

**ESTUDIO DEL DESGASTE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE
ENCENDIDO POR CHISPA UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE
GASEOSO GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)**

AUTORES

JONHATAN GUTIÉRREZ CAÑAS

JUAN DAVID MUNERA MUÑOZ

INSTITUCION UNIVERSITARIA TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE MECANICA Y AFINES

TECNOLOGIA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

MEDELLIN

2013

**ESTUDIO DEL DESGASTE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE
ENCENDIDO POR CHISPA UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE
GASEOSO GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)**

AUTORES

JONHATAN GUTIÉRREZ CAÑAS

JUAN DAVID MUNERA MUÑOZ

ASESOR:

LUIS CARLOS OLMOS VILLALBA

INSTITUCION UNIVERSITARIA TECNOLOGICO PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE MECANICA Y AFINES

TECNOLOGIA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

MEDELLIN

2013

**ESTUDIO DEL DESGASTE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE
ENCENDIDO POR CHISPA UTILIZANDO COMO COMBUSTIBLE
GASEOSO GAS LICUADO DEL PETRÓLEO (GLP)**

ASESOR

JURADO

Medellín, 2013.....

AGRADECIMIENTOS

A Dios primero que todo por que es la mayor fuente de inspiración y nos ilumino el camino en todo momento.

A nuestros padres, que siempre estuvieron con nosotros ya que son una gran fuente de apoyo incondicional en todos nuestros retos, y en el cumplimiento de todas nuestras metas.

A nuestro asesor por brindarnos una compañía excepcional dando soporte en todo momento en nuestras dificultades.

A nuestras familias que nos apoyaron de una manera excepcional e inalcanzable.

A nuestros amigos que siempre estuvieron apoyándonos y no nos dejaron tirar la toalla, con sus consejos de gran aliento y motivación.

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
2 JUSTIFICACIÓN.....	13
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 General.....	14
3.2 Específicos.....	14
4 REFERENTES TEÓRICOS.....	15
4.1 Motor De Combustión Interna.....	15
4.1.1 partes Principales Del Motor.....	15
4.1.2 Partes Secundarias Del Motor De Combustión Interna.....	16
4.2 Funcionamiento De Un Motor De Cuatro Tiempos.....	18
4.3 Combustibles.....	19
4.3.1 Tipos De Combustible.....	20
4.3.2 Características.....	20
4.4 Combustibles Gaseosos.....	22
4.4.1 GNCV: gas natural comprimido vehicular.....	22
4.4.2 GLP: gas licuado del petróleo.....	25
4.4.3 Diferencias entre GNCV y GLP.....	25
4.5 Funcionamiento De Un Motor Con Combustible gaseoso.....	26
4.5.1.Sistemas carburados a gasolina.....	26
4.5.2 .Sistemas carburados a gas.....	26
4.6 Diferencias En Las Mezclas De Gases Y Líquidos.....	28
4.7 Diferencias En La Propagación De La Llama.....	30
5. ESTADO DEL ARTE.....	31
5.1 Experiencias Internacionales De Evaluación De Vehículos A Gnv.....	31
5.2 Experiencias De Evaluación De Vehículos A Gnv En Campo.....	31
5.3 Experiencias De Evaluación De Vehículos A Gnv En Laboratorio.....	33
6 METODOLOGIA.....	35
6.1 Investigación y desarrollo de actividades.....	35
6.2 Sistema de combustión con GLP.....	35
6.3. Procedimiento.....	37
6.3.1 Primera Etapa De Experimentación.....	37
6.3.2 Segunda Etapa De Experimentación.....	37
8. RESULTADOS DEL PROYECTO.....	38
8.1 Primera Etapa De Experimentación.....	38
8.2 Segunda Etapa De Experimentación.....	41
8.3 Recomendaciones Finales.....	43
9. CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	47

Lista de figuras

Figura 1 Partes del motor.....	16
Figura 2. Ciclos del motor.....	18
Figura 3. Flujo de gas desde tanque a reductor de presión.....	27
Figura 4Flujo de gas desde reductor de presión a cuerpo de admisión.....	28
Figura 5. Diferencias en las mezclas de gases y de gases y líquidos.....	29
Figura 6. El calibre de las bujías y la potencia de la chispa.....	29
Figura 7 Propagación De La Llama.....	30
Figura 8. Sistema de combustión con GLP.....	36
Figura 9 Esquema de flujo combustible.....	36
Figura 10. Pistón y anillos sin desgaste	39
Figura 11. Desgaste válvulas.....	40
Figura 12. Desgaste Cabeza de Pistón.....	40
Figura 13. Avería en culata.....	42
Figura 14. Avería en bujía.....	42

Lista de tablas

Tabla 1. Poderes caloríficos y Octanaje.....	21
Tabla 2. Relación carbono – hidrogeno	23
Tabla 3. Factores de seguridad.....	24
Tabla 4Densidades energéticas.....	24
Tabla 5. Tamaño y especificaciones de la flota de vehículos.....	32
Tabla 6. Datos de la prueba a 2000RPM.....	38
Tabla 7. Datos de la prueba a 4000 RPM.....	38
Tabla 8. Datos de la prueba a 6000RPM.....	39
Tabla 9Comparación De Medidas Del Motor.....	40
Tabla 10. Datos de la prueba final.....	41

Lista de anexos

Anexo 1. Registro fotográfico.....	46
------------------------------------	----

Resumen

En el presente estudio se desarrolla un análisis e investigación sobre el uso de combustible gaseoso en motores de combustión interna, enfocándolo sobre todas las variables, cambios, y fallas que pueda tener el motor en sus diferentes estados de funcionamiento.

Para esta investigación se experimentara con una motocicleta que pertenece a la institución universitaria Pascual Bravo, a la cual se le implementara un sistema de combustión gaseosa, donde se evaluara minuciosamente posibles desgastes y fallas ocasionadas en todas sus partes mecánicas por el uso de combustible gaseoso.

Abstract

In this study is developed an analysis and research about using gaseous fuel in internal combustion engines, focusing it on all the variables, changes, and faults that may have the engine in different states of operation.

For this research experiment with a motorcycle belonging to the University Institution Pascual Bravo, at which will implement a gaseous combustion system, where is evaluated minutely any wear and failures inflicted on all mechanical parts by the use of a gaseous fuel.

INTRODUCCIÓN

En este proyecto se realizara un análisis e investigación sobre los motores de combustión interna con uso de combustible gaseoso enfocándolo sobre todas las variables, cambios, y fallas que pueda tener el motor en sus diferentes estados de funcionamiento. Estando muy de la mano de todas las técnicas y pruebas que son realizadas a todos los productos automotores por partes de sus constructores.

En este trabajo se podrá conocer a fondo el comportamiento que tienen los motores con el uso de combustible gaseoso, y de igual forma todas las reacciones mecánicas y termodinámicas que se puedan generar en todas sus piezas afectadas por dicha combustión.

A la vez se tendrá la oportunidad estudiar en general las modificaciones que son necesarias para convertir el sistema de combustión líquido a gaseoso. Todos los componentes que conforman el sistema de combustión gaseoso, al igual que su funcionamiento.

Además se podrá hacer un repaso de toda la trayectoria del uso de este combustible en el gremio automotriz en Colombia y a nivel mundial. Mostrando todos los avances tecnológicos que se han logrado con este combustible entregando un análisis de posibles ventajas y desventajas, para tener conceptos mas claros sobre su implementación.

1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Las situaciones relacionadas y los inconvenientes presentados cuando se quiere realizar el montaje y conversión del sistema de combustión gaseoso acarrear algunos problemas, ya que para ofrecer una respuesta adecuada de funcionamiento con un combustible de características un poco diferentes para el cual fue diseñado el motor, se encuentran algunas diferencias:

- Una temperatura de ignición más alta, por lo tanto presenta una exigencia más severa al sistema de encendido
- El avance de llama, la rapidez de combustión es menor, necesitándose un avance de chispa adicional.
- La naturaleza del gas como refrigerante es menor que la gasolina, con lo cual afecta la temperatura de las válvulas. Esto mismo hace que la temperatura en la cámara de combustión suba, afectando gravemente todas sus piezas mecánicas, por lo que el sistema de refrigeración debe tener mayor capacidad de absorción del calor para su disipación.
- Como positivo debemos tomar el hecho de utilizar un combustible alternativo, del cual hoy sabemos que ecológicamente el combustible gaseoso en su combustión nos da un índice muy favorable, pues tiene uno de los de menor contaminación.

2. JUSTIFICACION

En la actualidad el tecnólogo de mecánica automotriz debe tener las aptitudes necesarias para la solución de problemas en el sector de la industria automotriz, para lo cual debe aplicar todos los conocimientos adquiridos durante todo su recorrido de aprendizaje en la tecnología; el análisis e investigación sobre las fallas y desgastes ocasionadas por el uso de combustible gaseoso en motores de combustión interna se realizara bajo las normas técnicas y parámetros correspondiente a dicha área automotriz.

Esta investigación permitirá ampliar los conocimientos teóricos conocidos sobre el uso de combustible gaseoso, trasladándolos al campo practico dejando en evidencia posibles ventajas y desventajas que puedan arrojar los resultados.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo general.

Realizar análisis e investigación sobre las fallas y desgastes en los motores con combustible gaseoso.

3.2.Objetivos específicos

- Realizar todos los procedimientos teóricos y prácticos basados en normas técnicas y procedimientos de manuales automotrices.
- Realizar un seguimiento detallado de todas las variables que puedan ser medidas y censadas, en instancias anteriores y posteriores a la realización de la investigación.
- Definir un plan de procedimientos a seguir durante toda la investigación. Semejante al utilizado por los constructores automotrices con sus productos, con el fin de simular y estandarizar los procesos con los de la industria.
- Definir de acuerdo a los resultados, ventajas y desventajas producidas en este tipo de sistemas.
- Investigar más a fondo sobre este tipo de sistema de combustión.
- Realizar las pruebas y correctivos correspondientes del motor en circunstancias anteriores y posteriores de haberse implementado el sistema de combustión gaseosa.

