la energía química de un combustible, este proceso se genera dentro de una cámara de combustión, estructura básica de un motor. Este trabajo resultante de este ciclo se aplica a la cadena cinemática de un vehículo consiguiendo el movimiento deseado.

En la Gráfica 2.3 Se presenta el ciclo lógico de un proceso de combustión y su resultado:



Grafica 2.3
Fuente: (Educativa).

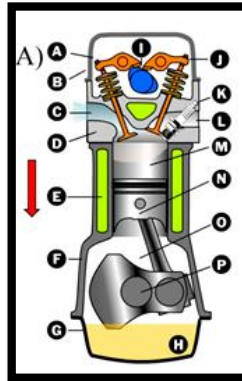
2.1.4 Los cuatro tiempos realizados durante un ciclo y sus características:



Grafica 2.4: ciclo de cuatro tiempos
Fuente: (educativa).

Primer Tiempo o de Admisión: En esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire-combustible en los motores encendido provocado (MEP) o aire en motores de encendido por compresión (MEC). La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la válvula de admisión está abierta. En este primer tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas 90°. La válvula de admisión se encuentra abierta y la carrera de pistón va en descenso.

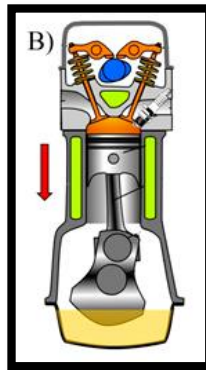
Tiempo de Admisión



Grafica 2.5: tiempo de admisión
Fuente: (educativa)

Segundo Tiempo o de compresión: Para este tiempo al llegar la carrera al punto muerto inferior (PMI), la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso máximo del pistón (PMS). En este tiempo el cigüeñal ha girado 360° y el árbol de levas da 180° y además ambas válvulas se deberán cerrar y su carrera se completara dando lugar al siguiente tiempo.

Tiempo de compresión

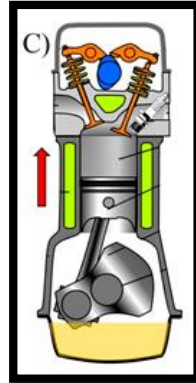


Grafica 2.6: tiempo de compresión
Fuente: (educativa)

Tercer tiempo o de explosión/expansión: En este tiempo al llegar el pistón al punto muerto superior (PMS), el gas alcanzara la máxima presión. En este punto para motores de encendido por chispa se provoca la inflamación del combustible-aire, mientras que en los motores diésel, se inyecta el combustible pulverizado a alta presión (para motores de inyección directa por encima de 4500 PSI y electrónico common rail por encima de 20.000 PSI) a una temperatura predeterminada por el fabricante.

Es de aclarar que una vez se inicie la combustión, esta progresa rápidamente, en este punto la temperatura aumenta rápidamente y la presión en el interior del cilindro expandiendo los gases y empujando el pistón en forma descendente. Solo en esta fase se obtiene la fuerza suficiente y el trabajo deseado. En este tiempo el cigüeñal gira otras 180° y el árbol de levas gira únicamente 90° , las válvulas deberán estar cerradas y su carrera es descendente.

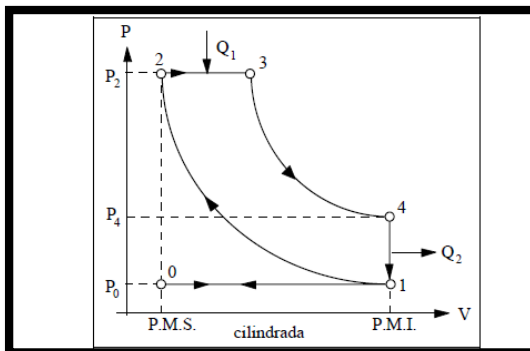
Ciclo de Explosión/Expansión



Grafica 2.7: tiempo de expansión
Fuente: Educativa

Cuarto tiempo o Escape: En esta fase el pistón es empujado siguiendo el movimiento rotacional del cigüeñal y va ahora en carrera de ascenso, los gases de la combustión son expulsados por la válvula de escape que permanecerá abierta. Al llegar a este punto muerto superior (PMS), se deberá cerrar la válvula y se iniciara un nuevo ciclo, en este ciclo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas solo gira 90° .

Ciclo termodinámico de Otto En la siguiente grafica se expresa el ciclo termodinámico para un motor de cuatro (4) tiempos.



Grafica 2.8: ciclo termodinámico (Otto) P-V
Fuente: Anexo P ciclo_teorico.pdf

El ciclo teórico Otto, analizado en la gráfica P-V se puede considerar como ejecutado según las transformaciones termodinámicas así:

Entre 0-1, Admisión se supone que circulación de gases en el interior de motor no hay rozamiento por lo que no hay perdidas de carga o sea se considera Isobara y se mantiene constante.

Entre 1-2, Compresión se realiza de una manera tan rápida que no hay interferencia con el medio por lo que no hay transformación se considera Adiabática.

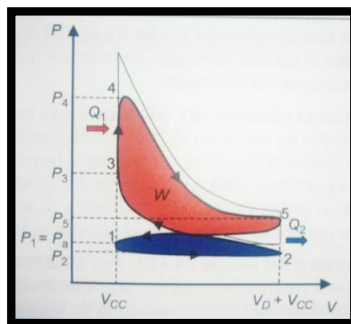
Entre 2-3, Combustión se produce un salto de corriente por medio de la bujía produciendo una cantidad considerable de calor Q_1 , al ser tan rápida se supone no hay desplazamiento por lo que el volumen no se transforma, se considera entonces Isocora.

3-4 Trabajo, Para este momento se supone que debido a la rapidez de giro del motor los gases quemados no tiene tiempo para intercambiar calor con el medio por lo que se considera la transformación de calor ha sido constante, ósea, adiabática.

4-1 Primera fase escape, se supone una apertura instantánea de la válvula de escape, lo que genera una salida de gases del interior del cilindro y una pérdida de calor, Q_2 que permite considerar una transformación a volumen constante ósea, Isocora.

1-0 Segunda fase de Escape, el pistón al desplazarse hacia PMI, provoca la expulsión de gases remanentes en el cilindro y se supone que los gases quemados no ofrecen resistencia alguna para salir a la atmosfera por lo que la presión en el interior del cilindro es constante, entonces el comportamiento es esta fase es Isobara.

Ciclo real:



Gráfica 2.9: Ciclo real de un motor de Cuatro tiempos

Fuente: (1) D. González Callejas <<Motores, Transporte y mantenimiento de vehículo y electromecánica de vehículos>> Pág. 37.

2.1.5 Ciclo Real de un Motor Otto de 4 tiempos

Analizando las transformaciones reales, están encerradas por las curvas de compresión, combustión y la primera parte del escape, éstas son menores que en el ciclo teórico.

Esta área representa el (w) trabajo realizado por una maquina térmica el cual se considera como positivo, frente al trabajo realizado por uno real será siempre menor pues al ver la gráfica la pérdida de área es razonable.

Otra conclusión importante es la analizar la fase de admisión y la segunda de escape tendrían lugar a presión constante representada con una línea recta en la línea P-V. En el ciclo real ambos procesos generan un área llamada lazo de renovación de la carga. En esta área se puede observar que el perímetro del área es contrario como las manecillas del reloj o sea que el trabajo es negativo lo que quiere decir al que aportarle a la máquina.

Veamos las variaciones del ciclo real en cuanto a los avances o retrasos que sufren las válvulas para maximizar el área P-V el cual genera el trabajo positivo y tratar de buscar el mayor rendimiento térmico. Lo ideal en estos procesos térmicos aminorar el porcentaje en el área P-V, el lazo de renovación de la carga donde se genera trabajo negativo, por otro lado lo que se busca es generar un rendimiento volumétrico.

(AAA) Avance de la apertura de la admisión: En este momento de la fase de escape durante el movimiento ascendente del pistón al punto muerto la apertura de la válvula de admisión se debe adelantar unos grados al PMS, para que la admisión de aire por depresión del pistón facilite a la vez la salida de los gases quemados, facilite la entrada de la mezcla-combustible por la válvula de admisión.

(RCA) Retraso del cierre de Admisión: Para que el sistema genere un mayor rendimiento se aprovechara la inercia de la mezcla, el ingreso de la mezcla en la cámara se sigue realizando al demorar el cierre de la válvula de admisión respecto del PMI, que deberá permanecer abierta un poco más en su carrera ascendente.

(AAE) Avance de apertura de escape: En esta fase de expansión, la apertura de válvula de escape se deberá adelantar unos grados a la llegada del pistón al PMI, Se compromete en gran medida la carrera útil de la fase de expansión y reduce el trabajo entregado pero en compensación la evacuación de los gases de escape.

(RCE) Retraso al cierre de escape: Se usa de la misma manera la succión provoca por la velocidad de evacuación de los gases para retrasar el cierre de la válvula de escape después de la llegada del pistón al PMS, esto para evitar que los gases de escape queden en la cámara.

Otro aspecto a tener en cuenta es el cruce valvular, el cual es el tiempo que sucede desde que abre la válvula de admisión hasta el cierre de la escape, en este punto ambas válvulas quedaran un instante abiertas para ayudar en cierta manera a la salida éxito de los gases de escape.

(AE) Avance de Encendido: Los fabricantes también tuvieron en cuenta el momento que se suceda el encendido, ya que la combustión no se produce instantemente y su presión máxima debe darse en el PMS, hay que adelantar el encendido o salto de chispa antes de que el pistón llegue al final de la carrera compresión.

El avance por lo general es reglado en grados señalados en la polea del cigüeñal desde encendido hasta que el pistón llegue al PMS. (1)

2.1.7 Tipos de avances en el encendido:

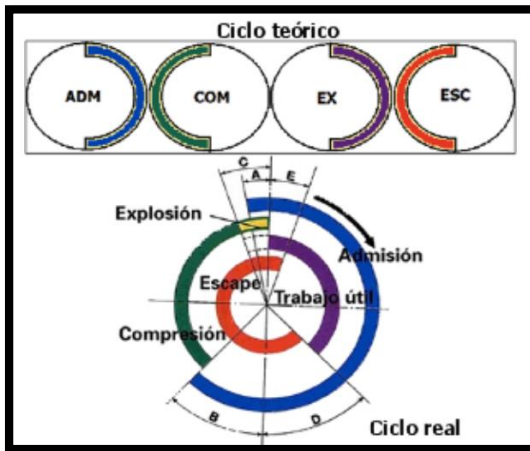
Avances Inicial: Este se realiza del calado inicial del dispositivo de reparto de la chispa y deberá mantenerse el régimen de ralentí y que es representado en un sistema de distribución.

Avance Centrifugo: Es un avance el cual tiene variación en función de las revoluciones **y este adelanto** de la chispa se podrá modificar de acuerdo a la revoluciones.

Avance de Carga: Al igual que en caso anterior, este es un parámetro dinámico. El tiempo que tarda en producirse la combustión depende de la carga del motor, por lo que el avance de encendido hay que modificarlo según varíe la depresión en colector de admisión. (1).

2.1.7 Diagrama de distribución de un Ciclo Teórico frente al Ciclo real de un motor Otto de 4 Tiempos.

Como se puede observar en un ciclo real frente al teórico en un motor convencional se deben modificar algunas condiciones de las válvulas donde se acondicionaran cuando se abran o cierren en los extremos de carreras del pistón. Estas modificaciones se pueden observan en la figura siguiente.



Grafica 2.10: Diagrama de distribución de un Ciclo Teórico frente al Ciclo real de un motor Otto de 4 Tiempos.

Fuente: Infotaller tv

2.1.8 2.1.6 Rendimientos Térmicos Teóricos en los Ciclos de Trabajo

Para realizar los análisis de las propiedades y características propias de los motores se pueden verificar los ciclos teóricos son una medida muy cercana al estudio de los motores porque se suponen las hipótesis que simplifican el supuesto de comportamiento de los mismo.

En los análisis que hacen a maquinas térmicas lo más importantes para las transformaciones son reversibles, no hay pérdidas de calor, tiempo y que el fluido evoluciones es aire. Si se considera como base para este estudio el fluido de trabajo es aire que significa que evoluciona en el ciclo térmico sufriendo las mismas transformaciones que si se considerase una mezcla aire-combustible, que en la fase de combustión se le aporta una cantidad de calor similar a la generada por la inflamación de una mezcla real y que es en escape cede la misma cantidad de calor que si se utilizara en el fluido real.

Supone el aire será puesto como se un gas ideal, se puede iniciar el estudio de los motores en condiciones ideales. (1)

Recordando el ciclo de Carnot se tiene la siguiente fórmula para citar el rendimiento:

$$\eta_1 = W/Q_1$$

Esta expresión es la normalmente se relaciona el trabajo obtenido con respecto a la cantidad de calor aportado. En consecuencia el trabajo y el calor se pueden medir en Julios (J), que significa el rendimiento no posee unidades, ya se representa el factor de aprovechamiento de la energía.

