

**APLICACIÓN DE COMBUSTIBLES GASEOSOS ALTERNATIVOS EN
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA USOS AGROINDUSTRIALES.**

**MICHAEL ALEXANDER CAMACHO ACERO
WILSON FERNANDO FONSECA CRISTANCHO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2019**

**APLICACIÓN DE COMBUSTIBLES GASEOSOS ALTERNATIVOS EN
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA PARA USOS AGROINDUSTRIALES.**

**MICHAEL ALEXANDER CAMACHO ACERO
WILSON FERNANDO FONSECA CRISTANCHO**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Director
JORGE LUIS CHACÓN VELASCO
PhD. en Procesos Termofluidodinámicos Aplicados a MCIA**

**Codirectores
FRANKLIN JULIÁN PATIÑO MOLINA
Ingeniero Mecánico**

**YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
PhD. Ingeniería Química**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
4. ESTADO DEL ARTE.....	20
4.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)	20
4.1.1 Gas licuado de petróleo en el mundo	20
4.1.2 Gas Licuado de Petróleo GLP en Colombia.	21
4.2 HIDRÓGENO.....	22
4.2.1 Propiedades físico- químicas	23
4.2.2 Métodos de producción del hidrógeno.	23
4.3 GAS NATURAL (GN)	24
4.3.1 Gas natural en Colombia	25
4.4 FUNDAMENTOS DE COMBUSTIÓN	26
4.4.1 Relación aire-combustible.....	27
4.4.2 Procesos de combustión teórica y real	27
4.5 MOTORES.....	28
4.6 EMISIONES	31
4.6.1 Monóxido de carbono (CO).....	32
4.6.2 Hidrocarburos (HC).....	32
4.6.3 Dióxido de carbono (CO2).....	33
4.6.4 Óxidos nítricos (NOx).....	33

5. PARÁMETROS DE OPERACIÓN	34
5.1 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	34
5.2 POTENCIA.....	36
5.3 RELACIÓN AIRE/COMBUSTIBLE.....	36
6. ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN TEÓRICA PARA LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.	38
6.1 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS NATURAL VEHICULAR.....	38
6.2 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL HIDRÓGENO	39
6.3 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL GLP	40
6.4 DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	41
6.3 CÁLCULOS DE LOS FACTORES DE DESEMPEÑO	46
6.3.1 Cálculos para gas natural	46
6.3.2 Cálculos para gas licuado de petróleo	50
7. DESCRIPCIÓN DEL BANCO PRUEBAS	55
7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES	56
7.1.1 Generador Bauker modelo GG2800	56
7.1.2 Sistema de suministro de combustible.....	57
7.1.3 Medidor de gas GNV y GLP tipo diafragma	57
7.1.4 Sistema de carga externa	57
7.1.5 Sistema de adquisición de datos	57
7.1.6 Carburador de conversión de combustible gasolina, GNV/GLP	58
8. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO	60
8.1 PARÁMETROS MONITOREADOS	62
8.2 PROTOCOLO DE OPERACIÓN.....	62
9. PRUEBAS EXPERIMENTALES	65
9.1 PRUEBA CON GAS NATURAL VEHICULAR GNV	65
9.1.2 Consumo horario de combustible	66
9.1.3 Análisis de gases de escape.....	71
9.2 PRUEBAS REALIZADAS CON GAS LICUADO DE PETRÓLEO GLP.....	74
9.2.1 Consumo horario de combustible	74

9.2.2 Análisis de gases de escape.....	78
10. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA.....	81
10.1 COSTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN CON GLP	82
10.2 COSTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN CON GNV.....	83
11. CONCLUSIONES	88
12. RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tecnologías para la producción de hidrógeno	24
Figura 2. Proceso de combustión de flujo estacionario.....	26
Figura 3. Relación aire-combustible.....	27
Figura 4. Proceso de combustión completa.....	27
Figura 5 Ciclo cuatro tiempos de un motor de combustión interna.	29
Figura 6 Ciclo Otto teórico	30
Figura 7. Esquema de funcionamiento de una moto generadora	31
Figura 8 variación de la presión con la altitud	35
Figura 9 Variación de la densidad del aire respecto a la altitud	35
Figura 10 Esquema de banco de pruebas	55
Figura 11 Banco de pruebas del laboratorio SICE del PTG.....	56
Figura 12 Carburador dual gasolina GLP/GNV.....	59
Figura 13 Reglaje de regulador para GNV.....	66
Figura 14 Consumo de combustible [Lts/min] Vs potencia generada [W].....	68
Figura 15 Consumo específico de combustible	70
Figura 16 Potencia Vs Eficiencia térmica.....	71
Figura 17 . Potencia vs emisiones generadas	73
Figura 18 Potencia vs hidrocarburos	73
Figura 19 Consumo de combustible contra carga generada	75
Figura 20 Potencia vs consumo específico de combustible.....	76
Figura 21 Eficiencia térmica obtenida para cada potencia requerida.....	78
Figura 22 Gases de escape generados para varias potencias utilizando GLP	79
Figura 23 Hidrocarburos sin quemar vs Carga generada	80

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Propiedades del hidrógeno	23
Tabla 2 Factores de desempeño para gas natural vehicular	50
Tabla 3 Factores de desempeño para gas licuado de petróleo	54
Tabla 4 Especificaciones del carburador	58
Tabla 5 Niveles del diseño experimental	60
Tabla 6 Combinaciones del diseño experimental.....	61
Tabla 7 Consumo horario de GNV	67
Tabla 8 Consumo específico gas natural.....	69
Tabla 9 Eficiencia térmica de combustible	70
Tabla 10 Emisiones de gases de escape usando GNV como combustible	72
Tabla 11 Consumo horario de combustible	75
Tabla 12 Consumo específico de gas licuado de petróleo.....	76
Tabla 13 Eficiencia térmica del MCI.....	77
Tabla 14 Emisiones de gases de escape usando GLP como combustible	78
Tabla 15 Costos para los diferentes carburantes y corriente eléctrica.....	82
Tabla 16 Costo inicial de la tecnología Gas licuado de petróleo (GLP)	83
Tabla 17 Costo inicial de la tecnología gas natural vehicular (GNV)	83
Tabla 18 Cálculo del retorno de la inversión (ROI) con GLP para los tres escenarios	84
Tabla 19 Cálculo del retorno de la inversión (ROI) con GNV para los tres escenarios	85
Tabla 20 Comparación en porcentaje y dinero de los combustibles utilizados versus corriente eléctrica	87

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS	96
ANEXO B DATOS DE EMISIONES, CONSUMO Y POTENCIA OBTENIDOS PARA PRUEBAS UTILIZANDO GAS LICUADO DE PETRÓLEO COMO COMBUSTIBLE	108
ANEXO C DATOS DE EMISIONES, CONSUMO Y POTENCIA OBTENIDOS PARA PRUEBAS UTILIZANDO GAS NATURAL VEHICULAR COMO COMBUSTIBLE	112
ANEXO D PROTOCOLO DE OPERACIÓN, PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS.....	116
ANEXO E COSTOS DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO	119
ANEXO F COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA USANDO COMBUSTIBLES GASEOSOS Y COMBUSTIBLE CONVENCIONAL COMO LA GASOLINA.....	122

RESUMEN

TÍTULO: USO DE COMBUSTIBLES GASEOSOS ALTERNATIVOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA CON APLICACIONES AGROINDUSTRIALES*.

AUTORES: Michel Alexander Camacho Acero, Wilson Fernando Fonseca Cristancho**

PALBRAS CLAVES: combustibles gaseosos, energías alternativas, Consumo de combustible, emisiones.

DESCRIPCIÓN:

El alto consumo de combustibles fósiles como la gasolina o el diésel por parte de la economía agroindustrial ha llevado a producir altas concentraciones de gases de efecto invernadero y altos costos de producción, por lo tanto, se crea la necesidad de investigar al respecto del uso de otras fuentes de energía como gas natural, gas licuado de petróleo e hidrógeno. En la presente investigación se estudió el comportamiento y eficiencia de algunos combustibles gaseosos como, el gas licuado de petróleo (GLP), gas natural vehicular (GNV) ,quemados en un motor de combustión interna (MCI), el equipo utilizado para este fin es un generador Bauker de 200 cc, 5.5 HP que produce una potencia máxima de 2400 watt, en el cual se realizaron varias pruebas a diferentes cargas para evidenciar las características proporcionadas por cada combustible, de las que se destacan la potencia generada, consumo específico de combustible, residuos de gases de escape entre otras.

Para dichas pruebas experimentales del uso de GNV y GLP se evidenciaron grandes diferencias de emisiones y potencia generada como por ejemplo para el GNV se evidencia una potencia máxima de 1750 watt y emisiones por debajo del límite permitido, posicionando este gas como una tecnología más limpia que las convencionales, por lo tanto, para el GLP se encontró una potencia máxima de 2000 watt con generación de emisiones muy parecidas a las provocadas por la gasolina.

* Proyecto de grado

** Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela De Ingeniería Mecánica Director: Jorge Luis Chacón Velasco PhD. en Procesos Termofluidodinámicos Aplicados a MCIA Codirectores Franklin Julián Patiño Molina Ingeniero Mecánico Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD. Ingeniería Química

SUMMARY

TITLE: USE OF GASEOUS COMBUSTIBLES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH AGRO-INDUSTRIAL APPLICATIONS*.

AUTHORS: Michel Alexander Camacho Acero, Wilson Fernando Fonseca Cristancho. **

KEY WORDS: gaseous fuels, alternative energies, fuel consumption, emissions

DESCRIPTION:

The high consumption of fossil fuels such as gasoline or diesel by the agro-industrial economy has led to the production of high concentrations of greenhouse gases and high production costs, thus creating the need to investigate the use of other sources of energy such as natural gas, liquefied petroleum gas and hydrogen. In the present investigation we will study the behavior and efficiency of some gaseous fuels such as liquefied petroleum gas (LPG), vehicular natural gas (NGV) and hydrogen (H), burned in an internal combustion engine, the equipment used for this order is a Bauker generator of 200 cc, 5.5 HP that produces a maximum power of 2400 watt, in which several tests were performed at different loads to demonstrate the characteristics provided by each fuel, which highlights the power generated, specific consumption of fuel, waste of exhaust gases among others.

For these experimental tests of the use of NGV and LPG, there were large differences in emissions and power generated, such as for NGV, a maximum power of 1750 watts and emissions below the permitted limit is shown, positioning this gas as a cleaner technology than conventional, therefore, for the LPG was found a maximum power of 2000 watts with generation of emissions very similar to those caused by gasoline.

* Proyecto de grado

** Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela De Ingeniería Mecánica Director: Jorge Luis Chacón Velasco PhD. en Procesos Termofluidodinámicos Aplicados a MCIA Codirectores Franklin Julián Patiño Molina Ingeniero Mecánico Yesid Javier Rueda Ordoñez PhD. Ingeniería Química

INTRODUCCIÓN

El gran impacto que ha tenido el planeta a causa de la industrialización a nivel mundial, ha acarreado grandes descargas de gases de efecto invernadero al planeta lo que ha provocado grandes cambios en la tierra, adicionalmente el costo de los combustibles fósiles tan elevados han generado la necesidad de explorar más profundamente el comportamiento de estos dispositivos, (motores de combustión interna MCI) aumentando la eficiencia energética de los mismos y experimentando con otras fuentes de energía tanto renovables como derivados del petróleo.

En los últimos años el consumo de petróleo se ha mantenido constante con el progresivo aumento de gases de efecto invernadero a esta problemática se suma la necesidad de la industria por abarcar más terreno omitiendo el daño producido al ecosistema, debido a esto se han creado tratados como el de Kioto en 1997, y el más reciente que fue el tratado de París donde se propuso que los países industrializados se dieran a la tarea de bajar en un porcentaje sus emisiones de gases de efecto invernadero como el CO_2 , CH_4 y NO_x entre otros, con lo que se buscaría reducir estos gases hasta en un 95 % con el objetivo a largo plazo de mantener el incremento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y seguir trabajando para limitarlo a 1,5 °C.¹

Con dichos argumento se hace necesario avanzar en estudios que aporten ideas que contribuyan en la optimización de recursos e incursionar en la industria con combustibles alternativos capaces de producir energía limpia con menos

¹ CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. Acuerdo de París sobre cambio climático [En línea]. <<https://www.consilium.europa.eu/es/policies/climate-change/timeline/>> [citado el 4 de octubre 2018]

porcentajes de desechos nocivos y más eficientes, por lo tanto se plateo un proyecto de investigación acerca de la utilización de diferentes combustibles gaseosos tales como el gas natural, gas licuado de petróleo e hidrogeno, con lo cual se quiere realizar pruebas en motores de combustión interna en este caso se utilizara en un moto-generador de 2.4 Kw de potencia. En el cual se medirán diferentes variables necesarias para el estudio de eficiencias energéticas, para cada tipo de combustible, esto no significa la competencia con los combustibles convencionales ya que por razones obvias no es comparable.

En el proyecto se planteara un estudio comparativo para cada combustible lo que proporcionara información útil necesaria para lograr consolidar las eficiencias energéticas proporcionadas por cada uno de los diferentes combustibles estudiados, y así poder concluir que combustible gaseoso es el más eficiente en producción energética y en costos de adquisición, con lo cual el proyecto de investigación se centra en un estudio socio económico que permita acercarse al punto de mayor eficiencia para cada uno de los combustibles a utilizar.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El impacto negativo que ha tenido el planeta tierra debido, a la necesidad del hombre por obtener cada vez más recursos naturales innecesarios para la supervivencia de este, ha llevado a un deterioro paulatino del medio ambiente ocasionando grandes daños irreparables a muchos ecosistemas, como fuentes hídricas, extensas áreas de deforestación y extinción de muchas especies de flora y fauna.

La gran producción de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, gas metano (CH_4), clorofluorocarbonos entre otros, debido a la combustión de combustibles fósiles, han logrado saturar la capa de ozono originando una obstrucción en la salida de los rayos del sol, ocasionando un aumento en varios grados la temperatura de la tierra, causando significativos cambios negativos en el planeta.

Para cubrir las necesidades energéticas vinculadas al desarrollo industrial se han desarrollado diversas tecnologías capaces de satisfacer las necesidades del día a día, sin embargo, esto ha incrementado el consumo de combustibles fósiles, aumentando el costo de producción debido a la dificultad y al riesgo que acarrea la extracción de la materia prima (petróleo) tanto para la vida humana como para el medio ambiente.

Por otra parte, los entes de control se han percatado del impacto que está teniendo el consumo desmedido de estos combustibles, lo cual está generando daños significativos en el medio que habitamos, por lo tanto, se han comprometido en

disminuir paulatinamente el consumo de estos combustibles, con lo cual las grandes empresas están invirtiendo en el estudio de diferentes tecnologías útiles en la producción de energías renovables.

2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Es el deber como estudiantes de la universidad industrial de Santander y en el cumplimiento de su misión, participar activamente y liderar el proceso de cambio para el progreso y el mejoramiento continuo de la calidad de vida de la sociedad, proporcionándoles nuevas herramientas útiles para su desarrollo económico y social.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones lo que se busca con el presente proyecto es hacer una serie de pruebas con diferentes combustibles haciendo un comparativo entre ellos y determinar cuál de estos tiene un mayor potencial energético y económico a la hora de ser utilizado en un generador eléctrico.

Además, se busca con este proyecto poder obtener valores prácticos del comportamiento de diferentes combustibles gaseosos y lograr verificar la idoneidad de utilizar combustibles alternativos como gas metano producido por biodigestores caseros, entre otras propuestas de combustibles renovables con el único fin de probar que es factible la utilización de combustibles diferentes.

Con la ayuda de este estudio se busca validar los datos obtenidos en el mismo generador para metano, producido en una granja con la ayuda de un biodigestor con dicha comparación se extraerán datos concluyentes de si existe la factibilidad de incorporar estos combustibles gaseosos para la producción de potencia mecánica en lugar de la tecnología actualmente utilizada.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar la eficiencia de diversos combustibles gaseosos alternativos, en motores de combustión interna para aplicaciones agroindustriales, contribuyendo al eje misional de investigación de la Universidad Industrial de Santander y de la escuela de ingeniería mecánica.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la combustión teórica de los combustibles gaseosos bajo el estudio de gas natural (GN), gas licuado de petróleo (GLP) e hidrogeno (H₂)
- Realizar el montaje necesario del sistema de combustión del grupo electrógeno (motor más generador) para pruebas experimentales.
- Medir las variables destacadas del comportamiento del grupo electrógeno como potencia nominal, consumo de combustible y gases de combustión para los diferentes combustibles utilizados en las pruebas de laboratorio
- Hacer un análisis de la factibilidad técnica y económica de utilizar estos combustibles alternativos en aplicaciones agroindustriales

4. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se hace una breve revisión del estado del arte, de combustibles convencionales y alternativos, empleados en motores de combustión interna.

4.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Es un combustible que se genera cuando se mezclan hidrocarburos principal mente propano C_3H_8 y butano C_4H_{10} y otros en menores proporciones, si se compara con los combustibles tradicionales se puede decir que es el combustible más amigable con el medio ambiente debido a que cuando se quema produce emisiones más limpias, no es toxico, no contamina el agua ni el suelo además que tienen un porcentaje bajo de carbono, es libre de azufre y plomo.

Se obtiene del refinado de petróleo, así como también de la separación del gas natural del petróleo. En condiciones ambientales permanece en estado gaseoso y cambia a estado líquido cuando es sometido a presiones moderadas esto facilita su transporte y distribución, lo que lo convierte en el combustible más accesible en áreas remotas donde le es difícil llegar a las redes de gas natural.

El GLP tiene 110 octanos y su poder calorífico es aproximadamente de 92000 Btu por galón²

4.1.1 Gas licuado de petróleo en el mundo Entre el 2005 y el 2014, las compañías productoras de gas en el mundo disfrutaron del auge de la producción de GLP,

² UNIGAS COLOMBIA. ¿Qué es el GLP? [en línea]. < <http://www.unigas.com.co/nosotros/que-es-glp>> [citado el 8 de agosto de 2017]

durante el año 2014, el fuerte incremento en la producción mundial de gas licuado de petróleo estuvo apalancada en la mayor producción de gas de esquisto en Estados Unidos, lo que lo llevo a ocupar el primer lugar como exportador de este combustible³.

El uso de este combustible en motores de combustión interna prolifera, en 2010 el consumo fue de 0,68 millones de barriles diarios, y la muestra favorable de su demanda son más de 17 millones de vehículos que trabajan con GLP como combustible gaseoso. En materia ambiental se promueve la utilización del GLP, ya que este combustible produce menos contaminantes, pues se busca con urgencia la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y de material particulado al aire⁴.

4.1.2 Gas Licuado de Petróleo GLP en Colombia. En Colombia la industria del GLP inicio entre los años 30 y principios de los 40 del siglo pasado, cuando se dio apertura a una distribución incipiente con los escasos volúmenes producidos en las refinerías de Tibú y Barrancabermeja. En menos de 20 años se convirtió en el combustible doméstico predilecto y la demanda empezó a presionar la oferta. En Colombia el GLP se obtiene de tres fuentes de producción: Las refinerías de Barrancabermeja y Cartagena, donde se produce en las plantas de ruptura catalítica, y la refinería de Apiay donde se obtiene a partir del procesamiento del gas natural⁵.

³ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA; VALENCIA MARIN Jorge Alberto. Cadena Del Gas Licuado Del Petróleo. Bogotá: 2017.p11

⁴ ESLAVA SARMIENTO, Andrés Felipe. Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas De Petróleo E Hidrogeno. Bogotá, 2014, p27. Trabajo de grado (Magister En Ingeniería Mecánica). Universidad Nacional de Colombia. Facultad De Ingeniería. Departamento De Ingeniería Mecánica Y Mecatrónica.

⁵ LOPEZ SUAREZ, Alfonso. Demanda De Gas Natural Vehicular Pierde Terreno. En: Portafolio [En línea], Cartagena :05 De abril 2017- < <https://www.portafolio.co/economia/demanda-de-gas-natural-vehicular-desciende-en-colombia-504750>> [citado el 24 de agosto de 2017]

La refinería de Barrancabermeja es la principal fuente de abastecimiento de GLP para el mercado nacional con participaciones que han variado entre el 80 y el 90% del GLP suministrado, siendo el porcentaje restante suministrado por la refinería de Cartagena y Apiay, la producción de GLP en los últimos diez años ha oscilado entre los 18000 y 24500 barriles diarios, con fluctuaciones significativas⁶.

El consumo de GLP en Colombia está orientado entre otros, para uso residencial, preparación de alimentos y calentamiento de agua; para el sector comercial está enfocada en la cocción y calor directo, en cuanto en la industrial su objetivo principal es la producción de vapor. En los últimos 10 años se ha reducido el consumo de GLP por el ingreso del gas natural y su comparación en términos de costo, esto también se está reflejando en el ámbito automotriz donde para el año 2016 aproximadamente 556548 automóviles se movilizan con gas natural⁷.

4.2 HIDRÓGENO

Es el elemento más abundante en el Universo y es el combustible de las estrellas y, evidentemente, del Sol, por lo que la energía que éste nos envía es la base de todos los procesos fisicoquímicos y biológicos que tienen lugar en la Tierra, una de sus propiedades más importantes es la energía específica de su combustión. Que ha comparación de la del GNV 50 MJ/kg y la del petróleo 44,6 MJ/kg es superior con un valor de 120 MJ/kg ⁸.

⁶ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICO. Cadena Del Gas Licuado Del Petróleo En Colombia. Bogotá: 2002.p19. ISBN 958-97855-1-4

⁷ GIRALDO LUNA, Julián; BARAHONA SOTELO, Andrea. Estudio Técnico Financiero De La Instalación De Una Planta De Licuefacción De Gas Natural A Pequeña Escala Para Uso De Este Como Combustible En El Sector Transporte Automotor En Colombia. Bogotá,2018, p67. Trabajo De Grado (ingeniero químico). Fundación Universidad De América. Faculta De Ingenierías.

⁸ JODRA GUTIÉRREZ, Luis. El Hidrógeno, Combustible Del Futuro. En: Real Academia De Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 99, No 1(2005). p 49-67.

Es el combustible más simple y ligero, pero no se utiliza en estado puro tiene cantidades pequeñas de oxígeno y otros componentes, la principal razón de querer utilizarlo es que su combustión produce solo agua por consiguiente no produce gases de efecto invernadero. Sin embargo, deberá ser producido a partir alguna reacción química por no ser un combustible primario lo que reside en una desventaja debido a los altos costos de las tecnologías que se utilizan en su obtención.

4.2.1 Propiedades físico- químicas A continuación, se presenta una tabla con las principales propiedades del hidrogeno.

Tabla 1 Propiedades del hidrógeno

PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO		
Poder Calorífico inferior		120 MJ/kg
Densidad del gas		0.09kg/Nm ³
Densidad energética gas		10.8 MJ/Nm ³
Densidad del liquido		0.071 Kg/l
Límite de inflamabilidad		4-75 %
Energía mínima de ignición		0.017 MJ

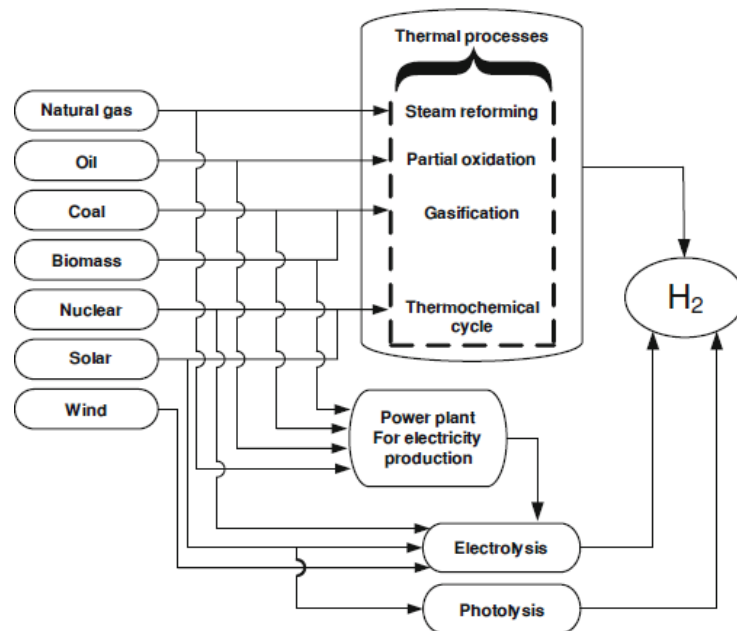
Fuente: LENNTECH Elementos [en línea] disponible en: www.lennotech.es/periodica/elementos

4.2.2 Métodos de producción del hidrógeno. Debido a que el hidrogeno no es una fuente de energía primaria se deben utilizar diferentes métodos de producción, a partir de tres clases de energías primarias, combustibles fósiles, reactores nucleares y fuentes de energías renovable. La tasa de producción de hidrógeno mundial anual es de 50 millones de toneladas siendo aproximadamente el 2 por ciento del consumo mundial de energía, este combustible se utiliza como materia prima para producir amoníaco en los fertilizantes y para las refinerías de petróleo,

otro pequeño porcentaje se utiliza en la producción de combustible para vehículos de combustión interna como combustible ecológico⁹.