4. REFERENTES TEORICOS

4.1. Motor De Combustión Interna.

Un motor de combustión interna, es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión., entregando algunas variables medibles, tomadas como características que dan a conocer su funcionalidad:[1]

- Rendimiento: es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida. Habitualmente se representa con la letra griega η .
- Velocidad nominal: es la velocidad angular del cigüeñal, es decir, el número de revoluciones por minuto (RPM) a las que gira. Se representa por la letra n .
- Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1 CV igual a 736 vatios.
- Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro. Se mide en $\text{kg}\cdot\text{m}$ (kilogramos por metro) o lo que es lo mismo newton-metro (Nm), siendo 1 kgm igual a 9,81 Nm ($9,81 \text{ kg}\cdot\text{f}\cdot\text{m}$).

4.1.1. Partes Principales Del Motor.

Desde el punto de vista estructural, el cuerpo de un motor se compone de tres secciones principales: Culata, Bloque y Cártier.[1]

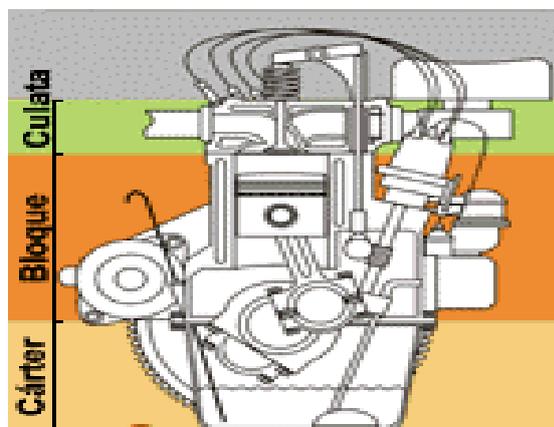


Figura 1. Partes del motor [8]

- **La Culata**

Constituye una pieza de hierro fundido (o de aluminio en algunos motores), que va colocada encima del bloque del motor. Su función es sellar la parte superior de los cilindros para evitar pérdidas de compresión y salida inapropiada de los gases de escape. En la culata se encuentran situadas las válvulas de admisión y de escape, así como las bujías.

- **El Bloque**

En el bloque están ubicados los cilindros con sus respectivas camisas, que son cavidades practicadas en el mismo, por cuyo interior se desplazan los pistones. Estos últimos se consideran el corazón del motor

La cantidad de cilindros que puede contener un motor es variable, así como la forma de su disposición en el bloque.

El bloque del motor debe poseer rigidez, poco peso y poca dimensión, de acuerdo con la potencia que desarrolle.

- **El Cáster**

Es el lugar donde se deposita el aceite lubricante que permite lubricar el cigüeñal, los pistones, el árbol de levas y otros mecanismos móviles del motor.

Durante el tiempo de funcionamiento del motor una bomba de aceite extrae el lubricante del cárter y lo envía a los mecanismos que requieren lubricación.[3]

4.1.2 Partes Secundarias Del Motor

- **Carburador.** Mezcla el combustible con el aire en una proporción de 1:10 para proporcionar al motor la energía necesaria para su funcionamiento. Esta mezcla la efectúa el carburador en el interior de un tubo con un estrechamiento practicado al efecto, donde se pulveriza la gasolina por efecto venturi. [2,3,4]
- **Bobina de encendido o ignición.** Dispositivo eléctrico perteneciente al sistema de encendido del motor, destinado a producir una carga de alto voltaje o tensión. La bobina de ignición constituye un transformador eléctrico, que eleva por inducción electromagnética la tensión entre los dos enrollados que contiene en su interior. El enrollado primario de baja tensión se conecta a la batería de 12 volt, mientras que el enrollado secundario la transforma en una corriente eléctrica de alta tensión de 15 mil ó 20 mil volt. Esa corriente se envía al distribuidor y éste, a su vez, la envía a cada una de las bujías en el preciso momento que se inicia en cada cilindro el tiempo de explosión del combustible.[5]

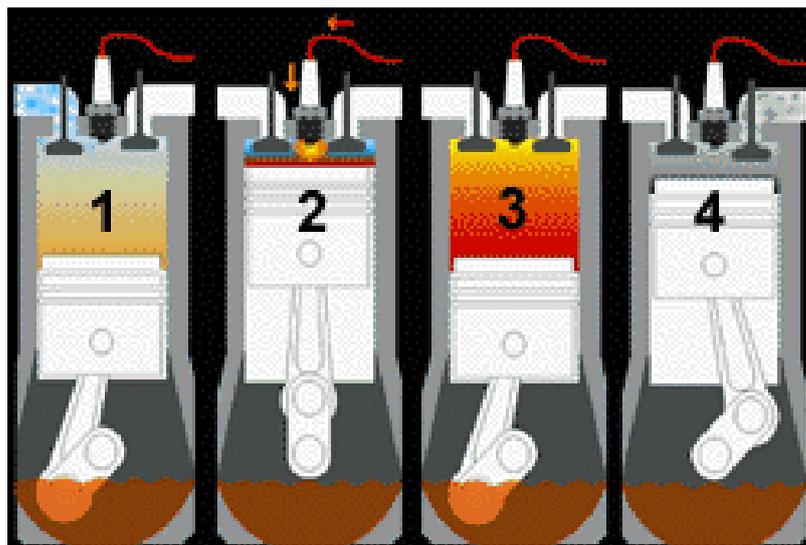
- **Bujía.** La función de la bujía es hacer saltar en el electrodo una chispa eléctrica dentro de la cámara de combustión del cilindro cuando recibe la carga de alta tensión procedente de la bobina de ignición y del distribuidor. En el momento justo, la chispa provoca la explosión de la mezcla aire-combustible que pone en movimiento a los pistones. [7, 8]
- **Válvula de escape.** Pieza metálica en forma de clavo grande con una gran cabeza, cuya misión es permitir la expulsión al medio ambiente de los gases de escape que se generan dentro del cilindro del motor después que se quemó la mezcla aire-combustible durante el tiempo de explosión.
- **Válvula de admisión.** Válvula idéntica a la de escape, que normalmente se encuentra junto a aquella. Se abre en el momento adecuado para permitir que la mezcla aire-combustible procedente del carburador, penetre en la cámara de combustión del motor para que se efectúe el tiempo de admisión.
- **Cámara de combustión.** Espacio dentro del cilindro entre la culata y la parte superior o cabeza del pistón, donde se efectúa la combustión de la mezcla aire-combustible que llega del carburador. La capacidad de la cámara de combustión se mide en cm³ y aumenta o disminuye con el movimiento alternativo del pistón. Cuando el pistón se encuentra en el PMS (Punto Muerto Superior) el volumen es el mínimo, mientras que cuando se encuentra en el PMI (Punto Muerto Inferior) el volumen es el máximo. [7, 8]
- **Árbol de levas.** Eje parecido al cigüeñal, pero de un diámetro mucho menor, compuesto por tantas levas como válvulas de admisión y escape tenga el motor. Encima de cada leva se apoya una varilla empujadora metálica, cuyo movimiento alternativo se transmite a los balancines que abren y cierran las válvulas de admisión o las de escape.
El árbol de levas se encuentra sincronizado de forma tal que efectúa medio giro por cada giro completo del cigüeñal.
- **Anillos del pistón.** Los anillos son unos segmentos de acero que se alojan en unas ranuras que posee el pistón. Los hay de dos tipos: y rascador de aceite.
Normalmente cada pistón posee tres ranuras para alojar los anillos. Las dos primeras la ocupan los dos anillos de compresión o fuego, mientras que la última la ocupa un anillo rascador de aceite.
Los anillos de compresión son lisos, mientras que el aro rascador de aceite posee pequeñas aberturas a todo su alrededor para facilitar la distribución pareja del lubricante en la superficie del cilindro o camisa por donde se desplaza el pistón.[9]

- **Pistón.** El pistón constituye una especie de cubo invertido, de aluminio fundido en la mayoría de los casos, vaciado interiormente. En su parte externa posee tres ranuras donde se insertan los anillos de compresión y el anillo rascador de aceite. Mas abajo de la zona donde se colocan los aros existen dos agujeros enfrentados uno contra el otro, que sirven para atravesar y fijar el bulón que articula el pistón con la biela.[5]
- **Biela.** Es una pieza metálica de forma alargada que une el pistón con el cigüeñal para convertir el movimiento lineal y alternativo del primero en movimiento giratorio en el segundo.
- **Cigüeñal.** Constituye un eje con manivelas, con dos o más puntos que se apoyan en una bancada integrada en la parte superior del cárter y que queda cubierto después por el propio bloque del motor, lo que le permite poder girar con suavidad. [5]

4.2 Funcionamiento De Un Motor De Cuatro Tiempos

Los motores de combustión interna pueden ser de dos tiempos, o de cuatro tiempos, siendo los motores de gasolina o gas de cuatro tiempos los más comúnmente utilizados en los coches o automóviles y para muchas otras funciones en las que se emplean como motor estacionario.