Con base de la expresión de ciclo de Carnot matemáticamente se demuestra que el rendimiento teórico de un motor de combustión interna alternativo es el siguiente.

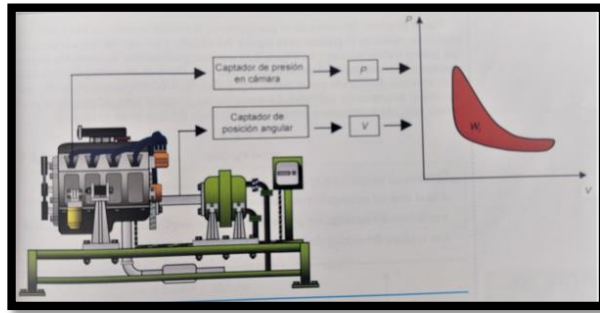
$$\eta_t = 1 - W/r^{\gamma-1}$$

Donde r , es la relación de compresión del motor y, γ , es el coeficiente adiabático del motor que para motores Otto es del 1.33 y para motores Diésel es del 1.4

La anterior expresión del rendimiento térmico teórico es válida para Motores Otto y Diésel. La diferencia consiste en los ciclos ideales básicamente, radica en que los motores Diésel son rápidos el proceso de combustión y se daba en dos fases, una a volúmenes constantes y la otra a presión de constante, pero como la fase de volumen constante predomina sobre la de presión constante, el diagrama tiene prácticamente las mismas transformaciones que un motor a gasolina y puede aplicarse la misma fórmula de rendimiento teórico en los motores a gasolina y Diésel empleados en la industria automotriz.

En consecuencia directa la expresión del rendimiento térmico es que este aumenta conforme lo hace la relación de compresión, pero este parámetro está limitado en los motores por las tensiones mecánicas a las que estarán sometidos sus elementos y caso se motores a gasolina en concreto, porque hay que mantener la mezcla dentro de los límites de la inflamabilidad que permiten comprimir la mezcla sin que se produzcan las detonaciones antes del salto de la chispa.

Para explicar más abiertamente los ciclos teóricos se determinan matemáticamente aplicando algunas fórmulas de termodinámica que nos dan a saber cuál es la presión, el volumen y la temperatura en cada punto del ciclo, de un motor que trabaja con un fluido de determinadas características y que opera con una relación de compresión establecida. Los ciclos reales se obtienen en bancos de prueba instrumentando el motor con unos aparatos que miden el desplazamiento del pistón, determinando la variación del volumen y la presión en el cilindro en cada posición del pistón, como se muestra en la figura. De esta manera se puede generar el diagrama P-V, real. Estos aparatos se denominan indicadores, con lo que el diagrama real del motor térmico se conoce también como diagrama indicador.



Gráfica 2.11: Diagrama Indicador P-V

Fuente: (1) D. González Callejas <<Motores, Transporte y mantenimiento de vehículo y electromecánica de vehículos>> Pág. 43.

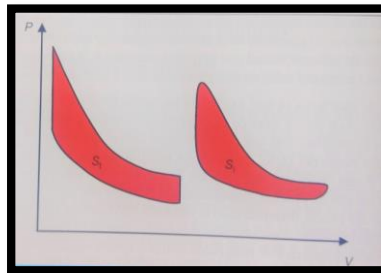
El análisis del diagrama teórico como el real o el indicador, concluye entre las líneas de tiempos de compresión, combustión, expansión e inicio del escape un área que representa el trabajo entregado por el motor, este se denomina trabajo indicador o W. Como se observa en las figuras siguientes, el área del diagrama teórico es mayor que el indicado y la relación que hay entre ambas es el rendimiento del diagrama.

$$nd = S_i / S_t$$

Siendo: nd, el rendimiento del diagrama

Si: es la superficie del diagrama del indicador

St: la superficie del diagrama teórico



Gráfica 2.12: Comparación entre el área del diagrama Teórico y Real del Indicador

Fuente: (1) D. González Callejas <<Motores, Transporte y mantenimiento de vehículo y electromecánica de vehículos>> Pág. 44

Para este caso lo que se quiere obtener es la presión media indicada en el PMI, que es el valor medio de la presión en el cilindro a lo largo del ciclo que generara trabajo positivo.

$$A = b \cdot h$$

$$A = b \cdot h$$

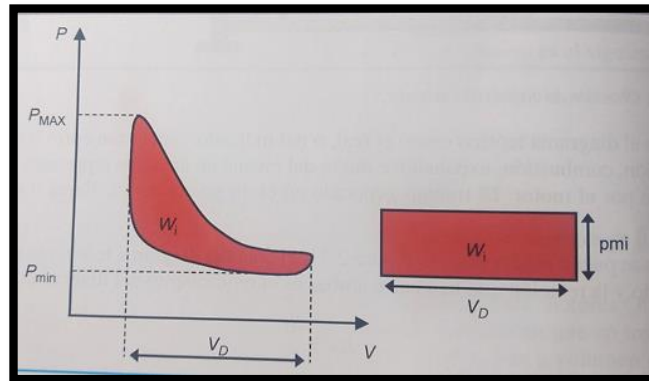
$$W_i = V_D \cdot p_{mi}$$

$$W_i = V_D \cdot p_{mi}$$

A = área del rectángulo = W_i

B = base del rectángulo = V_D

h = es la altura del rectángulo = p_{mi}



Grafica 2.13: Representación gráfica de la presión media indicada

Fuente: (1) D. González Callejas <<Motores, Transporte y mantenimiento de vehículo y electromecánica de vehículos>> Pág. 44

La siguiente figura muestra la obtención de este parámetro y se puede observar que PMI es la altura de un rectángulo cuya base es el volumen desplazado por el pistón (VD), y cuya área es el mismo trabajo (Wi), que encierra el diagrama del indicador, como lo muestra la formula anterior.

Si ahora se toma el volumen desplazado VD, en metros cúbicos (m³), por ejemplo y la presión media efectiva, pmi, en pascales.

Pa siendo 1Pa= 1N / 1 m²,

El área tiene unidades del Julios, 1 J = 1N . 1 m

Entonces

$$W_i = (N \cdot m) = V_D (m^3) \cdot p_{mi} (N/m^2) \text{ operando}$$

$$W_i = (N \cdot m) = V_D (m^3) \cdot p_{mi} (N/m^2)$$

$$W_i = (N \cdot m) \text{ es decir Julios (J)}$$

Capítulo 3

3.1 *Parámetros para la construcción del Banco de pruebas*

En este capítulo se busca determinar los parámetros para la construcción de un banco de pruebas, para que cumpla con los mínimos requisitos al momento realizar las pruebas experimentales con gasolina (corriente y extra) y GLP y además se pueda analizar la velocidad angular y el comportamiento del avance de encendido en cada uno de los combustibles a experimentar, se elabora un listado preliminar de cada uno de los elementos, instrumentos y dispositivos que participaran en la construcción y desarrollo del proyecto.

- ✓ *Un motor mono cilíndrico a gasolina de uno.*
- ✓ *Un generador de corriente alterna (AC) a 120 v*
- ✓ *Un banco de resistencias.*
- ✓ *Una estructura metálica base.*
- ✓ *Un tablero de control.*
- ✓ *Un tablero de instrumentos*
- ✓ *Báscula o gramera.*
- ✓ *Variador de encendido.*
- ✓ *Protocolos de la pruebas*

3.2 *Análisis de las características de cada uno de los elementos.*

Los elementos y dispositivos a usar en este proyecto deben cumplir con las mínimas exigencias y estándares de calidad con el fin de garantizar su integridad que al momento de la prueba y la mayor fidelidad y precisión en los registros para que al momento de evaluar los resultados se alcance la mayor confiabilidad, por esta razón se tomaron cada uno de los elementos y se analizaron uno a uno para asegurar la mayor exactitud.

El motor mono cilíndrico. Se piensa que debe ser relativamente pequeño, ya que el costo son directamente proporcionales con el tamaño, además el generador y las resistencias (freno) incrementaría de la misma forma costos. Técnicamente debe permitir mantenimiento preventivo, correctivo y de justes. Comercialmente debe ser un motor de uso regular que en términos de representación de marca y accesibilidad garantice los repuestos en un futuro. En cuanto al manejo e intervenciones del mismo este debe permitir el acceso a sus componentes de facilitando los análisis técnicos, pruebas repetitivas y de corta duración. Por estas razones, se decide adquirir uno como se muestra en la figura con unas mínimas características como, dedicado a gasolina, de cuatro tiempos, de nueve (9) caballos de potencia, carburado, comercial con un régimen de trabajo constante de 3600 RPM.

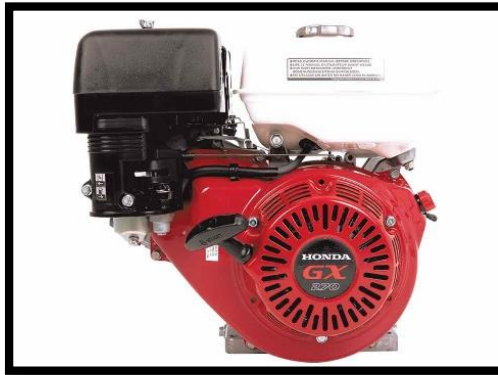
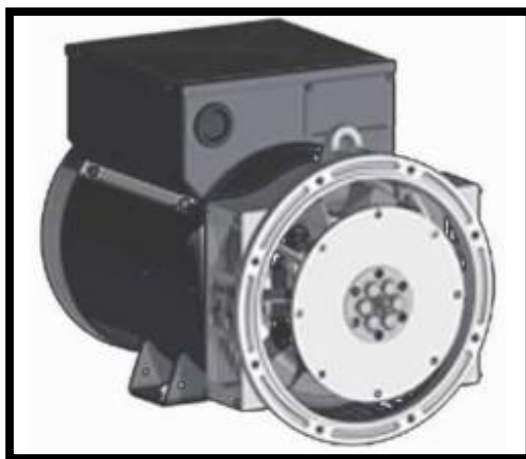


Figura3.1: Motor Honda GX270 9 Hp
Fuente: Honda

Para la construcción del freno motor, las características técnicas de este deben suplir ampliamente las necesidades.

El generador de corriente alterna. Debe estar dentro de los parámetros de acoplamiento tanto mecánico como eléctrico para el motor un 9 hp de potencia, según los diseñadores de moto generadores de las casas comerciales, generalmente ellos usan un generador de 4 kV para acoplarlo a un motor de 8 hp, es decir que por cada kilovatio (kV) de generación de corriente eléctrica nominal, el motor debe aportar 2 caballos de potencia (hp).

Las características principales de este generador debe ser de 120 - 220 voltios de corriente alterna (AC) y 4 kV de potencia de uso doméstico.



Gráfica 3.2: generador de corriente alterna
Fuente: TECNICI CARPI GRUPOS ELETRÓGENOS.

Este El **banco de resistencias** debe permitir diez (10) consumos iguales de 400 KW cada uno con el fin de realizar cargas graduales en porcentajes de un 10% y que al conectar todas las resistencias sume un carga resistiva total de 4 KW, esto facilita extraer la información de la potencia eléctrica del generador a 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 80%, 90%, y 100%.

Las resistencias que se utilizaran deben ser secas, tubulares, rectas de 5/16 en acero de 40 centímetros de longitud, de 110V con una potencia nominal de 400 Vatios cada una, como se muestra en la figura 3.3 ellas son rectas pero se curvaran para que ocupen menos espacio.



Gráfica 3.3: Resistencia tubular curvada
Fuente: autores

Como el generador Maxa 4000 produce 4 KV a 120 voltios, pensamos que debemos realizar cargas en porcentajes de un 10%.

Calculamos el valor en vatios de cada una de la resistencia a instalar así:

Carga total: 4000 vatios:

Potencia de cada una de las resistencias ($P = V \cdot I$):

$$\text{Entonces: } P = 4000W/10\%=400 \text{ vatios}$$

Intensidad en las resistencias ($I = P/V$):

$$\begin{aligned} \text{Entonces: } I &= 4000W/120V \\ I &= 33,33 \text{ A} \end{aligned}$$

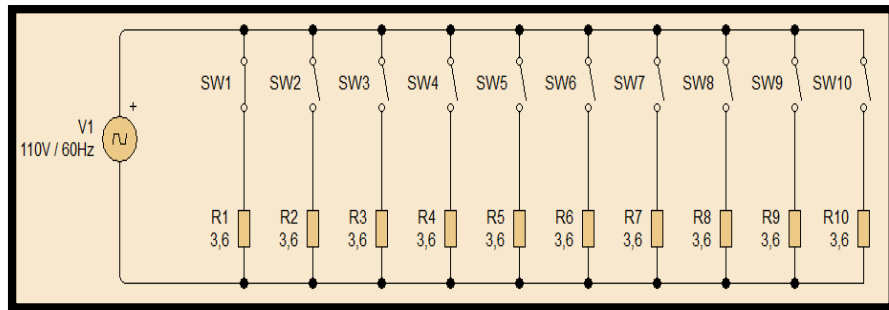
Resistencia (según la ley de ohm $V = I \cdot R$):

Despejando R:

$$R = 120V/33,33 A$$
$$R = 3,6 \Omega$$

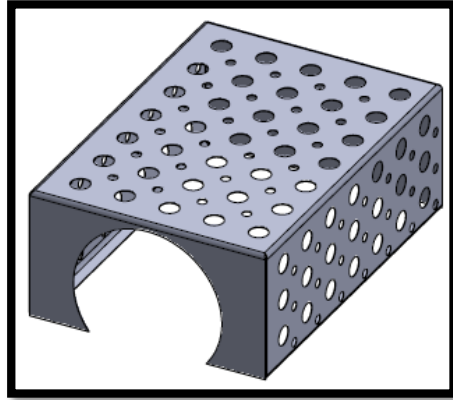
Por lo tanto se precisa que cada una de las 10 resistencias consume 400 vatios y soporta un voltaje de 120 voltios a 33,33 amperios con una resistencia de 3,6 ohmios.