A continuación, en la figura 1 se muestra la hoja de flujo de las principales tecnologías de producción de hidrógeno.

Figura 1. Tecnologías para la producción de hidrógeno



Fuente: CORBO, Pascual.MIGLIARDINI, Fortunato. VENERI, Ottorino. Hydrogen fuel cells for road vehicles. London: springer,2011. pág. 33 a pág. 63. 9780857291356

4.3 GAS NATURAL (GN)

Es un gas combustible, que se encuentra en reservas subterráneas su composición típica está dada por algunos hidrocarburos tales como metano (CH₄ 81,86%), etano

⁹ CORBO, Pascual. MIGLIARDINI, Fortunato. VENERI, Ottorino. Hydrogen fuel cells for road vehicles. London: springer,2011. pág. 33 a pág. 63. ISBN 9780857291356

(C₂H₆ 11,61 %), propano (C₃H₈ 1,92%) y no hidrocarburos como nitrógeno (N₂ 0,9 %) y dióxido de carbono (CO₂ 3,18%) entre otros componentes más pequeños¹⁰.

En Colombia actualmente se cuenta con catorce campos principales de producción y extracción de gas natural, localizados en la Costa Atlántica, Santander, Llanos Orientales y en el Huila-Tolima, el poder calorífico del gas natural oscila entre 900 y 1.400 BTU/PC en dichos campos¹¹.

4.3.1 Gas natural en Colombia La utilización del gas natural en Colombia se remonta al descubrimiento de los campos de Santander. El gas asociado fue considerado como un subproducto de la explotación del crudo, donde era quemado en las teas de los campos petroleros. Hacia 1973 se inicia la construcción del primer gasoducto para atender las necesidades del sector industrial en la Costa Atlántica, hacia finales de 1991, el COMPES aprobó el programa para la masificación del consumo de gas en Colombia.

La demanda de gas natural tuvo una contracción del 2,4 % en el año 2016. Sin embargo, del decrecimiento de consumo a nivel nacional, se presentaron

crecimientos de 1.98%, 5,81% y 44.55% en los sectores residenciales, terciario y Petrolero¹².

Durante el 2016 el sector transporte tuvo una caída significativa en su consumo de gas natural. Con respecto al año anterior, la demanda del sector cayó un 11.07%,

¹⁰ GAS NATURAL FENOSA. ¿Qué es el gas natural? [en línea]. <<http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/hogar/el+gas+natural/1297102453941/que+es.html>> [citado el 8 de agosto de 2017]

¹¹ Ibíd.,

¹² SUBDIRECCIÓN DE HIDROCARBUROS, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGETICA. Balance De Gas Natural 2017. 2017. p33.

esta caída está respaldada por la pérdida de competitividad del gas natural con respecto a la gasolina en los vehículos convertidos¹³.

4.4 FUNDAMENTOS DE COMBUSTIÓN

La combustión es el proceso químico exotérmico donde se oxida un combustible y se libera una gran cantidad de energía, el oxidante que generalmente más se usa es el oxígeno o una mezcla de sustancias que lo contengan la más común es aire debido a que es una fuente gratuita y fácil de conseguir. Durante este proceso de tendrán dos clases de componentes:

- **Reactivos:** Son aquellos que se tienen antes de la reacción de combustión
- **Productos:** Son aquellos que obtienen después de la reacción química

Figura 2. Proceso de combustión de flujo estacionario



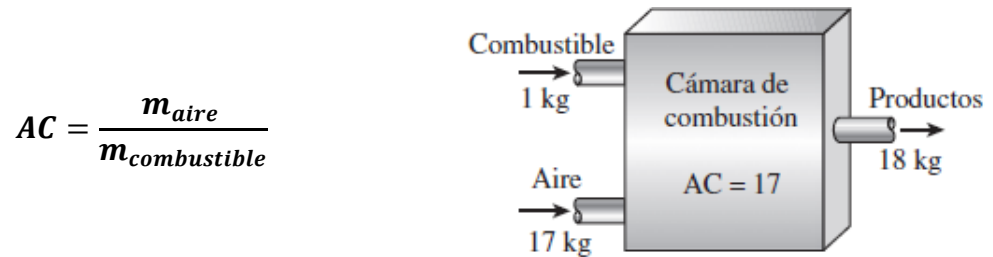
Fuente: CENGEL A, Yunus. BOLES A, Michael. Termodinámica. 7 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana,2012. Pag 771-800.ISBN 9781456218379

Cabe resaltar que con el solo hecho de poner un combustible en presencia de oxígeno no es suficiente para tener combustión, sino que, se debe llevar por encima de su temperatura de ignición además de que se debe tener una relación adecuada de aire-combustible.

¹³ Ibíd., p45

4.4.1 Relación aire-combustible. Es la relación que existe entre la masa de aire y la masa de combustible presente en un proceso de combustión, como se observa en la figura 3

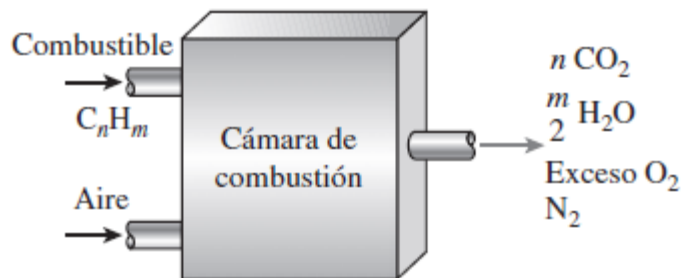
Figura 3. Relación aire-combustible



Fuente: CENGEL A, Yunus. BOLES A, Michael. Termodinámica. 7 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana,2012. Pag 771-800.ISBN 9781456218379

4.4.2 Procesos de combustión teórica y real Se habla de combustión completa (figura 4) cuando todo el carbono presente en el combustible se convierte en CO₂, el hidrógeno en H₂O y si hay presencia de azufre este se convierta SO₂.

Figura 4. Proceso de combustión completa



Fuente: CENGEL A, Yunus. BOLES A, Michael. Termodinámica. 7 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana,2012. Pag 771-800.ISBN 9781456218379

Por lo contrario, sí en los productos se encuentra residuos de combustible o componentes como C, H₂, CO u OH, se tendrá entonces un proceso de combustión incompleta.

4.5 MOTORES

Los motores de combustión interna son dispositivos mecánicos que transforman la energía química de un combustible en energía mecánica, por medio de un proceso de combustión producido dentro de las cámaras ubicadas en el motor. Existen principalmente dos tipos de motores de combustión interna (MCI), rotativos y reciprocantes, dentro de los rotativos, el más representativo es el motor Wankel, mientras que en motores reciprocantes se cuenta con una gran variedad de modelos los más conocidos son: el motor de Lenoir, de Beau de Rochas, Otto y Diésel, siendo los dos últimos los más importantes¹⁴.

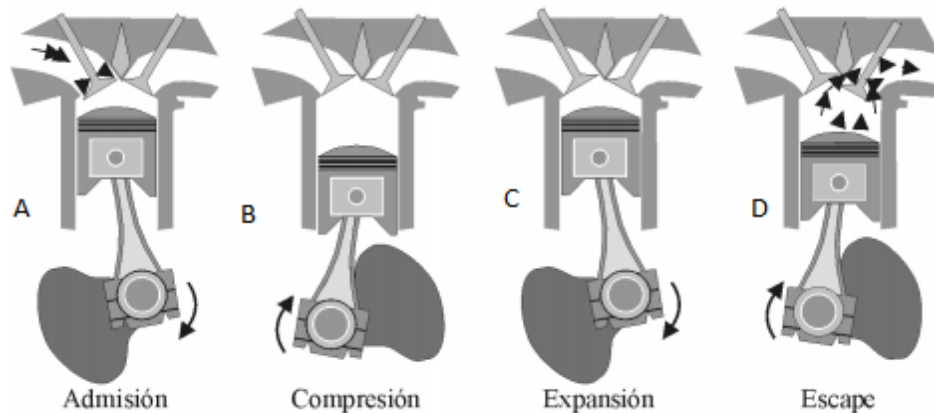
El MCI Otto fue diseñado por Nikolaus August Otto, este motor es principalmente conocido por ser un motor de cuatro tiempos, lo que indica que por cada dos vueltas del cigüeñal se presentan los siguientes procesos en la cámara de combustión: a) Aspiración de la mezcla de combustible en el cilindro, b) Compresión, c) Combustión, d) Evacuación de los gases de escape fuera del cilindro, otra de las características más importantes que tiene este motor es que requiere de una chispa para provocar el proceso de combustión razón por la cual se conoce como motor de combustión interna de encendido provocado. Este motor es de uso convencional y opera principalmente con gasolina o combustibles gaseosos, su empleo principal es en transporte particular y la aeronáutica¹⁵.

En la figura 5, se observa los diferentes ciclos de un motor cuatro tiempos de combustión interna tipo Otto.

¹⁴ OLARTE CAMARGO, Juan Sebastián. MURGAS HERRERA, Kevin Andrés: Evaluación De Los Parámetros De Desempeño De Un Motor Generador Acoplado A Un Gasificador De Lecho Fijo Con Y Sin Intercambiador De Calor, Para La Obtención De Energía Eléctrica En La Zona De Aprovechamiento Del Jardín Botánico De La Ciudad De Bogotá. Bogotá, 2018, p17. trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad libre de Colombia. Facultad de ingeniería mecánica.

¹⁵ Ibíd., p18

Figura 5 Ciclo cuatro tiempos de un motor de combustión interna.



Fuente: Motores de combustión interna alternativos, F. Payri y J.M. Desantes, Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Reverté

Los MCI debido a su gran versatilidad tienen grandes campos de acción entre las cuales están:

- Transporte terrestre.
- Propulsión marina.
- Propulsión aérea
- Aplicaciones estacionarias:
 - Plantas de generación de energía y cogeneración.
 - Accionamiento industrial (bombas, compresores, moto generadores, etc.)

Otro tipo de motor muy importante es el motor de 2 tiempos. Este tiene el mismo funcionamiento que un motor de 4 tiempos, pero los realiza en un solo giro del cigüeñal, proporcionando una de las principales ventajas con respecto al motor de 4 tiempos debido a que este, en teoría proporciona más potencia que uno de cuatro tiempos, otra ventaja es su simplicidad mecánica lo que afecta significativamente el costo de este motor haciéndolo más económico que uno de cuatro tiempos¹⁶.

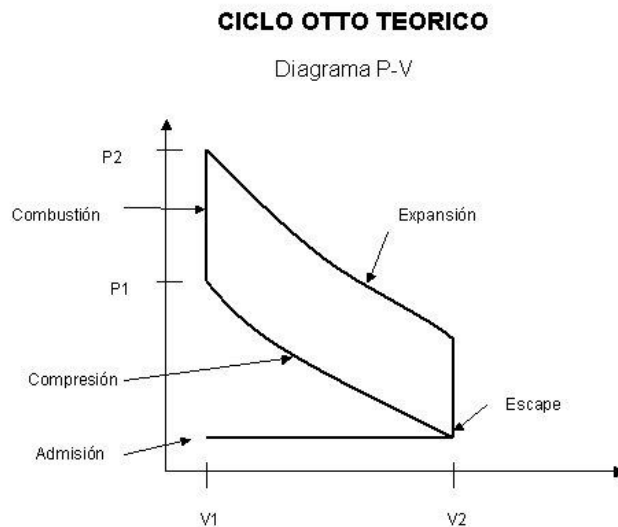
¹⁶ ESLAVA SARMIENTO, Andrés Felipe. Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas De Petróleo E Hidrogeno. Bogotá, 2014, p49.

El motor de dos tiempos presenta diversos problemas con respecto al motor de cuatro tiempos. Uno de ellos es que el motor de dos tiempos no separa los procesos de admisión y escape de gases, lo que conlleva un aumento de las emisiones de gases de hidrocarburos, por otro lado, el motor de dos tiempos no aprovecha completamente el ciclo de trabajo, puesto que la carrera efectiva del motor es menor que la del motor de cuatro tiempos¹⁷.

Teniendo en cuenta las anteriores características mencionadas de los motores de 2 tiempos, aún con dichas características estos motores están cada vez más relegados dado que generan mayores pérdidas energéticas y mayores niveles de contaminación en comparación con el motor de cuatro tiempos¹⁸.

En la figura 6, se observa el diagrama P vs V de ciclo Otto teórico

Figura 6 Ciclo Otto teórico



Fuente: Motores de combustión interna, Ángel moreno

Trabajo de grado (Magister En Ingeniería Mecánica). Universidad Nacional de Colombia. Facultad De Ingeniería. Departamento De Ingeniería Mecánica Y Mecatrónica.

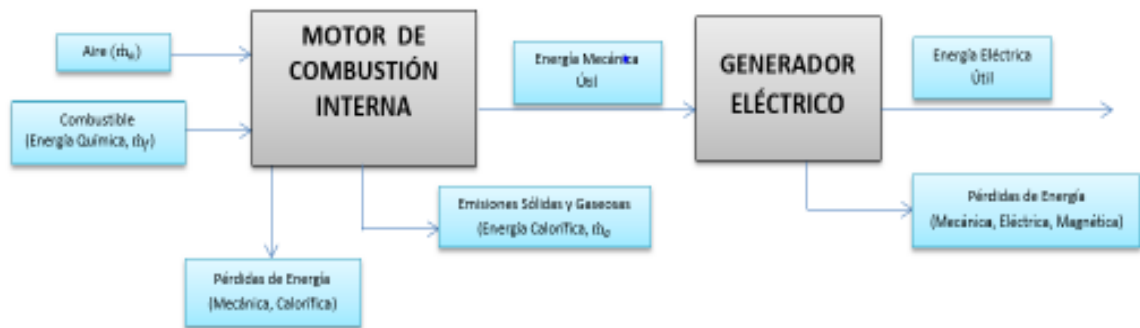
¹⁷ Ibid., p49

¹⁸ Ibid., p49

El motor de combustión de encendido por chispa es una máquina térmica que se encarga de transformar la energía química de un combustible, en energía mecánica rotacional. La Energía mecánica rotacional se puede convertir en energía eléctrica por medio de un generador¹⁹.

En la figura 7. se muestra el esquema funcional de un moto-generador en el cual se indican los flujos de masa y energía del sistema de entrada y salida.

Figura 7. Esquema de funcionamiento de una moto generadora



Fuente: ESLAVA SARMIENTO, Andrés Felipe. Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas De Petróleo E Hidrogeno

4.6 EMISIONES

El sector energético comprende dos actividades principales relacionadas con las igniciones de combustibles: combustión en fuentes estacionarias y combustión en fuentes móviles. En estos procesos no se es capaz de quemar todo el combustible en el ciclo de trabajo, por ende, se produce una cantidad de gases nocivos (CO, HC, SOx, NOx) y no nocivos (CO₂, O₂, H₂O) que son expulsados a la atmosfera

¹⁹ Ibíd., p67

contribuyendo a la contaminación y el cambio climático puesto que absorbe emite radiación dentro del rango infrarrojo.

4.6.1 Monóxido de carbono (CO) Es un producto de la combustión incompleta, incoloro, inodoro explosivo y altamente tóxico, que en función de su concentración en el aire y el tiempo de exposición a él puede generar secuelas neurológicas irreversibles o la muerte.

Las emisiones de CO disminuyen en un bajo porcentaje dependiendo el tipo de combustible que se use y el sistema de control de flujo de combustible que tiene el motor, sea lazo cerrado o lazo abierto, en el segundo las emisiones son menores en comparación con el primer sistema de control, las emisiones de CO también dependen de la calidad del combustible como de la relación aire-combustible real²⁰.

4.6.2 Hidrocarburos (HC) La mayoría de los combustibles como la gasolina, el diésel, el gas licuado de petróleo (GLP) y el gas natural vehicular (GNV) son todos subproductos de los hidrocarburos, la emisiones de HC de los motores de combustión interna es originada por mezclas pobres de oxígeno que lleva a que el combustible utilizado no se queme totalmente dentro de la cámara de combustión y salga al exterior del motor por medio del sistema de escape el cual es una de las tres principales fuentes de emisiones con un 60% aproximadamente, seguida de las emisiones del Carter de potencia y el depósito de combustible con 20% cada una²¹.

²⁰ MANTILLA GONZALES, Juan Miguel. Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna. Medellín, 2010, p26. Trabajo de grado (Doctor En Ingeniería-Sistemas Energéticos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas

²¹ CASTRO PEÑA, Paula. WINSTON ESCOBAR, Lina. Estimación De Las Emisiones Contaminantes Por Fuentes Móviles A Nivel Nacional Y Formulación De Lineamientos Técnicos Para El Ajuste De Las Normas De Emisión. Bogotá, D.C, 2006, p6 a p 7. Trabajo De Grado (Ingenierías Ambientales y sanitarias). Universidad De La Salle. Faculta De Ingeniería Ambiental Y Sanitaria.

4.6.3 Dióxido de carbono (CO_2) El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma en el proceso de combustión, no es nocivo para la salud en pequeñas cantidades, pero cuando se tiene grandes concentraciones genera impacto en el medio ambiente contribuyendo al efecto invernadero, de igual manera cabe señalar también que a mayor concentración de CO_2 el proceso de combustión es óptimo.

4.6.4 Óxidos nítricos (NO_x) Son un grupo de gases que se producen durante la combustión cuando se oxida el nitrógeno del combustible y el aire utilizado en el proceso, generalmente se forma óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2), el primero es relativamente inofensivo para la salud, pero el segundo causa efectos adversos para esta. Además, cabe resaltar que las altas emisiones de estos gases se generan por una relación de aire combustible reducida y por las altas temperaturas dentro de la cámara de combustión.

Los motores de combustión interna que utilizan como combustible hidrogeno tiene un impacto ambiental muy bajo ya que solo produce vapor de agua y pequeñas cantidades de NO_x a diferencia de los motores que utilizan combustibles subproductos de los hidrocarburos que son altamente contaminantes produciendo emisiones como las anteriormente mencionadas

5. PARÁMETROS DE OPERACIÓN

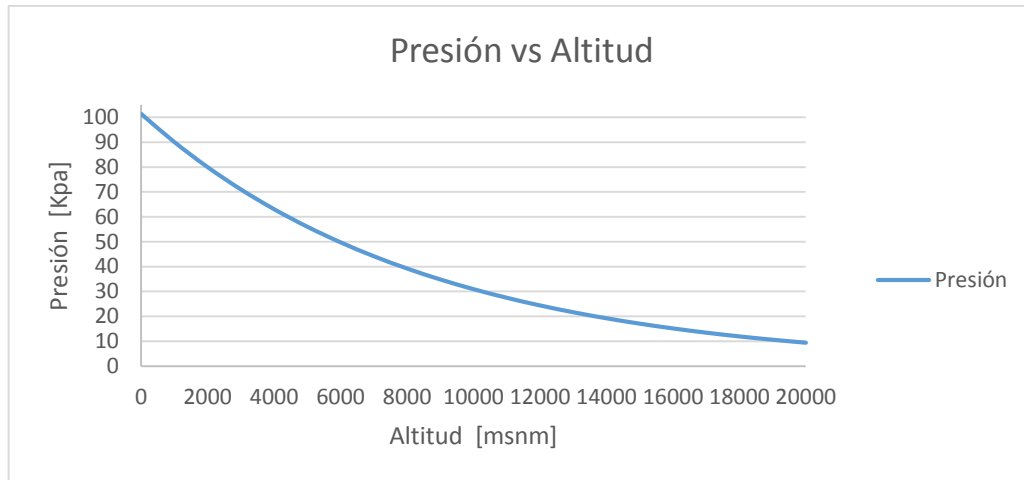
5.1 CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones atmosféricas presentan diversas variaciones en la eficiencia de los motores de combustión interna, es así como la presión atmosférica, la humedad relativa y la temperatura del sitio de operación actúan directamente sobre el flujo másico de aire que ingresa a la cámara de combustión lo cual ocasiona una pérdida de potencia con respecto a la potencia desarrollada en condiciones de operación óptima.

Al aumentar la altitud se encuentra menor presión y menor masa de aire por ende menor masa de oxígeno lo que afecta directamente la combustión. Cabe resaltar que el decrecimiento de la masa de aire se vuelve significativo para altitudes mayores o iguales a 3000 msnm²².

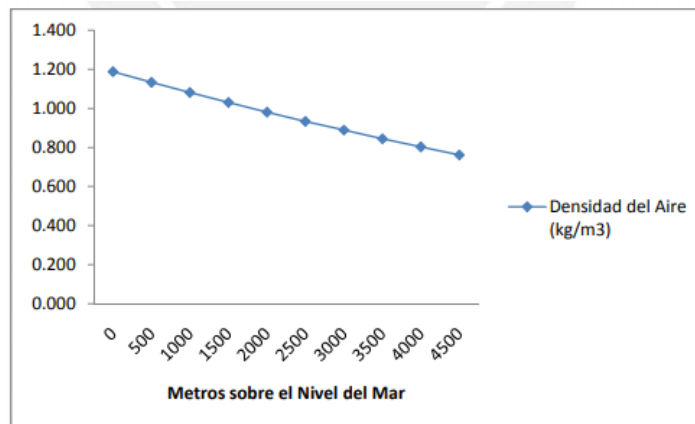
²² SANTAMARÍA AGUDELO, Andrés; SANTAMARÍA AGUDELO, John; LÓPEZ SÁNCHEZ, Carlos. Efecto de la altitud en el análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. En: Dyna.No.152 (julio de 2007) pág. 113-124.ISSN 0012-7353

Figura 8 variación de la presión con la altitud.



Es también importante conocer la variación de la densidad del aire con respecto la altura puesto que como se mencionó anteriormente es uno de los factores que más afecta el correcto funcionamiento del motor, dicha variación se observa en la figura 9.

Figura 9 Variación de la densidad del aire respecto a la altitud



Fuente http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1535/BARDALEZ_BARDALEZ_ALVARO_MEZCLAS_BX_MOTORES_COMPRESION.pdf; sequence=1

5.2 POTENCIA

Los motores de combustión interna que se modifican para trabajar con combustibles alternativos como el GNV y el GLP sufren una pérdida de potencia con respecto a su funcionamiento con combustibles convencionales como la gasolina y el Diésel, esta pérdida de potencia se ve mayormente reflejada en los automóviles, aquellos con tecnologías convencionales (carburación) sufren una pérdida entre el 10% y el 15%, en cambio aquellos con nuevas tecnologías (inyección) la pérdida de la potencia está entre el 6% y el 10% ²³.

Algunas de las causas por las que los motores pierden potencia con el GNV son: la densidad de energía efectiva del gas es menor que la de la gasolina (40 MJ/m³ frente a 33400 MJ/m³), el octanaje ya que es mayor los octanos contenidos por el GNV que por la gasolina (130 frente a 80 a 97 octanos) lo que conlleva a que el GNV sea más resistente a la ignición, el tiempo en que tarda en quemarse una mezcla aire/GNV es mayor que el que tarda una mezcla aire/gasolina²⁴.

5.3 RELACIÓN AIRE/COMBUSTIBLE

Es la cantidad de aire y combustible necesaria para que haya combustión, cuando se obtiene una combustión completa entonces se dice que la relación aire combustible es estequiométrica (ideal) y se denomina lambda (λ), es un parámetro

²³ AGUAS BAQUERO, Miguel L. JAIME AVILA, Omar H: Automatización Y Diseño Del Sistema Mezclador De Combustible En Vehículos Con Equipos De Conversión A Gas Natural . Bogotá, 2008. p22. trabajo de grado (ingeniero de diseño y automatización electrónica). Universidad De La Salle. Ingeniería De Diseño y Automatización Electrónica.

²⁴ FAJARDO, Juan. HUERTAS, José. Conversión de una planta eléctrica de gasolina a gas natural [en línea]. <
https://www.researchgate.net/publication/266606070_Conversion_de_una_planta_electrica_de_gasolina_a_gas_natural > [citado el 24 de septiembre de 2017]

importante debido a que la energía disponible en el proceso de combustión depende tanto de él como del tipo de combustible utilizado.

Para el gas natural λ esta entre 9,5 y 11,2: 1 en volumen o 16: 1 en peso²⁵, pero como la composición del gas es variable esta relación de volumen λ^2 no será exacta, por otra parte, se tiene que λ para el GLP y H₂ toma el valor de 15: 1 y 34,33:1 en peso respectivamente²⁶.

²⁵

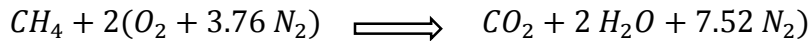
²⁶ RAMOS FÁBREGA, Marc. Hidrógeno: Aplicación En Motores De Combustión Interna. Barcelona, 2009.p112. trabajo de grado (ingeniero en técnica naval). Universidad Politécnica De Cataluña. Facultad De Náutica De Barcelona.

6. ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN TEÓRICA PARA LOS DIFERENTES COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

En el presente capítulo se analiza la combustión teórica para los tres tipos de combustibles utilizados, las ecuaciones teóricas utilizadas se basan en la bibliografía consultada y en estudios realizados por otros autores que han llevado a concluir un parámetro de relación aire combustible teórica para la combustión de los combustibles que se han usado en las pruebas de laboratorio realizadas en este proyecto.

6.1 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS NATURAL VEHICULAR

La ecuación teórica para la combustión para el GNV (metano puro) es:



Para hallar la relación aire/combustible teórica se necesita conocer la masa del aire y del combustible.

Para el cálculo de la masa de combustible se tiene:

$$M_{CH_4} = 1 \text{ mol}_{CH_4} * 16 \frac{g}{mol_{CH_4}}$$

$$M_{CH_4} = 16 g_{CH_4}$$

Se calcula la masa molar del aire teórico de la siguiente manera:

$$M_{aire} = 2(1 \text{ mol } O_2 * 32 \frac{g}{mol_{O_2}} + 3.76 \text{ mol } N_2 * 28 \frac{g}{mol_{N_2}})$$

$$M_{aire} = 274.56 g_{aire}$$

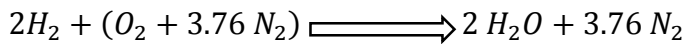
Relación aire combustible teórico

$$R_{\frac{A}{C}/teorico} = \frac{M_{aire}}{M_{CH_4}}$$

$$R_{\frac{A}{C}/teorico} = \frac{274.56}{16} = 17.16 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{CH_4}}$$

6.2 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL HIDRÓGENO

La ecuación teórica para la combustión para el hidrógeno H_2 :



Para hallar la relación aire/combustible teórica se necesita conocer la masa del aire y del combustible

$$M_{H_2} = 2 \text{ mol } H_2 * 2 \frac{g}{mol_{H_2}}$$

$$M_{H_2} = 4 g_{H_2}$$

$$M_{aire} = (1 \text{ mol } O_2 * 32 \frac{g}{mol_{O_2}} + 3.76 \text{ mol } N_2 * 28 \frac{g}{mol_{N_2}})$$

$$M_{aire} = 137.28 g_{aire}$$

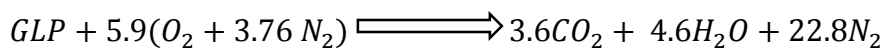
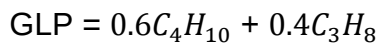
$$R_{ac_{teor}} = \frac{M_{aire}}{M_{H_2}}$$

$$Rac_{teor} = \frac{137.28}{4} = 34.33 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{H_2}}$$

6.3 ANÁLISIS DE LA COMBUSTIÓN DEL GLP

La ecuación teórica para la combustión para el gas licuado de petróleo GLP:

Generalmente el GLP está compuesto por 60% propano y 40% butano



Para hallar la relación aire/combustible teórica se necesita conocer la masa del aire y del combustible

$$M_{GLP} = 0.6M_{C_4H_{10}} + 0.4C_3H_8$$

$$M_{C_4H_{10}} = 0.6 \text{ mol} * 58 \frac{g}{\text{mol}_{C_4H_{10}}} = 34.8_{C_4H_{10}}$$

$$M_{C_4H_{10}} = 0.6 \text{ mol} * 58 \frac{g}{\text{mol}_{C_4H_{10}}} = 34.8_g C_4H_{10}$$

$$M_{C_3H_8} = 0.4 \text{ mol} * 44 \frac{g}{\text{mol}_{C_3H_8}} = 17.6_{C_3H_8}$$

$$M_{GLP} = 52.4g_{GLP}$$

$$M_{aire} = 5.9 * (1 \text{ mol}_{O_2} * 32 \frac{g}{\text{mol}_{O_2}} + 3.76 \text{ mol}_{N_2} * 28 \frac{g}{\text{mol}_{N_2}})$$

$$M_{aire} = 809.95 g_{aire}$$

$$Rac_{teor} = \frac{M_{aire}}{M_{GLP}}$$

$$Rac_{teor} = \frac{809.95}{52.4} = 15.45 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{GLP}}$$

Las relaciones aire combustible halladas en este capítulo serán un parámetro importante para saber la riqueza (λ) de la mezcla en la combustión real ya que esta está definida por el cociente entre la relación aire combustible real y la teórica o estequiométrica si $\lambda > 1$ se llama mezcla pobre, si $\lambda < 1$ se llama mezcla rica y si $\lambda = 1$ entonces la mezcla es la ideal. De esta manera y con los resultados arrojados por el análisis de gases se podrán hacer los reglajes necesarios para acercar la combustión real a la combustión teórica llevando a λ a los valores más cercanos a 1.

6.4 DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA²⁷

Podemos calcular el trabajo indicado del motor partiendo del diagrama p-v y el cual es el resultado de la fuerza que actúa por la distancia, dicha fuerza se genera debido a la presión que ejercen los gases al pistón móvil en la cámara de combustión del motor en un ciclo de combustión interna y se define de la siguiente manera:

²⁷ OLARTE CAMARGO, Juan Sebastián. MURGAS HERRERA, Kevin Andrés: Evaluación De Los Parámetros De Desempeño De Un Motor Generador Acoplado A Un Gasificador De Lecho Fijo Con Y Sin Intercambiador De Calor, Para La Obtención De Energía Eléctrica En L Zona De Aprovechamiento Del Jardín Botánico De La Ciudad De Bogotá. Bogotá, 2018, p19 a p22. trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad libre de Colombia. Faculta de ingeniería mecánica.

$$W = \int F dx = \int P A_p dx$$

Donde $A_p dx = dV$ siendo A_p el área del pistón, x la distancia de movimiento del pistón y dV el volumen del desplazamiento del cilindro del motor.

Obteniendo entonces una expresión para el trabajo (W) dependiente de la presión en la cámara de combustión (P) y el volumen de desplazamiento (dV)

$$W = \int P dV$$

Ec. 1 trabajo de un MCI

Es también importante analizar el trabajo producido por unidad de masa de gas (m) o trabajo específico ω dentro del cilindro en un ciclo de motor, en este caso se reemplaza el trabajo W neto y el volumen V por el trabajo específico ω y el volumen específico v obteniendo la expresión:

$$\omega = \int P dv$$

Ec. 2 trabajo específico

donde $\omega = \frac{W}{m}$ y $v = \frac{V}{m}$

Cabe señalar que el trabajo entregado por el motor en el cigüeñal es menor que el trabajo indicado, esto se debe a la fricción mecánica y las cargas generadas por la bomba de aceite, el alternador, el compresor de aire, etc., llamadas también cargas parasitas, es así entonces que el trabajo que se entrega realmente en el cigüeñal es denominado trabajo al freno W_b y se define de la siguiente manera.

$$Wb = Wi - Wt$$

Ec. 3 trabajo al freno

Donde Wt es el trabajo por fricción mecánica y cargas parasitas y Wi es el trabajo generado en la cámara de combustión

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la presión dentro del cilindro siempre varia durante el ciclo, por lo que es necesario medir la presión media efectiva (mep).

$$\omega = mep * \Delta v$$

$$\Delta v = v_{pmi} - v_{pms}$$

Donde v_{pmi} es el volumen en el punto muerto inferior y v_{pms} el volumen en el punto muerto superior

$$mep = \frac{\omega}{\Delta v} = \frac{W}{Vd}$$

Ec. 4 Presión media efectiva

Siendo W el trabajo en un clico, ω el trabajo específico en un ciclo y Vd el volumen desplazado.

Otro factor relevante del desempeño de un motor es la presión media efectiva al freno (Bmep), ya que es la que relaciona el trabajo real entregado por el motor con su volumen de desplazamiento.

$$Bmep = \frac{Wb}{\Delta b}$$

Ec. 5 presión media efectiva al freno

Una vez se obtiene la Bmep se puede calcular la presión constante ejercida en cada carrera de presión del motor, denominada también presión media efectiva indicada ***imep***.

$$imep = \frac{Bmep}{\eta}$$

Ec. 6 presión media efectiva indicada

Donde η es la eficiencia del motor

La capacidad de un motor para hacer el trabajo es medida mediante el torque, que es definido como la fuerza producida por cuerpos en rotación y se puede definir de la siguiente manera:

$$T = Wb \frac{Bmep Vd}{2 \pi n}$$

Ec. 7 torque

Como un motor de cuatro tiempos toma dos revoluciones por ciclo entonces el par o torque se define de la siguiente manera

$$T = \frac{Bmep k Vd}{2 \pi \alpha}$$

Ec. 8 torque para un motor de cuatro tiempos

Donde Wb es el trabajo al freno de una revolución, Vd el volumen desplazado y n el número de revoluciones por ciclo, α es la constante de revoluciones por ciclo y k el número de cilindros del motor, en estas ecuaciones se usan la presión media efectiva al freno y el trabajo al freno debido a que el torque se mide en la salida del cigüeñal.

Es importante resaltar que α toma valores de 2 para un motor de 4 tiempos y 1 para un motor de dos tiempos²⁸.

Otro indicador para tener en cuenta es la potencia del motor, que es la tasa de trabajo del motor y está definida de la siguiente manera.

$$\dot{w} = 2 \pi N T = T \omega$$

Ec.9 potencia de un motor

Para un motor de 4 tiempos la potencia se define:

$$\dot{w} = mep \frac{A_p \overline{U_p}}{2}$$

Ec. 10 potencia de un motor cuatro tiempos

Donde A_p es el área de los pistones y $\overline{U_p}$ es la velocidad promedio del pistón

Dicha potencia se puede definir como potencia al freno, potencia neta indicada o la potencia a la fricción y se puede medir en kW o HP.

El aprovechamiento de todo el calor generado y su conversión a energía este dado por la eficiencia térmica del motor:

$$\eta_t = \eta_c \eta_m$$

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_c Q_{Lv}}$$

Ec. 11 eficiencia térmica de un motor

²⁸ SARMIENTO ESLAVA, Andrés Felipe: Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas Licuado De Petróleo E Hidrógeno. Bogotá ,2014,p50. trabajo de grado (magister en ingeniería mecánica). Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería mecánica y mecatrónica

Donde $\dot{m}_c$ es el caudal de masa del combustible, Q_{Lv} el poder calorífico inferior, η_c es la eficiencia de ciclo y η_m la eficiencia mecánica.

Por último, se debe tener en cuenta el consumo específico de combustible, que relaciona el consumo de combustible por potencia de salida

$$BSFC = \frac{\dot{m}_c}{\dot{W}}$$

Ec. 12 consumo específico de combustible ²⁹

6.3 CÁLCULOS DE LOS FACTORES DE DESEMPEÑO

A continuación, se realizan los cálculos de los factores de desempeño para el MCI.

6.3.1 Cálculos para gas natural A continuación, se realizan los cálculos de densidad, flujo másico y caudal de combustible operando con gas natural vehicular.

Potencia máxima.

P= 1750 Watt

Flujo volumétrico

$$\dot{V} = \frac{v[L]}{t[min]} \quad \dot{V} = \frac{5[L]}{0.277[min]}$$

$$\dot{V} = 18.05 \frac{[L]}{[min]} \times \frac{1[m^3]}{1000[L]} \times \frac{1[min]}{60[s]} \quad \dot{V} = 3.009 \times 10^{-4} \frac{[m^3]}{[s]}$$

²⁹ Ibid. p. 54

Se procede a calcular la densidad del GNV, suponiendo que el gas a la entrada del carburador se encuentra a presión atmosférica que toma un valor para la zona de trabajo de 88.317 Kpa, una temperatura ambiente de 25 °C y utilizando una constante para GNV como R=0.51835, se obtiene la densidad así:

Calculo de la densidad

$$\delta = \frac{P[Pa]}{R \frac{[Kj]}{[Kg \times K]} \times T[K]}$$

$$\delta_{GNV} = \frac{88.317[kPa]}{0.51835 \frac{[Kj]}{[Kg \times k]} \times (273 + 25)[K]}$$

$$\delta_{GNV} = 0.572 \frac{[kg]}{[m^3]}$$

Se calcula el flujo de masa para el GNV de la siguiente forma:

Flujo másico

$$\dot{m} = \delta x \dot{V}$$

$$\dot{m}_{GNV} = 0.572 \frac{[kg]}{[m^3]} \times 3.009 \times 10^{-4} \frac{[m^3]}{[s]}$$

$$\dot{m}_{GNV} = 1.721 \times 10^{-4} \frac{[kg]}{[s]}$$

Para el cálculo de torque se tomó la potencia al freno medida con el equipo de adquisición de datos a una carga máxima generada del 100% para gas natural vehicular en este caso fue de 1750.

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$$

$$T = \frac{1750 \text{ W}}{60 \text{ rev/s}}$$

$$\mathbf{T = 29.17 \text{ Nm}}$$

Obtenido el torque se calcula la presión media efectiva al freno **Bmep**

$$Bmep = \frac{4\pi T}{Vd}$$

$$Bmep = \frac{4\pi \text{ 29.17Nm}}{0.000163 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ Kpa}}{1000 \text{ Pa}}$$

$$\mathbf{Bmep = 2248.58 \text{ Kpa}}$$

Una vez se calcula Bmep y suponiendo una eficiencia de motor de 35% se obtiene la **imep**.

$$imep = \frac{Bmep}{\eta}$$

$$imep = \frac{2248.58 \text{ Kpa}}{0.35}$$

$$\mathbf{imep = 6424.52 \text{ Kpa}}$$

el consumo específico de combustibles se calcula basados en la siguiente ecuación

$$BSFC = \frac{\dot{m}_c}{\dot{W}}$$

$$BSFC = \frac{1.721 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}}{1.750 \text{ kw}} \times \frac{1000g}{1 \text{ kg}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$BSFC = 354.08 \frac{g}{kw \text{ h}}$$

Para el cálculo de la eficiencia térmica se usa la Ec. 11, donde se tomó el poder calorífico del gas como 39900 ³⁰ según la literatura consultada.

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_c Q_{hv}}$$

$$\eta_t = \frac{1,750 \text{ kw}}{1.721 \times 10^{-4} \frac{kg}{s} 39900 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\eta_t \approx 26\%$$

Por último, se realizó el cálculo de la relación de aire combustible partiendo de la siguiente ecuación

$$\lambda = \frac{R_{A/C_{real}}}{R_{A/C_{teorico}}}$$

³⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA. Termodinámica y termotecnia tablas de combustibles [en línea] < http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf > [citado el 4 de diciembre de 2018]

$$1 = \frac{R_{A/C_{real}}}{17.16}$$

$$R_{A/C_{real}} = 17.16 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$$

Cabe señalar que los valores de lambda (ver **Anexo C**) se obtiene con la medición de gases de escape usando el analizador de gases brainbee AGS 690 (ver **Anexo A**)

Para los demás datos de potencia se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 2. Factores de desempeño para gas natural vehicular

Potencia [kw]	BSFC [g/kwh]	eficiencia	TORQUE [Nm]	Bmep [kpa]	imep [kpa]	$\frac{R_{A/C_{real}}}{Kg_{comb}}$ $\frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$
1.75	354.08	25.48	29.17	2248.58	6424.52	17.16
1.60	382.7	23.57	26.67	2055.85	5873.85	16.36
1.40	428.8	21.04	23.33	1798.87	5139.62	15.33
1.20	494.4	18.25	20.00	1541.89	4405.39	14.52
1.00	589.4	15.31	16.67	1284.90	3671.16	13.97
0.80	734.8	12.28	13.33	1027.92	2936.93	13.68
0.60	975.3	9.25	10.00	770.94	2202.69	13.57
0.40	1446.1	6.24	6.67	513.96	1468.46	13.90
0.20	2880.4	3.13	3.33	256.98	734.23	14.48

Fuente: Autores

6.3.2 Cálculos para gas licuado de petróleo

Potencia

P=2000 Watt

Flujo volumétrico

$$\dot{V} = \frac{v[L]}{t[min]} \quad \dot{V} = \frac{5[L]}{0.6395[min]}$$

$$\dot{V} = 7.818 \frac{[L]}{[min]} \times \frac{1[m^3]}{1000[L]} \times \frac{1[min]}{60[s]} \quad \dot{V} = 1.303 \times 10^{-4} \frac{[m^3]}{[s]}$$

Se procede a calcular la densidad del GLP, sabiendo que el gas ingresa a una presión atmosférica de 88.317 Kpa y a una temperatura de 25 °C para la zona geográfica de trabajo y utilizando una constante para GLP como R=0,1885 se obtiene la densidad así:

Calculo de la densidad

$$\delta = \frac{P[Pa]}{R \frac{[Kj]}{[Kg \times K]} \times T[K]}$$

$$\delta_{GLP} = \frac{88.317[kPa]}{0.1885 \frac{[Kj]}{[Kg \times K]} \times (273 + 25)[K]}$$

$$\delta_{GLP} = 1.573 \frac{[kg]}{[m^3]}$$

Se calcula el flujo de masa para el GLP de la siguiente forma:

Flujo másico

$$\dot{m} = \delta \dot{V}$$

$$\dot{m}_{GLP} = 1.573 \frac{[kg]}{[m^3]} \times 1.309 \times 10^{-4} \frac{[m^3]}{[s]}$$

$$\dot{m}_{GLP} = 2.06 \times 10^{-4} \frac{[kg]}{[s]}$$

Para el cálculo de torque se tomó la potencia al freno medida con el equipo de adquisición de datos a una carga máxima generada del 100% para gas licuado de petróleo en este caso fue de 2000 Watt.

$$T = \frac{\dot{W}}{\omega}$$

$$T = \frac{2000 \text{ W}}{60 \text{ rev/s}}$$

$$\mathbf{T = 33.33 Nm}$$

Obtenido el torque se calcula la presión media efectiva al freno **Bmep**

$$Bmep = \frac{4\pi T}{V_d}$$

$$Bmep = \frac{4\pi \cdot 33.34 Nm}{0.000163 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ Kpa}}{1000 \text{ Pa}}$$

$$\mathbf{Bmep = 2569.81 Kpa}$$

Una vez se calcula Bmep y suponiendo una eficiencia de motor de 35% se obtiene la **imep**.

$$imep = \frac{Bmep}{\eta}$$

$$imep = \frac{2570.32 Kpa}{0.35}$$

$$imep = 7342.31 Kpa$$

el consumo específico de combustibles se calcula basados en la siguiente ecuación.

$$BSFC = \frac{\dot{m}_c}{\dot{W}}$$

$$BSFC = \frac{2.049 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}}{2.0 kw} \times \frac{1000g}{1 kg} \times \frac{3600 s}{1 h}$$

$$BSFC = 370.64 \frac{g}{kw h}$$

Para el cálculo de la eficiencia térmica se usa la Ec. 11, donde se tomó el poder calorífico del gas como 46350³¹según la literatura consultada.

$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_c Q_{hv}}$$

$$\eta_t = \frac{2.0 kw}{2.06 \times 10^{-4} \frac{kg}{s} 46350 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\eta_t = 20.96\%$$

Por último, se realizó el cálculo de la relación de aire combustible partiendo de la siguiente ecuación

³¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA. Termodinámica y termotecnia tablas de combustibles [en línea] < http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf > [citado el 4 de diciembre de 2018]

$$\lambda = \frac{R_{A/C_{real}}}{R_{A/C_{teorico}}}$$

$$0.86 = \frac{R_{A/C_{real}}}{15.45}$$

$$R_{A/C_{real}} = 13.21 \frac{Kg_{aire}}{Kg_{comb}}$$

Cabe señalar que los valores de lambda (ver **Anexo B**) se obtiene con la medición de gases de escape usando el analizador de gases brainbee AGS 690 (ver **Anexo A**)

Para las demás potencias se obtuvieron los siguientes resultados

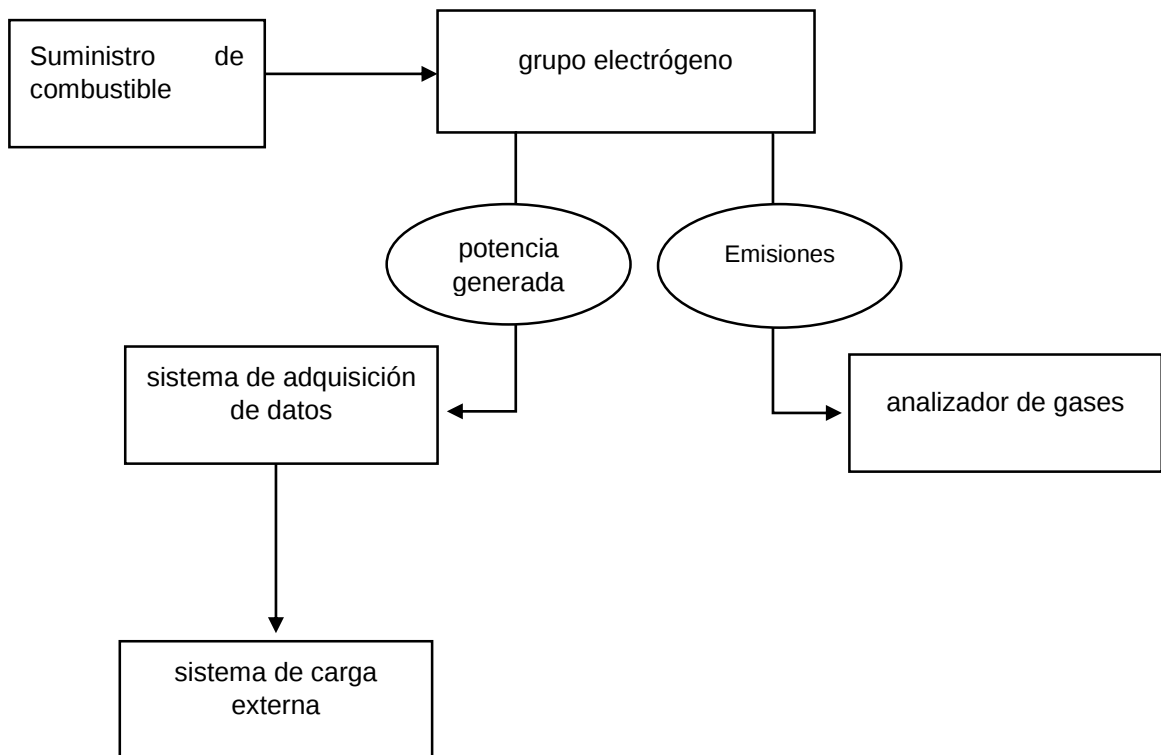
Tabla 3. Factores de desempeño para gas licuado de petróleo

Potencia [kw]	BSFC [g/kwh]	eficiencia	TORQUE [Nm]	Bmep [kpa]	imep [kpa]	$\frac{R_{A/C_{real}}}{Kg_{comb}}$ Kg_{aire}
2.0	370.64	20.96	33.33	2569.81	7342.31	13.21
1.8	404.72	19.19	30	2312.83	6608.08	12.38
1.6	425.71	18.24	26.67	2055.85	5873.85	12.30
1.4	450.08	17.26	23.33	1798.87	5139.62	12.25
1.2	471.14	16.49	20	1541.89	4405.39	12.36
1.0	513.54	15.12	16.67	1284.90	3671.16	12.33
0.8	586.82	13.24	13.33	1027.92	2936.93	12.44
0.6	719.36	10.80	10	770.94	2202.69	12.37
0.4	1040.04	7.47	6.67	513.96	1468.46	12.02
0.2	2033.93	3.82	3.33	256.98	734.23	11.44

7. DESCRIPCIÓN DEL BANCO PRUEBAS

El siguiente esquema muestra el diagrama flujo del banco de pruebas ubicado en el sótano dos, Laboratorio De Sistemas De Conversión De Energía (SICE) Del Parque Tecnológico de Guatiguara (PTG) De La Universidad Industrial De Santander.