Como el funcionamiento es igual para todos los cilindros que contiene el motor, tomaremos como referencia uno sólo, para ver qué ocurre en su interior en cada uno de los cuatro tiempos:[2, 3,4]



Admisión-Compresión-Explosión-Escape

Figura 2. Ciclos del motor[9]

- **Primer tiempo, Admisión:** Al inicio de este tiempo el pistón se encuentra en el PMS (Punto Muerto Superior). En este momento la válvula de admisión se encuentra abierta y el pistón, en su carrera o movimiento hacia abajo va creando un vacío dentro de la cámara de combustión a medida que alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior), ya sea ayudado por el motor de arranque cuando ponemos en marcha el motor, o debido al propio movimiento que por inercia le proporciona el volante una vez que ya se encuentra funcionando. El vacío que crea el pistón en este tiempo, provoca que la mezcla aire-combustible que envía el carburador al múltiple de admisión penetre en la cámara de combustión del cilindro a través de la válvula de admisión abierta.
- **Segundo tiempo, Compresión:** Una vez que el pistón alcanza el PMI (Punto Muerto Inferior), el árbol de leva, que gira sincrónicamente con el cigüeñal y que ha mantenido abierta hasta este momento la válvula de admisión para permitir que la mezcla aire-combustible penetre en el cilindro, la cierra. En ese preciso momento el pistón comienza a subir comprimiendo la mezcla de aire y gasolina que se encuentra dentro del cilindro.
- **Tercer tiempo, Explosión:** Una vez que el cilindro alcanza el PMS (Punto Muerto Superior) y la mezcla aire-combustible ha alcanzado el máximo de compresión, salta una chispa eléctrica en el electrodo de la bujía, que inflama dicha mezcla y hace que explote. La fuerza de la explosión obliga al pistón a bajar bruscamente y ese movimiento rectilíneo se transmite por medio de la biela al cigüeñal, donde se convierte en movimiento giratorio y trabajo útil.
- **Cuarto tiempo, Escape:** El pistón, que se encuentra ahora de nuevo en el PMI después de ocurrido el tiempo de explosión, comienza a subir. El árbol de leva, que se mantiene girando sincrónicamente con el cigüeñal abre en ese momento la válvula de escape y los gases acumulados dentro del cilindro, producidos por la explosión, son arrastrados por el movimiento hacia arriba del pistón, atraviesan la válvula de escape y salen hacia la atmósfera por un tubo conectado al múltiple de escape.

De esta forma se completan los cuatro tiempos del motor, que continuarán efectuándose ininterrumpidamente en cada uno de los cilindros. [2, 3,4, 9]

4.3 Combustibles

Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se cambia o transforma su estructura química. Supone la liberación de una energía de su forma potencial a una forma utilizable (por ser una reacción química, se conoce como energía química). En general se trata de sustancias susceptibles de quemarse. [11]

4.3.1 Tipos De Combustibles

Hay varios tipos de combustibles. Entre los combustibles sólidos se incluyen el carbón, la madera y la turba. Entre los combustibles fluidos, se encuentran los líquidos como el gasóleo, el queroseno o la gasolina (o nafta) y los gaseosos, como el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano. Las gasolinas, gasóleos y hasta los gases, se utilizan para motores de combustión interna[12].

- **Gasolina**

Tiene una densidad de 720 g/L (un 15% menos que el gasoil, que tiene 850 g/L). Un litro de gasolina tiene una energía de 34,78 mega julios, aproximadamente un 10% menos que el gasoil, que posee una energía de 38,65 mega julios por litro de carburante. Sin embargo, en términos de masa, la gasolina tiene una energía de 48,31 MJ/Kg frente a los 45,47 MJ/Kg del gasóleo.

Las gasolinas no son un producto directo del refinado del petróleo, sino que se tratan de naftas especialmente acondicionadas para su uso como carburante de motores de combustión interna con encendido mediante chispa.

- **Diesel**

Está compuesto por un 75% hidrocarburos saturados (principalmente parafinas) y un 25% hidrocarburos aromáticos. El promedio de la fórmula química para Diesel común es $C_{12}H_{26}$, variando entre $C_{10}H_{22}$ a $C_{15}H_{32}$

Así como el octano mide la calidad de ignición de la gasolina, el índice de cetano mide la calidad de ignición de un diesel. Es una medida de la tendencia del diesel a cascabelear en el motor. La escala se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos, Cetano (n-hexadecano) y Heptametilnonano

Típicamente los motores diesel se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición. En las gasolinas, el número de octano de las parafinas disminuye a medida que se incrementa la longitud de la cadena, mientras que en el diesel, el índice de cetano se incrementa a medida que aumenta la longitud de la cadena.[12]

4.3.2 Características

- **Poder Calorífico**

La principal característica de un combustible es su poder calorífico, que es el calor desprendido por la combustión completa de una unidad de masa (kilogramo) de combustible. Este calor o poder calorífico, también llamado capacidad calorífica, se mide en Joule o julio, caloría o BTU, dependiendo del sistema de unidades.

- **Octanaje**

El octanaje o índice de octano es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible (como la gasolina) a detonar prematuramente cuando es comprimido dentro del cilindro de un motor.

Algunos combustibles, como el GLP, GNL, etanol y metanol, dan un índice de octano mayor de 100.

Este índice se establece con una mezcla de referencia (patrón), que está formada por 2 hidrocarburos: heptano e isoctano. El isoctano posee índice 100 octanos. Para establecer el patrón de 80 octanos, se mezcla 80% de isoctano con 20% de heptano.

Dicho índice de octano se obtiene por comparación del poder detonante de la gasolina con el de una mezcla de heptano e isoctano. Al isoctano se le asigna un poder antidetonante de 100 y al heptano de 0, de esta manera una gasolina de 95 octanos correspondería en su capacidad antidetonante a una mezcla con el 95% de isoctano y el 5% de heptano.

Si el combustible no tiene el índice de octano suficiente en motores con elevadas relaciones de compresión (oscilan entre 8,5 y 10,5), se producirá el "autoencendido" de la mezcla, es decir, la combustión es demasiado rápida y dará lugar a una detonación prematura en la fase de compresión, que hará que el pistón sufra un golpe brusco y se reduzca drásticamente el rendimiento del motor, llegando incluso a provocar graves averías. [11,12]

Tabla 1. Poderes caloríficos y Octanaje [12]

GASES	Índice de octano	Poder calorífico cal/Kg.
Metano	125	11.500
Propano	125	11.000
LÍQUIDOS	Índice de octano	Poder calorífico cal/kg
Gasolina 95	95	10.400
Gasolina 98	98	10.550

- **Avance De Encendido**

Un mayor avance de encendido ayuda a desarrollar mayor potencia durante la aceleración del motor. Sin embargo este avance es limitado por el fenómeno de la detonación. A mayor índice de octanos mayor avance permisible.

Si se utiliza la misma bencina a nivel del mar que en altura, el motor acepta un avance mayor de encendido. Este ajuste es recomendable hacerlo ya que a mayor altitud el valor de la presión atmosférica disminuye y por consiguiente la densidad de la mezcla.

- **Detonación De La Gasolina**

Una vez encendida la mezcla, la llama se propaga a través de la mezcla comprimida alejándose de la bujía, hacia los confines de la cámara de combustión.

La llama producida por la combustión de la gasolina normalmente se propaga a una velocidad de 40 a 50 metros por segundo. Cuando se produce el fenómeno de detonación la llama puede alcanzar los 1.000 metros por segundo.

- **Pre-Ignición**

Este tipo de combustión anormal es generada por exceso de carbón depositado en el pistón y la culata. Se manifiesta produciendo detonación y en algunos casos auto encendido. Este último se hace evidente cuando el motor sigue girando a pesar de que se ha cortado el encendido.

- **Relación De Compresión**

Relación de compresión, es la relación que existe entre el volumen de la cámara de combustión y el volumen del cilindro más la suma del volumen de la propia cámara.

Las relaciones de compresión oscilan entre 8'5 a 1 y 10'5 a 1.

Por tanto debemos utilizar la gasolina cuyo número de octano sea apropiado a nuestro motor, en función de su relación de compresión, cuanta mayor relación de compresión, gasolina de mayor octanaje.

Si se utiliza una gasolina de menor número de octanaje que el adecuado, se produce un fenómeno denominado detonación o pre-encendido [11,12]

4.4 Combustibles Gaseosos

4.4.1GNCV: Gas Natural Comprimido Vehicular

Combustible gaseoso prácticamente METANO, CH₄, (80 – 99 %), procedente de yacimientos diferentes a los petrolíferos y de los que existen abundantes reservas. También tiene origen de gases biológicos derivados de la degradación biológica de material orgánico. [10, 13]

Puesto que el gas natural es un gas, para que rinda dentro del vehículo y minimizar las veces que se debe abastecer, se debe comprimir a 207 bares de presión (3000 psi) y almacenar en tanques muy seguros especialmente diseñados. A este gas comprimido se le llama Gas Natural Comprimido para Vehículos – GNCV ó GNV.

El gas natural ofrece ventajas muy importantes con respecto a otros combustibles en lo que se refiere a la calidad, a las emisiones y a la seguridad.

Un combustible es ambientalmente más puro entre menos carbón tenga en su molécula. El gas natural es el combustible fósil más liviano con la más alta relación hidrógeno / carbono de 4, como se observa en la siguiente tabla, en donde también se presenta la relación hidrógeno / carbono de otros combustibles.[13]

Tabla 2. Relación carbono – hidrogeno. [12]

Combustible	Composición	Relación Hidrógeno /Carbono
Diesel	C16-H34	2,10
Gasolina	C8-H18	2,25
GLP	C3-H8	2,67
Gas natural	C – H4	4,00

Por su carácter gaseoso el GNV permite una combustión mucho mejor y más limpia que la de gasolina. A continuación se presentan dos análisis típicos de gases de exhosto de vehículos, uno con gasolina y otro con GNV. Como se puede apreciar de dichos análisis la producción de monóxido de carbono CO, es mucho menor con GNV que con gasolina. Así mismo, se produce menos CO₂ e hidrocarburos no quemados lo cual es absolutamente beneficioso para el medio ambiente.