Las conexiones de las resistencias serán en paralelo como se muestra en la figura 3.4 utilizando cable número 14 siliconado capaz de manejar 4 amperios hora sin calentarse, con terminales de cobre de 35 amperios que garanticen una conexión segura y libre de pérdidas eléctricas con interruptores de neón de 12 amperios a 110V.



Grafica 3.4: Conexión en paralelo de las 10 resistencias al generador AC
Fuente: autores.

Se piensa que las resistencias deben estar en una caja metálica con agujeros pequeños que servirá de soporte y a su vez de protección para evitar accidentes por quemaduras durante las pruebas, en la parte baja de las resistencias se incrustaran en una lámina de 32 cm por 45 cm, en Eterboard, que tendrá como función aislar eléctrica y térmicamente las conexiones de todas las resistencias.



Gráfica 3.5: caja de resistencias
Fuente: Autores.

Como las resistencias en la medida que se vayan realizando las pruebas, estas por obvias razones se calentarán, y como están agrupadas la temperatura aumentara críticamente y se destruirán por exceso de calor, para solucionar este problema se piensa que debe haber un ventilador de tamaño apropiado para refrigerar mediante aire forzado el conjunto de resistencia durante el tiempo de cada prueba.



Gráfica 3.6: Ventilador de 10 pulgadas, 80 Vatios
Fuente: ventiladores.com

En el grafico 3.7 podemos observar La estructura metálica (banco metálico) de manera general tiene como función la integración primordialmente del motor y el generador, esto dos elementos producen los mayores esfuerzos estáticos y termodinámicos, por lo tanto esta estructura deberá soportar eficientemente:

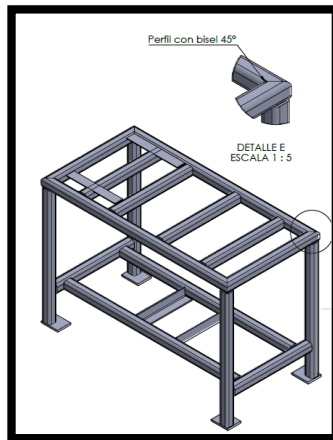


Gráfico 3.7: plano estructura metálica

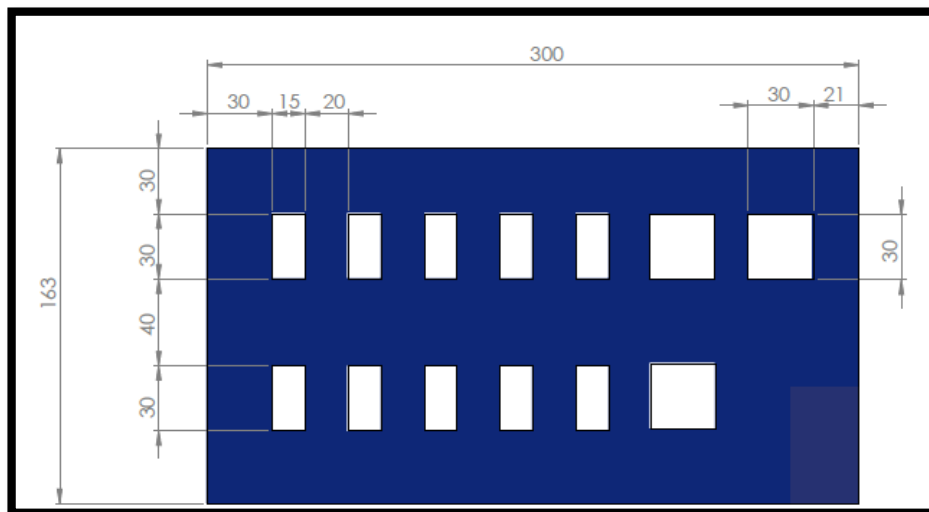
Fuente: Autores. Véase anexo L.

- **Altas temperaturas** producidas por el motor y el banco de resistencias. Soportar peso del motor, el generador, el banco de resistencias, el tablero de control, el tablero de instrumentación completo y el peso de sí mismo, es decir unos 100 kilogramos aproximadamente.
- **Absorción de vibraciones y esfuerzos** multidireccionales que se derivaran al momento de cada una de las pruebas.
- **Modularidad**, este criterio es muy importante dado que las partes a ensamblar deben contener otras, como los son: el motor, el generador, el tablero de control, el tablero de instrumentos, el banco de resistencias, esto facilita el remplazo de alguna pieza en un futuro.
- **Movilidad** del banco se dará por ruedas de goma de 10 cm con freno en dos de ellas, esto facilita el traslado del banco de un lugar a otro.
- **Esteticidad**, el banco debe tener prestaciones dinámicas, versátiles, que su construcción sea pertinente, agradable y accesible en el momento de realizar las pruebas para los usuarios dejando un aire de confianza en los observadores y operadores.
- **Compacto**, todos los elementos que componen el banco de pruebas serán sometidos a los más altos niveles de exigencia que se darán en los momentos de las pruebas, asegurando la conectividad eléctrica, mecánica y de alimentación de cada una de las partes, para así tener una información veraz y efectiva.

El tablero de control es el lugar, donde se conectan o se desconectan las resistencias, controlando las cargas que se requieran durante las pruebas. Se compone por:

- 10 interruptores de neón con una capacidad mínima en los contactos de 4 amperios AC que es el consumo aproximado de cada resistencia.
- Un interruptor de encendido del motor, tiene como función controlar el suministro de la corriente de bobina del motor, acá se maneja una corriente de 4 amperios DC aproximadamente.
- El interruptor de encendido y apagado del ventilador de calor del banco de resistencias, acá se maneja una corriente de 2 a 3 amperios AC aproximadamente.
- El interruptor de control de combustibles, es un comando electrónico que nos va ayudar a determinar el uso del tipo de combustible para cada una de las pruebas objeto de este proyecto.

En la gráfica 3.8 se muestra la distribución de espacios para la ubicación de los interruptores.



Gráfica 3.8: Bosquejo del tablero de control
Fuente: Autores véase anexo L

Tablero de instrumentos: Según la gráfica 3.9 este tiene como misión reportar digitalmente en tiempo real el comportamiento eléctrico de las resistencias, el consumo y la temperatura del motor.



Gráfica 3.9: Bosquejo del tablero de Instrumentos
Fuente: Autores. Véase Anexo L

Este tablero tendrá soportes que permitirán acoplarlo a la estructura principal y se compone de:

- *Voltímetro, de 4 dígitos- programable 48x96mm que nos permite visualizar en tiempo real el comportamiento del voltaje aprovechado por las resistencias.*
- *Amperímetro, de 4 dígitos - programable que nos permite vigilar la cantidad de corriente consumida por cada una de las resistencias.*
- *Frecuencímetro, de 3 dígitos - 48x96 mm este instrumento nos permite chequear la frecuencia de la corriente producida por el generador.*
- *Control de temperatura digital, Nos permite verificar permanentemente la temperatura de la cámara de combustión. Y se recomienda Controlador de procesos temperatura ATR226-12ABC.*
- *Probeta: El material de fabricación debe ser reglada y transparente permitiendo la medición del consumo de la gasolina en mililitros, además restante a la corrosión de los combustibles, se recomienda una probeta de 500 ml de polimetil penteno.*

Para realizar unas operaciones más precisas se sumarían los siguientes equipos de medición:

- ✓ *Báscula o gramera: Frente a cada una de las posibilidades para medir el consumo del GLP se decidió que se haría por contabilidad del peso másico, se piensa utilizar una báscula gramo a gramo para pesar el cilindro de gas, durante*

cada una de las pruebas facilitando estos registros con precisión en el consumo del combustible.

- ✓ *Un cilindro de gas propano: Para evitar las posibles interrupciones de las pruebas por falta de combustible (GLP) y que se tenga suficiente para un sin número de pruebas se opta por instalar un tanque de gas de 40 libras y que se adquiere en el mercado común.*
- ✓ *Variador de encendido: A la altura de Bogotá los motores de combustión interna de cuatro tiempos presentan un comportamiento diferente en comparación con el trabajo a nivel del mar, Para la ignición de la combustión, la chispa de encendido debe saltar entre 7 y 15 grados antes de que el pistón llega al punto muerto superior (p.m.s.), finalizando la carrera de compresión, dado que, desde que se produce la chispa hasta que se produce la combustión de la mezcla pasa un tiempo. Ahora este tiempo que pasa al producirse la combustión varía en cada tipo de combustible por ejemplo el GLP tiene un poder calorífico mayor que la gasolina, lo que llevara mayor tiempo para que se produzca una combustión completa. Si no corregimos o ajustamos el encendido, el motor bajara sus prestaciones, habrá pérdida de potencia, mayor consumo de combustible y mayor producción de emisiones contaminantes. ahí es donde juega un papel muy importante la corrección mecánica de avance o atraso del encendido. Con motivo de nuestra investigación, en teoría, si se está usando GLP en un motor la chispa de la bujía tendría que producirse un momento antes o un momento después (con respecto a la gasolina) para compensar el tiempo que le llevaría una combustión completa. Este variador se montara con dispositivos periféricos como es una cremallera radial y guía de fuerza que permite el desplazamiento mecánicos de la bobina de encendido sin alterar la holgura que por fabricación hay entre el magneto y el imán permanente del volante, este movimiento tendrá lugar en los dos sentidos para que en un futuro cercano se pueda realizar pruebas con otro tipo de gases.*
- ✓ *Adecuación del GLP; se piensa acoplar al carburador original del motor predeterminado para gasolina, un carburador adicional que cumplirá la función de realizar la mezcla aire /GLP.*

Capítulo 4

4.1 Construcción del banco de pruebas.

En este capítulo se documenta la construcción del banco de pruebas para el análisis de motores mono cilíndricos de cuatro tiempos teniendo en cuenta el análisis de los elementos capítulo anterior donde se eligió las características de cada uno de los elementos a ensamblar según su función específica.

4.2 Adquisición del generador

Se ubicó un sitio en el barrio Ricaurte en Bogotá donde reparan motores eléctricos y moto generadores, allí se consultó con los expertos del taller nuestras intenciones y nos ofrecieron como se aprecia en la Grafica un motogenerador de segunda, cuyo motor es 8 hp a gasolina de cuatro tiempos mono cilíndrico de la marca Tecumseh americano, con un generador original de 4 KV 110 -220 VAC de marca Maxa 4000 y se pensó que el generador se ajusta perfectamente a las necesidades para las pruebas con gasolina y GLP, por sus características físicas, técnicas y economía decidimos adquirirlo.



*Grafica 4.1: Moto generado Tecumset
Fuente: Autores.*

De acuerdo a la experiencia que tenemos, se realizó un diagnostico preliminar con el fin de verificar el estado tanto del motor como del generador. Según el resultado de las pruebas por una parte se llegó a la conclusión de que las condiciones internas del motor no eran las mejores por lo tanto este motor se descartó para el montaje del proyecto. Por el otro lado las condiciones del generador son las óptimas para acoplarlo a nuevo motor.

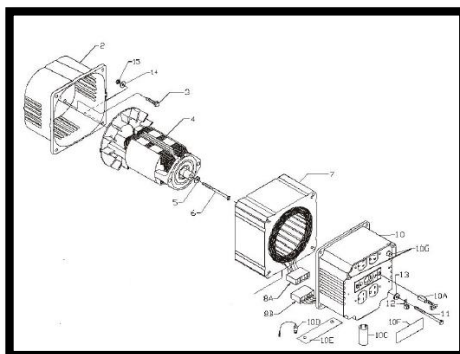


Grafico 4.2: Generador explosionado Maxa 4000
Fuente: Manual Maxa 4000

4.3 Adquisición del motor.

Como del motogenerador que se compró solamente se utilizará el generador, nos dedicamos a buscar en el mercado de importaciones un motor que cumpliera con las especificaciones técnicas del anterior, como se observa en la figura se ubica un motor de marca SUPRA de 9 HP a gasolina (réplica del motor honda GX270) con las especificaciones técnicas que aparecen en el anexo S y de 270 centímetros cúbicos que sería el más acorde a los requerimientos.