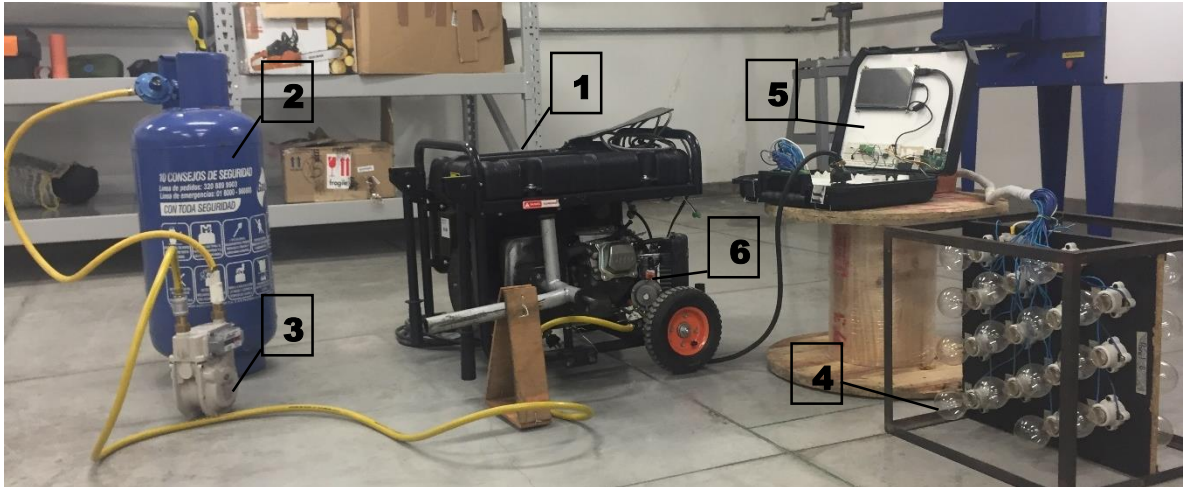
Figura 10 Esquema de banco de pruebas



El banco de pruebas está constituido por un generador, un depósito de combustible que puede cambiar dependiendo el combustible de trabajo e instrumentos que se utilizan para la medición experimental de variables como potencia nominal, consumo de combustible, gases de combustión y presión en la instalación de abastecimiento del combustible gaseoso, así como los diferentes componentes de desecho de un motor de combustión interna que utilizara como combustibles

principales, Hidrógeno (H), gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural vehicular (GNV). Los componentes del banco de prueba son los siguientes:

Figura 11 Banco de pruebas del laboratorio SICE del PTG



1. Generador Bauker modelo GG2800
2. Sistema de suministro de combustible
3. Medidor de gas GNV y GLP tipo diafragma
4. Sistema de carga externa
5. Sistema de adquisición de datos
6. Carburador de conversión de combustible dual GNV/GLP

Adicional al conjunto de elementos anteriormente mencionados también se utilizó para la medición de emisiones un analizador de gases BrainBee ASG690 ver **ANEXO A**.

7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES

A continuación, se hará una breve descripción de los elementos del banco de pruebas, las características relevantes se podrán encontrar en el **ANEXO A**

7.1.1 Generador Bauker modelo GG2800 Generador Bauker modelo GG2800 con una potencia máxima de 2200 Watts y una autonomía de 8 horas, fabricado y

diseñado para uso con gasolina, tiene arranque manual Motorup 168, corriente continua y directa según requerimiento, energía máxima generada 2400 W, energía continua de 2200 W, capacidad del tanque de 15 litros aproximadamente 4 galones, motor 4 tiempos salida 110 v AC, ver ficha técnica en **ANEXO A**.

7.1.2 Sistema de suministro de combustible El sistema de suministro de combustible está constituido por un depósito de combustible, un regulador de presión que disminuye la presión desde el depósito a la entrada del carburador, además de una válvula de cierre hermético y tubería para conexión directa al motor de combustión interna, para el desarrollo de esta investigación se utilizaron tres sistemas de suministro uno para cada combustible utilizado y cuyas especificaciones técnicas la puede ver en **Anexo A**.

7.1.3 Medidor de gas GNV y GLP tipo diafragma Se utiliza un medidor de gas tipo diafragma **G1,6** fabricado por Keuk Dong que sirve para medir flujo de gas natural o GLP, con una capacidad máxima de 2.5 m³/h, a una presión máxima de 7.2 psi, el cual fue calibrado en el centro de desarrollo tecnológico del gas (CDT) ubicado en el PTG (ver **Anexo A**)

7.1.4 Sistema de carga externa Consta de 24 bombillos de 100 watts cada una con su respectivo interruptor para encender y apagar según lo demandado, y utilizando un potenciómetro para ir variando la potencia dependiendo del requerimiento. Está diseñado con un bastidor metálico y conexión independiente con cable numero 12 bifilar y sus respectivos terminales para la conexión con el mando de control. Con esta batería se logra generar una potencia teórica de 2400 watts,

7.1.5 Sistema de adquisición de datos El sistema de adquisición de datos consta de varios componentes electrónicos que nos permite obtener los datos producto de las diferentes pruebas realizadas para cada tipo de combustibles gaseosos

utilizados en el banco de pruebas, con esto se mejora la toma de datos con un tiempo de muestreo variable según la necesidad de cada prueba, entre los componentes más importantes tenemos ver **Anexo A**.

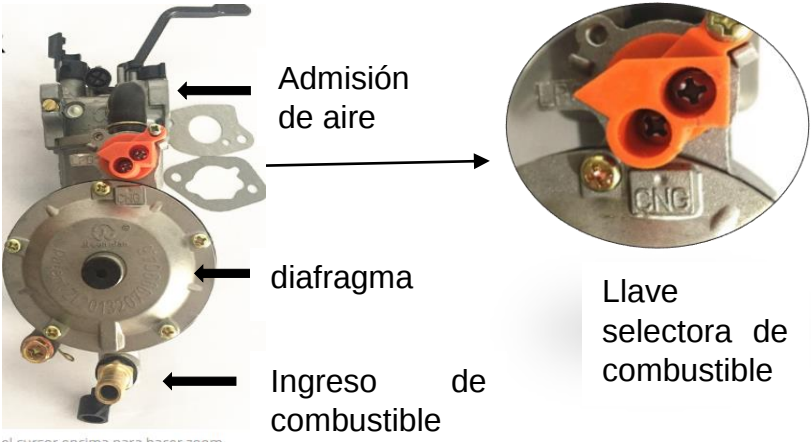
- Raspberry pi 3 modelo b.
- Medidor de energía eléctrica.
- Pantalla táctil de 7"
- Potenciómetro
- Interruptores a 110 v

7.1.6 Carburador de conversión de combustible gasolina, GNV/GLP Es un carburador convencional, diseñado con un sistema alternativo que permite el paso de gas mediante un diafragma instalado a uno de sus costados y que está conectado justo en el ducto de admisión de aire separado por una llave selectora que tiene dos orificios uno de mayor tamaño que el otro, que se posiciona según sea GLP o GNV el combustible a utilizar (ver figura 12).

Tabla 4. Especificaciones del carburador

Modelo	Desplazamiento del motor	Potencia nominal
168 F (5.5-6.5 HP)	163/196 cm^3	2-2.8 Kw

Figura 12 Carburador dual gasolina GLP/GNV



8. DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

En esta investigación se busca determinar cómo influye el uso de combustibles gaseosos tales como, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural vehicular (GNV) e hidrógeno (H_2) en las emisiones, el consumo y la potencia generada por motores de combustión interna que generalmente se usan con fines agroindustriales.

Debido a que se tienen dos factores con niveles diferentes, uno con tres niveles y otra con once niveles se decidió realizar un diseño factorial mixto.

Tabla 5 Niveles del diseño experimental

Factores	Dominio Experimental	
	Nivel bajo -	Nivel alto +
Factor A (Combustible)	Sin GLP	Con GLP
	Sin GNV	Con GNV
Factor B (Carga)	Carga	Carga

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó un generador eléctrico Bauker que utiliza un MCI de 200 cc y 5.5 HP, a dicho generador se ha conectado una fuente de carga externa compuesta por 24 bombillos de 100 watts cada uno, 12 bombillos gobernados cada uno por un breakers para su activación, y los otros 12 gobernados por 6 breakers, uno para cada par de bombillos. La carga se generó con $\pm 10\%$ de variación con respecto a la carga máxima generada por cada combustible, es decir se realizaron pruebas de carga al 100,80,90,70,60,50,40,30,20,10 y 0 %.

Del diseño factorial mixto se obtuvieron 33 combinaciones las cuales se replicaron 3 veces para un total de 99 experimentos y posteriormente se promediaron para obtener los datos que se usaron para el desarrollo del proyecto, que se pueden ver en el **Anexo B**.

Tabla 6. Combinaciones del diseño experimental

Resultado	Factor A	Factor B	Replica 1	Replica 2	Replica 3
1	Con GLP	100%	x	x	x
2	Con GLP	90%	x	x	x
3	Con GLP	80%	x	x	x
4	Con GLP	70%	x	x	x
5	Con GLP	60%	x	x	x
6	Con GLP	50%	x	x	x
7	Con GLP	40%	x	x	x
8	Con GLP	30%	x	x	x
9	Con GLP	20%	x	x	x
10	Con GLP	10%	x	x	x
11	Con GLP	0%	x	x	x
12	Con GNV	100%	x	x	x
13	Con GNV	90%	x	x	x
14	Con GNV	80%	x	x	x
15	Con GNV	70%	x	x	x
16	Con GNV	60%	x	x	x
17	Con GNV	50%	x	x	x
18	Con GNV	40%	x	x	x
19	Con GNV	30%	x	x	x
20	Con GNV	20%	x	x	x
21	Con GNV	10%	x	x	x
22	Con GNV	0%	x	x	x
23	Sin GLP/GNV	100%	x	x	x
24	Sin GLP/GNV	90%	x	x	x
25	Sin GLP/GNV	80%	x	x	x
26	Sin GLP/GNV	70%	x	x	x
27	Sin GLP/GNV	60%	x	x	x
28	Sin GLP/GNV	50%	x	x	x
29	Sin GLP/GNV	40%	x	x	x
30	Sin GLP/GNV	30%	x	x	x
31	Sin GLP/GNV	20%	x	x	x
32	Sin GLP/GNV	10%	x	x	x
33	Sin GLP/GNV	0%	x	x	x

Es importante señalar que para parámetros como presión atmosférica y temperatura se tomaron valores constantes para la zona de trabajo y los días que se realizaron las pruebas, teniendo así una presión de 88.75 kpa y una temperatura media de 25 °C.

8.1 PARÁMETROS MONITOREADOS

A continuación, se indican cuáles fueron los parámetros que se estudiaron y de los cuales se obtuvo una respuesta

- Potencia
- Revoluciones
- Consumo de combustible
- Gases de emisiones

8.2 PROTOCOLO DE OPERACIÓN

A continuación, se hace una breve descripción del protocolo para la correcta operación del banco de pruebas (**ver Anexo D**)

1. Determinar el combustible a utilizar y así poder definir el montaje de los equipos necesario para la correcta toma de datos
2. Verificar que todos los componentes del montaje seleccionado estén correctamente conectados y funcionando
3. Encender analizador de gases Brainbee AGS 690 y grupo electrógeno durante un tiempo aproximado entre 10 a 15 minutos para que entren en régimen o estabilicen

4. Encender banco de medición, y abrir software de toma de datos
5. Sincronizar el banco de medición con ordenador portátil el cual deberá tener el software ómnibus 800 instalado.
6. Energizar banco de medición desde el generador a la clavija de medición de potencia
7. Con el equipo en cero carga y apoyándose con el analizador ASG690 medir la temperatura de los gases de escape y verificar que se encuentre estable
8. Registrar temperatura y presión del lugar donde se realizan las pruebas, conectar pinza de inducción o capacitiva MGT-300 al cable de bujía del motor.
9. Aumentar la carga en la batería de bombillos hasta un 100% de la capacidad de generación del combustible y dejar estabilizar el sistema
10. Con ayuda del software de medición de potencia y de análisis de gases del ASG690, medir las variables destacadas (consumo, potencia eléctrica, gases de escape) del sistema configurado durante 5 minutos.
11. Purgar el sistema del analizador brainbee ASG690 haciendo un reset a cero de los sensores entre cada prueba
12. Disminuir la carga en $\pm 10\%$ de la capacidad máxima obtenida para el combustible, esperar durante 5 minutos que estabilice el sistema, y repetir paso 10 y 11
13. Repetir paso 12 hasta llegar a carga 0% en modo ralentí del sistema, luego de tomar datos dejar enfriar el sistema durante 5 minutos

14. Apagar banco de medición y batería de bombillos

15. Apagar el motor

16. Retirar sonda de análisis de gases del ASG690 y dejar midiendo al medio ambiente durante 15 minutos hasta que se realice un barrido total para luego apagar el equipo.

17. Verificar el estado y ubicación de los componentes en general.

9. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Antes de indicar los resultados obtenidos se aclara que las pruebas con hidrógeno no lograron realizarse por factores económicos, debido a que este combustible no es comercial y su adaptación al banco de pruebas superaba los recursos propuestos para esta investigación. Dichos costos de adaptación se pueden ver el **Anexo E**

Con el fin de investigar la eficiencia de diversos combustibles gaseosos alternativos, en MCI para aplicaciones agroindustriales, se llevaron a cabo pruebas utilizando tres combustibles gaseosos, dos combustibles comerciales como el GNV Y GLP.

La presente investigación se realizó en Piedecuesta, Santander en el laboratorio SICE del PTG, con un montaje del banco de pruebas general y sus dos sub conjuntos uno para cada gas estudiado, cabe recordar que se utilizó un generador eléctrico marca Bauker accionado por un motor a combustión interna de 5.5 caballos de fuerza y 200cc, ya que son los motores más comercializados en la agroindustria, en el cual se midieron parámetros como: CO , CO_2 , NO_x , NO , HC , O_2 además de potencia eléctrica generada y consumo para cada gas combustible estudiado.

9.1 PRUEBA CON GAS NATURAL VEHICULAR GNV

A continuación, se muestran las pruebas experimentales realizadas usando GNV

Para la realización de esta prueba se ajustó las válvulas de reglaje en el regulador de presión marca Lovato, girando la llave de caudal 3 vueltas en sentido antihorario

y la válvula de presión 2 vueltas en sentido antihorario (ver Figura 13) obteniendo así un promedio de potencia máxima generada de 1750 Watts.

Posteriormente y como se mencionó en el capítulo 8 se realizaron once pruebas las cuales se replicaron luego 3 veces usando GNV como combustible.

Figura 13 Reglaje de regulador para GNV



Luego de que el sistema se mantuviera estable generando los 1750 Watts, con parámetros de trabajo como temperatura ambiente de 25 °C y presión atmosférica de 88.75 Kpa, se realizó la medición de las variables destacadas del sistema (emisiones, potencia generada y consumo de combustible), siguiendo el protocolo de pruebas descrito en el apartado 7.2 del presente documento obteniendo los siguientes resultados

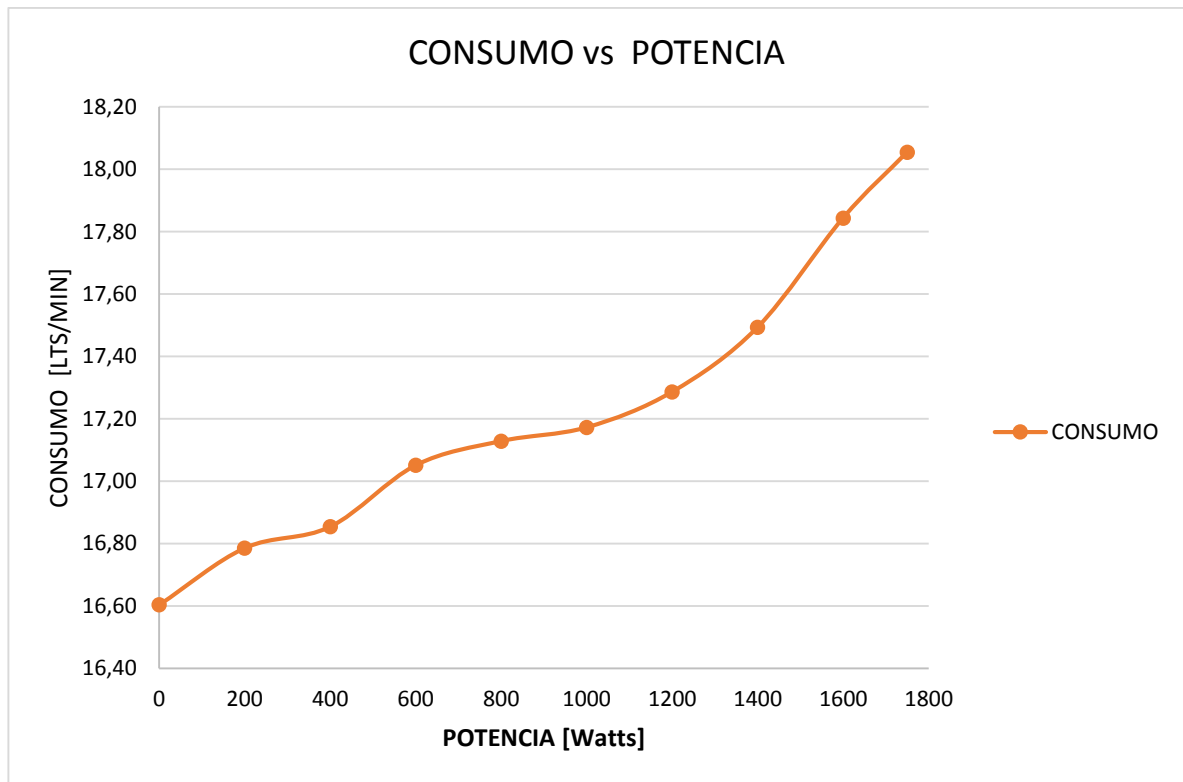
9.1.2 Consumo horario de combustible Para la obtención de datos de este parámetro se utilizó un medidor de flujo tipo diafragma debidamente calibrado en el CDT del PTG (**ver Anexo A**), el valor de consumo se obtiene midiendo la cantidad de gas que pasa por el medidor en un determinado tiempo, para objeto de esta investigación se midió el tiempo en que tardaba el generador en consumir 5 litros de GNV en cada uno de los rangos de potencia generados, obteniendo la información que se observa en la tabla 7 .

Tabla 7 Consumo horario de GNV

Potencia (Watt)	Consumo (Lts/min)
1750	18.05
1600	17.84
1400	17.49
1200	17.29
1000	17.17
800	17.13
600	17.05
400	16.85
200	16.79
0	16.60

En la figura 14 se observa la variación del consumo horario de combustible versus la potencia generada. A medida que se obtiene mayor potencia eléctrica el consumo del generador va aumentando, esto se debe a que el motor necesita mayor energía para cumplir el requerimiento de generación potencia eléctrica.

Figura 14 Consumo de combustible [Lts/min] Vs potencia generada [W]



Por otra parte, se tiene también el consumo específico, que indica que eficiencia tiene el motor de combustión interna para transformar el combustible suministrado en energía mecánica y se expresa en la cantidad de flujo másico de combustible que hay que consumir para obtener una determinada potencia. El comportamiento de este parámetro se observa en la tabla 8.

Para el cálculo del consumo específico de combustible al freno se usó la ecuación 12.

$$BSFC = \frac{\dot{m}_c}{\dot{W}}$$

Donde:

BSFC-consumo específico de combustible al freno [g/Kwh]

$\dot{m}_c$ - Flujo másico de combustible [g/h].

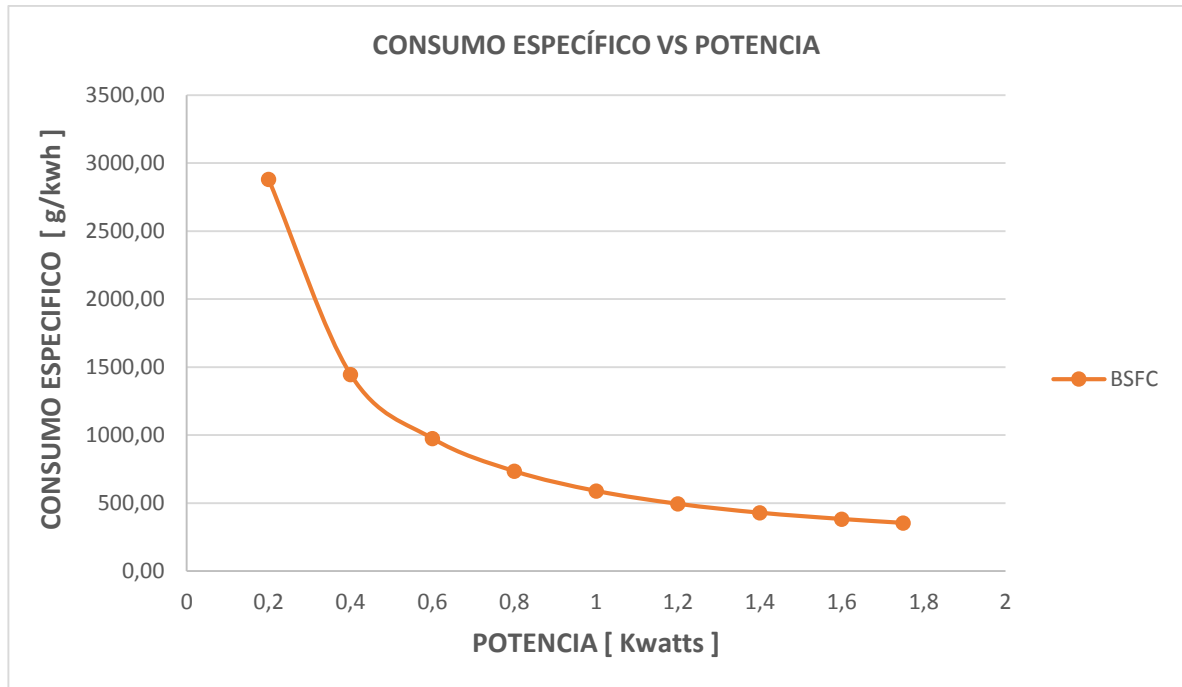
$\dot{W}$ -Potencia generada [Kwatts]

Tabla 8 Consumo específico gas natural.

Potencia [Watt]	BSFC [g/Kwh]
200	2880,4
400	1446,1
600	975,3
800	734,8
1000	589,4
1200	494,4
1400	428,8
1600	382,7
1750	347,7

En la tabla 8, se muestran los datos utilizados para realizar la figura 15 donde se observa el comportamiento del BSFC versus la potencia generada.

Figura 15 Consumo específico de combustible



A medida que se genera más potencia el consumo específico de combustible disminuye, esto se debe a que la eficiencia del motor es alta y aprovecha mejor la energía contenida en el combustible para potencias mayores a los 600 w.

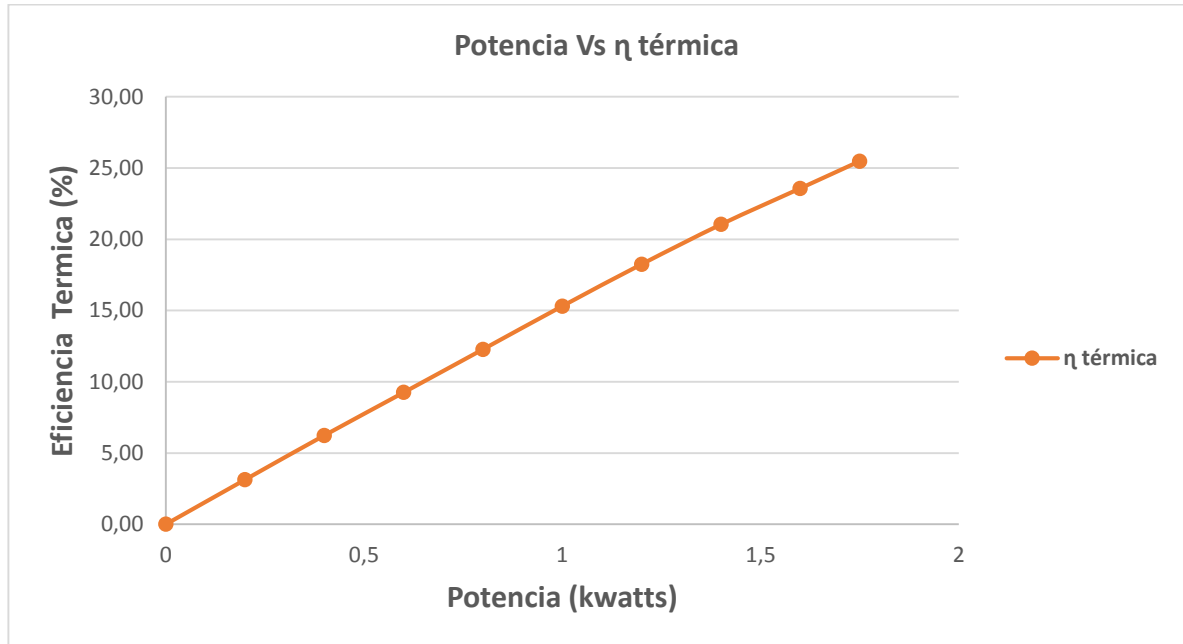
A continuación, en la figura 16 se refleja el comportamiento de la eficiencia térmica para cada potencia generada la cual fue calculada a partir de la ecuación 11

Tabla 9 Eficiencia térmica de combustible

Potencia (Watt)	eficiencia térmica
1750	25.48
1600	23.57
1400	21.04
1200	18.25
1000	15.31
800	12.28
600	9.25

Potencia (Watt)	eficiencia térmica
400	6.24
200	3.13
0	0.00

Figura 16 Potencia Vs Eficiencia térmica



En la figura 16 se observa el comportamiento y la eficiencia del motor a diferentes cargas, observando que a carga máxima el motor aprovecha mejor la energía química suministrada por el combustible, logrando una eficiencia máxima de aproximadamente 26 por ciento y se observa un comportamiento prácticamente lineal.