Adicionalmente el gas natural y concretamente el GNV como lo veíamos anteriormente en las características de los combustibles tiene un alto número de octano, que es la capacidad antidetonante de un combustible para evitar el cascabeleo del motor y permitir una conversión eficiente de la energía química, almacenada en el combustible, en energía mecánica o de movimiento. En la siguiente tabla, se compara el número de octano del gas natural con la gasolina. [13]

En términos de seguridad, el gas natural por ser un combustible gaseoso, más liviano que el aire, se disipa y tiende a subir rápidamente en el aire en caso de un escape de los diferentes sistemas, en un vehículo, en una estación de servicio o una línea de conducción.

En la siguiente tabla se evalúan los factores de seguridad para diferentes combustibles, siendo el gas natural y el propano los más seguros.[13]

Tabla 3. Factores de seguridad. [13]

FACTOR DE SEGURIDAD						
COMBUSTIBLE	TOXICIDAD EN EL AIRE	CONTAMINACION EN EL SUELO	VAPORES DE COMBUSTION	TOXICIDAD DEL COMBUSTIBLE	LUMINOSIDAD DE LA FLAMA	POTENCIAL DE DETONACION
Metanol	2	3	2	3	3	2
Etanol	1	1	2	1	1	2
Gasolina	2	2	0	2	0	3
ACPM	2	2	0	2	0	2
GLP	0	1	0	1	0	3
Propano	0	0	0	0	0	2
Gas Natural	0	0	0	0	0	1

Nomenclatura:

0 = Sin Riesgo

1 = Poco Riesgo

2 = Riesgo Moderado

3 = Alto Riesgo

En circunstancias de densidad energética el gas es malo, debido a que el gas natural comprimido para vehículos, GNV, se maneja como gas, su densidad energética es baja comparada con la gasolina líquida, aproximadamente cinco (5) veces menos. En la siguiente figura se comparan las densidades energéticas de diferentes combustibles con respecto a la gasolina:[11, 13]

Tabla 4. Densidades energéticas. [16]

DENSIDAD ENERGETICA KILOMETROS POR LITRO	
GNV	20%
METANOL	50%
ETANOL	65%
GLP	80%
GASOLINA	95%
DIESEL	125%

Adicionalmente, es importante hablar sobre las eficiencias comparativas de motores a gas, gasolina y ACPM.

Un vehículo a gas natural hace los mismos kilómetros por galón equivalente que un vehículo a gasolina. Sin embargo, un vehículo a gas natural pierde entre un 10% a un 15% de potencia, dependiendo de la altura, que se manifiesta en términos de aceleración. Esta disminución de potencia no es crítica especialmente cuando se trata de transporte de pasajeros como es el de buses y taxis. En un vehículo a gasolina al que se le ha adaptado un “kit” de conversión para utilizar gas natural o gasolina, se puede observar una pequeña pérdida de potencia cuando opera con gas, que puede ser para alturas mayores de 2600 msnm como la ciudad de Santafé de Bogotá, del orden del 10-15%, reflejada principalmente en menor “pique”. Pero esto no es crítico y será substancialmente mejorado cuando se tengan vehículos totalmente dedicados, es decir motores diseñados para trabajar solamente con gas. Para el caso de vehículo de transporte pesado a Diesel o ACPM el gas natural tiene, en algunos motores, un consumo de combustible equivalente del 25% más alto, que se irá mejorando a medida que los desarrollos tecnológicos de motores a gas se vayan refinando. [14]

4.4.2GLP: GAS LICUADO DEL PETROLEO

Mezclas de Propano y Butano, en proporciones que dependen de su procedencia. Se derivan del petróleo crudo durante sus procesos de refinación. Se utiliza para los motores con encendido por chispa. Tiene un rendimiento Termodinámico Menor que los demás combustibles, no produce Humos y partículas de Hollín por ser un combustible ligero, menores emisiones que los combustibles líquidos, usando convertidores pueden reducirse considerablemente.

Para el adecuado Octanaje que requiere el motor de acuerdo con su relación de compresión es importante conocer el MON de la mezclas de gases que compone el LPG.

Un octanaje menor que el requerido puede producir golpeteo de pistones (“cascabeleo”) como cuando se usa gasolina corriente donde se requiere Extra.

POR EJEMPLO: un requerimiento en gasolina de 87 Octanos, en LPG se requiere 89 Octanos. (CEN: European Comitite for Standardization).[14]

4.4.3 Diferencia Entre El GNV Y El GLP

- ✓ El GNV, a pesar de estar comprimido a 207 bares (3000 psi) de presión sigue siendo un gas. El gas natural a temperatura ambiental no se puede licuar por más alta que sea su presión.

- ✓ En cambio el gas licuado del petróleo, gas propano o GLP, aunque a temperatura ambiental es un gas, se puede licuar cuando se presiona a 6.9 bares (100 psi) o más. Esto quiere decir que los cilindros de GLP (Líquido) tienen mucho menos presión que los cilindros de GNV (gas).
- ✓ La presión a la que falla un cilindro de GNCV es aproximadamente 15 veces más grande que la presión a la que falla el cilindro de GLP o propano.
- ✓ Así es que es **TOTALMENTE PROHIBIDO** utilizar un cilindro de GLP o propano en el servicio automotor de GNCV o gas natural automotor. Si se hiciera, el cilindro de propano de más baja presión explotará al recibir la alta presión del GNV, causando muerte y destrozos materiales
- ✓ En términos de seguridad el GNCV es más seguro que el GLP. En caso de un escape el GNV se disipa rápidamente por ser más liviano que el aire. No sucede lo mismo con el GLP que es más pesado que el aire y por lo tanto en caso de escape, la nube que se forma tiende a bajar con mayor probabilidad [14]

4.5 Funcionamiento De Un Motor Con Combustible Gaseoso

4.5.1 Sistemas Carburados A Gasolina:

El funcionamiento en un sistema carburado es: Al girar el motor, se acciona la bomba de combustible que succiona la gasolina del tanque y la introduce al depósito del carburador. La función del depósito (O cuba de carburador), es la de mantener el combustible para que pueda fluir rápida y fácilmente por todos los circuitos del carburador, según las necesidades y requerimientos del motor. La succión del motor crea un vacío en las boquillas, que a su vez succiona combustible del depósito, saliendo hacia el cuerpo central del carburador en donde se mezcla con el aire. La mezcla aire combustible fluye hacia los cilindros y entra a los mismos cuando la(s) válvula(s) de admisión se abre(n). La mezcla es comprimida y en la última etapa de movimiento del pistón, se produce un arco voltaico (Chispa en la bujía), que enciende la mezcla.[5, 10 13,14]

4.5.2Sistemas Carburados A Gas: [8]

El gas natural se encuentra almacenado en los cilindros a una presión cercana a 3.000 psi.Por las válvulas de suministro, el gas (Debido a la presión) llega al regulador. En el regulador la presión del gas se reduce hasta alcanzar valores cercanos a 5 psi en vehículos de alta cilindrada, y a valores cercanos a 2,5 en los de baja cilindrada. El proceso de reducción se puede hacer en tres o dos etapas. Cada etapa cuenta con un diafragma y un tornillo de regulación, que permite la expansión controlada del gas bajando su presión.[5,10, 13,14]

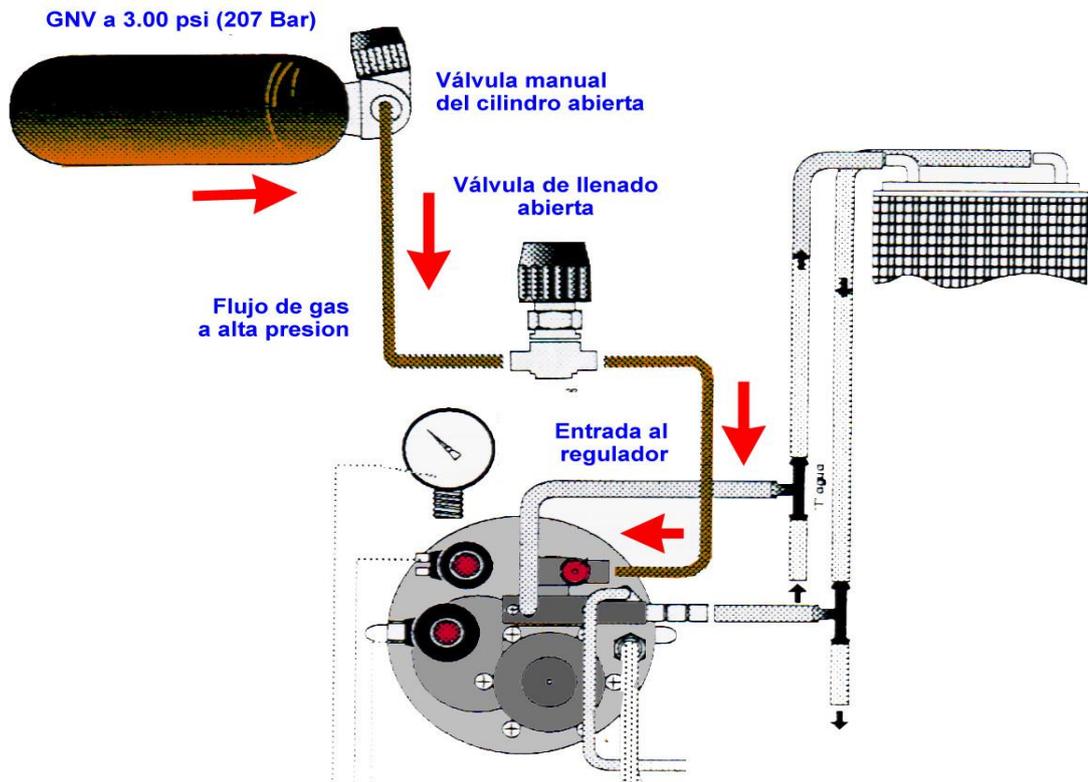


Figura 3. Flujo de gas desde tanque a reductor de presión [14]

El regulador más comúnmente utilizado es el de tres etapas. En el regulador de dos etapas, la 1ª y 2ª son utilizadas para reducir la presión, la 3ª se utiliza para dosificar el gas hacia el motor de tres maneras: Dosificándola mecánicamente con un tornillo de paso ancho o paso amplio. Con un tornillo de paso fino o paso de precisión y por medio del vacío del motor, el cual mueve el diafragma interno.