Gráfica 4.3: réplica del motor honda GX270
Fuente: Autores

El nuevo motor, presenta una diferencia con el motor descartado, ya que el cigüeñal es 6 centímetros más largo y la punta que acopla al generador es cilíndrica a diferencia del anterior que era cónico. Por esta razón fue necesario llevar el cigüeñal nuevo al torno para que le cortaran la diferencia, volverlo cónico y se maquinara una rosca interna nueva de 9 mm con paso 1.25.

Una vez modificado el cigüeñal se lleva al taller del importador para que sea armado, una vez terminado el armado del motor, la empresa nos hace entrega del mismo con sus respectiva garantía para ser ensamblado en la estructura metálica donde se acopla al generador Maxa 4000 sin dificultades.

4.4 Construcción de la estructura metálica del banco de pruebas.

Para la fabricación de la estructura metálica se tuvo en cuenta las distancias de los soportes tanto de motor como del generador, como se muestra en la figura se hizo en tubo de 2 pulgadas cuadrado, calibre 16 con el fin de que sea resistente a los esfuerzos estáticos dados por el peso del motor, el generador, banco de resistencias y los tableros de control e instrumentos. El peso de la estructura debe ser acorde para que por masa absorba las vibraciones derivadas de los esfuerzos dinámicos proporcionados por el trabajo propio de las pruebas a realizar, además esta estructura debe resistir las temperaturas provocadas durante el funcionamiento normal del motor.



Grafica 4.4: estructura metálica del banco
Fuente: Autores. Véase Anexo S

Para facilitar la movilidad del banco, se instalaron 4 llantas de goma de 9 cm por 4 cm con freno en dos de ellas para evitar que en el momento de adelantar las pruebas se mueva la estructura y de esta manera evitar posibles accidentes, además de facilitar la movilización del banco en momentos de preparación.



Grafico 4.5: ruedas para la estructura
Fuente: Amazon.

Una vez ensamblados estos tres elementos (Motor, Generador y estructura metálica) se realizaron pruebas de encendido, funcionamiento, verificación de

ruidos, generación eléctrica, vibraciones y seguridad en el anclaje. Terminado este chequeo y constatando que los tres elementos trabajan perfectamente continuamos con el ensamble del banco de resistencias.

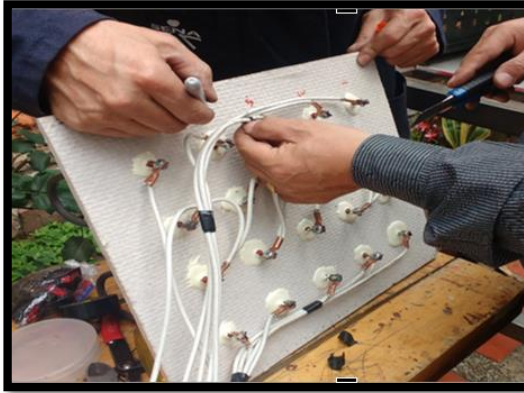
Construcción del Banco de Resistencias (freno de motor)

Como se muestra en la gráfica 4.6 en una lámina de Eterboard de 50 cm por 45 cm con un espesor de 11 mm se realizaron orificios para instalar las resistencias de 400 vatios a 110 voltios cada una. En esta lamina quedan instaladas Diez (10) resistencias, que sumándolas en total consumen la potencia eléctrica que produce el motogenerador, que es de 4000 vatios, las resistencias se curvaron a la mitad con una curvatura de 2,5 cm de radio, se perforan orificios de 9 mm para insertarlas a una distancia de 5 cm una de la otra y dejarlas organizadas en dos hileras de 5 resistencias a distancias equiláteras.



Grafica 4.6: Banco de Resistencias (freno de motor)
Fuente: Autores. Véase Anexo S

Como se observa en la **figura 4.7** las puntas de las resistencias se aseguran a la lámina de Eterboard con soldadura exotérmica conectando los cables siliconados calibre 14 con su respectiva terminal de conexión garantizando un flujo de corriente seguro de 4 amperios.



Gráfica 4.7: conexión eléctrica
Fuente: Autores Véase Anexo S

Debido a que el generador es bifásico fue necesario como se muestra en la figura, la conexión de las resistencias en dos circuitos independientes, cada uno en forma paralela.

Como se muestra en la gráfica 4.8 como medida de protección de accidentes por quemaduras de los operarios del banco de pruebas, se elaboró una caja metálica con orificios para disipar la temperatura producida por las mismas resistencias, con ayuda de un ventilador de 80 vatios 110 VAC conectados a la red domiciliaria con el fin de no afectar la eficiencia neta del generador, adicionalmente se instalaron las resistencias dentro de la caja y se monta en la estructura principal.



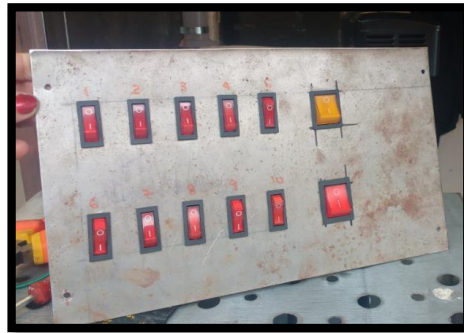
Gráfica 4.8: caja de protección del banco de resistencias
Fuente: Autores Véase Anexo S

Tablero de Control

En la ejecución de las pruebas se deben aplicar cargas eléctricas al generador estas deben ser iguales, debidamente controladas. Para ello se dispuso una caja de

control con 10 interruptores de neón, con una capacidad de 12 Amperios cada uno. Estos interruptores conectan o desconectan las resistencias según la necesidad.

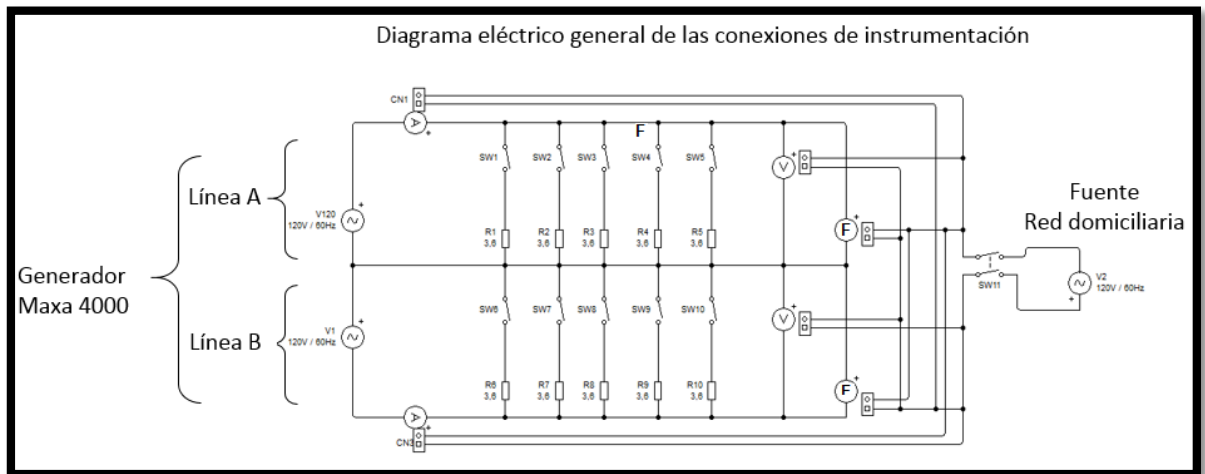
Debido a que el generador es bifásico (2 Fases) el tablero de control posee dos líneas de interruptores debidamente marcadas, una por fase.



Gráfica 4.9: Tablero de control
Fuente: Autores Véase Anexo S

Construcción y ensamble del tablero de instrumentos.

Para la visualización de los diferentes parámetros del banco de pruebas, como primera mitad se dispuso un tablero de instrumentos con una dimensión de 70 cm por 73 cm, donde se instalaron analizadores de redes uno por fase, cada analizador tiene un voltímetro, un amperímetro y un frecuencímetro como se observa en la gráfica. Adicionalmente se instalan en este tablero se ensambla la parte metálica del tablero de instrumentación ver anexo L planos.



Gráficas 4.10': Diagrama tablero de instrumentos.
Fuente: Autores. Véase Anexo S

Posteriormente se instala una probeta de 500 cc milimetrada fabricada en polimeril de penteno como medidor de consumo de gasolina.

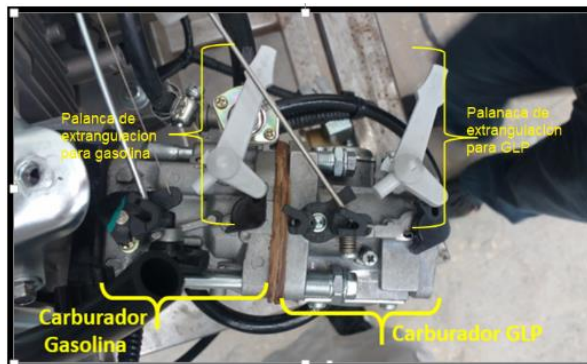


Probeta para medir el consumo de gasolina.

Grafica 4.11: probeta
Fuente: Autores Véase Anexo S

Adquisición equipo conversión gas GLP:

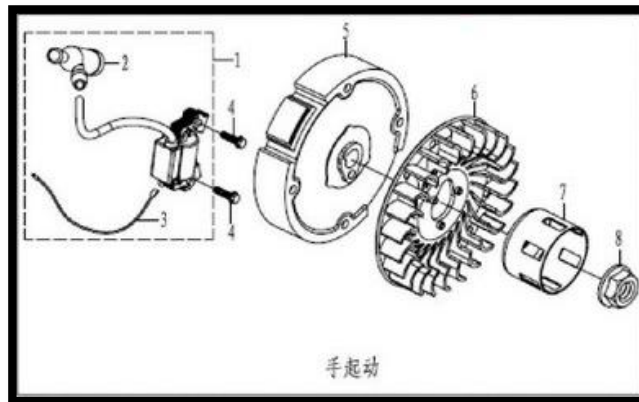
Ya que uno de los objetivos es realizar pruebas experimentales con gas licuado de petróleo, dado el motor a evaluar no dispone diferente a gasolina, se requiere un sistema de alimentación de GLP. Que gracias a la gestión y el apoyo de la universidad ECCI se consiguen los recursos para la compra e instalación del kit de gas para GLP, apropiado para nuestro interés ya que se ajusta perfectamente al sistema de alimentación del motor (carburador). Como se muestra en la figura el equipo que fue acoplado al carburador original por medio de los pernos del mismo carburador,



Grafica 4.12: equipo conversión gas GLP
Fuente: Autores. Véase anexo S

Implementación del variador de encendido VE.

El Motor escogido para este proyecto es un Supra G270 replica del honda GX270 el cual tiene un sistema de encendido magneto transistorizada compuesto por una bujía (2), una bobina fija (1) excitada por un imán permanente sujeto al volante del motor (5).



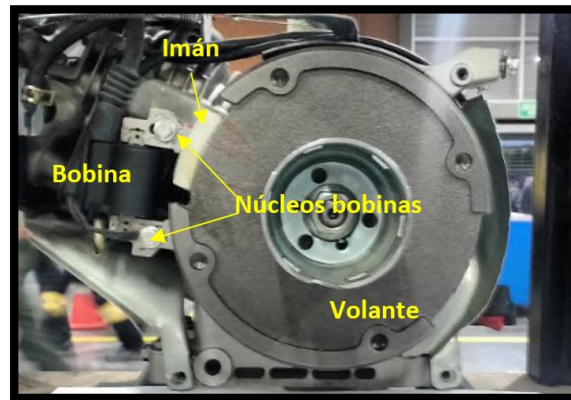
Gráfica 4.13: variador de encendido
Fuente; Manual de fabricante Honda GX270

Este tipo de motores estacionarios además tienen un ángulo de encendido para revolución predeterminadas, en este caso y según el manual del fabricante, la regulación del avance de encendido, de este motor esta prefijado a 20° Antes del Punto Muerto Superior (A.P.M.S)

Con el fin de analizar los resultados del comportamiento del adelanto y atraso de la chispa de encendido en función del régimen nominal de generación (3600 RPM) con los combustibles, Gasolina y GLP, y teniendo en cuenta la velocidad de quemado tanto de la gasolina como del GLP, se espera que ajustado el parámetro de encendido del motor, se puede alcanzar la mejor eficiencia energética del GLP con respecto a la gasolina.