9.1.3 Análisis de gases de escape Los niveles de emisiones de gases de escape son parámetros que indican el estado del motor o las características de la combustión producto del consumo de diferentes tipos de combustibles utilizados para generar potencia.

Para la presente investigación se logró hacer la medición de las emisiones de gases de escape como CO_2 , O_2 , CO y HC , los datos obtenidos para los parámetros anteriormente mencionados se pueden observar en el **Anexo C**

En la tabla 10 se observa el promedio de los 33 datos obtenidos en las tres pruebas realizadas usando el GNV como combustible

Tabla 10 Emisiones de gases de escape usando GNV como combustible

<i>Pot [w]</i>	<i>CO %v/v</i>	<i>CO2 %v/v</i>	<i>HC ppm</i>	<i>O2 %v/v</i>
1750	0.14	11.03	244.67	0.53
1600	1.54	10.33	189.67	0.36
1400	3.42	9.23	141.00	0.34
1200	4.83	8.30	150.00	0.36
1000	5.73	7.70	160.00	0.38
800	6.26	7.28	174.00	0.42
600	6.50	7.00	280.00	0.66
400	6.29	6.27	793.00	2.01
200	5.95	5.73	1227.67	3.37
0	5.39	4.87	1897.67	5.11

Basados en la tabla 10 se realizó la figura 17 y 18 donde se observa el comportamiento de las emisiones de gases de escape CO_2 , O_2 , CO y HC respectivamente .

Figura 17 . Potencia vs emisiones generadas

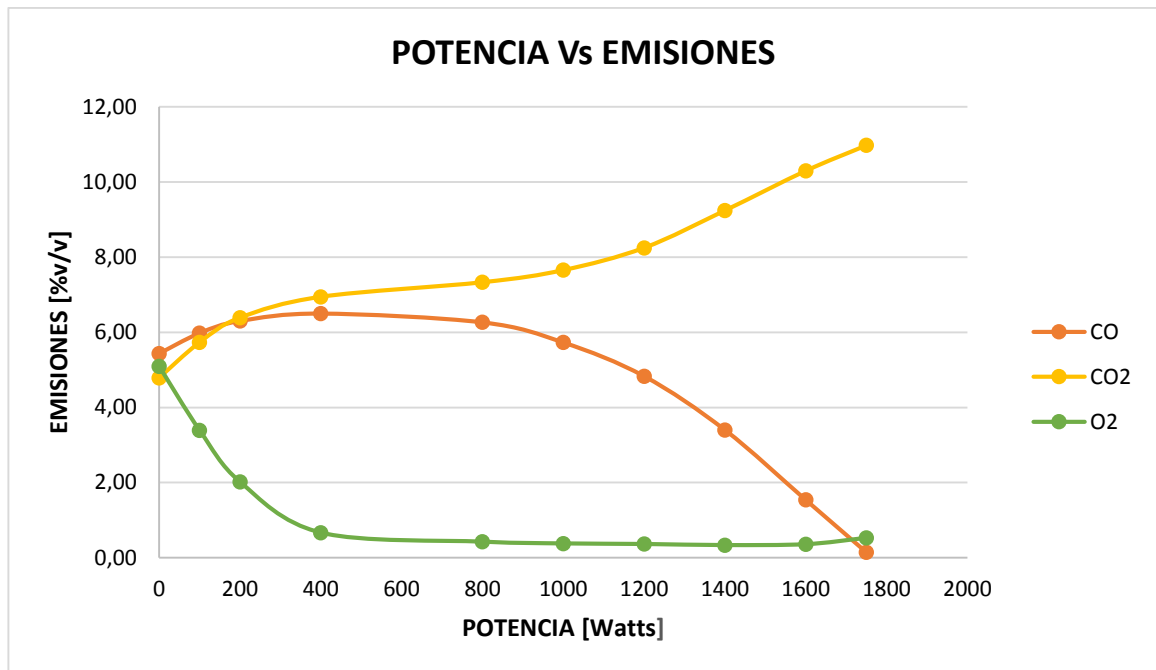
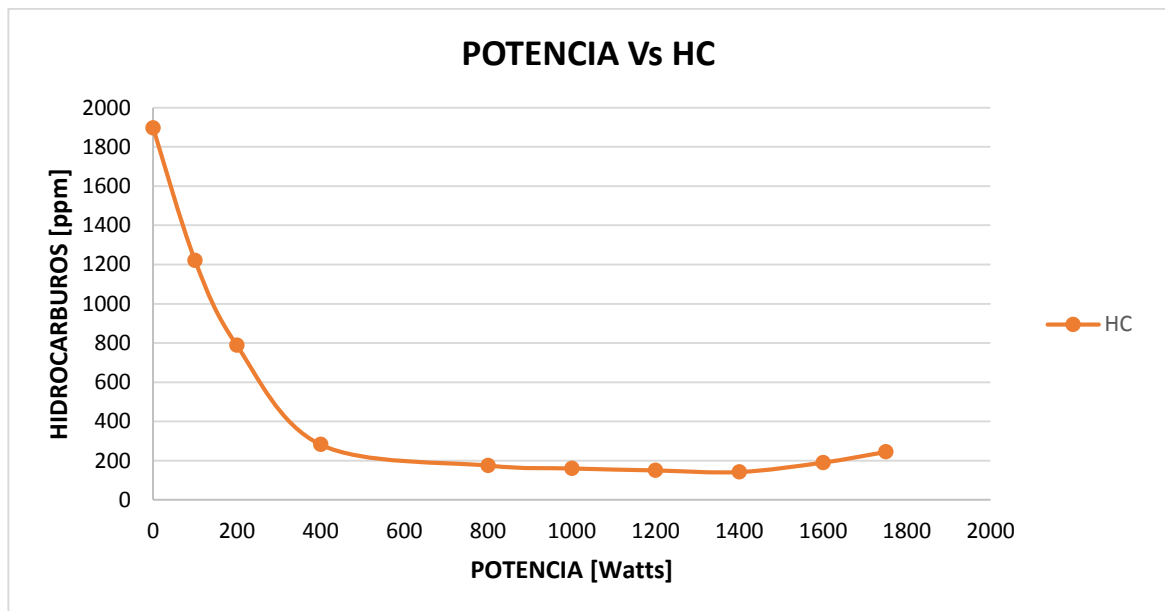


Figura 18 Potencia vs hidrocarburos



Como se observa en la figura17, el porcentaje de Bióxido de carbono (CO_2) tienen un aumento significativo del 32 % aproximadamente (respecto a su valor máximo)

a partir de 1000 Watt, lo que se explica debido a un mayor suministro de combustible, y a que existe una mayor reacción de monóxido de carbono con el oxígeno presente en la combustión lo que genera una relación inversamente proporcional entre el CO y el CO_2 .

Por otro parte, en las figuras 17 y 18 se refleja que potencias menores de los 600 watts existe un elevado porcentaje de CO y HC, entre 5.44 a 6.50 %v/v y 280 a 1897 ppm respectivamente, esto debido a que ingresa más combustible al MCI del necesario y este no se oxida en su totalidad saliendo en gran porcentaje por el sistema de escape. Lo que no sucede con potencia superiores a los 800 watts donde se observa que el CO tiene un decrecimiento significativo pasando de 6.26 a 0.14 %v/v, así mismo los HC presentan un comportamiento casi constante a máxima potencia.

9.2 PRUEBAS REALIZADAS CON GAS LICUADO DE PETRÓLEO GLP.

A continuación, se muestran las pruebas experimentales realizadas usando GLP

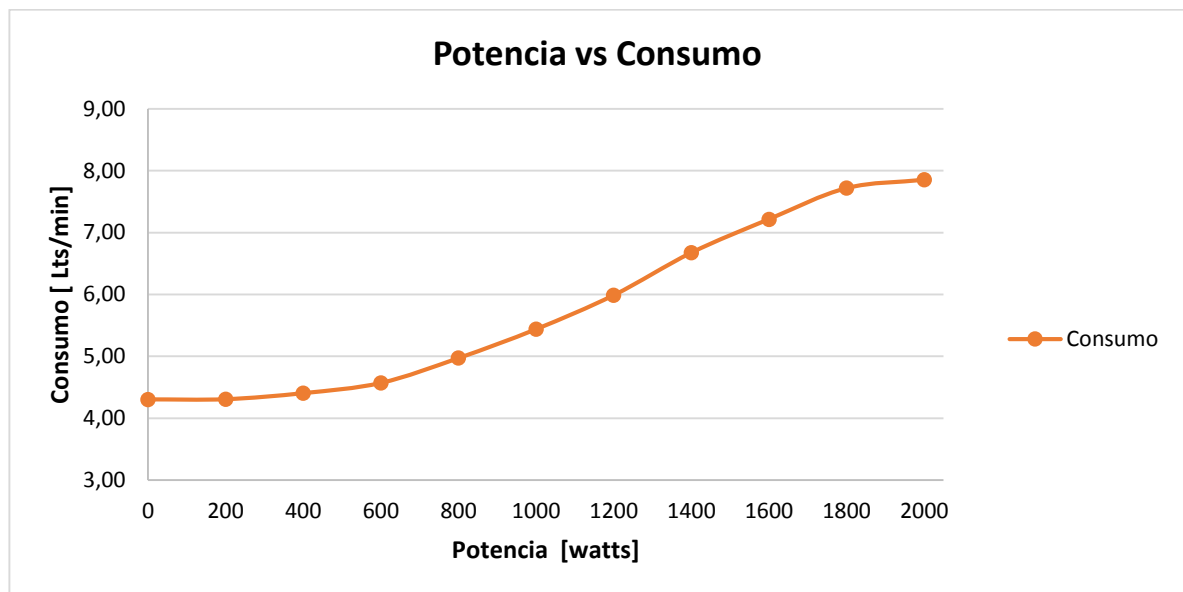
9.2.1 Consumo horario de combustible En el desarrollo de la presente investigación se analizó el comportamiento de consumo de combustible del grupo electrógeno, para lo cual se utilizó el mismo medidor de tipo diagrama **G1,6** debidamente calibrado, validando el tiempo en que tardaba en consumir 5 lts de combustible.

Para la realización de la figura 19 se usaron los datos de la tabla 11, que es el promedio de las dos pruebas realizadas y que pueden observarse en el **Anexo B**.

Tabla 11 Consumo horario de combustible

Potencia Watts	Consumo Lts/min
2000	7.85
1800	7.72
1600	7.22
1400	6.68
1200	5.99
1000	5.44
800	4.97
600	4.57
400	4.41
200	4.31
0	4.31

Figura 19 Consumo de combustible contra carga generada



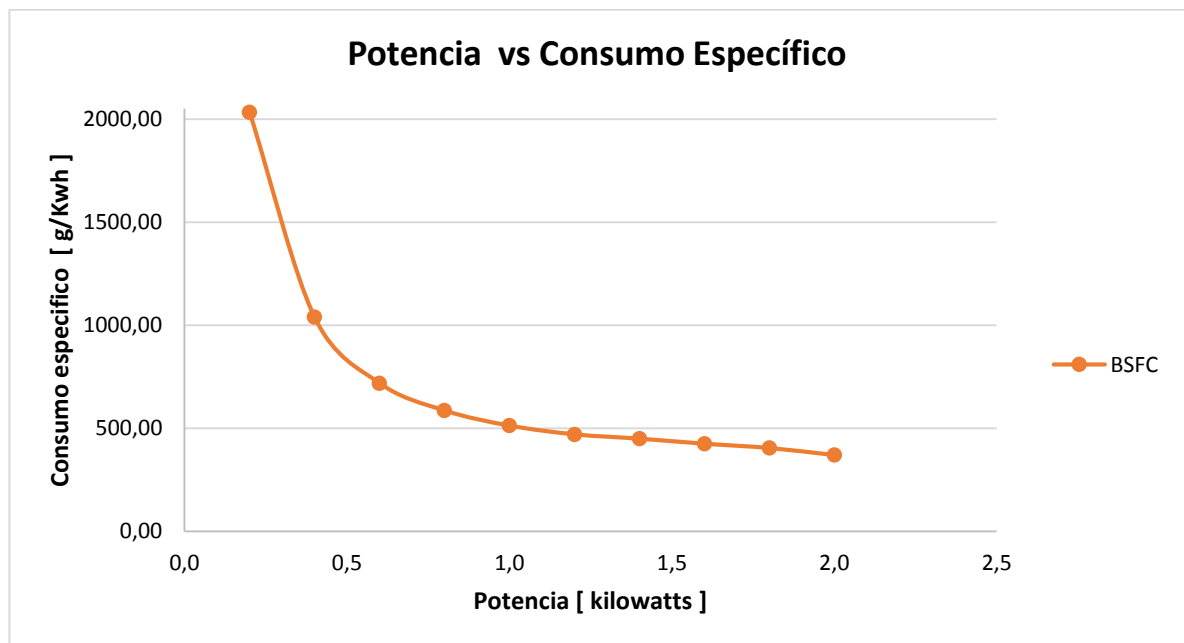
Se observa en la figura 19 que a medida que aumenta el la de carga eléctrica el motor necesita más flujo másico de combustible para cumplir al demanda requerida , es así como a partir de los 800 watts el consumo tiene un crecimiento significativo de 36% aproximadamente (respecto a su valor máximo) , por otra parte se puede ver también que al aumentar dicho consumo el motor también aumenta la

capacidad de aprovechar más la energía interna proporcionada por el combustible lo que se puede constatar en la figura 20 y en la tabla 12 con el comportamiento del consumo específico , que es esa capacidad de transformar el combustible en energía mecánica y en la figura 21 de la eficiencia térmica del motor .

Tabla 12 Consumo específico de gas licuado de petróleo

Potencia [kw]	BSFC g/kwh
2.0	370.64
1.8	404.72
1.6	425.71
1.4	450.08
1.2	471.14
1.0	513.54
0.8	586.82
0.6	719.36
0.4	1040.04
0.2	2033.93

Figura 20 Potencia vs consumo específico de combustible

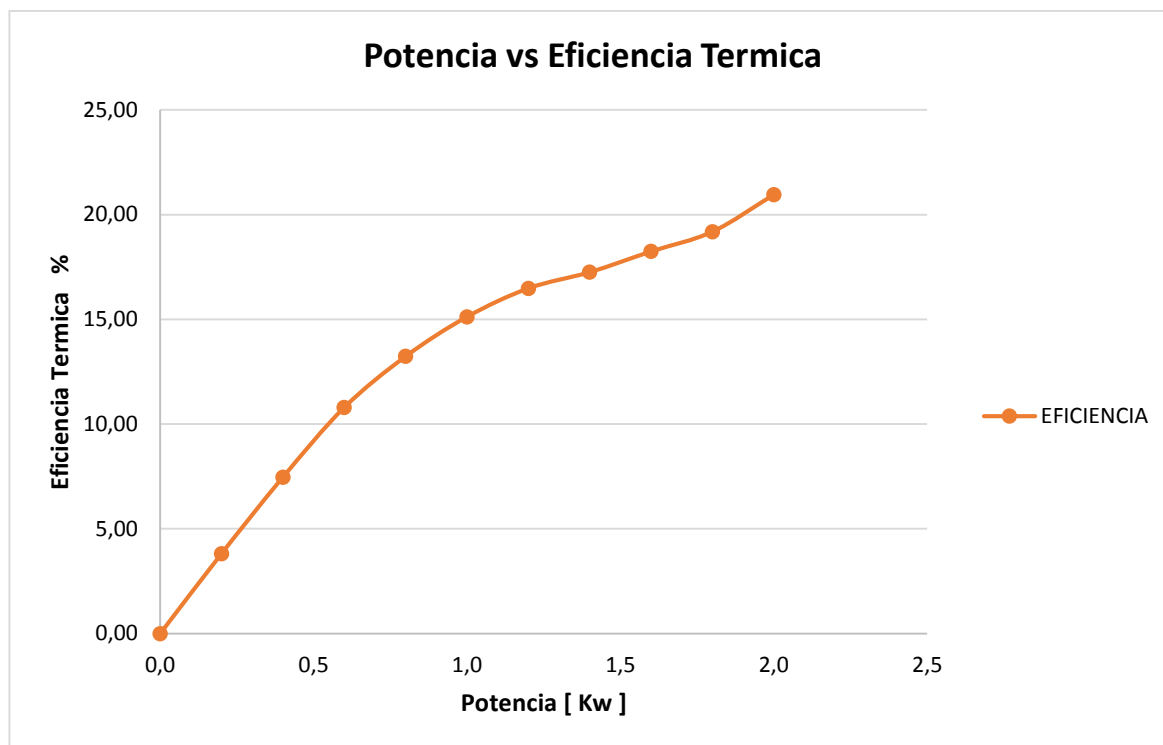


Se puede observar en la figura 21 también y en la tabla 13 que el motor que posee el grupo electrógeno tiene mayor eficiencia térmica un 21 % aproximadamente a full carga, pero a menores potencias el combustible no es bien aprovechado por este mismo.

Tabla 13 Eficiencia térmica del MCI

Potencia Watts	Eficiencia térmica %
2000	20.96
1800	19.19
1600	18.24
1400	17.26
1200	16.49
1000	15.12
800	13.24
600	10.80
400	7.47
200	3.82
0	0.00

Figura 21 Eficiencia térmica obtenida para cada potencia requerida



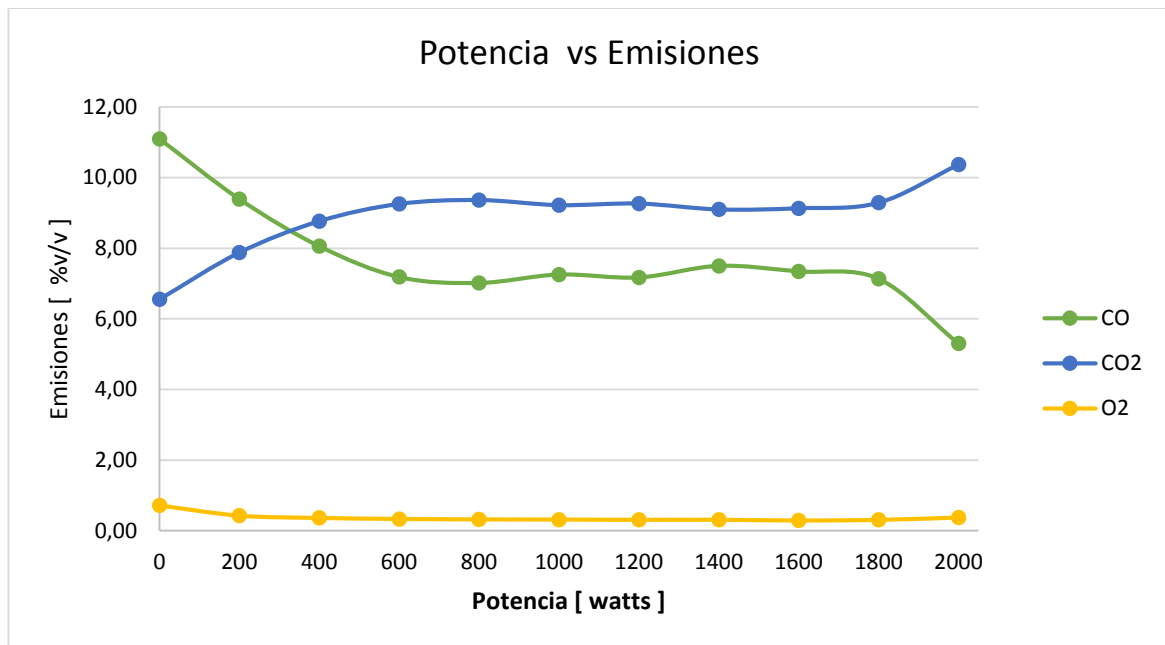
9.2.2 Análisis de gases de escape En el análisis de resultados de emisiones, se hizo énfasis a los gases de combustión tales como CO, CO₂, HC Y O₂ para el requerimiento de carga generado, en este caso con una potencia máxima alcanzada por el GLP de 2000 watts y una variación de ± 200 watts y los resultados obtenidos se muestran en la figura 22 y en la tabla 14 a continuación.

Tabla 14 Emisiones de gases de escape usando GLP como combustible

Potencia Watts	CO %v/v	CO₂ %v/v	HC ppm	O₂ %v/v
2000	5.30	10.37	224.67	0.37
1800	7.14	9.29	246.00	0.31
1600	7.35	9.13	247.67	0.29
1400	7.50	9.10	255.56	0.31
1200	7.17	9.27	260.33	0.31
1000	7.26	9.22	265.00	0.32
800	7.02	9.37	280.89	0.32

Potencia Watts	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
600	7.19	9.26	317.67	0.33
400	8.06	8.77	323.22	0.36
200	9.40	7.88	366.33	0.43
0	11.10	6.56	454.78	0.72

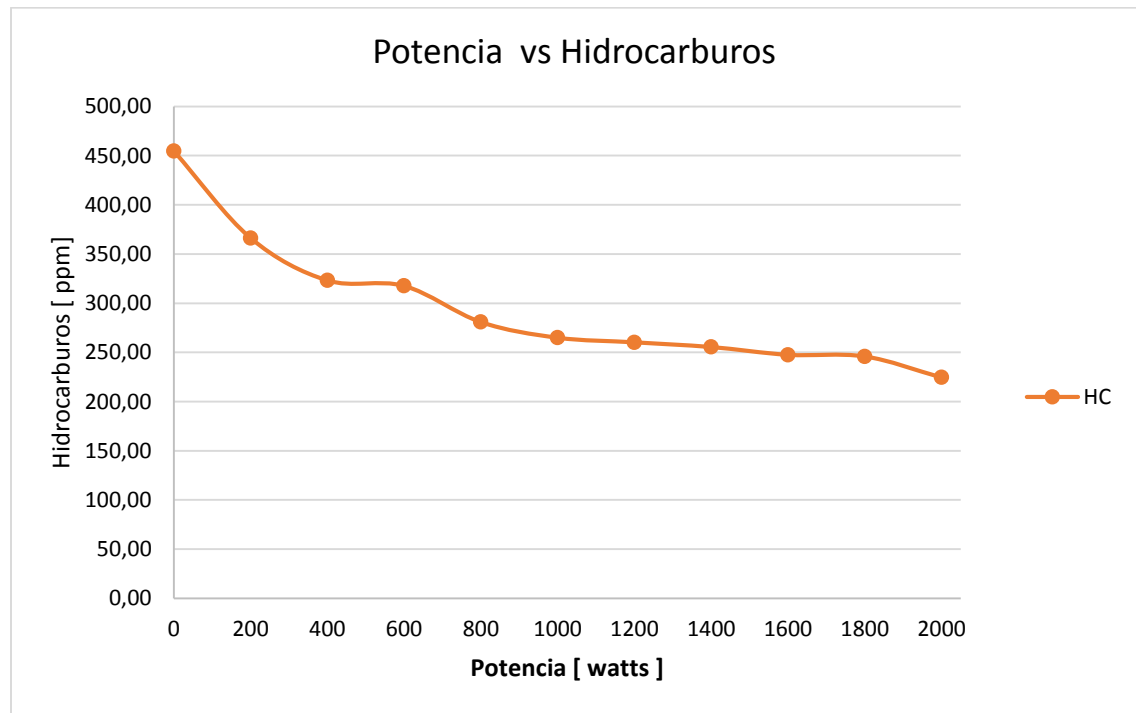
Figura 22 Gases de escape generados para varias potencias utilizando GLP



Según los resultados obtenidos se observa que para mayores requerimientos de potencia las emisiones CO decrece a partir de los 1800 watts pasando de 7.14 a 5.30 %v/v, , esto es debido a que a mayor requerimiento se tiene mayor ingreso de aire y combustible a la cámara de combustión, generando mayor reacción entre el monóxido de carbono y oxígeno lo que hace que la cantidad de CO2 aumente siendo un buen indicador de la eficiencia de la combustión y buen funcionamiento del motor. Se puede observar también que para potencias menores a 1800 tiende a mantenerse estable tanto e CO como el CO2

Por otra parte, se obtiene también el análisis de hidrocarburos sin quemar para el requerimiento de potencia, obteniendo los siguientes resultados

Figura 23 Hidrocarburos sin quemar vs Carga generada



La tendencia que se muestra en la figura 23 es que a mayores potencias los hidrocarburos sin quemar mantienen una tendencia casi constante, pero para potencias menores se ve un decrecimiento significativo de aproximadamente 41 % (respecto al valor máximo), esto se debe a que se aprovecha más el flujo de combustible que ingresa a la cámara de combustión, se puede observar en la figura 23, en la figura 22 y en la figura 21 que la combustión comienza a mejorar a partir de los 800 watts de potencia.

Por otra parte, en el **ANEXO F** se realizó una comparación de emisiones de los combustibles gaseosos usados en la presente investigación con un combustible convencional como la gasolina.

10. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA

Para el estudio de factibilidad técnico y económica de este proyecto se tuvieron en cuenta tres escenarios dados en la finca el Peligro ubicada en el kilómetro 12 vía a Matanza Santander, en dicha finca se generan tres consumos masivos de energía eléctrica ya que es utilizada con fines específicos descritos a continuación:

- Generación de calor: para dicho fin utilizan bombillas incandescentes para la producción de calor con el propósito de calentar pollos recién nacidos para posteriormente venderlos, siendo esta una forma de negocio. Dependiendo de la cantidad de pollos que se deben calentar, utilizan bombillas siguiendo una relación de aproximadamente 1:4 una bombilla por cada cuatro pollos que abrigar, en este momento se tienen en producción alrededor de 80 pollo lo que conlleva a tener 20 bombillas incandescentes encendidas cada una de 100 watt, estas bombillas permanecen funcionando aproximadamente 12 horas al día.
- Proceso de producción de café, aunque el consumo es esporádico, la máquina despulpadora y clasificadora de café utiliza un motor de 746 watts o (1 HP) que se utiliza aproximadamente una vez al mes por 6 horas al día.
- Procesamiento de comida para ganado. Se utiliza una maquina pica pasto, esta cuenta para su funcionamiento con un motor de 746 watts o **(1 HP)**, esta máquina se utiliza todos los días por un lapso de una hora para abastecer de comida a toda la finca.

La adquisición de los equipos para el estudio en mención se hizo a la fecha de iniciación de las pruebas, con precios a la fecha, no se tendrá en cuenta la variación

que pueda darse en los precios de estos, tampoco se contemplan gastos de mantenimiento ni cambios de piezas por desgaste.

Los datos mostrados en la tabla 15 muestra los precios que se obtuvieron directamente de los distribuidores de carburantes, para el GNV se utilizó el combustible de la Estación de servicio ESSO ubicada en la calle 21 con bulevar Bucaramanga Santander, igualmente para el GLP se utilizó un cilindro de 40 libras perteneciente a Gasan, el distribuidor está ubicado en la carrera 23 con calle 11, y el costo por Kw/h de la corriente eléctrica (CE) se extrajo del recibo de la energía para la finca el peligro ubicada en km 12 vía Matanza Santander.

Tabla 15 Costos para los diferentes carburantes y corriente eléctrica.

Costos diferentes combustibles	
Combustible	Precio
GNV (m ³)	\$ 1.500
GLP (m ³)	\$ 2.521
CE (Kw/h)	\$ 472,94

Del mismo modo los costos de los combustibles utilizados se basan a la fecha de compra de dichos carburantes por lo tanto no se tendrá en cuenta los incrementos que se realicen a la fecha de culminación del proyecto.

10.1 COSTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN CON GLP

En la tabla 16 se indican los costos para el montaje de un sistema de generación de energía usando GLP

Tabla 16 Costo inicial de la tecnología Gas licuado de petróleo (GLP)

GAS LICUADO DE PETROLEO (GLP)	
INVERSION INICIAL	
Generador Bauker	\$ 1.100.000
Cilindro propano de 40 LB	\$ 120.000
Regulador de presión R-18	\$ 30.000
Accesorios (conectores, mangueras, etc.)	\$ 50.000
Total, inversión GLP	\$ 1.300.000

Costo del metro cubico de gas licuado de petróleo (GLP) a la fecha de realización de las pruebas era de \$ 2521 pesos mcte. Dato relevante para el cálculo financiero del proyecto.

10.2 COSTOS DEL SISTEMA DE GENERACIÓN CON GNV

En la tabla 17 se indican los costos para el montaje de un sistema de generación de energía usando GLP

Tabla 17 Costo inicial de la tecnología gas natural vehicular (GNV)

GAS NATURAL VEHICULAR (GNV)	
INVERSION INICIAL	
Generador Bauker	\$ 1.100.000
sistema completo GNV	\$ 1.500.000
sistema de control	\$ 100.000
Total inversión GNV	\$ 2.700.000

Costo del metro cubico de gas natural vehicular (GNV) a la fecha de realización de las pruebas era de \$ 1500 pesos mcte. Dato relevante para el cálculo financiero del proyecto.

Para determinar la factibilidad económica del proyecto se utilizó el indicador de retorno de la inversión (ROI) con el cual se estima calcular si el proyecto a esta escala y con dichos combustibles es viable o no.

Se calculó el ROI para los tres escenarios mencionados anteriormente y se puede observar en la tabla 18

Tabla 18 Cálculo del retorno de la inversión (ROI) con GLP para los tres escenarios

CÁLCULO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (ROI) – GLP MENSUAL			
PROYECTO GLP	Producción de calor	Despulpe	Pica Pasto
INVERSIÓN INICIAL	\$ 1.300.000	\$ 1.300.000	\$ 1.300.000
INGRESOS PROYECTADOS			
MES 1	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 2	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 3	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 4	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 5	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 6	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 7	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 8	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 9	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 10	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 11	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
MES 12	-\$ 87.060,00	-\$ 7.950,00	-\$ 1.984,50
TASA DE DESCUENTO	5%	5%	5%
RESULTADOS:	Producción de calor	Despulpe	Pica Pasto
ROI	-159%	-103%	-101%

CÁLCULO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (ROI)- GLP ANUALIZADO

PROYECTO GLP	producción de calor	despulpe	pica pasto
INVERSIÓN INICIAL	\$ 1.300.000,00	\$ 1.300.000,00	\$ 1.300.000,00
INGRESOS PROYECTADOS			
AÑO 1	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 2	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 3	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 4	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 5	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 6	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 7	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 8	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 9	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 10	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 11	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
AÑO 12	-\$ 1.044.720,00	-\$ 95.400,00	-\$ 23.814,00
TASA DE DESCUENTO	5%	5%	5%
RESULTADOS:	Producción de calor	Despulpe	Pica pasto
ROI	-812%	-132%	-108%

En la tabla 19 se observa el retorno de inversión para el GNV

Tabla 19 Cálculo del retorno de la inversión (ROI) con GNV para los tres escenarios

CÁLCULO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (ROI)- GNV (MENSUAL)

PROYECTO GNV	Producción de calor	Despulpe	Pica Pasto
INVERSIÓN INICIAL	\$ 2.700.000,00	\$2.700.000,00	\$2.700.000,00
INGRESOS PROYECTADOS			
MES 1	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 2	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00

MES 3	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 4	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 5	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 6	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 7	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 8	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 9	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 10	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 11	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
MES 12	-\$ 199.500,00	-\$ 94.620,00	-\$ 23.649,00
TASA DE DESCUENTO	5%	5%	5%
RESULTADOS:	Producción de calor	Despulpe	Pica Pasto
ROI	-169%	-133%	-108%

CÁLCULO DE RETORNO DE LA INVERSION (ROI)- GNV (ANUALIZADO)

PROYECTO GNV	Producción de calor	Despulpe	Pica pasto
INVERSIÓN INICIAL	\$ 2.700.000,00	\$2.700.000,00	\$2.700.000,00
INGRESOS PROYECTADOS			
AÑO1	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO2	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO3	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO4	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO5	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO6	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO7	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO8	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO9	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO10	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO11	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
AÑO12	-\$ 2.394.000	-\$ 1.135.440	-\$ 283.788
TASA DE DESCUENTO	5%	5%	5%
RESULTADOS:	Producción de calor	Despulpe	Pica pasto
ROI	-933%	-495%	-199%

A continuación, en la tabla 20 , se muestra el porcentaje de incremento en costos, si se utilizara cada combustible en lugar de utilizar corriente eléctrica. Estos precios son reflejo de la utilización de cada combustible para cada escenario propuesto anteriormente, en un determinado periodo de tiempo, siendo para para este caso un mes.

Tabla 20 Comparación en porcentaje y dinero de los combustibles utilizados versus corriente eléctrica

Combustible	Costo Producción de Calor	% Aumento respecto a CE	Costo Despulpe	% Aumento respecto a CE	Costo pica pasto	% Aumento respecto a CE
GNV	\$ 540.000	59%	\$ 185.400	104%	\$ 46.350	104%
GLP	\$ 427.560	26%	\$ 98.730	9%	\$ 24.686	9%
C E	\$ 340.500	0%	\$ 90.780	0%	\$ 22.701	0%

11. CONCLUSIONES

Del análisis teórico de combustión se obtiene que la relación de aire combustible teórica para el GLP y EL GNV es 15.45 y 17.16 $Kg_{aire}/Kg_{combustible}$ respectivamente.

En cuanto a factores económicos de adquisición de sistema de suministro para los dos combustibles, se evidencia que en el mercado actual es más económico y sencillo adquirir un sistema de conversión a GLP contra un sistema de conversión a GNV con un ahorro de aproximadamente 1,400.000(un millón cuatrocientos mil) pesos colombianos.

Se observa que hay un mayor consumo de combustible usando GNV (18 lts/mina máxima carga) a diferencia que si se usara GLP (7.85 lts/min a máxima carga) lo que se debe a la energía contenida en el GLP es mayor que la que tiene el GNV, Provocando que el MCI necesite menos combustible para suplir la necesidad de potencia requerida

Se puede evidenciar que para potencias menores a 600 watts utilizando como combustible GNV , existe un elevado porcentaje de Hidrocarburos sin quemar(entre 280 y 1897 ppm) y un elevado porcentaje de monóxido de carbono(entre 5.39 y 6.50 %v/v) presente a la salida de los gases de escape, esto se debe a que ingresa demasiado combustible a la cámara de combustión , y este mismo no reacciona en su totalidad provocando que gran parte salgan por el tubo de escape.

Se logró obtener un 73% de potencia máxima para el GNV y un 83 % para el GLP, con respecto a la capacidad máxima del grupo electrógeno, pero la energía más

limpia fue producida por el GNV ya que se evidencio menor porcentaje de emisiones contaminantes.

El análisis de costo para la implementación del GNV como generador de energía en la producción de calor, despulpar café y picar alimento para animales, representa un incremento de 59%,104% y 104% respectivamente, llegando a ser más del 100% en sobre costos para la producción antes mencionada, por tanto, nunca se recuperará la inversión con este tipo de combustible para la finca el peligro, pero puede ser viable para zonas donde no llega la energía eléctrica.

El análisis de costo para la implementación de GLP como generador de energía en la producción de calor, despulpe de café y producción de comida para animales, representa en incremento de 26%, 9% y 9 % respectivamente, evidenciándose un costo menor que con GNV pero que igualmente más costoso que con la tecnología que se viene trabajando. Por lo tanto, resulta inviable para este tipo de combustible para la finca el peligro, pero puede ser viable para zonas donde no llega la energía eléctrica.

.

12. RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de un dispositivo que ayude a controlar el ingreso de flujo de combustible para bajas exigencias de potencia, ya que se evidencia un aumento de los hidrocarburos sin quemar (HC) y el monóxido de carbono lo que nos indica que la combustión es incompleta y desperdicio de combustible, tanto para el GNV como para el GLP.

Se recomienda realizar otras investigaciones , utilizando una mezcla entre GLP Y GNV para verificar el comportamiento de las emisiones y la obtención de potencia máxima.

Se recomienda realizar otras investigaciones, utilizando una mezcla de hidrógeno con GLP O GNV, así mismo el desarrollo de un sistema de suministro de hidrógeno de bajo flujo másico

Es conveniente para futuras investigaciones, adicionar un sistema de precalentado de GNV, debido a que se pudo evidenciar durante las pruebas que a temperaturas por debajo de los 25 °C la eficiencia del motor decrecía y así mismo la generación de potencia.

Es conveniente para futuras investigaciones, realizar una modificación del sistema de encendido del motor, en este caso adelantar la chispa de encendido, para mejorar el funcionamiento con GNV y así lograr aumentar el tiempo de combustión del gas.

Se recomienda realizar futuras investigaciones que permitan diseñar y construir un sistema de conversión a GNV , que se mas comercial, debido a que el sistema que actualmente se encuentra en el mercado solo está diseñado para automóviles .

BIBLIOGRAFÍA

AGUAS BAQUERO, Miguel L. JAIME AVILA, Omar H: Automatización Y Diseño Del Sistema Mezclador De Combustible En Vehículos Con Equipos De Conversión A Gas Natural . Bogotá, 2008. 148 h. trabajo de grado (ingeniero de diseño y automatización electrónica). Universidad De La Salle. Ingeniería De Diseño y Automatización Electrónica.

BRAIN BEE GROUP. Línea control de emisiones [en línea].<
http://www.impormovil.es/wp-content/uploads/2016/07/EMISSION-CONTROL-LINE_ES.pdf > [citado el 28 de enero de 2019]

CASTRO PEÑA, Paula. WINSTON ESCOBAR, Lina. Estimación De Las Emisiones Contaminantes Por Fuentes Móviles A Nivel Nacional Y Formulación De Lineamientos Técnicos Para El Ajuste De Las Normas De Emisión. Bogotá, D.C, 2006, 220 h. Trabajo De Grado (Ingenierías Ambientales y sanitarias). Universidad De La Salle. Faculta De Ingeniería Ambiental Y Sanitaria.

CENGEL A, Yunus. BOLES A, Michael. Termodinámica. 7 ed. México: McGraw-Hill/Interamericana,2012. Pag 771-800.ISBN 9781456218379

CHAPARRO GIGLIO, Mauricio Gabriel. Coevaluación del uso de gas licuado de petróleo en vehículos automotores convencionales sobre el territorio colombiano. Medellin,2015, 158h.Trabajo final de maestría (Maestría en ingeniería de petróleos). Universidad Nacional De Colombia. Escuela De Procesos y Energía. Departamentos de minas: Disponible en < <http://www.bdigital.unal.edu.co> >

CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. Acuerdo de París sobre cambio climático [En línea]. < <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/climate-change/timeline/>> [citado el 4 de octubre 2018]

CORBO, Pascual. MIGLIARDINI, Fortunato. VENERI, Ottorino. Hydrogen fuel cells for road vehicles. London: Springer, 2011. pág. 33 a pág. 63. ISBN 9780857291356

ESLAVA SARMIENTO, Andrés Felipe. Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas De Petróleo E Hidrógeno. Bogotá, 2014, 143p. Trabajo de grado (Magister En Ingeniería Mecánica). Universidad Nacional de Colombia. Facultad De Ingeniería. Departamento De Ingeniería Mecánica Y Mecatrónica.

FAJARDO, Juan. HUERTAS, José. Conversión de una planta eléctrica de gasolina a gas natural [en línea]. < https://www.researchgate.net/publication/266606070_Conversion_de_una_planta_electrica_de_gasolina_a_gas_natural > [citado el 24 de septiembre de 2017]

FDEZ-BOLAÑOS BADÍA, Clara. Energética Del Hidrógeno: Contexto, Estado Actual Y Perspectivas De Futuro. Sevilla, 2005, 238h. Proyecto fin de carrera (Ingeniera). Universidad De Sevilla. Escuela Superior De Ingenieros. Departamento De Energética y Mecánica de fluidos: Disponible en el catálogo en línea de la biblioteca de la universidad de Sevilla <<http://bibing.us.es>>

GAS NATURAL FENOSA. ¿Qué es el gas natural? [en línea]. <<http://www.gasnaturalfenosa.com.co/co/hogar/el+gas+natural/1297102453941/qu+e+es.html>> [citado el 8 de agosto de 2017]

GIRALDO LUNA, Julián; BARAHONA SOTELO, Andrea. Estudio Técnico Financiero De La Instalación De Una Planta De Licuefacción De Gas Natural A Pequeña Escala Para Uso De Éste Como Combustible En El Sector Transporte

Automotor En Colombia. Bogotá,2018, 17h. Trabajo De Grado (ingeniero químico). Fundación Universidad De América. Faculta De Ingenierías.

JODRA GUTIÉRREZ, Luis. El Hidrógeno, Combustible Del Futuro. En: Real Academia De Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. 99, No 1(2005). p 49-67.

LOPEZ SUAREZ, Alfonso. Demanda De Gas Natural Vehicular Pierde Terreno. En: Portafolio [En línea], Cartagena :05 De abril 2017- <
<https://www.portafolio.co/economia/demanda-de-gas-natural-vehicular-desciende-en-colombia-504750>> [citado el 24 de agosto de 2017]

MANTILLA GONZALES, Juan Miguel. Modelado de la combustión de mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna. Medellín, 2010, 294 h. Trabajo de grado (Doctor En Ingeniería-Sistemas Energéticos). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas

MENDOZA JASPE, Marco de Dios: Estudio de factibilidad técnico-económica para la implementación de un sistema de inyección de mezcla aire-propano en un gasoducto.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, JORGE ALBERTO VALENCIA MARIN. Cadena Del Ga Licuado Del Petróleo. Bogotá: 2017

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICO. Cadena Del Ga Licuado Del Petróleo En Colombia. Bogotá: 2002. 58p.ISBN 958-97855-1-4

OLARTE CAMARGO, Juan Sebastián. MURGAS HERRERA, Kevin Andrés: Evaluación De Los Parámetros De Desempeño De Un Motor Generador Acoplado A Un Gasificador De Lecho Fijo Con Y Sin Intercambiador De Calor, Para La Obtención De Energía Eléctrica En L Zona De Aprovechamiento Del Jardín Botánico

De La Ciudad De Bogotá. Bogotá, 2018, 72 h. trabajo de grado (ingeniero mecánico). Universidad libre de Colombia. Faculta de ingeniería mecánica.

RAMOS FÁBREGA, Marc. Hidrógeno: Aplicación En Motores De Combustión Interna. Barcelona,2009.150 h. trabajo de grado (ingeniero en técnica naval). Universidad Politécnica De Cataluña. Facultad De Náutica De Barcelona

SANTAMARÍA AGUDELO, Andrés. SANTAMARÍA AGUDELO, John. LÓPEZ SÁNCHEZ, Carlos. Efecto de la altitud en el análisis termoeconómico de un sistema de cogeneración. En: Dyna.No.152 (julio de 2007) pág. 113-124.ISSN 0012-7353

SARMIENTO ESLAVA, Andrés Felipe: Generación Eléctrica A Partir De La Operación De Un Motor De Combustión Interna En Modo Dual Con Gas Licuado De Petróleo E Hidrógeno. Bogotá ,2014,114 h. trabajo de grado (magister en ingeniería mecánica). Universidad nacional de Colombia. Faculta de ingeniería. Departamento de ingeniería mecánica y mecatrónica

SUBDIRECCIÓN DE HIDROCARBUROS, UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGETICA. Balance De Gas Natural 2017. 2017 .53 p

UNIGAS COLOMBIA. ¿Qué es el GLP? [en línea]. <
<http://www.unigas.com.co/nosotros/que-es-glp>> [citado el 8 de agosto de 2017]

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA. Termodinámica y termotecnica tablas de combustibles [en línea] <
http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tablas_tema_3.pdf>
[citado el 4 de diciembre de 2018]

WILLARD W, Pulkrabek. Engineering. Fundamentals Of The Internal Combustion Engine: 2ed.Upper Saddle River, N.j. .2004. 479p; ISBN 978-0131405707

ANEXOS

ANEXO A CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DE PRUEBAS

- **Analizador de gases brainbee AGS 690**

Es un analizador compacto, diseñado para el análisis de gas de escape básico, sin embargo, este equipo tiene una amplia dotación de accesorios, que le permite adquirir nuevas funciones.

Básicamente su funcionamiento se basa en el grado de absorción de los rayos infrarrojos de los gases obtenidos en la muestra. gracias a su tecnología de alta precisión, el analizador AGS 690 permite evaluar la absorción según las diferentes bandas de frecuencia de los componentes CO, CO₂, HC y obtener los valores de concentración correspondientes. Se debe aclarar que las mediciones de las concentraciones de oxígeno y NO_x son detectadas mediante sensores electroquímicos y que las mediciones de NO_x son opcionales para el modelo [24].

Campos de medición de analizador AGS 690

CAMPOS DE MEDICIÓN

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

HOMOLOGACIONES

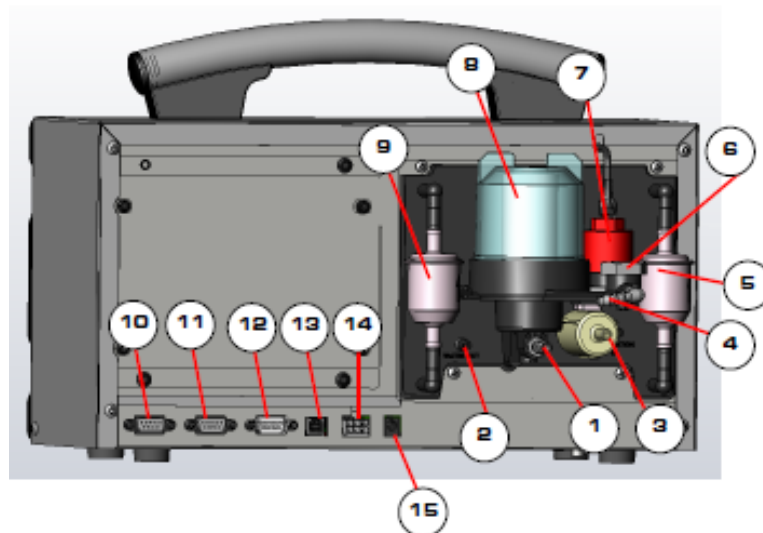
HOMOLOGADO MID (MEASURING INSTRUMENT DIRECTIVE) 2004/22/CE NMI 0122 B+D

MARCADO CE SUPPLEMENTARY METROLOGY MARKING

APROBACIONES ADICIONALES EN LOS SIGUIENTES PAÍSES: ITALIA

Fuente: BRAIN BEE GROUP. Línea control de emisiones [en línea]
 .<http://www.impormovil.es/wp-content/uploads/2016/07/EMISSION-CONTROL-LINE_ES.pdf > [citado el 28 de enero de 2019]

Descripción de analizador AGS 690



- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Entrada de gas | 10. Entrada sensor de temperatura motor |
| 2. Salida de agua | 11. Entrada sensor régimen de motor |
| 3. Filtro de carbones activos | 12. Toma para conexión serial RS-232 |
| 4. Salida de gas | 13. Puerto USB |
| 5. Filtro de gas | 14. Puerto de comunicación OMNIBUS |
| 6. Alojamiento para sensor NOx | 15. Alimentación 12 vcc |
| 7. Sensor O2 | |
| 8. Filtro coalescente | |
| 9. Filtro circuito de agua | |

Fuente: Manual de instrucciones analizador AGS 690

- **Accesorios suministrados**
 - Sonda de muestreo
 - Tubo de sonda de muestreo filtro de sonda de muestreo
 - Sensor de oxígeno
 - Pinza de inducción o capacitiva
- **Ficha técnica generadora Bauker**

En la siguiente tabla se especifica las características del generador bauker

Modelo	GG2800 220V / 50Hz
Tipo de alternador	Alternador de escobillas con AVR
Frecuencia (HZ)	50
Voltaje de salida AC (V)	220
Voltaje de salida DC (V)	12
Potencia nominal de salida AC (W)	2000
Máximo de salida AC(W)	2200
Corriente nominal (A)	9
Corriente máxima (A)	9.5
Protector automático	Si
Factor de potencia	1.0
Tipo de generador	4 tiempos, enfriado por aire, gasolina
Diámetro y recorrido del pistón (mm)	68 x 54
Desplazamiento (cc)	163
Sistema de arranque	Manual
Incluye baterías	No
Tipo de combustible	Gasolina
Lubricante	SAE#30
Capacidad del tanque	15
Salida Max (Hp)	5.5
Continuidad de trabajo	11
Dimensiones (cm)	67.3 x 59.9 x 58.5
Peso neto	47
N° de enchufes	2
N° de enchufes	1

Fuente: Autores

- **Sistema de suministro para gas natural vehicular**

Se tiene un recipiente metálico de acero al manganeso con capacidad de 8 m³, cilíndrico con una vida útil máxima de 20 años dependiendo de sus condiciones de operación, presión máxima de 20 MPa a una temperatura de 15°C, estos cilindros pueden ser llenados hasta 1000 veces por año de servicio. [norma]

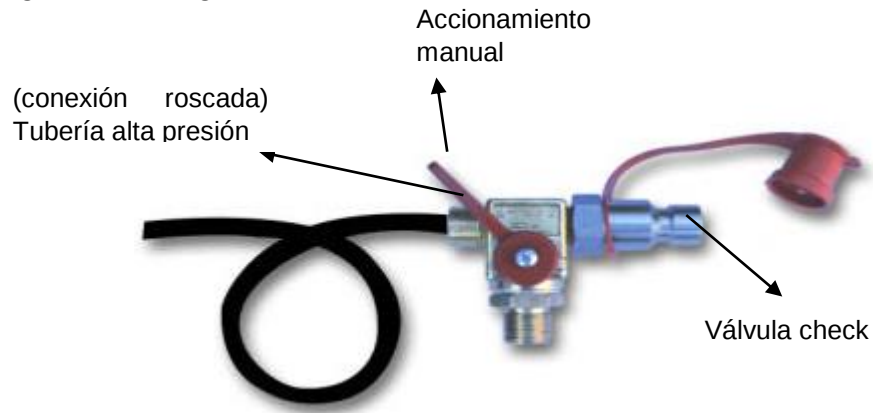
Cilindro de gas natural vehicular



Fuente: autores

La temperatura límite del cilindro se encuentra entre -40 °C y 82 °C, la superficie externa del cilindro cuenta con un recubrimiento químico que lo protege de cualquier sustancia corrosiva y los factores climáticos, también cuenta con una válvula en acero que posee un accionamiento manual que mantiene un cierre hermético, además posee dos conexiones roscadas para acoplar las tuberías de alta presión, y una válvula anti-retorno tipo check apta para la carga del sistema.