Es de primordial importancia que el regulador se encuentre calentado por el sistema de refrigeración, ya que en caso contrario, se congelaría y obstruiría el paso de gas, así como se fragilizaría el metal que lo compone. [5, 13,14]

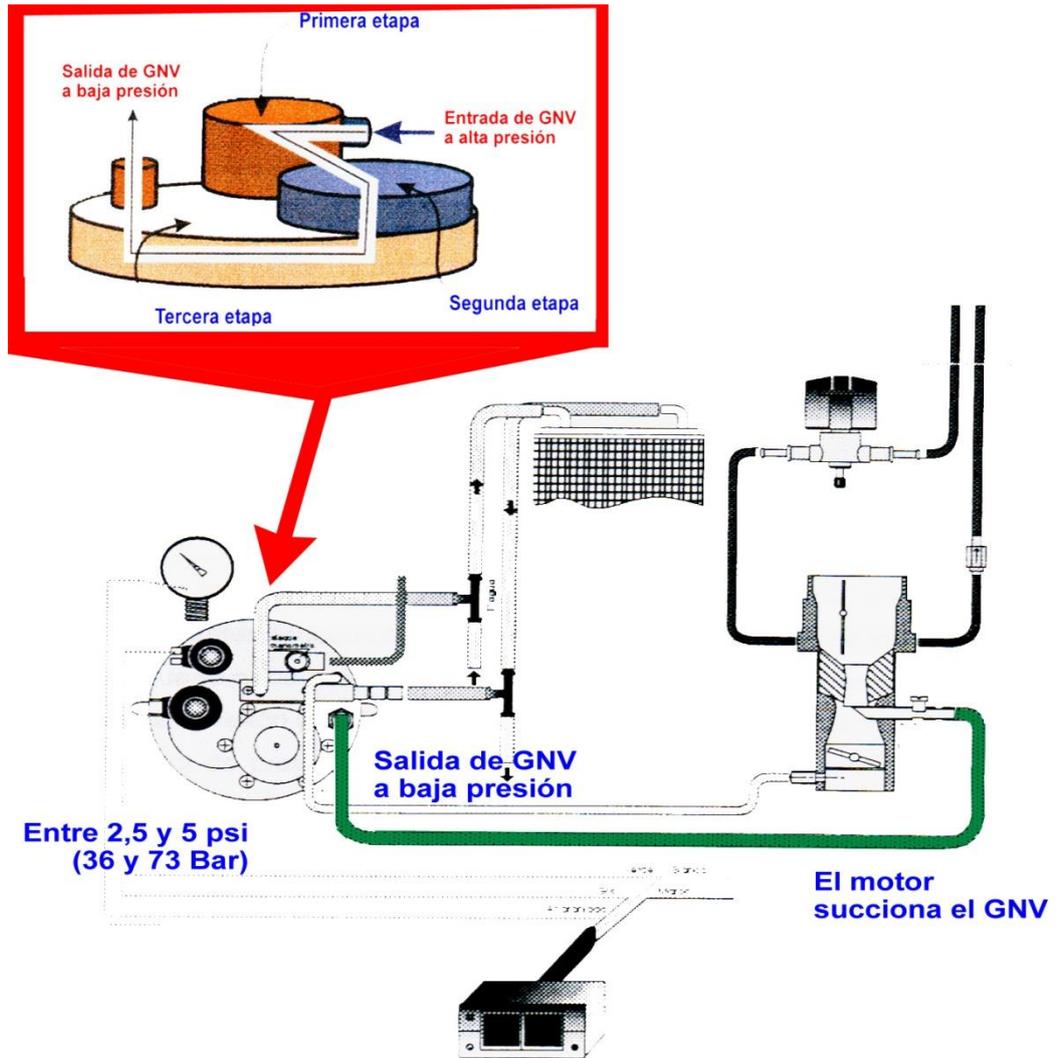


Figura 4. Flujo de gas desde reductor de presión a cuerpo de admisión [14]

Después de alcanzar la presión necesaria el gas llega al mezclador. En este último debido a la succión del motor sale el gas y se mezcla con el aire.

Al encender el motor y estar este aspirando la mezcla gas-aire el proceso de combustión cambia ligeramente: [5, 13,14]

4.6 Diferencias En Las Mezclas De Gases Y Líquidos

El gas natural por sus características y estado físico (Gaseoso), se mezcla más completamente con el aire formando una mezcla mucho más homogénea que la que se encuentra con combustibles líquidos debido a su mayor número de octano RON (130), su temperatura de ignición es mayor (Cerca de 700°C). [15]

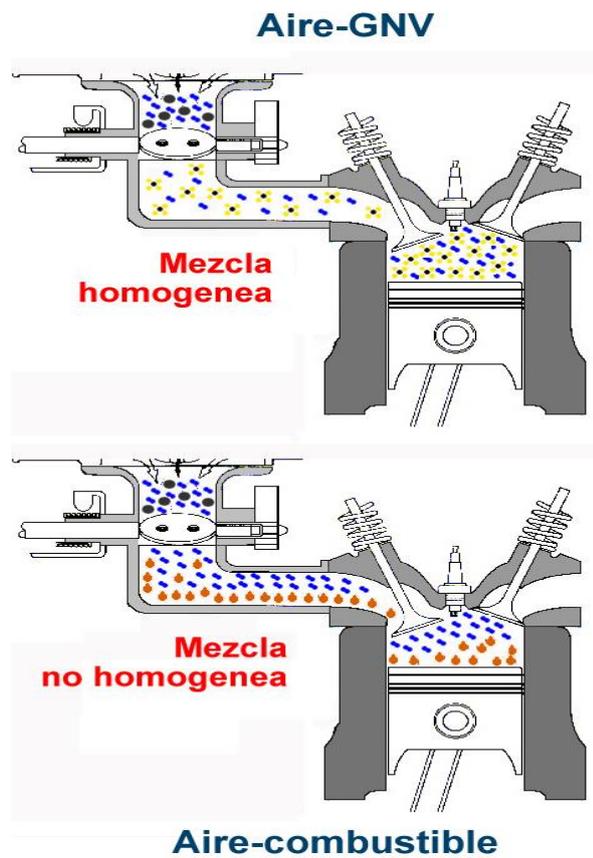


Figura 5. Diferencias en las mezclas de gases y de gases y líquidos [15]

Por ello el sistema de encendido debe contar con una mayor potencia en la chispa eléctrica. Esto se puede lograr fácilmente, aumentando el calibre en las bujías, lo cual incrementará el voltaje del salto.[15]

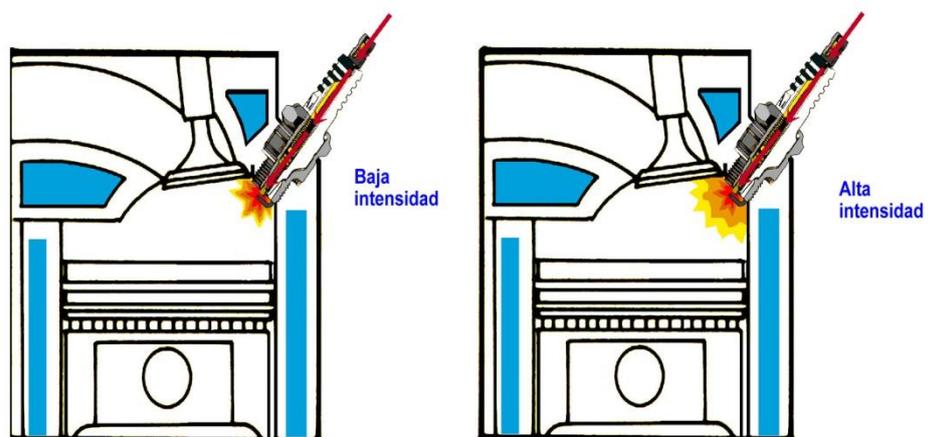


Figura 6. El calibre de las bujías y la potencia de la chispa [15]

4.7 Diferencias En La Propagación De La Llama.

Debido a la baja temperatura del GNCV (En la cámara), la velocidad de expansión del frente de llama es menor. Es decir el tiempo que le toma a toda la mezcla aire-gas en quemarse es mayor. La ignición se hace alrededor de las bujías y se va expandiendo lentamente hasta alcanzar las paredes de la cámara. Debido a este mayor tiempo, es necesario aumentar el avance de encendido. El incremento del avance de encendido es fijo y cada módulo de adelanto de avance, cuenta con tres o cuatro opciones. Es decir en forma permanente se puede aumentar un valor de avance sobre el de normal funcionamiento del motor (6, 9, 15, 17 grados)