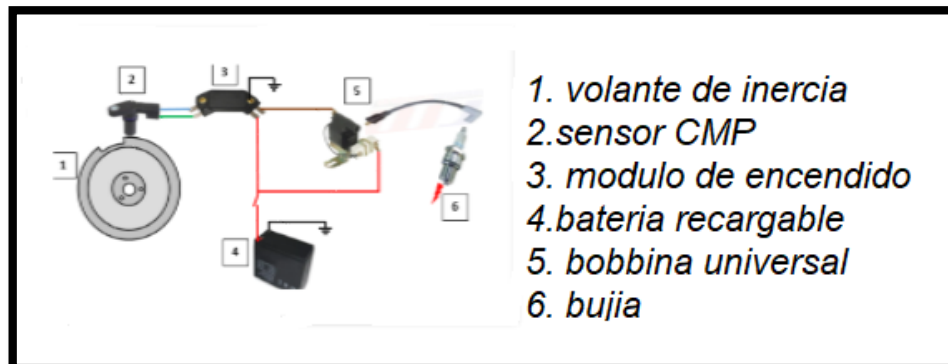
En este punto se hace necesario construir un mecanismo con desplazamiento bidireccional para el motor que permita ajustar al ángulo de encendido sin afectar la eficiencia de este.

Analizando la disposición de los elementos originales que intervienen la producción de la chispa de encendido y la estructura física de la bobina original de este motor se evidencian posibles dificultades a la hora de realizar el montaje en un mecanismo variador como: la calibración imprecisa de la bobina, aislamiento eléctrico de la bobina por temperatura, alta posibilidad de estrellar los núcleos de la bobina con el volante y al final no sería practico al momento de realizar las pruebas.



Grafica 4.14: volante motor
Fuente: Autores Véase anexo S

Para anticiparnos a las dificultades mencionadas se decide incorporar un sistema de encendido electrónico con sensor de efecto hall, que nos garantice una chispa eficiente, estable y de precisión. Como se observa en el grafico se diseña un sistema con los siguientes componentes: Un volante dentado (1), Un sensor CMP de Ford 6V (2), Un Módulo Encendido (electrónico) Delco Remy (3), Una batería recargable VRLA (4) Una bobina universal (New-era) (5), y la bujía original del motor (6).



Grafica 4.15: cambio del sistema de encendido
Fuente: Autores. Véase anexo S

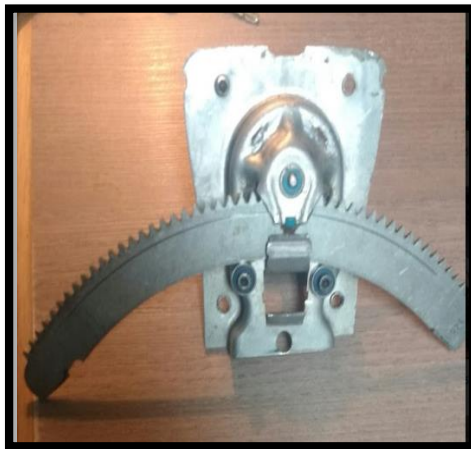
Este diseño nos permite una mejor refrigeración del motor dado que la bobina ya no se interpone al flujo de aire producido por el ventilador. Por otro lado el sensor se puede calibrar con mayor facilidad y se puede garantizar que este no se estrelle contra el volante.

Desmontaje encendido original.

Para dar paso al nuevo sistema de encendido se realiza el desmontaje del sistema de encendido original y así poder observar los espacios apropiados del nuevo sistema.

Diseño y construcción del Variador de Encendido V.E.

Como se muestra en la Grafica 4.16 el diseño partió de un engranaje (cremallera) de eleva vidrios del campero Toyota teniendo en cuenta el radio del volante de nuestro motor y un recorrido equivalente a 40 grados del mismo en ambos sentidos.



*Gráfica 4.16: Cremallera tipo Toyota
Fuente: Autores. Véase anexo S*

Para la construcción del soporte de la cremallera, se modela una plantilla de cartón paja como se muestra en la siguiente Grafica. 4.17



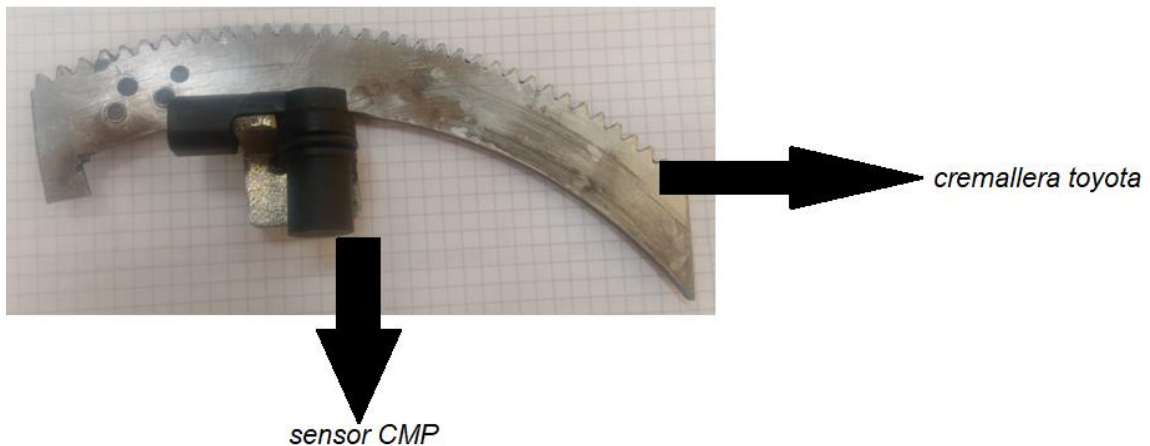
*Gráfica 4.17: Plantilla de la base cremallera.
Fuente: Autores. Véase anexo S*

En la gráfica 4.18 se observa el soporte figurado en lámina calibre 16, suficientemente resistente para soportar esfuerzos propios derivados del trabajo del engranaje, instalado de tal forma que no interfiera en el accionar del motor



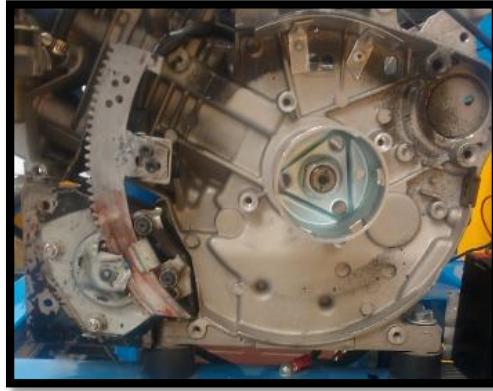
*Gráfica 4.18: Soporte metálico de la cremallera.
Fuente: Autores. Véase anexo S*

En la siguiente gráfica 4.19 se muestra como se realiza la adecuación del espacio para instalar el sensor CMP en el extremo de la cremallera.



*Gráfica 4.19: adecuación del espacio para instalar el sensor CMP en el extremo de la cremallera.
Fuente: Autores. Véase anexo S*

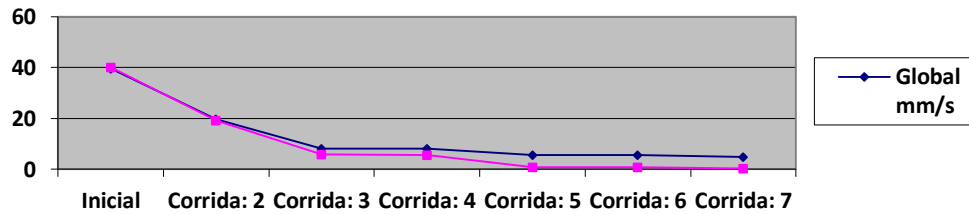
Como se puede observar en la siguiente gráfica 4.20 ya está el variador con el sensor, instalado en el soporte, ocupando el lugar destinado para realizar el trabajo variador de la chispa de encendido en el motor.



Gráfica 4.20: sensor instalado
Fuente: Autores. Véase anexo S

Dado que al volante se le retiro el imán y se rellenó uno de los dos espacios que originalmente tiene, por esta razón el volante se envió a balaceo para evitar las vibraciones excesivas como se observa en el informe. Ver anexo Q colombiana de balanceos.

Evolución Plano 1



Gráficos

FFT Final

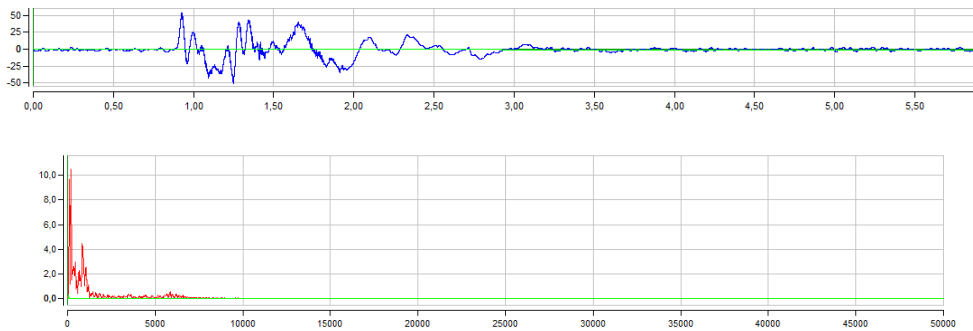
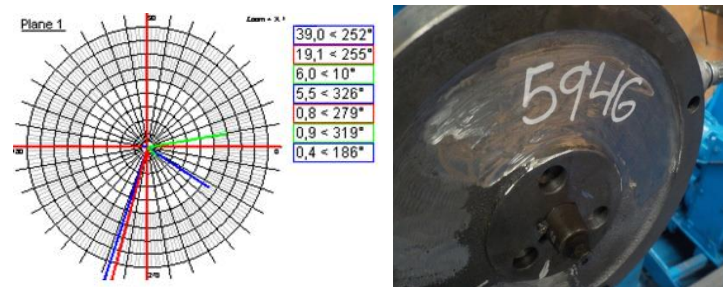


Grafico Polar Plano 1



Gráfica 4.21: Rectificación del volante de inercia
Fuente: Colombiana de balanceos. Véase anexo Q

Una vez balanceado el volante, se instala en el cigüeñal y se procede a verificar las holguras. Se calibra la holgura a 0.8 mm entre sensor y el volante se realizaron giros manuales con el fin de descartar rozamientos entre piezas, allí se evidenció un cabeceo del variador debido al poder magnético del sensor, atrayéndose fuertemente al volante y provocando que se estrellara.

Para corregir este cabeceo fue necesario construir un mecanismo en un extremo de la cremallera con el fin de eliminarlo que permitiera desplazar el sensor de forma radial. Este mecanismo está conformado por dos piezas que tienen como función eliminar dicho movimiento, como se muestra en la figura la pieza base se fabricó en acero 1020, de 10 centímetros de largo por 4 centímetros de ancho con una ranura curva a lo largo de 8 centímetros que sirve de guía, internamente posee un hombro de 7 centímetros de largo, 2 milímetros de ancho y 3 milímetros de profundidad.



Gráfica 4.22: pieza base para desplazamiento
Fuente: Autores. Véase anexo S

Para esta ranura guía se fabricó de manera precisa y sin holguras la segunda pieza con las siguientes medidas 2,7 centímetros de largo, 1,2 centímetros de alto. En baquelita, material que soporta altas temperaturas y el roce constante sin sufrir

desgastes prematuros, esta segunda pieza tiene como función sujetar la cremallera en ese punto y de esta manera eliminar el cabeceo.



Gráfica 4.23: pieza de deslizamiento
Fuente: Autores. Véase anexo S

En la gráfica 4.24 se observa el ensamble de las piezas que servirá como guía del sensor.



Gráfica 4.24: ensamble del conjunto de desplazamiento
Fuente: Autores. Véase anexo S

Adecuación del enfocador.

El enfocador es un elemento que tiene como función forzar un flujo del aire para la refrigeración del motor esto se da por el aire producido por las aspas del abanico ventilador cuando el motor está en funcionamiento, soportar el arranque polea y brindar protección del volante con el abanico ventilador para evitar accidentes con el mismo, en la siguiente imagen se muestra el estado original del este enfocador.



Gráfica 4.25: Enfocador original
Fuente: Autores. Véase anexo S

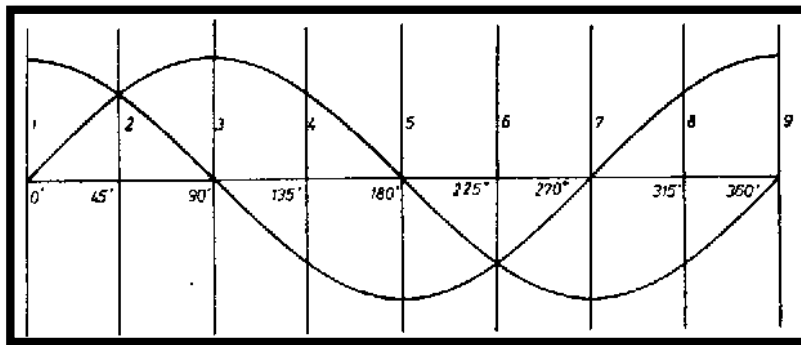
Este elemento se modificó debido a que el motor se refrigera por convección lo que quiere decir que el calor se disipa por medio de fluidos o gases en este caso el contacto con el aire, se hace necesario mantener cerrado el espacio donde se encuentra alojado el abanico ventilador para que se cumpla su función. Además de adecuarlo para lograr el espacio necesario que entro a ocupar el sistema variador de encendido creando la necesidad de rediseñarlo según las condiciones actuales tal como lo muestra la gráfica 4.26 se amplió el tamaño del enfocador sin afectar su función.