Válvula reguladora de gas natural vehicular

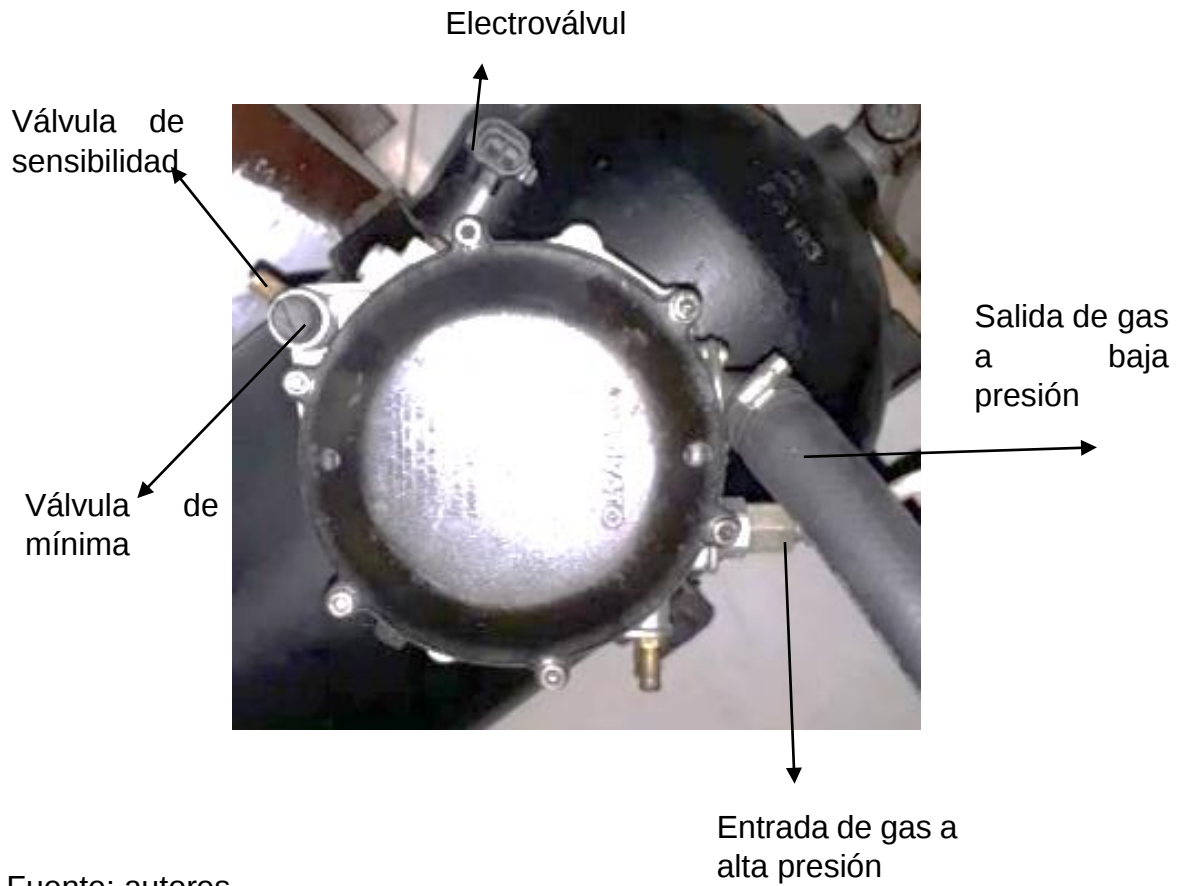


fuelle :Autores

- **Regulador de presión para GNV**

Este dispositivo cuenta con tres etapas de reducción de presión, puede ir desde 200 bar hasta 3.5 bar lo que proporciona la presión ideal de funcionamiento del sistema, este regulador cuenta con varias partes necesarias para su óptimo funcionamiento como, el tornillo de ralentí, electroválvula de corte de GNV, entrada y salida de GNV, conexión de calefacción y manómetro.

regulador de presión marca lovato



Fuente: autores

- **Sistema de suministro para gas licuado de petróleo**

Se cuenta con cilindro metálico de acero de 40 lb con sus respectivos componentes como la válvula de seguridad, válvula de servicio asa de seguridad y su pertinente conexión para el regulador de presión (Ver Anexo E). Cuenta con una presión máxima de funcionamiento 375 psi, siendo la presión de la válvula de alivio de 450 psi.

Cilindro de GLP



Fuente: autores

- **Regulador de presión para GLP (R-18)**

Regulador utilizado para el manejo de gas propano (GLP), fabricado en aluminio inyectado con revestimiento en pintura electroestática, posee un filtro en la entrada, con acoples para manguera de 3/8". Con presiones de funcionamiento que van desde 0.7 bar hasta 8.6 bar

Regulador de presión para GLP

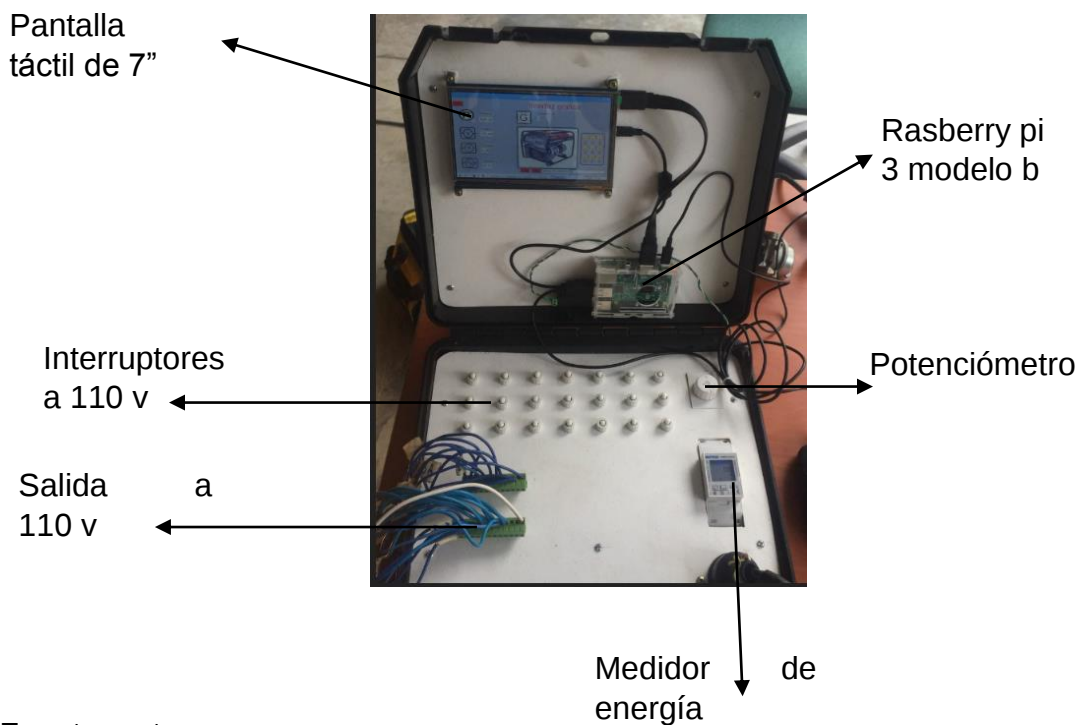


Fuente: www.humcar.com/productos/includes/fichas/GLP/UnicaEtapa/600019-020-021-022_R18_UE_28mbar.pdf

- **Sistema de adquisición de datos**

Como se mencionó anteriormente el sistema de adquisición consta de varios elementos que en conjunto permiten tomar datos en tiempo real. A continuación, se nombran las características de cada uno de ellos.

Esquema de sistema de adquisición de datos



Fuente: autores

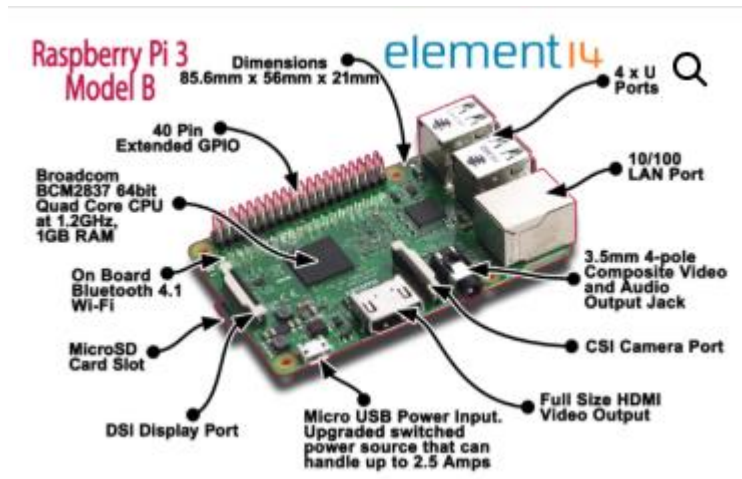
- **Raspberry Pi 3 Model B**

Es una tarjeta que hace las veces de un pequeño ordenador los elementos principales, unidad de sensor, unidad de procesamiento, unidad de comunicación y unidad de potencia, dentro de sus características más destacadas tenemos:

- RAM de 1 Gb
- Puerto Ethernet 10/100

- Conector de video/audio HDMI
- Cuatro puertos USB 2.0
- Chipset Broadcom BCM2837 a 1,2 GHz
- ARM cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos
- Bluetooth 4.1

Tarjeta adquisidora de datos Raspberry PI 3 y sus partes.



Fuente: <https://www.make.net.za/product/raspberry-pi-3-model-b/>

• Medidor de energía eléctrica

Se tiene un medidor de energía monofásico modelo SDM230-Modbus que hace la interfaz entre la tarjeta de programación o Raspberry y el medidor de la energía activa entre otros parámetros algunas de sus características más destacadas tenemos:

- Modelo: SDM230MODBUS
- Voltaje nominal 110 V
- Rango de voltaje: 0.8-1.2
- Corriente base: 5 A
- Rango de corriente: 0.5-100 A
- Frecuencia: 50/60 Hz

Medidor de energía monofásico modelo SDM230-Modbus



Fuente: <https://es.aliexpress.com/store/product/SDM220-Modbus>

para completar el sistema de adquisición se utiliza una pantalla táctil de 7 pulgadas, donde se ejecuta una interfaz que permite visualizar los datos en tiempo real, un potenciómetro o dimmer para estabilizar la potencia entregada por el generador con el fin de facilitar la toma de datos y obtener valores pico de generación de potencia eléctrica antes de sobrepasar la carga máxima y una serie de 24 interruptores que se utilizar para controlar el encendido o apagado de cada bombilla respectivamente.

- Certificado de calibración para el medidor de gas tipo diafragma



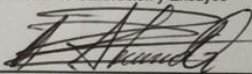
Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

CENTRO DE METROLOGÍA DE FLUIDOS
CENTRO DE CONTROL DE CALIDAD
ORGANISMO DE INSPECCIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

INFC-18-VOQ-031-3073

Página 1 de 2

Cliente:	LABORATORIO DE SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA														
Dirección:	km 2 VÍA REFUGIO, SEDE UIS GUATIGUARÁ. PIEDRECUESTA-SANTANDER														
Instrumento:	Descripción:	MEDIDOR TIPO DIAFRAGMA													
	Fabricante:	KEUK DONG													
	Modelo:	G1,6													
	K Factor:	10 dm³/pulso													
	S/N y/o ID:	S/N: 004932222017													
	Intervalo de Medición:	1,08 dm³/min a 43,89 dm³/min (Calibrado)													
Método de Calibración:	El método de calibración utilizado, consiste en la comparación del volumen indicado por el patrón, referido a condiciones del medidor, y el volumen indicado por el medidor a calibrar, de acuerdo a los lineamientos descritos en el reglamento de prueba del PTB Tomo 29, 2003.														
Trazabilidad:	Medidor tipo Cámara Húmeda, identificado como VL-006, con certificado de calibración No. CERT-18-VOQ-273-3073, emitido por Corporación CDT de GAS. Adicionalmente fueron utilizados instrumentos para medición de las magnitudes de influencia, cuya trazabilidad al SI es garantizada a través de calibraciones realizadas de acuerdo con el programa de Aseguramiento Metrológico del Laboratorio.														
Incertidumbre:	La incertidumbre expandida de la medición reportada "U", se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.														
Lugar de calibración:	Laboratorio del CDT de GAS (km 2 Vía Refugio, Sede UIS Guatiguará, Piedrecuesta – Santander - Colombia).														
Condiciones de Calibración:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Gas de Calibración:</td> <td style="width: 30%;">Aire</td> <td style="width: 30%;">Presión Atmosférica:</td> <td style="width: 10%;">904,7 hPa ± 0,7 hPa</td> </tr> <tr> <td>Temperatura:</td> <td>20,5 °C ± 0,2 °C</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Humedad Relativa:</td> <td>54,4 % ± 1,3 %</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Gas de Calibración:	Aire	Presión Atmosférica:	904,7 hPa ± 0,7 hPa	Temperatura:	20,5 °C ± 0,2 °C			Humedad Relativa:	54,4 % ± 1,3 %		
Gas de Calibración:	Aire	Presión Atmosférica:	904,7 hPa ± 0,7 hPa												
Temperatura:	20,5 °C ± 0,2 °C														
Humedad Relativa:	54,4 % ± 1,3 %														
Fecha de Recepción:	2018/03/13	Fecha de Calibración:	2018/03/13												
Calibrado por:	Jhon Freddy Alfonso S. Profesional de Calibración y Ensayos  Christian Alexander Rovira Q. Coordinador de Laboratorios														

Aprobado por:

Los resultados del presente certificado de calibración solo están relacionados al instrumento y al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El laboratorio de Calibración y Ensayos de la Corporación CDT de GAS no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado del instrumento.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcial y/o totalmente sin la aprobación del CDT de GAS.

Este documento se emite después de cumplir las disposiciones internas de la Corporación CDT de GAS.
Es válido con sello seco.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

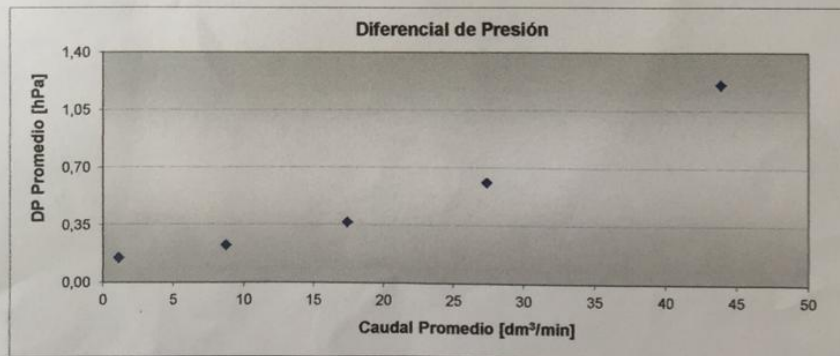
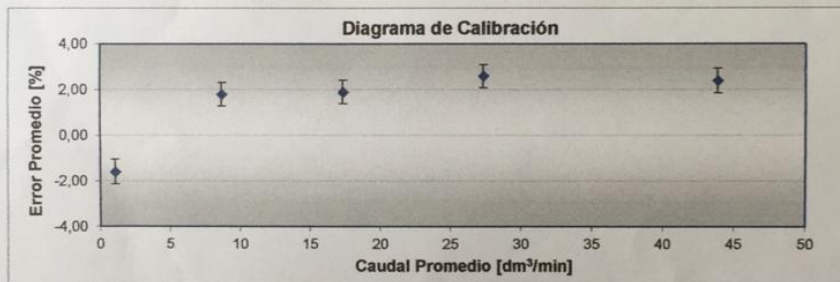
INFC-18-VOQ-031-3073

Página 2 de 2

Estado del Instrumento:	Los elementos se encontraron en óptimas condiciones para calibración.
Observaciones:	Los errores sistemáticos de la medición aplican únicamente cuando se utiliza el medidor tipo diafragma con la indicación del odómetro. La lectura de presión fue tomada a la entrada del medidor, y la lectura de temperatura fue tomada a la salida del medidor. El error de medición y la incertidumbre expandida se expresan de forma relativa [%] al volumen medido. Las condiciones ambientales reportadas corresponden al promedio y su variación ($\pm$) durante el proceso de calibración. Se adjunta al informe una estampilla de calibración.

Resultados de Calibración:

Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	$\pm U$	k	Meter Factor	Diferencial de Presión
[dm ³ /min]	[dm ³]	[%]	[%]	[%]	—	—	[hPa]
1,08	60,00	-1,60	0,26	0,55	2,00	1,0163	0,15
8,72	60,00	1,80	0,06	0,51	1,97	0,9823	0,23
17,37	60,00	1,90	0,01	0,51	1,97	0,9814	0,37
27,37	120,00	2,60	0,05	0,51	1,97	0,9747	0,61
43,89	180,00	2,40	0,18	0,54	1,98	0,9766	1,21



Fin del Certificado

Este documento se emite después de cumplir las disposiciones internas de la Corporación CDT de GAS.
Es válido con sello seco.

**ANEXO B DATOS DE EMISIONES, CONSUMO Y POTENCIA OBTENIDOS
PARA PRUEBAS UTILIZANDO GAS LICUADO DE PETRÓLEO COMO
COMBUSTIBLE**

En la siguiente tabla se observa los datos que se obtuvieron por cada prueba, utilizando GLP , dichos datos son el producto de 3 mediciones con el banco de pruebas en el laboratorio SICE en el PTG.

Prueba	Pot [w]	T [°C]	RPM	λ	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
P1	2000	131.33	3446.67	0.80	7.06	9.23	242.33	0.32
P2	2000	112.67	3450.00	0.88	4.55	10.83	233.33	0.45
P3	2000	118.67	3446.67	0.88	4.30	11.03	198.33	0.35
P1	1800	137.00	3506.67	0.78	7.94	8.73	253.00	0.30
P2	1800	133.00	3493.33	0.82	6.57	9.67	253.33	0.31
P3	1800	132.67	3490.00	0.81	6.90	9.47	231.67	0.31
P1	1600	132.33	3543.33	0.77	8.12	8.60	258.33	0.30
P2	1600	130.00	3523.33	0.81	7.00	9.43	242.33	0.29
P3	1600	129.67	3523.33	0.81	6.92	9.37	242.33	0.28
P1	1400	127.67	3556.67	0.78	8.05	8.67	246.00	0.33
P2	1400	127.00	3543.33	0.80	7.20	9.33	260.33	0.29
P3	1400	126.33	3540.00	0.80	7.26	9.30	260.33	0.32
P1	1200	123.67	3586.67	0.77	8.26	8.50	263.00	0.33
P2	1200	124.33	3570.00	0.82	6.63	9.67	259.67	0.29
P3	1200	122.33	3250.00	0.82	6.63	9.63	258.33	0.31
P1	1000	120.00	3613.33	0.76	8.58	8.33	278.33	0.35
P2	1000	119.33	3596.67	0.82	6.54	9.73	257.00	0.29
P3	1000	117.67	3606.67	0.82	6.65	9.60	259.67	0.31
P1	800	114.33	3600.00	0.75	9.15	8.00	288.33	0.35
P2	800	115.33	3613.33	0.83	5.99	10.03	278.33	0.31
P3	800	114.33	3606.67	0.84	5.91	10.07	276.00	0.30
P1	600	110.33	3616.67	0.72	10.17	7.30	341.67	0.38
P2	600	112.00	3616.67	0.84	5.65	10.23	306.00	0.31

Prueba	Pot [w]	T [°C]	RPM	λ	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
P3	600	111.00	3613.33	0.84	5.73	10.23	305.33	0.31
P1	400	108.00	3620.00	0.69	11.03	6.80	391.67	0.44
P2	400	106.67	3630.00	0.83	6.42	9.83	355.33	0.32
P3	400	106.00	3626.67	0.82	6.72	9.67	222.67	0.33
P1	200	107.33	3623.33	0.68	11.52	6.43	462.67	0.53
P2	200	102.00	3620.00	0.77	8.41	8.57	377.67	0.37
P3	200	101.33	3620.00	0.77	8.26	8.63	258.67	0.38
P1	0	107.00	3623.33	0.67	11.64	5.87	490.00	1.03
P2	0	100.33	3610.00	0.70	10.88	6.87	444.00	0.57
P3	0	100.00	3610.00	0.70	10.78	6.93	430.33	0.55

En la siguiente tabla se observa el promedio de datos de las pruebas realizadas, que luego se graficaron para ver el comportamiento de cada uno de los parámetros estudiados.

pot [w]	T °C	RPM	λ	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
2000	120.89	3447.78	0.86	5.30	10.37	224.67	0.37
1800	134.22	3496.67	0.80	7.14	9.29	246.00	0.31
1600	130.67	3530.00	0.80	7.35	9.13	247.67	0.29
1400	127.00	3546.67	0.79	7.50	9.10	255.56	0.31
1200	123.44	3468.89	0.80	7.17	9.27	260.33	0.31
1000	119.00	3605.56	0.80	7.26	9.22	265.00	0.32
800	114.67	3606.67	0.81	7.02	9.37	280.89	0.32
600	111.11	3615.56	0.80	7.19	9.26	317.67	0.33
400	106.89	3625.56	0.78	8.06	8.77	323.22	0.36
200	103.56	3621.11	0.74	9.40	7.88	366.33	0.43
0	102.44	3614.44	0.69	11.10	6.56	454.78	0.72

Para hallar el consumo se utilizó un medidor de flujo de gas tipo diagrama midiendo el caudal de gas en un determinado tiempo, en este caso el tiempo que tardaba en consumir 5 lts de combustible.

Prueba 1

POT	consumo 1 lts/s	consumo 2 lts/s	comsumo 3 lts/s	t1 seg	T2 seg	t3 seg	prom
2000	0.1373	0.1384	0.1427	36.41	36.13	35.05	0.1395
1800	0.1316	0.1344	0.1317	38	37.21	37.97	0.1325
1600	0.1244	0.1223	0.1233	40.2	40.89	40.54	0.1233
1400	0.1155	0.1135	0.1148	43.29	44.04	43.54	0.1146
1200	0.1003	0.1033	0.1038	49.86	48.42	48.16	0.1025
1000	0.0967	0.0958	0.0951	51.72	52.2	52.57	0.0959
800	0.0893	0.0889	0.0895	55.99	56.25	55.84	0.0892
600	0.0840	0.0843	0.0845	59.55	59.32	59.16	0.0843
400	0.0826	0.0826	0.0821	60.55	60.53	60.91	0.0824
200	0.0813	0.0822	0.0819	61.52	60.81	61.08	0.0818
0	0.0837	0.0847	0.0835	59.75	59.02	59.91	0.0840

Prueba 2

potencia	consumo 1 lts/s	consumo 2 lts/s	comsumo 3 lts/s	t1 seg	t2 seg	t3 seg	prom
2000	0.1228	0.1244	0.1198	40.71	40.18	41.74	0.1223
1800	0.1232	0.1266	0.1244	40.59	39.49	40.18	0.1247
1600	0.1168	0.1169	0.1180	42.82	42.76	42.37	0.1172
1400	0.1067	0.1088	0.1083	46.87	45.97	46.16	0.1079
1200	0.0977	0.0963	0.0977	51.18	51.91	51.2	0.0972
1000	0.0846	0.0847	0.0872	59.1	59.01	57.33	0.0855
800	0.0765	0.0774	0.0758	65.35	64.59	66.00	0.0766
600	0.0740	0.0631	0.0674	67.59	79.20	74.14	0.0682
400	0.0641	0.0661	0.0634	78.03	75.66	78.92	0.0645
200	0.0613	0.0626	0.0617	81.52	79.81	81.08	0.0619
0	0.0597	0.0610	0.0582	83.75	82.02	85.91	0.0596

En la tabla anexa se tiene los datos de consumo y flujo másico de combustible para las pruebas con GLP.

Potencia	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	$\rho * \dot{v}$
[w]	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{m} \text{ kg}/\text{s}$
2000	0.0001395	0.0001223	0.0001309	0.000206
1800	0.0001325	0.0001247	0.0001286	0.000202
1600	0.0001233	0.0001172	0.0001203	0.000189
1400	0.0001146	0.0001079	0.0001113	0.000175
1200	0.0001025	0.0000972	0.0000998	0.000157
1000	0.0000959	0.0000855	0.0000907	0.000143
800	0.0000892	0.0000766	0.0000829	0.000130
600	0.0000843	0.0000682	0.0000762	0.000120
400	0.0000824	0.0000645	0.0000735	0.000116
200	0.0000818	0.0000619	0.0000718	0.000113
0	0.0000840	0.0000596	0.0000718	0.000113

**ANEXO C DATOS DE EMISIONES, CONSUMO Y POTENCIA OBTENIDOS
PARA PRUEBAS UTILIZANDO GAS NATURAL VEHICULAR COMO
COMBUSTIBLE**

En la siguiente tabla se observa los datos que se obtuvieron por cada prueba, utilizando GNV, dichos datos son el producto de 3 mediciones con el banco de pruebas en el laboratorio SICE en el PTG.