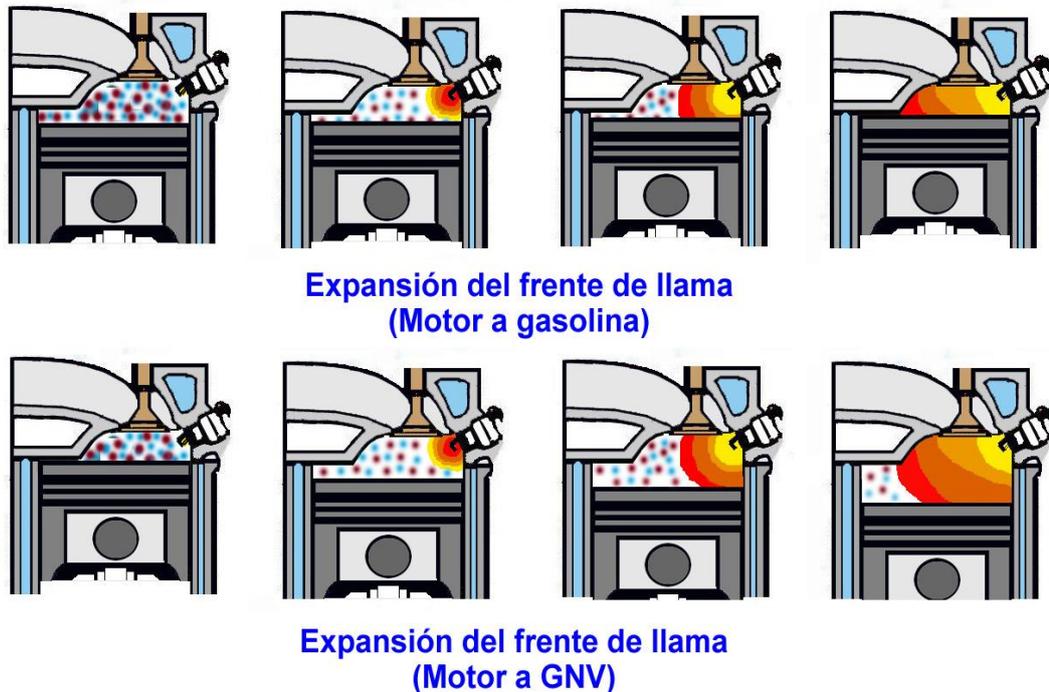


Figura 7. Propagación De La Llama [15]

Todos los motores, cuentan con un límite en el avance total; al aumentar en grados el avance de encendido, el avance total se alcanza más rápidamente (A una velocidad menor a la de fabricación), por lo que a altas velocidades se notará una merma en la potencia. (Cercana al 15%)

De igual forma la temperatura promedio después de la combustión cuenta con un ligero incremento (Entre 7 y 3 %), En un vehículo a gasolina la temperatura promedio en la cámara se encuentra entre 500 y 600 °C, en vehículos convertidos a GNCV, la temperatura se encontraría entre 515 y 750 °C, por lo que el estado de los asientos de las válvulas debe ser el adecuado, o en caso contrario se degradaría rápidamente.[15]

5. ESTADO DEL ARTE

5.1 Experiencias Internacionales De Evaluación De Vehículos A Gnv

En este capítulo se describirán algunas de las experiencias en evaluación de vehículos a combustible gaseoso, auspiciadas por el Departamento de Energía del los Estados Unidos de América (DOE por sus siglas en Inglés) en la década pasada.

Las experiencias seleccionadas permiten ampliar la visión sobre las posibles aplicaciones del GNV, y los beneficios que se pueden obtener con su uso. Además servirán como base para comparar los diferentes procedimientos utilizados en la evaluación de vehículos a GNV en otros países y contrastar sus resultados con los que se obtengan al evaluar en las condiciones típicas de operación de nuestro país.

Con el objeto de entender la metodología de las pruebas y el alcance de los resultados obtenidos en las evaluaciones de vehículos con combustible gaseoso que se presentarán más adelante, se realizo dos tipos de pruebas distintas pero que se complementan para dar unos mejores resultados.[16]

- **Evaluación mediante pruebas de operación normal en campo.** Las cuales son basadas en la experiencia y perspicacia del conductor.
- **Evaluación de desempeño en condiciones de laboratorio.** Las cuales son basadas en normas técnicas SAE y protocolos severos de experimentación.

5.2 Experiencias De Evaluación De Vehículos A Gnv En Campo

A continuación se presentan dos casos reales de empresas dedicadas a diferentes actividades, que convirtieron o reemplazaron parte de los vehículos de su flota para poder utilizar el GNV como combustible.

El primer caso corresponde a una compañía de recolección de basura en New York (USA), y el segundo a una empresa de taxis en Washington (USA). [16]

• Objetivos

Evaluar el comportamiento mecánico de camiones recolectores de basura equipados con motores dedicados a GNV, frente a camiones diesel que venían siendo utilizados por la compañía de aseo de la ciudad de New York (USA).

Evaluar la viabilidad técnica y financiera de operar una flota de taxis con vehículos a GNV en la ciudad de Washington.

Tabla 5. Tamaño y especificaciones de la flota de vehículos

CAMIONES DE BASURA NEW YORK	
No de vehículos	6
Motor	Cummins L10
Cilindraje	10 Litros
Potencia	240 H.P.
Torque	750 Lb.Pie
Peso Bruto Vehicular	70.000 Lb
Capacidad de los tanques	36 galones equivalentes de diesel
Acumulado de kilometraje	96000km

TAXIS WASHINGTON	
No de vehículos	15
Tipos de automóviles	5 Chevrolet Caprice Bi - combustible (Gasolina-GNV) y 10 Ford Crown Victoria dedicados a GNV.
Acumulado de kilometraje	1650 km por semana

• **Resultados**

- **Economía y autonomía en el uso del combustible.**

La eficiencia en el uso del combustible observada en los camiones accionados por GNV fue entre un 5% y un 20% menor que la de los vehículos a diesel. Esta diferencia coincide con la encontrada normalmente entre los motores de encendido por chispa y los motores diesel.

- **Reparación y mantenimiento**

Al inicio del proyecto, uno de los vehículos presentó problemas con el motor cuando un pistón se fundió a la cámara de combustión. La causa se encontró en un inadecuado control de la mezcla de aire – combustible.

Al igual que los cables de alta que también tenían que ser cambiados cada seis meses. Con la experiencia obtenida en la solución de esta falla, fue posible corregir los camiones restantes para evitar situaciones similares.

De los quince taxis, 13 fueron convertidos utilizando componentes electrónicos, y dos con kits de conversión compuestos en su mayoría por componentes mecánicos. Estos últimos, al momento del informe, habían operado por 160.000 km sin fallas. Por otro

lado, el 40% de los kits de conversión electrónicos fallaron en el primer año de instalación.

La compañía de Taxis Aire Limpio acumulo más de 2.08 millones de kilómetros recorridos con sus quince vehículos a GNV y reportó que no tuvieron problemas inusuales de mantenimiento en sus vehículos. De hecho, la compañía ha prolongado los períodos entre cambios de aceite, pasando de cada 3000 km a cada 9600 km, con base en el conocimiento de la combustión más limpia de los motores a GNV.

Esta empresa de taxis utiliza el mismo aceite utilizado regularmente en los motores a gasolina. No obstante, han cambiado las bujías y los cables de alta originales por elementos similares pero de alto rendimiento, como es el caso de bujías con electrodos de platino. [16]

5.3 Experiencias De Evaluación De Vehículos A Gnv En Laboratorio

La importancia de las evaluaciones de vehículos en condiciones de laboratorio radica en que es posible controlar muchas de las variables que afectan su desempeño, tales como: hábitos de manejo del conductor, condiciones ambientales del lugar de prueba y ciclos de carga a que se somete el vehículo.[16]

• Programa de pruebas

El programa de pruebas de vehículos con combustibles alternativos realizado por el DOE comprendió los siguientes ensayos:

• Medición de la aceleración del vehículo

Se efectúan tres pruebas:

- 1- Se mide el tiempo que toma el vehículo en llegar hasta 60 mph, partiendo desde una posición de reposo y con el acelerador a fondo. La prueba se realiza tanto con el vehículo cargado como descargado.
- 2- Se mide el tiempo que gasta el vehículo en alcanzar las 60 mph, arrancando desde 40 mph. con el acelerador a fondo (simulación de sobrepaso)
- 3- Se mide el tiempo transcurrido y la velocidad final del vehículo después de recorrer un cuarto de milla con el acelerador a fondo. El resultado es el promedio de seis ensayos.

• Ensayo de economía de combustible

El consumo de combustible en ciudad se determinó usando un ciclo de conducción urbana - una distancia de 2 millas con 8 paradas. Para el consumo de combustible en carretera se utilizó un ciclo de conducción promedio de 70 mph sin detenciones. Se alternaron ciclos urbanos y ciclos de carretera hasta completar un recorrido de 150 millas. Los resultados están reportados con un 70% de conducción en carretera.

- **Capacidad de arranque en frío**

Se mantiene el vehículo a - 20 °F en un cuarto con temperatura controlada por un tiempo mínimo de 12 horas, luego se arranca el vehículo y se registra el tiempo que toma el motor en arrancar y la velocidad de ralentí. Si el vehículo arranca, entonces se debe efectuar nuevamente la prueba a -20 °F como confirmación. Si el vehículo no arranca en el primer intento, repita el procedimiento a una temperatura mayor hasta determinar la mínima temperatura de arranque.

- **Tipo de vehículos probados**

Los ensayos se realizaron sobre un grupo de 5 vehículos, año modelo 1999 conformado por 2 camionetas, 2 automóviles y un vehículo de pasajeros multipropósito. También se probaron dos camionetas; una tipo Van y la otra una pick up. Cabe mencionar que todos los vehículos probados fueron diseñados de fábrica para operar con GNV.

- **Procedimiento de prueba.**

Se probaron en las mismas condiciones indicadas anteriormente, las versiones de la F250 dedicada a GNV y convencional a gasolina, con el objetivo de obtener resultados comparables que permitieran determinar el funcionamiento del vehículo con cada combustible.

- **Resumen De La Evaluación**

Los resultados de la evaluación para una F250 dedicada a GNV y una F250 convencional a gasolina muestran poca diferencia en la capacidad de arranque en frío y manejabilidad.

Hay una ligera diferencia en la economía de combustible en ciudad (la camioneta a GNV estuvo alrededor de 8% por debajo), no hay una diferencia significativa en el consumo de combustible en carretera ni en operación combinada. La aceleración del vehículo a gasolina fue entre 9% y 28% mejor que con GNV. Los evaluadores de manejabilidad y rendimiento dieron buenas calificaciones a ambos vehículos.