Gráfica 4.26: enfocador modificado
Fuente: Autores. Véase anexo S

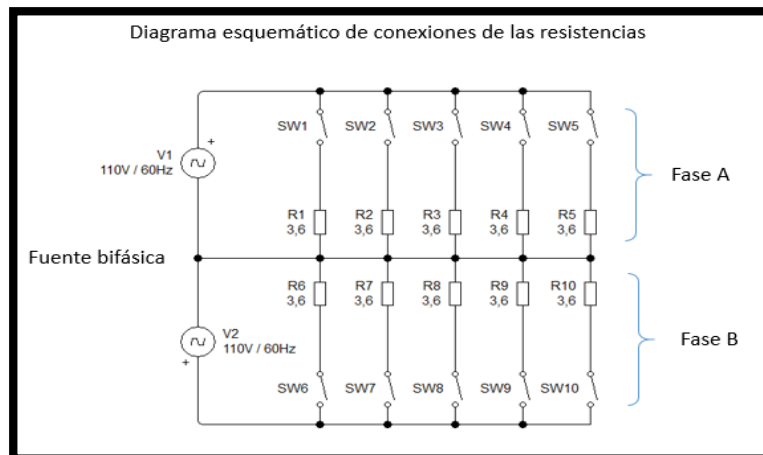
Primera prueba de funcionamiento:

Al realizar la prueba preliminar para observar el normal comportamiento de cada uno de los elementos de medición, se corroboró que a 3600 RPM se mantiene el voltaje entre 110 y 220 voltios, la frecuencia entre 59 y 60 Hertz en la medición de la corriente, el amperímetro sumaba cuando se activaban los interruptores de una sola línea pero cuando se activaban las dos líneas la Fase A y la Fase B, los amperajes se anulaban es decir la lectura en el amperímetro y voltímetro daba como resultado 0000 o en su defecto se restaba una de la otra. En la verificación del problema nos dimos cuenta que se configuró un solo amperímetro para las dos líneas y en la medición el amperímetro restaba una fase de la otra



Gráfica 4.27: sistemas bifásicos
Fuente: curiosidades sobre electricidad y electrónica.

Para dar solución al problema se pensó en modificar el circuito inicial sin alterar el objetivo de las cargas (ver Grafica 3.4) a dos circuitos resistivos en paralelo como se observa en la gráfica 4.27A uno por cada fase.



Grafica 4.27A Esquema de conexiones de las resistencias del banco.
Fuente: autores. Véase Anexo T

Debido a esta modificación se implementó adicionalmente un analizador de redes con el fin de cubrir la fase B quedando este tablero con dos amperímetros con sus respectivos transformadores, uno por cada fase, dos voltímetros, dos frecuencímetros

Desensamble del equipo para acabado con electrostática:

Una vez se realiza se terminan las adecuaciones fue necesario desarmar todo el equipo para que el proceso de pintura electrostática sea más rápido y eficiente. Elegimos este tipo de pintura para que el banco sea estéticamente aceptable, además de la durabilidad que nos garantiza este tipo de pintura.



Gráfica 4.28: Antes de pintura
Fuente: Autores. Véase anexo S

Tal como se observa en la gráfica 4.29 una vez la estructura salió de pintura y se arma de nuevo el banco conservando el cuidado de la pintura.



Gráfica 4.29: estado final de pintura
Fuente: Autores. Véase Anexo S

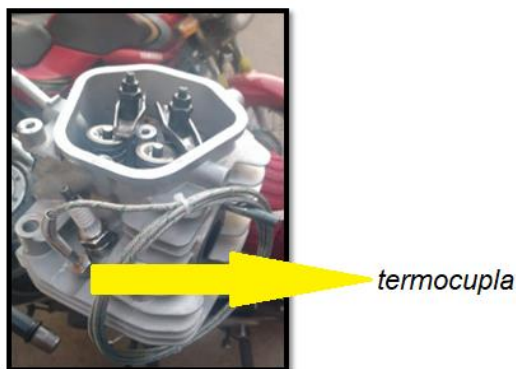
Instalación de la termocupla en la culata del motor y display en el tablero de instrumentos

Se estima que para cada una de las pruebas las pruebas es muy importante recoger los datos de la temperatura de la cámara de combustión indicador que nos ilustraría la temperatura real en tiempo de combustión de cada uno de los combustibles y además sumaría a al momento de tener registros más completos de las pruebas. Como se muestra en la figura se realizó la instalación de un control de temperatura ATR 226-12 ABC (control de procesos). Con el fin de vigilar constantemente la temperatura real de la cámara de combustión en la cual se evidencio unos cambios bruscos debido al trabajo normal durante los cuatro tiempos del motor.



Gráfica 4.30: control de temperatura ATR 226-12 ABC
Fuente: soluciones de instrumentos y electrónica.

En la siguiente gráfica 4.31 se puede apreciar la instalación de la termocupla tipo K en la cámara de combustión, esta tendrá como función suministrar al controlador de procesos la temperatura que alcance el motor en la cámara de combustión durante el funcionamiento del motor lo que nos permitirá analizar la diferencia de temperatura con los diferentes combustibles.



Gráfica 4.31: Instalación de la termocupla
Fuente: Autores. Véase Anexo S

Reglilla de calibración.

Como se observa en la gráfica 4.32 se diseñó una reglilla que permita medir los grados de avance de encendido según el tipo de combustible a probar, adicional a esta hay una reglilla más ubicada en el exterior del enfocador que permitirá la manipulación manual para el movimiento del sensor CMP.



Gráfica 4.32: Reglilla de avance
Fuente. Autores.

Apariencia final del banco de pruebas:

En la gráfica 4.33 se observa el estado final del banco de pruebas, con toda su instrumentación y la rotulación que permite fácilmente la identificación de cada uno de sus componentes.



1. Tablero de instrumentos
2. Banco de resistencias
3. Ventilador
4. Tablero de control
5. Motor
6. Probeta
7. Estructura base
8. cilindro GLP

Gráfica 4.33: Apariencia final
Fuente: Autores.

Capítulo 5

Realizar pruebas experimentales con gasolina y gas licuado de petróleo (GLP) aplicando los protocolos necesarios.

5.1 Protocolos de las pruebas.

Especificaciones de pruebas de funcionamiento:

El protocolo de pruebas se diseñó con el fin de demostrar el funcionamiento de los componentes del banco de pruebas bajo todas las normas de seguridad del motogenerador según manual adjunto en el anexo A.

5.2 Verificación de los sistemas

Antes de encender el motor se deben verificar los siguientes parámetros de funcionamiento con el fin de garantizar el resultado y minimizar los riesgos de accidentalidad

- Revise el nivel de aceite del motor
- Asegúrese que el depósito de combustible este lleno o según las necesidades.
- Verificar que la batería se encuentre conectada y que las terminales estén ajustadas correctamente.
- Revise que el control de entrada de aire se encuentre abierto según el combustible a probar.
- Asegúrese que en el tablero de instrumentos todos elementos se encuentren funcionando correctamente

Todas las **PRECAUCIONES DE SEGURIDAD** del motor se pueden consultar en el manual anexo A página 3 a la 7.

5.3 Enciendo del motor:

- ✓ ponga la llave en posición de abierto
- ✓ cierre la mariposa de aceleración (choque) solamente cuando el motor este frio si ya ha estado funcionando anteriormente por favor omita este pasó.

Después de realizar las operaciones mencionadas podemos encender el motor de la siguiente, manera teniendo en cuenta que el motor que se encuentra en el banco es de encendido manual (arranque polea).

Lleve el interruptor del motor a su posición ON (ENCENDIDO). Hale el mango de la cuerda rápidamente las veces que sea necesario hasta que el motor encienda. Tenga en cuenta que al liberar la cuerda debe hacerlo suave para evitar accidentes con la misma.

Como operar el equipo en gasolina

- ✓ Encienda el motor en ralentí 1800 RPM hasta que este alcance su temperatura normal de funcionamiento. Manteniendo abierta la mariposa de estrangulación (choque).

Como operar el equipo en GLP

- ✓ Encienda el motor en ralentí 1800 RPM hasta que este alcance su temperatura normal de funcionamiento. Manteniendo abierta la mariposa de estrangulación (choque). Cierre el paso de gasolina y mantenga el motor funcionando en ralentí hasta que el combustible que contiene la cuba del carburador de gasolina se agote, una vez esto ocurra abra la llave del tanque de GLP y accione el conmutador que le da paso al GLP, mantenga la mariposa de estrangulación (choque) del carburador GLP abierta con el fin de permitir el paso de aire. Acelere el motor según las necesidades.

Alerta por bajo nivel del aceite.

Esta alarma función de apagar automáticamente el motor cuando detecta que el nivel de aceite del motor está por debajo del rango mínimo, de esta manera se evitan desgastes excesivos del conjunto móvil y posibles daños irreparables.

Véase en el manual del motor anexo S página de la 7 a la 9

Apagada del motor.

- ✓ Gire la palanca de estrangulación (choque) a su posición de cerrado.
 - ✓ Corte el suministro de energía mediante el interruptor en su posición de apagado.
 - ✓ Cierre por completo el paso de combustible ya sea gasolina o GLP
- Véase en el manual del motor anexo A página 10.

Datos Supervisados

Para realizar la investigación y obtener los resultados esperados debemos realizar las pruebas dentro de un protocolo y supervisando los siguientes datos.

- ✓ Voltaje del generador
- ✓ Amperaje del generador
- ✓ Factor de potencia
- ✓ Angulo de avance de encendido
- ✓ Temperatura de la culata del motor
- ✓ Consumo de combustible
- ✓ Concentración de emisiones en los gases de escape.

5.4 Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas se diseña con el fin de que el operario tenga claro cómo se debe operar el equipo, y así lograr una correcta manipulación con seguridad.

Antes de encender el motor verifique:

Que el ventilador del banco de resistencias y la alimentación del tablero de instrumentos esté conectado a la línea domiciliar, ponga el BREAKER en posición de encendido y verifique el funcionamiento de los instrumentos.

1. encienda el motor siguiendo los protocolos ya mencionados.
2. una vez el motor alcance su temperatura de funcionamiento que oscila entre 90° y 110°C, acelere a 3600 RPM velocidad nominal para el motor por ser estacionario y que nos garantiza los 60HZ. (Verifique en el tablero de instrumentos).
3. aplique la carga eléctrica (freno eléctrico) de 20 en 20 de manera gradual hasta alcanzar el 100% de la carga total. (No olvide encender el ventilador del banco de resistencias para disipar el calor producido).
4. mantenga el motor a 3600RPM hasta que desaparezca la histéresis (oscilaciones) en la frecuencia.
5. luego iniciamos las pruebas disminuyendo de 20 en 20 la carga (freno eléctrico) con intervalos de un minuto mientras se analiza frecuencia, voltaje, amperaje, consumo, temperatura, ángulo de encendido y emisiones, (HC, CO₂, O₂, CO y Lambda) esta prueba fue realizada en gasolina y GLP como se muestra en la figura

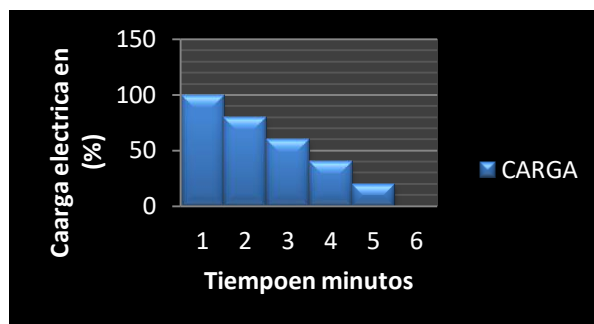


Tabla protocolo de pruebas
Fuente: autores

Vale la pena mencionar que siempre se debe estar pendiente de la probeta de la gasolina para evitar que se agote por completo y la prueba no sea acertada.

5.5 Pruebas experimentales con gasolina y GLP

El análisis realizado tiene como fin evidenciar el comportamiento de factores tales como. Voltaje, intensidad, frecuencia, temperatura, consumo y emisiones, además como el adelanto y atraso de la chispa incide en estos factores. Se tiene en cuenta que estas pruebas son experimentales realizadas a la altura de Bogotá 2.630 metros sobre el nivel del mar. En condiciones normales es decir no hay un ambiente controlado lo que quiere decir que factores como la luz, la temperatura, la humedad entre otros pueden afectar los resultados.

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971 – 1984	4,0	650
1985 – 1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Tabla 5.1: Límites máximos de emisión permisibles para vehículos convertidos a gas natural vehicular o GLP

Fuente: resolución 910 de 2008 Anexo C.