<i>Prueba</i>	<i>Pot Watt</i>	<i>T °C</i>	<i>RPM</i>	<i>λ</i>	<i>CO %v/V</i>	<i>CO2 %v/v</i>	<i>HC ppm</i>	<i>O2 %v/v</i>
P1	1750	131	3390	1.005	0.14	11	255	0.54
P2	1750	132	3430	1.005	0.15	11	249	0.53
P3	1750	134	3400	1.006	0.14	11.1	230	0.52
P1	1600	136	3490	0.952	1.57	10.3	194	0.36
P2	1600	136	3490	0.953	1.53	10.3	189	0.36
P3	1600	135	3490	0.955	1.51	10.4	186	0.36
P1	1400	131	3520	0.895	3.32	9.2	145	0.35
P2	1400	130	3520	0.895	3.34	9.3	133	0.33
P3	1400	130	3560	0.887	3.59	9.2	145	0.33
P1	1200	125	3540	0.841	4.9	8.2	153	0.36
P2	1200	125	3520	0.847	4.79	8.4	147	0.36
P3	1200	125	3530	0.846	4.79	8.3	150	0.36
P1	1000	123	3540	0.815	5.69	7.7	161	0.38
P2	1000	123	3550	0.813	5.76	7.7	161	0.38
P3	1000	122	3550	0.814	5.74	7.7	158	0.38
P1	800	122	3520	0.798	6.26	7.14	174	0.43
P2	800	121	3550	0.796	6.25	7.3	181	0.42
P3	800	121	3550	0.797	6.28	7.4	167	0.42
P1	600	121	3570	0.79	6.51	7	257	0.66
P2	600	121	3540	0.789	6.48	7	287	0.63
P3	600	121	3550	0.79	6.5	7	296	0.69
P1	400	116	3550	0.81	6.34	6.3	762	1.92
P2	400	116	3570	0.808	6.24	6.3	827	1.87

Prueba	Pot Watt	T °C	RPM	λ	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
P3	400	116	3550	0.821	6.28	6.2	790	2.24
P1	200	110	3560	0.862	6.06	5.9	1074	3.55
P2	200	109	3570	0.836	6.06	5.8	1138	3.01
P3	200	108	3560	0.849	5.74	5.5	1471	3.55
P1	0	105	3580	0.882	5.37	4.8	1909	4.76
P2	0	103	3590	0.902	5.5	4.9	1833	5.21
P3	0	102	3590	0.91	5.3	4.9	1951	5.35

En la siguiente tabla se observa el promedio de datos de las pruebas realizadas, que luego se graficaron para ver el comportamiento de cada uno de los parámetros estudiados.

pot [w]	T °C	RPM	λ	CO %v/v	CO2 %v/v	HC ppm	O2 %v/v
1750	132.33	3406.6	1.01	0.14	11.03	244.67	0.53
1600	135.67	3490.0	0.95	1.54	10.33	189.67	0.36
1400	130.33	3533.3	0.89	3.42	9.23	141.00	0.34
1200	125.00	3530.0	0.84	4.83	8.30	150.00	0.36
1000	122.67	3546.6	0.81	5.73	7.70	160.00	0.38
800	121.33	3540.0	0.80	6.26	7.28	174.00	0.42
600	121.00	3553.3	0.79	6.50	7.00	280.00	0.66
400	116.00	3556.6	0.81	6.29	6.27	793.00	2.01
200	109.00	3563.3	0.85	5.95	5.73	1227.67	3.37
0	103.33	3586.6	0.90	5.39	4.87	1897.67	5.11

Para hallar el consumo se utilizó un medidor de flujo de gas tipo diagrama midiendo el caudal de gas en un determinado tiempo, en este caso el tiempo que tardaba en consumir 5 lts de combustible.

Prueba 1

potencia	consumo 1 lts/s	consumo 2 lts/s	consumo 3 lts/s	t1 seg	t2 seg	t3 seg	Prom
1750	0.3121	0.2998	0.2909	16.02	16.68	17.19	0.3009
1600	0.2976	0.2952	0.2994	16.8	16.94	16.7	0.2974
1400	0.2924	0.2934	0.2889	17.1	17.04	17.31	0.2916
1200	0.2917	0.2841	0.2885	17.14	17.6	17.33	0.2881
1000	0.2879	0.2854	0.2854	17.37	17.52	17.52	0.2862
800	0.2869	0.2811	0.2885	17.43	17.79	17.33	0.2855
600	0.2846	0.2882	0.2798	17.57	17.35	17.87	0.2842
400	0.2803	0.2804	0.2820	17.84	17.83	17.73	0.2809
200	0.2772	0.2825	0.2796	18.04	17.70	17.88	0.2798
0	0.2770	0.2800	0.2732	18.05	17.86	18.30	0.2767

Prueba 2

potencia	consumo 1 lts/s	consumo 2 lts/s	consumo 3 lts/s	t1 seg	t2 seg	t3 seg	Prom
1750	0.3036	0.2983	0.3040	16.47	16.76	16.45	0.3020
1600	0.2941	0.2982	0.2897	17	16.77	17.26	0.2940
1400	0.2957	0.2914	0.2910	16.91	17.16	17.18	0.2927
1200	0.2717	0.2869	0.2795	18.4	17.43	17.89	0.2794
1000	0.2862	0.2847	0.2844	17.47	17.56	17.58	0.2851
800	0.2882	0.2851	0.2870	17.35	17.54	17.42	0.2868
600	0.2852	0.2869	0.2838	17.53	17.43	17.62	0.2853
400	0.2804	0.2801	0.2812	17.83	17.85	17.78	0.2806
200	0.2778	0.2800	0.2796	18.00	17.86	17.88	0.2791
0	0.2747	0.2796	0.2781	18.20	17.88	17.98	0.2775

En la tabla anexa se tiene los datos de consumo y flujo másico de combustible para las pruebas con GNV.

Potencia	Prueba 1	Prueba 2	Promedio	$\rho * \dot{v}$
[w]	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{v} \text{ m}^3/\text{s}$	$\dot{m} \text{ kg}/\text{s}$
1750	0.0002955	0.0003020	0.0002955	0.0001690
1600	0.0002974	0.0002940	0.0002974	0.0001701
1400	0.0002916	0.0002927	0.0002916	0.0001668
1200	0.0002881	0.0002794	0.0002881	0.0001648
1000	0.0002862	0.0002851	0.0002862	0.0001637
800	0.0002855	0.0002868	0.0002855	0.0001633
600	0.0002842	0.0002853	0.0002842	0.0001626
400	0.0002809	0.0002806	0.0002809	0.0001607
200	0.0002798	0.0002791	0.0002798	0.0001600
0	0.0002767	0.0002775	0.0002767	0.0001583

**ANEXO D PROTOCOLO DE OPERACIÓN, PARA EL CORRECTO
FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS**



GIEMA
GRUPO DE INVESTIGACION EN
ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE



ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
PARQUE TECNOLÓGICO DE GUATIGUARA
LABORATORIO DE SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA
(SICE)**

A continuación, se tiene el protocolo de operación para el correcto uso de el banco de pruebas y una correcta toma de datos

Fecha: ____/____/____

Lugar: _____

Operario: _____

Temperatura Ambiente	Presión	Húmeda relativa	Combustible usado

No	Protocolo de operación	Realizado/Verificado		Observaciones
		Si	No	
1	Determinar el combustible a utilizar y así poder definir el montaje de los equipos necesario para la correcta toma de datos			

No	Protocolo de operación	Realizado/Verificado		Observaciones
		Si	No	
2	Verificar que todos los componentes del montaje seleccionado estén correctamente conectados y funcionando			
3	Encender analizador de gases brainbee AGS 690 y grupo electrógeno durante un tiempo aproximado entre 10 a 15 minutos para que entren en régimen o estabilicen			
4	Encender banco de medición, y abrir software de toma de datos			
5	Sincronizar el banco de medición con ordenador portátil el cual deberá tener el software ómnibus 800 instalado.			
6	Energizar banco de adquisición de datos desde el generador a la clavija de medición de potencia			
7	Con el equipo a cero cargas y apoyándose AGS 690 medir la temperatura de los gases de escape y verificar que se encuentre estable			
8	Registrar temperatura y presión del lugar donde se realizan las pruebas, conectar pinza de inducción o capacitiva MGT-300 al cable de bujía del motor .			
9	Aumentar la carga en la batería de bombillos hasta un 100% de la capacidad de generación del combustible y dejar estabilizar el sistema			

No	Protocolo de operación	Realizado/Verificado		Observaciones
		Si	No	
10	Con ayuda del software de adquisición de potencia y de análisis de gases del AGS 690, medir las variables destacadas (consumo, potencia eléctrica, gases de escape) del sistema configurado durante 5 minutos.			
12	Disminuir la carga en $\pm 10\%$ de la capacidad máxima obtenida para el combustible, esperar durante 5 minutos que estabilice el sistema, y repetir paso 10 y 11			
13	Repetir paso 12 hasta llegar a carga 0% en modo ralentí del sistema, luego de tomar datos dejar enfriar el sistema durante 5 minutos			
14	Apagar banco de medición y batería de bombillos			
15	Apagar el motor			
16	Retirar sonda de análisis de gases del AGS 690 y dejar midiendo al medio ambiente durante 15 minutos hasta que se realice un barrido total para luego apagar el equipo.			
17	Verificar el estado y ubicación de los componentes en general.			

Adjuntar a este documento la tabla de Excel donde se recopilan los datos obtenidos con el sistema de adquisición de datos , y el analizador brainbee AGS 690

Encargado de laboratorio

ANEXO E COSTOS DE ADAPTACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO

- Costo de adaptación fijo para uso de hidrógeno como combustible

CUADRO DE PRESUPUESTO DE COSTOS REDES DE GASES INDUSTRIALES Y CIENTIFICOS					
NOMBRE DEL CLIENTE	Universidad Industrial de Santander			NIT	-
NOMBRE DEL CONTACTO	Jorge Luis Chacon			COT NRO	
AREA DE EJECUCION /EQUIPO				HOJA DE COSTOS	1 DE 2
DESCRIPCION Y ALCANCE DEL PROYECTO A COTIZAR	red de hidrogeno dinamometro , pesion 3 bares				
CAPITULO 1	CANTIDAD	DESCRIPCION	REFERENCIA	CTO UNIT	CTO TOTAL
1.1	1,0 Un	URI- Unidad regulaci3n inicial - HIDROGENO	HARRIS- HP701-125-00BE	\$ COP 2.543.333	\$ 2.543.333
1.2	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.3	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.4	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.5	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.6	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.7	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.8	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.9	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
1.10	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
Unidad de regulaci3n inicial U R I				SUBTOTAL CAPITULO 1	\$ 2.543.333
CAPITULO 2	CANTIDAD	DESCRIPCION	REFERENCIA	CTO UNIT	CTO TOTAL
2.1	1,0 Un	UPT- Unidad puesto de trabajo Hidrogeno	-	\$ COP 1.000.000	\$ 1.000.000
2.2	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.3	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.4	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.5	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.6	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.7	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.8	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.9	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
2.10	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
Unidad de regulaci3n en punto de trabajo U R P T				SUBTOTAL CAPITULO 2	\$ 1.000.000
CAPITULO 3	CANTIDAD	DESCRIPCION	REFERENCIA	CTO UNIT	CTO TOTAL
3.1	6,0 Un	Un3n AC inox 316 D=1/4" OD	-	\$ COP 108.333	\$ 650.000
3.2	1,0 Un	Union Codo 1/4" SS	-	\$ COP 116.667	\$ 116.667
3.3	18,0 Un	Soporte para tubin AL	-	\$ COP 41.667	\$ 750.000
3.4	1,0 Un	Conector recto SS 1/4" NPT x 1/8" OD	-	\$ COP 91.667	\$ 91.667
3.5	2,0 Un	Conector recto SS 1/4" NPT x 1/4" OD	-	\$ COP 108.333	\$ 216.667
3.6	36,0 Un	Tubing de 1/4" OD - AC inox 316 electropulido	-	\$ COP 100.000	\$ 3.600.000
3.7	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
3.8	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
3.9	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
3.10	0,0 Un	-	-	\$ COP 0	\$ -
Tuberia red de gases industriales y especiales				SUBTOTAL CAPITULO 3	\$ 5.425.000
CAPITULO 4	CANTIDAD	DESCRIPCION	REFERENCIA	CTO UNIT	CTO TOTAL
OTROS ITEMS DE LA PROPUESTA : hace referencia a otros items que no constituyen materiales o equipos y que se deben tener en cuenta en la propuesta tales como p3lizas, viáticos de personal viajes a otros sitios etc.					
CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	REFERENCIA	CTO UNIT	CTO TOTAL
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
	Und			\$ -	\$ -
OTROS ITEMS DE LA PROPUESTA				SUBTOTAL OTROS	-
Notas aclaratorias de costos del proyecto :				SUBTOTAL COSTO DEL PROYECTO SIN IVA	\$ 8.968.333
1. La oferta tiene una validez de 30 días calendario; si la propuesta es aprobada en una fecha posterior, esta tendrá que ser actualizada por el área de ingeniería ya que los precios podrán variar por condiciones del mercado.				IVA 19% DEL PROYECTO	\$ 1.703.983
				COSTO TOTAL DEL PROYECTO INCLUYE IVA	\$ 10.672.317

- Costo de adaptación móvil para uso de hidrógeno como combustible
- Cotización 1

 <i>Construyendo un planeta más sustentable</i>						
OXÍGENOS DE COLOMBIA LTDA Km 7 Autopista Via Giron Bucaramanga Santander Colombia PBX : (57-7) 6467053				Cotización No. SR 2018-243 REV 2 Requerido por: Wilson Fonseca wilsonfonsca@gmail.com Empresa: UIS Fecha: 6 de Julio del 2018 Cotizado Por: Sergio Reyes		
Línea de Atención a Clientes Bogotá 401 3000 - 705 2000 Línea Gratuita de Atención Nacional: 01 8000 527 527						
A continuación presentamos la cotización solicitada						
Item	PRODUCTO	Precio / Unit.	Unidad de empaque	Cantidad	Sub Total antes de impuestos	TIEMPO DE ENTREGA
1	Hidrógeno 5.0	\$ 180.000	Cilindro de 3 m3	1	\$ 180.000	20-30 días hábiles
2	Cilindro de Alta presión nuevo, certificado, con Válvula, y pruebas hidrostáticas	\$ 590.000	Cilindro de 3 m3	1	\$ 590.000	20-30 días hábiles
3	REGULADOR SERIE 202-0/120PSIG-1/4TF-CGA350 5000918	\$ 750.000	Individual	1	\$ 750.000	20-30 días hábiles
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
SUB-TOTAL					1.520.000	
IVA					19%	\$ 288.800
TOTAL					\$ 1.808.800	

En la anterior cotización no se incluye la cantidad de tubo de acero inoxidable necesario para hacer la conexión desde el tanque de hidrógeno a la entrada de del carburador, ni el apaga flama necesaria para evitar explosiones.

Cotización 2

COTIZACIÓN Cotización: BUC-3130232018-518 Referencia: COTIZACION GASES CIENTIFICOS	Gases Industriales de Colombia S.A NIT 860.013.704-3 Ejecutivo de Negocios: Solanis Chinchilla Gaitan E-mail: solanis.chinchilla@cryogas.com.co
---	---

COTIZACIÓN	
Cliente Nombre: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER Direccion: Telefonos: Contacto: WILSON FERNANDO FONSECA	Ciudad: Bucaramanga Fecha Cotizacion: 05-jun-18 Telefax:

#	Código	Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Precio Unitario	Trans.	Renta	Subtotal	Precio Total
1		1	CILINDRO	HIDROGENO ULTRA ALTA PUREZA 6 MT3	\$ 208.800	\$ -	\$ -	\$ 208.800	\$ 208.800
2		1	CILINDRO	HIDROGENO INDUSTRIAL 6 MT3	\$ 134.400	\$ -	\$ -	\$ 134.400	\$ 134.400
3		1	UND	REGULADOR HARRIS 701 URI Presion trabajo 0-125 psi	\$ 1.012.500	\$ -	\$ -	\$ 1.012.500	\$ 1.012.500
4		1	UNID	CONEXIÓN CGA	\$ 90.000	\$ -	\$ -	\$ 90.000	\$ 90.000
5								\$ -	\$ -
6								\$ -	\$ -
8								\$ -	\$ -

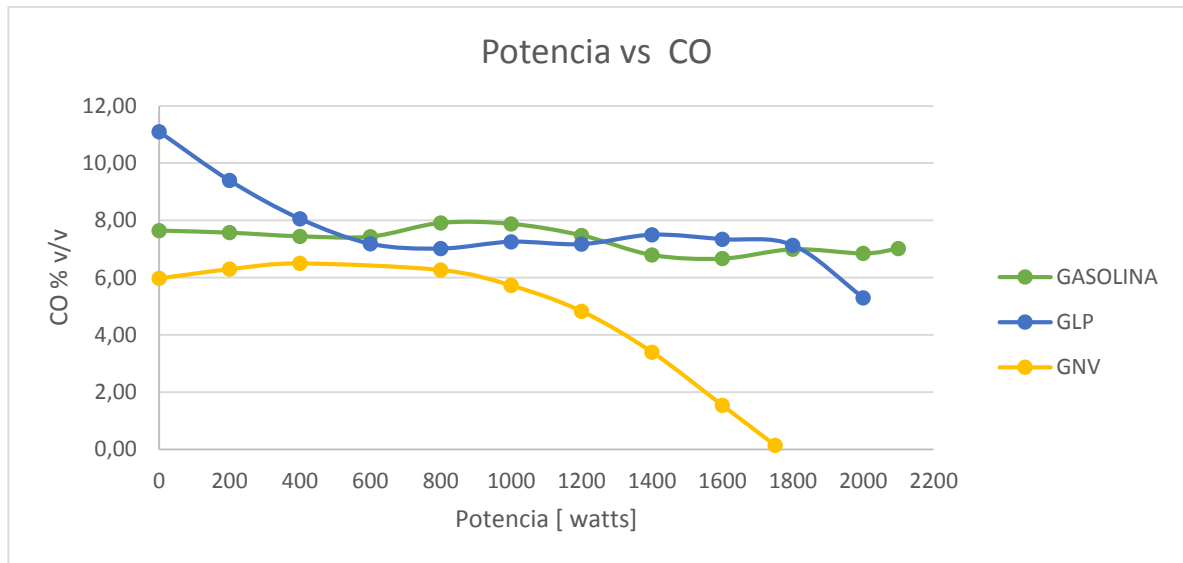
Condiciones Comerciales Vigente hasta: 30 Dias Lugar de Entrega: En sus Instalaciones (Confirmar lugar de entrega) Tiempo de Entrega: 8 DIAS Forma de Pago: ☒ Credito 30 días ☐ A plazos % Anticipo. ☐ Contado % Contra entrega.	Subtotal \$ 1.445.700 IVA 19% \$ 274.683 Total \$ 1.720.383
--	--


 Ejecutivo de Negocios

En la anterior cotización no se incluye la cantidad de tubo de acero inoxidable necesario para hacer la conexión desde el tanque de hidrógeno a la entrada de del carburador, ni el apaga flama necesaria para evitar explosiones.

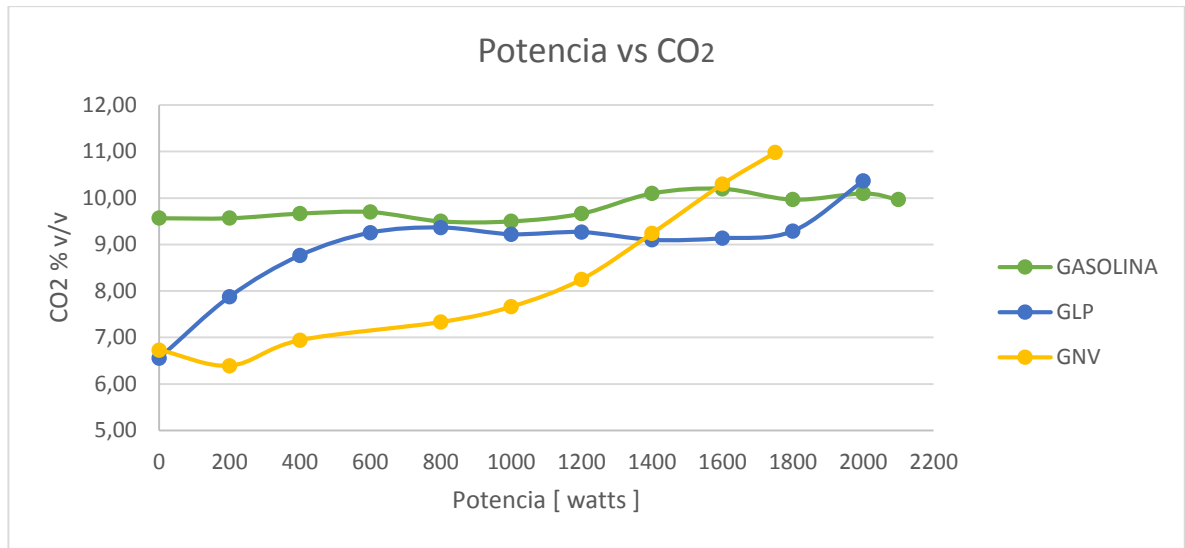
ANEXO F COMPARACIÓN DE LAS EMISIONES DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA USANDO COMBUSTIBLES GASEOSOS Y COMBUSTIBLE CONVENCIONAL COMO LA GASOLINA.

- Emisiones de CO**



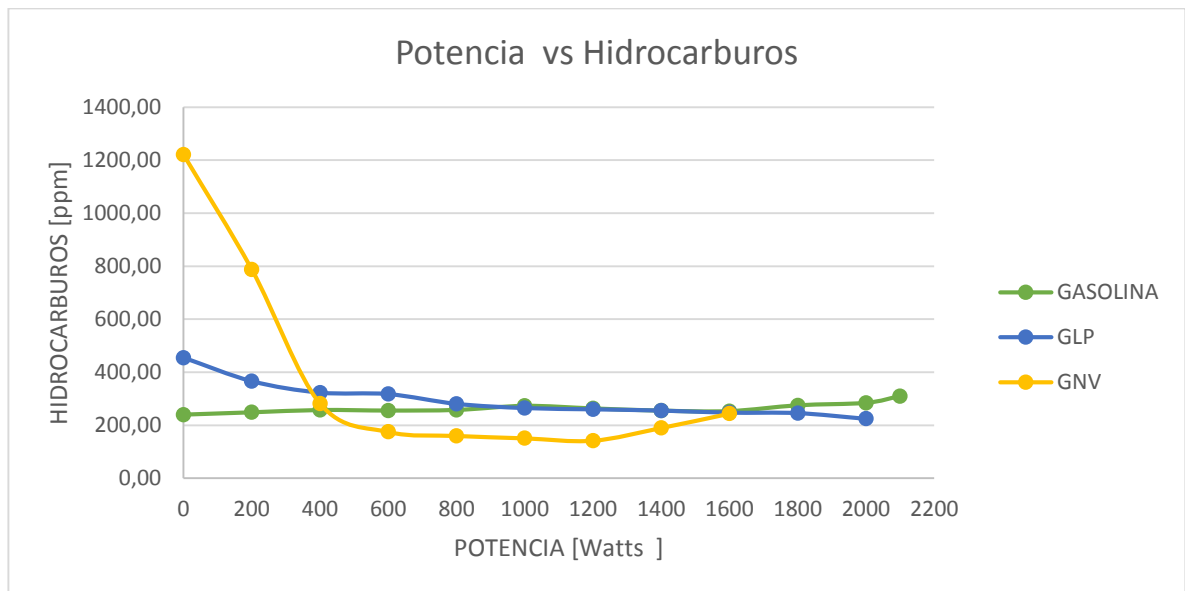
Fuente: Autores

- **Emisiones de CO2**



Fuente :Autores

- **Emisiones de hidrocarburos**



Fuente: Autores

Se puede concluir de las tres graficas presentadas que la energía más limpia es la del GNV, aunque es la que genera menos potencia (1750 watts) a diferencia del combustible tradicional gasolina (2100 watts) y el GLP (2000 watts), pero que

entre estos dos últimos en cuanto a emisiones la contaminación generada es muy similar excepto a bajas potencias que el GLP genera más gases tóxicos (CO, HC).

Por último, aunque se ve la gráfica de hidrocarburos que el GNV tiene una producción considerable de emisiones, cabe aclarar que esto se debe a que, a bajas revoluciones ingresa demasiado combustible a la cámara de combustión provocando que el motor se ahogue y al retomar el régimen expulse más porcentaje de combustible sin quemar.