Los beneficios de usar GNV se vieron principalmente en los resultados de emisiones para los dos vehículos. Los valores de emisiones medidos para ambos vehículos no solo cumplieron sino que excedieron los estándares federales para vehículos ULEV (Vehículos de Emisiones Ultra Bajas). Sin embargo, todos los componentes regulados, incluyendo el CO₂ fueron mucho más bajos para el vehículo operado con GNV. Los Hidrocarburos no metánicos (NMHC) estuvieron 97% por debajo del vehículo a gasolina. El CO fue 62.6% más bajo, los NOX fueron 80.6% más bajos y el CO₂ estuvo 17% por debajo que los valores a gasolina. Las emisiones en peso potencialmente tóxicas (incluyendo benceno, 1,3-butadieno, formaldehído y acetaldehído)8 para el vehículo a GNV fueron 99% menores que las del vehículo a gasolina.[16]

6 METODOLOGIA

Este proyecto se realizará a través de los siguientes pasos:

6.1 Investigación y desarrollo de actividades.

El proceso de investigación se realizó en los diferentes medios educativos e informativos, sobre todo lo relacionado con el uso de combustible gaseoso en motores de combustión interna y a la vez indagando con personas técnicas en esta área para un interesante intercambio de conocimientos, que fue de gran ayuda para la realización de la investigación y de la solución de una gran cantidad de problemas e inquietudes que se generaron.

Pasos que se llevaron a cabo para un correcto proceso de análisis de desgaste en el motor, funcionando con combustible gaseoso (gas propano).

- A. Revisar la bibliografía del tema y consultar con expertos con gran experiencia en el uso de GNVC y GLP.
- B. Hacer un análisis del estado inicial de la moto, evaluando partes faltantes y piezas a reparar, para realizar una estandarización en los diferentes parámetros de funcionamiento y comportamiento del motor.
- C. Ensamblar y rediseñar todos los elementos básicos necesarios para el funcionamiento de un sistema de combustión con GNVC o GLP.
Incluyendo todos los repuestos originales faltantes para el correcto funcionamiento del motor con gasolina.
- D. Adaptar y simular la investigación y análisis con pruebas realizadas por institutos certificados ya sean nacionales o internacionales, para dar validez al procedimiento ejecutado y a los resultados obtenidos.

6.2 Sistema de combustión con GLP.

El sistema básico de combustión con gas propano consta de:

1. Tanque o pipeta para el almacenamiento del GLP
2. Acople regulador de presión a la salida del gas de la pipeta de almacenamiento.
3. Mezclador IMPCO CA55-258L de combustible gaseoso.
4. Válvula de aguja 1/8" x 3/8" para regular el caudal de gas hacia el motor.
5. Mangueras comerciales de alta presión usadas para sistemas gaseosos.
6. Acoples o racores para toda la línea de mangueras.

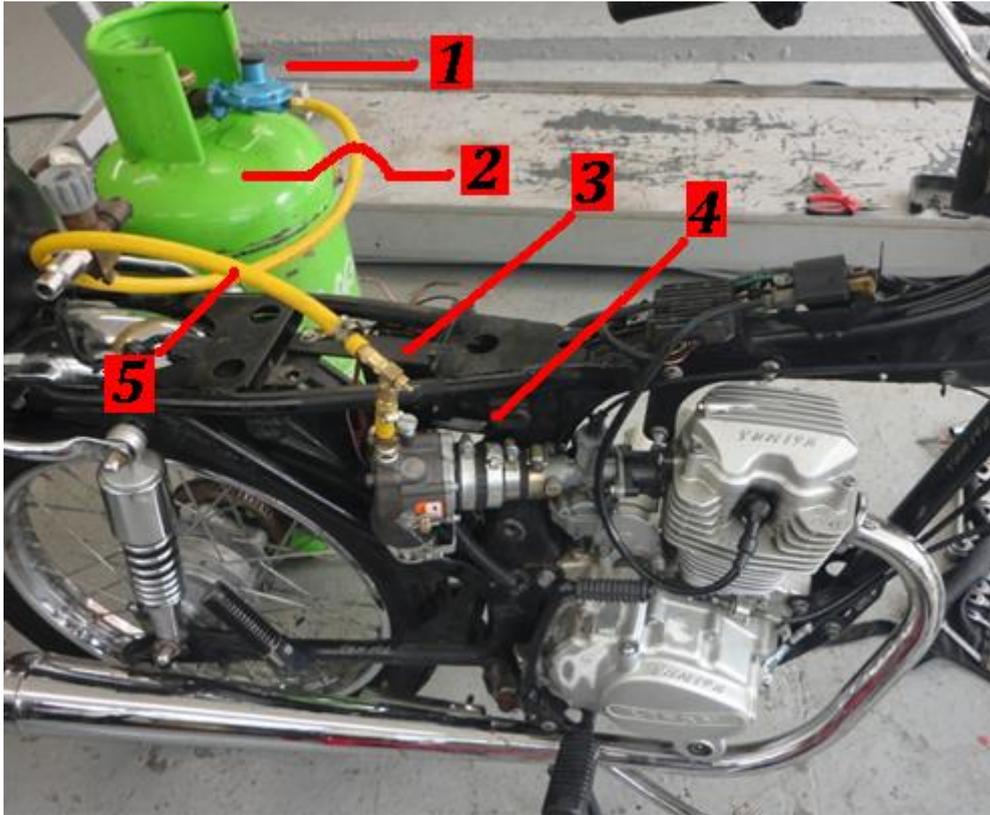


Figura 8. Sistema de combustión con GLP.

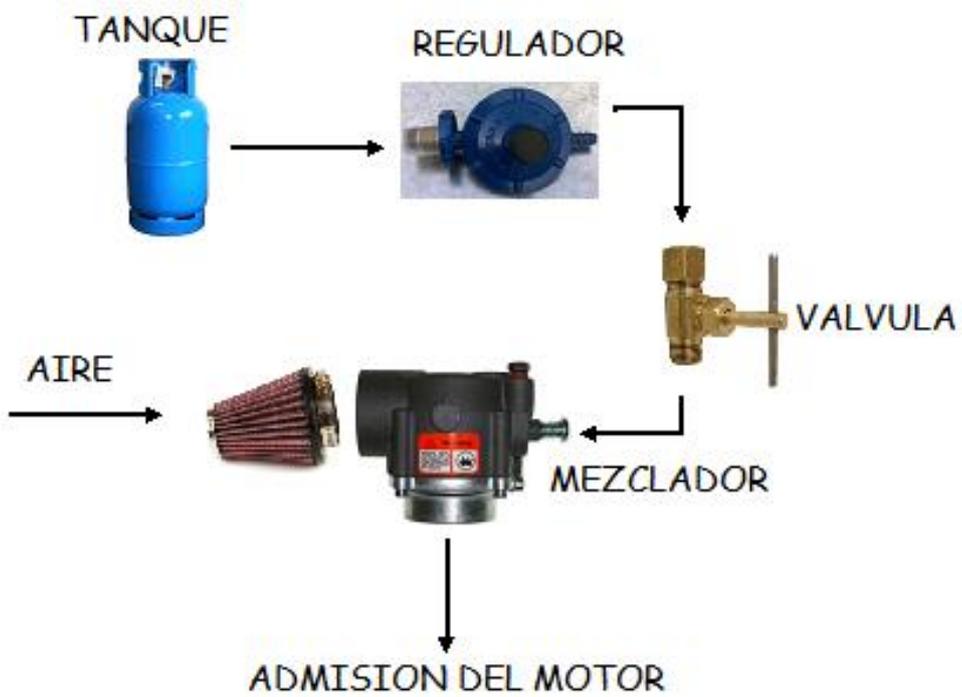


Figura 9 Esquema de flujo combustible

6.3. Procedimiento

Se realizaron pruebas en dos etapas:

- Etapa 1: en esta etapa se trabajó el motor en condiciones muy controladas, manipulando correctamente los factores de funcionamiento.
- Etapa 2: en esta etapa se trabajó el motor en condiciones mucho más severas sin controlar los factores que afectan su funcionamiento, tratando de simular unas condiciones arduas de trabajo.

6.3.1 Primera Etapa De Experimentación.

El motor se trabajó a revoluciones constantes, incrementándolas en un rango de cada 6 horas, es decir que trabajo a 2000 RPM, 4000RPM y 6000 RPM. Acumulando un total de más de 18 horas de trabajo constante.

Se realizaron tomas periódicas del consumo en las diferentes revoluciones de funcionamiento.

En todo momento se regulo la temperatura del motor por medio de una refrigeración externa de flujo de aire, procurando no dejar exceder la temperatura a altos rangos.

6.3.2 Segunda Etapa De Experimentación.

El motor se trabajó en condiciones más severas, pues la temperatura no se controló tan rigurosamente con la refrigeración externa por aire ya que se trató de simular factores más reales de funcionamiento, por este motivo las revoluciones del motor no se mantuvieron constantes sino que se cambiaban en intervalos muchísimo más cortos pero constantes, por ejemplo:

-Trabajando a 2000RPM por 2min, a 4000RPM por 2 min y a 6000RPM por 1 min.

-Trabajando a 2000RPM por 2min, a 4000RPM por 1 min, a 6000RPM por 1 min, y a 8000RPM por 1min.

-Trabajando a 2000RPM por 2min, a 4000RPM por 1 min, a 8000RPM por 1 min, y a 9000RPM por 1min.

Se tomaron medidas de temperatura en la culata cada 5 minutos para tener un registro mas detallado de su comportamiento.

El consumo se midió al igual que la etapa 1.

8. RESULTADOS DEL PROYECTO.

En base a los parámetros conocidos anteriormente se realizó este proyecto con el fin de conocer de una forma estandarizada el comportamiento y desgaste en el motor, usando gas propano.