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971 – 1984	4,0	650
1985 – 1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

Tabla 5.2: Límites máximos de emisión permisibles para motocicletas, motociclos y moto triciclos accionadas con gasolina (cuatro tiempos) en condición de marcha mínima o ralentí

Fuente: resolución 910 de 2008 Anexo C

Capítulo 6

En este capítulo analizaremos los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas, y como el adelanto o atraso de la chispa interfiere en las emisiones y la eficiencia de generación de nuestro motor. Debemos tener en cuenta que las pruebas se adelantaron con un ángulo de avance de 35° para gasolina y 28° para GLP, ángulo que fue determinado basándonos para gasolina en el manual del fabricante y para gas realizando variaciones hasta el punto que se garantizó la generación de corriente y menos emisiones contaminantes con ayuda del analizador de gases

En la siguiente tabla se puede apreciar la comparación de la producción de CO con los dos combustibles de estudio gasolina GLP, se evidencia que con carga máxima es menor el CO con GLP pero al llegar al mínimo de carga es un poco as elevada con gas GLP.

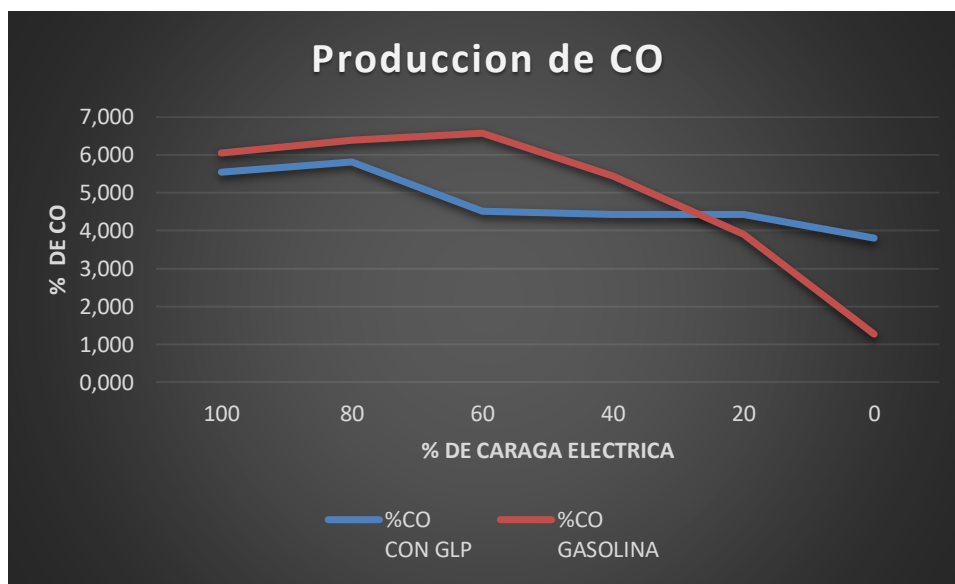


Tabla 6.1: producción de CO GLP VS Gasolina
Fuente: Autores

En esta tabla evidenciamos la producción de CO2 el cual mantiene un margen muy pequeño entre los dos combustibles.

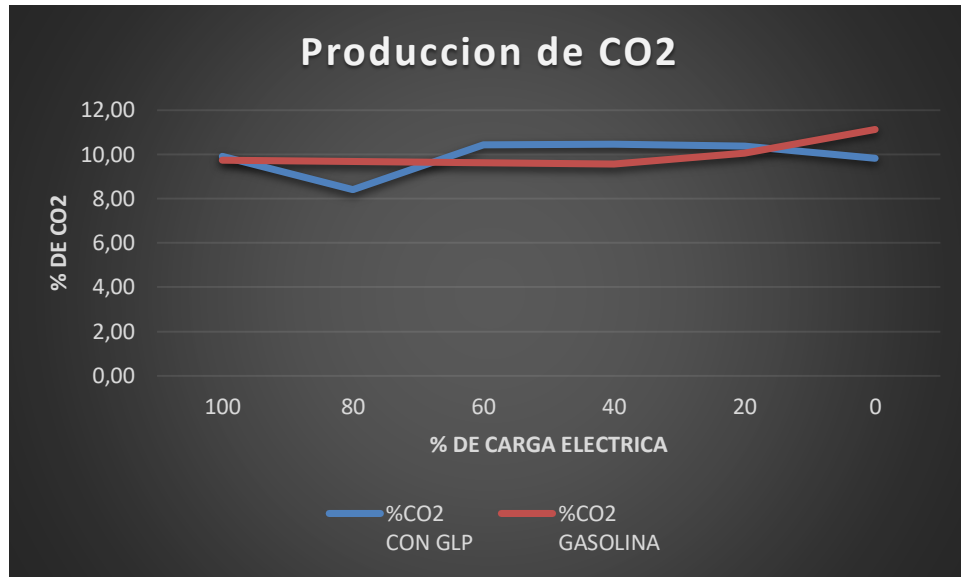


Tabla 6.2: producción de CO2
Fuente: Autores

En esta tabla analizamos el comportamiento del O, en este caso a carga máxima es un poco más bajo el o2 con GLP. Al alcanzar el mínimo de carga se eleva

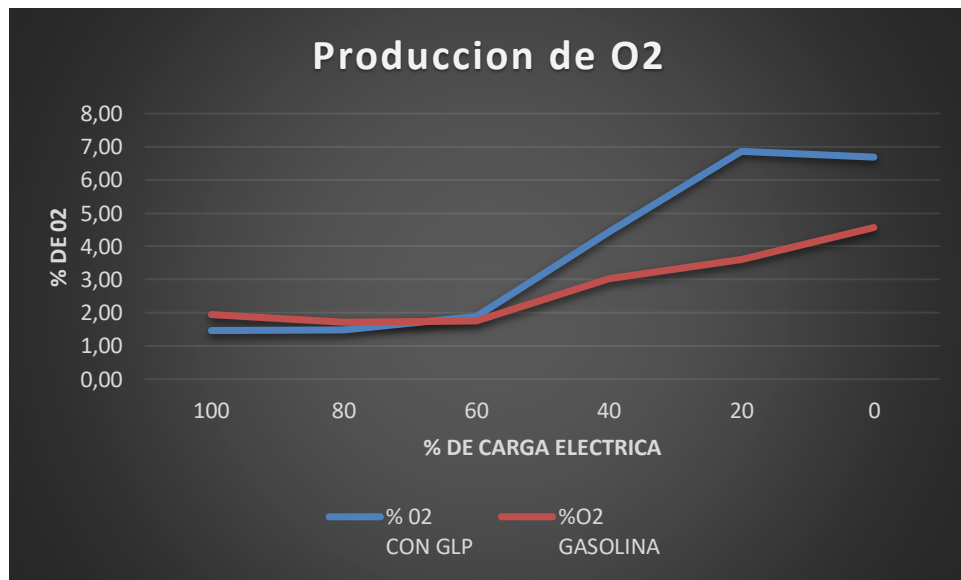


Tabla 6.3: comportamiento del O2
Fuente: Autores

En esta se evidencia que el margen de producción de HC es muy alto sin embargo se mantienen dentro de los límites según la resolución 910 del 2008.

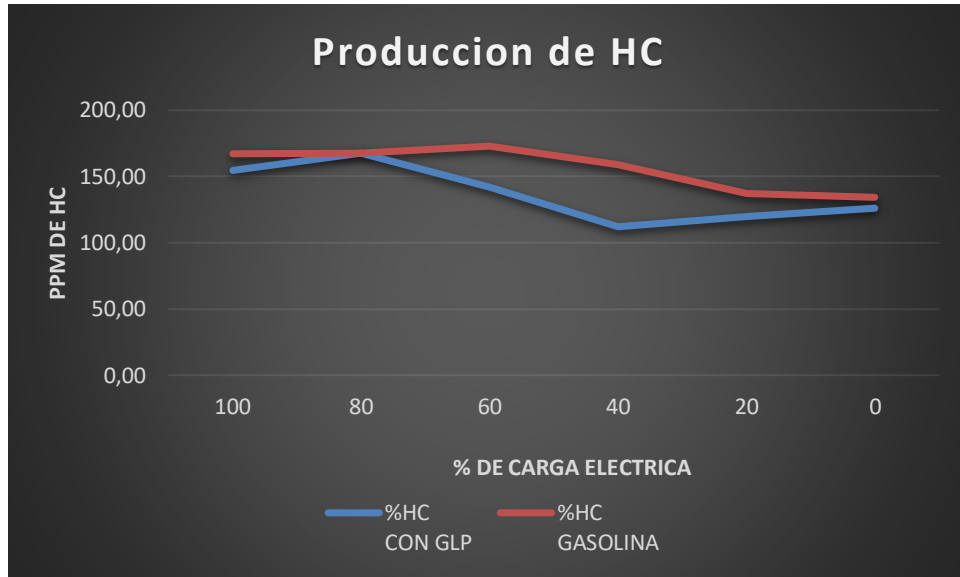


Tabla 6.4: comportamiento HC
Fuente: Autores.

En la tabla observamos el factor lambda que aunque se mantiene cerca al valor ideal (1), del cuarenta por ciento de carga hacia abajo la mezcla en ambos casos es pobre la cantidad de aire es mucho mayor al del combustible.

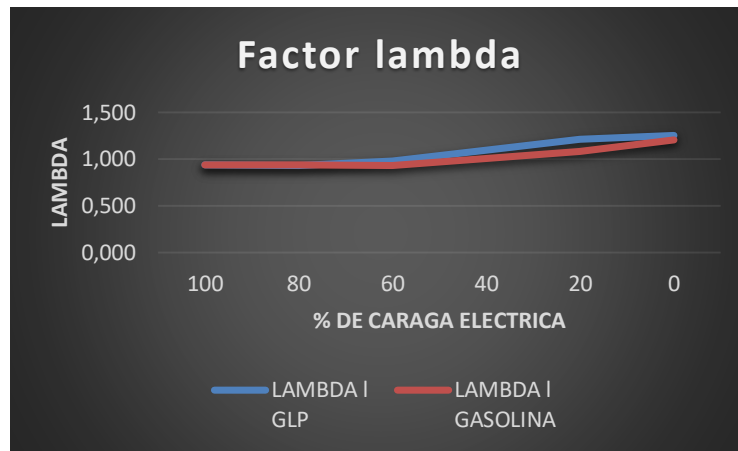


Tabla 6.5: comportamiento del factor lambda
Fuente: Autores.

Se evidencia que el consumo con gas licuado de petróleo es mucho menor si lo comparamos con el consumo de la gasolina.

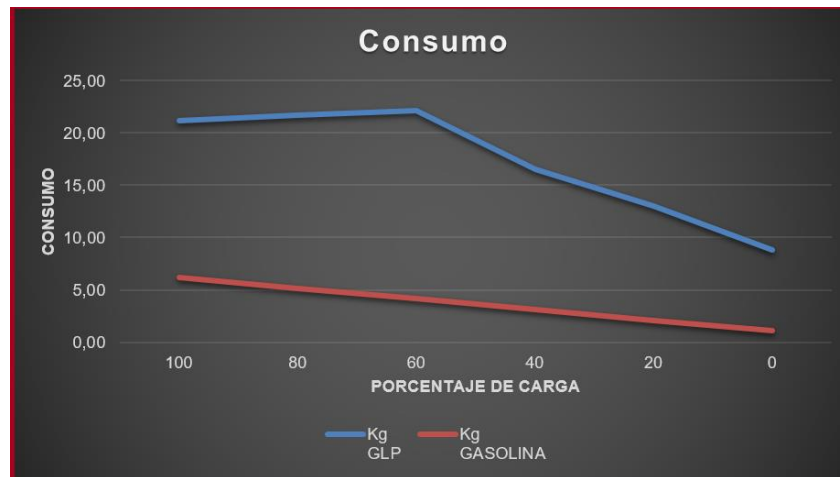


Tabla 6.6; consumo
Fuente: Autores.

Tal como se observa la intensidad se mantiene con los dos combustibles, como se va quitando carga eléctrica obviamente tiende a disminuir

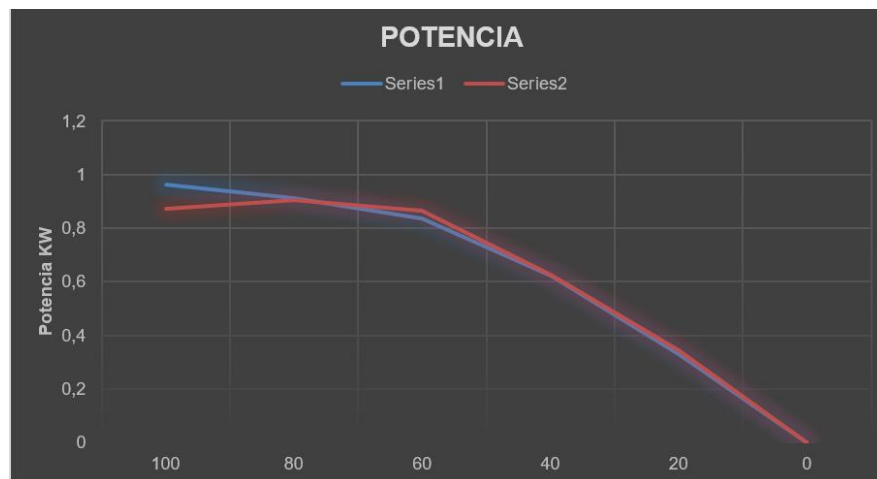


Tabla 6.7: comportamiento de la intensidad.
Fuente: Autores.

En esta se evidencia que el voltaje se mantiene dentro del rango de los 94 y 120 voltios dependiendo del porcentaje de carga (freno motor)

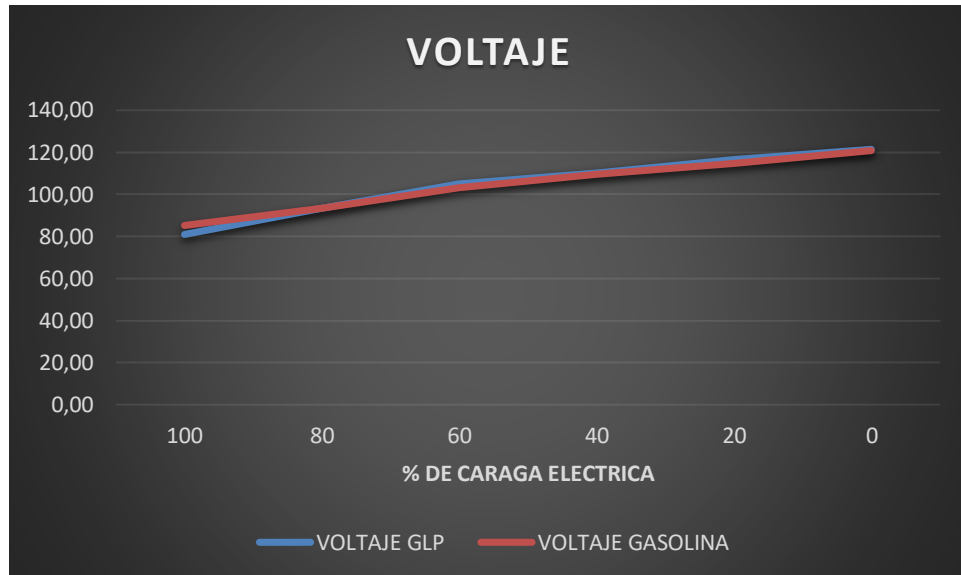


Tabla 6.8: comportamiento del voltaje
Fuente: Autores

Evidenciamos en la siguiente tabla que la frecuencia se mantiene dentro de los límites normales de operación (59.8 Hz a 60.2 Hz). Según CONSEJO NACIONAL DE OPERACION CNO. Anexo R página 14. También evidenciamos que es más alta con GLP. Pero que este exceso en la frecuencia es posible controlarlo mediante el variador de chispa.

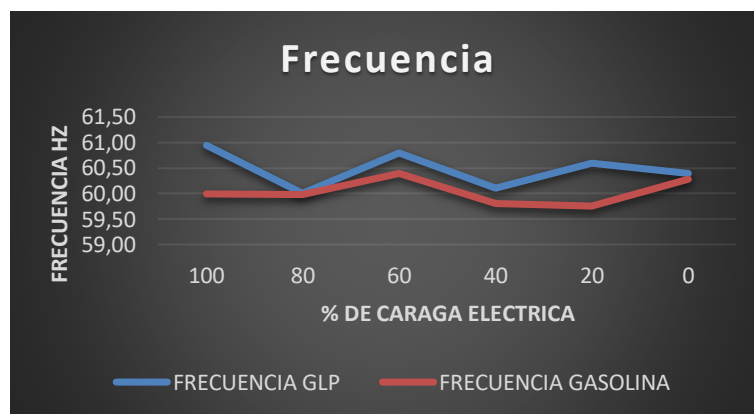


Tabla 6.9: comportamiento de la frecuencia.
Fuente: Autores

. Conclusiones y recomendaciones

.Conclusiones

- ✓ Se establece que con este tipo de banco es posible el uso del GLP en la generación de energía en los lugares más remotos del país.
- ✓ Una manipulación inadecuada del variador de chispa evidencia cambios bruscos en el motor. Como rateo, vibración excesiva, emisiones demasiado altas y exceso de temperatura en la cámara de combustión.
- ✓ Con la variación del ángulo de encendido se puede observar que aunque el motor mantenga las 3600RPM la frecuencia no se mantiene si el ángulo no es el exacto.
- ✓ Al analizar los resultados podemos afirmar que los ángulos para gasolina y GLP son:
 - Gasolina corriente: 32° de avance
 - GLP: 28° de avance.

Es decir el GLP tiene 4 grados de avance menos que la gasolina para este tipo de motor marca supra G270

En la siguiente tabla se puede observar como a medida que se varia el avance de encendido, se aumenta la producción de ppm de HC, se toma como base la resolución 910 del 2008 (vigente) en la que los límites máximos de producción es de 200 ppm.

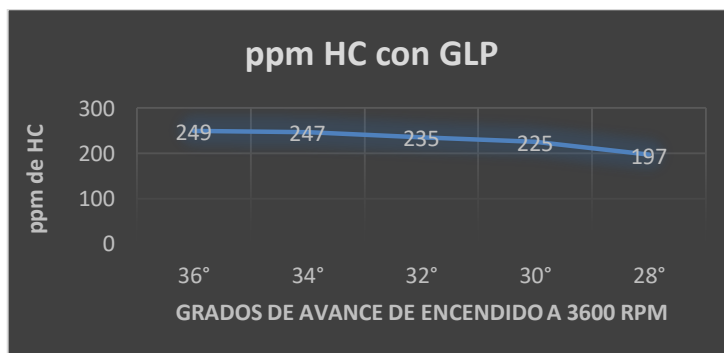


Tabla 6.10: Avance de encendido con GLP.
Fuente: Autores

. Recomendaciones

- ✓ Es recomendable que las pruebas se realicen bajo un ambiente controlado con el fin de que los resultados no sean afectados por las variaciones ambientales.
- ✓ Los resultados fueron definidos a la altura de Bogotá (2,630snm), sería conveniente realizarlas en los lugares donde posiblemente se pueda implementar este tipo de moto generadores para la producción energética.
- ✓ Se sugiere realizar pruebas con lapsos de tiempo más extensos ya que en esta prueba por cuestiones de tiempo los intervalos fueron demasiado cortos.
- ✓ Estas pruebas fueron realizadas única y exclusivamente para el motor marca SUPRA de 9 HP a gasolina (réplica del motor honda GX270), sería recomendable realizarlas con moto generadores con características diferentes.

Anexos

Anexo A manual de generador Maxa

Anexo B norma NTC 1930

Anexo C: resolución 910 del 2008

Anexo D: plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050

Anexo E: Estudio y evaluación del comportamiento energético del motor de un conjunto motogenerador operando con Gas Licuado de Petróleo (GLP) de alto butano.

Anexo F: eficiencia energética 2017 – 2022

Anexo G: Plan de GLP

Anexo H: boletín estadístico 2018

Anexo I: UPME determinación de potencialidades de uso de las acciones necesarias para activar el sub sector del GLP

Anexo J: combustión y combustibles

Anexo K: oportunidades para Colombia GASNOVA

Anexo L: plano estructural ensamblaje total

Anexo M: Combustion Characteristics and Cyclic variation of a LPG fuelled MPFI Four cylinder Gasoline Engine.

Anexo N: motores de motocicleta de cuatro tiempos.

Anexo Ñ: motores de motocicleta de cuatro tiempos

Anexo O: Control de avance al encendido

Anexo P: Ciclo teórico PDF

Anexo Q: Informe rectificadora

Glosario

Motor Térmico: Máquina capaz de transformar el calor producido por la combustión en trabajo mecánico, aprovechando la energía térmica.

Motor de Combustión Interna (MCI): Combustión que se produce en el interior de un cilindro o una cámara, aprovechando la energía térmica del combustible. (1)

Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA): Conocidos estos motores de combustión interna a gasolina o diésel, son motores térmicos en que los gases producidos generan una reacción exotérmica, producido por una combustión, que efectúa una fuerza sobre un pistón dentro de la cámara.

Motor de Ciclo Otto: Genera una combustión interna que se ayuda mediante un combustible, además de un arco o chispa de mucho poder generando una expansión la cual ejerce fuerza sobre el pistón y este a su vez haciendo girar el cigüeñal de forma rotativa. (1)

Motor de Ciclo Diésel: Este motor Diésel es un motor térmico de combustión interna alternativo en el cual combustión se logra mediante una elevada temperatura, producto de la compresión del combustible y aire en la cámara. Este no requiere de ayuda de chispa por poseer una relación de compresión por encima de 14 a 1. (1)

Bujía: Dispositivo de dos electrodos, que forma un arco eléctrico de alto voltaje en la cámara de combustión de un motor.

Motor Mono cilíndrico: Un motor que posee un único cilindro

Generador Eléctrico: Dispositivo electromagnético capaz de generar y mantener un diferencial de potencial eléctrico entre dos puntos o terminales,

Motor de dos Tiempos: Motor de combustión interna que utiliza un ciclo para la combustión en dos movimientos,

Motores de Cuatro Tiempos: Motor de combustión interna que utiliza un ciclo de combustión en cuatro movimientos.

Motor Atmosférico: Es un motor de combustión interna que la entrada del aire depende de la presión atmosférica, (1)

Motor sobrealimentado: Es un motor que utiliza medios mecánicos o aprovecha la dinámica de los gases, ya sea de escape o de la propia admisión para así aumentar la cantidad de ingreso de aire a los cilindros haciendo más eficiente el motor. (1)

Mezcla estequiometria: Relación ideal entre aire y combustible

Relación de compresión: Se refiere a número que permite medir la proporción en volumen, que se ha de comprimir la mezcla de aire-combustible (Motores Otto, hasta 14,5 a 1 y Motores Diésel 24:1), logrados estos dentro de cámara de combustión de un cilindro. (Se puede expresar como: $R_c = V_1 + V_2/V_2$)

Adiabática: En termodinámica se designa como proceso adiabático aquel en el cual el sistema termodinámico (generalmente, un fluido realiza un trabajo) no intercambia calor con su entorno. (4)

Isobara: Se emplea para definir un isograma de presión, el cual no es otra cosa que una línea que se traza en una gráfica, mapa o trazado que se emplea para lograr de esta forma más precisa los mapas del tiempo. (4)

Isobárico: Es una transformación isocora, donde el volumen permanece constante.

Isentropico: Proceso isotrópico, también llamado isoentropico, (combinación de la palabra griega “iso” igual y entropía) es aquel que la entropía del sistema permanece constante. En un proceso adiabático reversible no hay transferencia de calor y por tanto el proceso es isotrópico. (4)

Entropía: En termodinámica se le llama entropía a la magnitud física para un sistema en equilibrio. Este se encarga de medir si los micro -estados son compatibles con el sistema o también que puede ser la razón de un incremento de la energía interna frente a un aumento de la temperatura del sistema.

Bibliografía

- [1] C. Alexander Hernandez, «Diseño y construcción de un banco de pruebas de un motor Diesel,» Bucaramanga, 2011.
- [2] «MMT,» Makina eta Motore Termikoetako Saila , [En línea]. Available: <http://www.ehu.eus/mmtde/bancomot.htm>. [Último acceso: 10 Septiembre 2017].
- [3] E.P.S., «Mecánica de Motocicletas,» [En línea]. Available: http://eps-online.es/pdfs/descripcion_motor_cuatro_tiempos.pdf. [Último acceso: 10 septiembre 2017].
- [4] J. Garzon, «EL AUTOMÓVIL AL DESNUDO,» Técnica automovilística para neófitos y aficionados al automóvil y a la competición., 21 Octubre 2012. [En línea]. Available: <http://jeroitim.blogspot.com.co/2012/10/motores-de-combustion-interna-en.html>. [Último acceso: 10 Septiembre 2017].
- [5] wikipedia, «Wikipedia enciclopedia libre,» 20 Octubre 2017. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_monocil%C3%ADndrico. [Último acceso: 10 Septiembre 2017].
- [6] I. Solera, «AutoBild.es,» 16 Marzo 2015. [En línea]. Available: <https://www.autobild.es/reportajes/motor-monocilindrico-247987>. [Último acceso: 10 Septiembre 2017].
- [7] B. J. A. J. y. L. A. S. P. Juan Miguel Mantilla Gonzalez, «Evaluación experimental de un motor encendido por chispa que utiliza biogás como combustible,» SciElo, vol. 28, nº 2, 2008.
- [8] n. ohiiuu y b. Iklñk, «www-,» [En línea].