8.1 Primera Etapa De Experimentación.

- **Datos obtenidos:** basados en los parámetros del procedimiento anterior se arrojaron los siguientes datos que se observan en las tablas 6, 7, y 8

Tabla 6. Datos de la prueba a 2000RPM

Revoluciones del motor	2000RPM
Horas de trabajo	6 horas
Kilometraje inicial	54963 km
Kilometraje final	55050 km
Total recorrido	87km
Temperatura promedio sin refrigeración(medida tomada en la culata.)	95°C a 100°C
Temperatura promedio con refrigeración(medida tomada en la culata.)	70°C a 80°C
Consumo promedio de GLP	0,0001962 m3/ seg.
Consumo promedio a gasolina	0,0000001597m3/seg

Tabla 7. Datos de la prueba a 4000 RPM

Revoluciones del motor	4000RPM
Horas de trabajo	6 horas
Kilometraje inicial	55050 km
Kilometraje final	55220 km
Total recorrido	150km

Temperatura promedio con refrigeración (medida tomada en la culata.)	75°C a 85°C
Consumo promedio de GLP	0,0004284 m3/ seg
Consumo promedio a gasolina	0,0000001893m3/ seg

Tabla 8. Datos de la prueba a 6000RPM

Revoluciones del motor	6000RPM
Horas de trabajo	6 horas
Kilometraje inicial	55220 km
Kilometraje final	55396 km
Total recorrido	176km
Temperatura promedio con refrigeración, (medida tomada en la culata.)	90°C a 110°C
Consumo promedio de GLP	0,0007547 m3/ seg
Consumo promedio a gasolina	0,0000002849003 m3/seg

- **Resultados:** Con las pruebas que se realizaron se pudo observar que la culata presento en su válvula de escape un color marrón oscuro, en su válvula de admisión un tono negro oscuro, como de evidencia en la figura 10. Dichas válvulas no presentaron torceduras y sus asientos estaban en perfecto estado. La bujía presentaba color marrón claro sin ningún desgaste en su electrodo. El pistón no sufrió desgaste alguno, los anillos estaban en perfecto estado al igual que el cilindro.



Figura 10. Pistón y anillos sin desgaste.

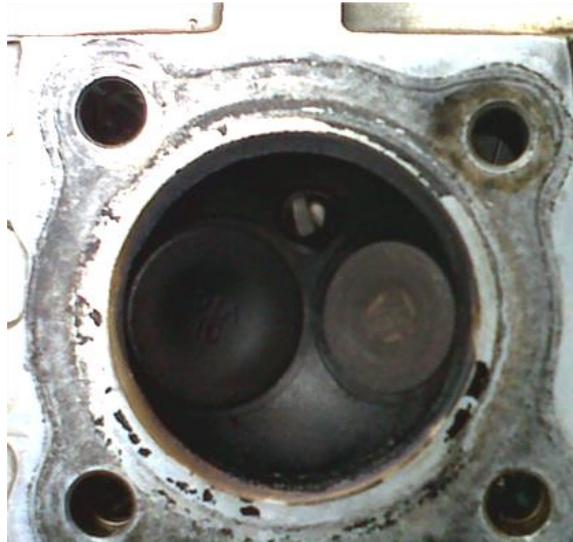


Figura 11. Desgaste Válvulas.

Sin embargo en su parte superior presento color marrón rojizo con partículas de queroseno, demostrándose claramente la teoría de la propagación de la llama, por eso en la figura 11 se evidencia mejor quemado de la combustión para el lado de la bujía y por lo cual queda demostrada la necesidad de adelantar la chispa y asimismo utilizar una bujía de mayor potencia.



Figura 12. Desgaste Cabeza de Pistón.

En general el motor no sufrió desgaste significativo como lo demuestra la tabla 9.

Tabla 9 Comparación De Medidas Del Motor

MEDIDAS INICIALES DEL MOTOR			MEDIDAS FINALES DEL MOTOR		
CILINDRO	56.63mm		CILINDRO	56.69mm	
PISTON	56.45mm		PISTON	56.43mm	
VALVULA ADMISION	0.55-0.85mm		VALVULA ADMISION	0.55-0.85mm	
VALVULA ESCAPE	0.85-1.15mm		VALVULA ESCAPE	0.85-1.15mm	
DIAMETRO DEL ASIENTO DE VALVULA	ADMISION	ESCAPE	DIAMETRO DEL ASIENTO DE VALVULA	ADMISION	ESCAPE
	22.9-23.1mm	19.9-23.1mm		22.9-23.1mm	19.9-23.1mm
ANCHO DEL ASIENTO	0.80-1.15mm	0.80-1.15mm	ANCHO DEL ASIENTO	0.80-1.15mm	0.80-1.15mm
ANGULO DEL ASIENTO	45°	45°	ANGULO DEL ASIENTO	45°	45°
ABERTURA DE ANILLOS	.152mm		ABERTURA DE ANILLOS	.152mm	

8.2 Segunda Etapa De Experimentación.

- **Datos obtenidos:** basados en los parámetros del procedimiento anterior se arrojaron los siguientes datos que se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Datos de la prueba final

Revoluciones del motor	2000 rpm, 4000rpm, 6000rpm, 8000rpm.
Horas de trabajo	4 horas
Kilometraje inicial	55396 km
Kilometraje final	55422 km
Total recorrido	26km
Temperatura promedio con refrigeración, (medida tomada en la culata.)	158,28°c
Consumo promedio de GLP	0.0005148 m3/ seg

- **Resultados:** Con las pruebas realizadas se pudo observar varias averías significativas:
 - la culata específicamente en el eje de los pulsadores de las válvulas, sufrió una ruptura y fraccionamiento de partes debido a las altas temperaturas y también por las altas vibraciones causadas por la lenta propagación de la llama del combustible gaseoso y por no poder adelantar la llama en este tipo de motor.



Figura 13 Avería en culata

- El carburador presento fallas debido a que sus conductos e inyectores de combustible se encontraban obstruidas y taponadas con pequeñas partículas de querosene generadas por las bajas temperaturas del GLP, ya que el sistema empleado no posee pre calentador, ni reductor de presión, que son usados normalmente para sistemas de inyección de gas natural comprimido vehicular.
- El capuchón de la bujía se tuvo que remplazar ya que el mismo se cristalizó debido a las altas temperaturas.
- La bujía sufrió un gran desgaste por lo que empezó a operar anormalmente.



Figura 14. Avería en bujía

8.3 Recomendaciones Finales

Con todas las experiencias analizadas con el uso de GLP en un motor de combustión interna se generaron algunos tips de interés:

- El uso de este sistema es viable siempre y cuando se regule la temperatura adecuadamente.
En el caso de los motores refrigerados externamente por aire, lo más recomendable es adaptar un sistema de refrigeración interna atacando el poder calorífico directamente en el aceite lubricante del motor mediante un sistema de radiador de calor ventilado por el aire del ambiente.
- Como se pudo observar uno de los mayores problemas generados por el uso de combustible gaseoso es la difícil propagación de la llama del GLP, el cual genera altas vibraciones y un posible déficit en el aprovechamiento del combustible que se ve reflejado en la pérdida de potencia y un alto índice de hidrocarburos no quemados contaminantes.
- Al igual que los estudios realizados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América en vehículos con uso de combustible gaseoso con respecto a las dificultades presentadas en el desgaste prematuro de los cables de alta y la bujía generadora de la chispa de ignición de combustible, se recomienda utilizar un cableado de un performance mucho más alto que el utilizado originalmente por el fabricante, de la misma manera se aconseja emplear una bujía de mayor rendimiento y resistencia como la sugerida en referencias pasadas como la bujía de electrodo de platino.

- A diferencia de los sistemas de Gas Natural Comprimido Vehicular (GNCV) el sistema con GLP es mucho más sencillo debido a que no requiere del conjunto de pre calentador y reductor de presión de tres vías. Pero de igual forma debido a esta simplificación se puede en algunos casos experimentar rastros de queroseno que pueden llegar a afectar a largo plazo el normal funcionamiento del sistema de inyección de combustible.
- No sobra resaltar el alto índice de eficiencia en el consumo por parte del combustible gaseoso sin dejar muy aparte el tema ambiental que es de gran importancia en el mundo actual.

9. CONCLUSIONES

- Con este proyecto pudimos aclarar dudas con respecto al desgaste de las piezas de un motor que funciona con combustible gaseoso
- Se pudo dejar claro cómo funciona un sistema simplificado y eficiente de combustión gaseosa en un motor de cuatro tiempos teniendo en cuenta que fue desarrollado en un motor de bajo cilindraje
- Se aprendieron y reforzaron conocimientos, tales como los diferentes tipos de sistemas de combustión a GNVC y GLP. Al igual que sus características y propiedades.
- Fue un proyecto que nos sirvió para la realización profesional ya que es algo novedoso que ante la comunidad estudiantil causo gran expectativa.

BIBLIOGRAFIA

1. CASTRO VICENTE, Miguel de. Historia del Automóvil. 3ª Edición. Barcelona Ediciones Ceac, 1992, 771p. ISBN 84-329-1029-5
2. CAMM, F.J. VELA, Luis (traductor). Enciclopedia Practica del Automóvil. 3ª Edición. Editorial ARGOS, Barcelona, 1988, 397 p. ISBN 978-84-7079-026-3
3. CASTRO VICENTE, Miguel de. Diccionario del Automóvil. 3ª Edición. Barcelona Ediciones Ceac, 1992, 672p. ISBN 84-329-1030-9
4. MARIN VALENCIA, John Jairo. Enciclopedia Visual del Automóvil. Medellín producciones plus, 2004, 319p
5. Enciclopedia práctica del automóvil reparación y mantenimiento: El motor de gasolina, El motor diesel, Electricidad, accesorios, transmisión y confort, suspensión, dirección, frenos, neumáticos y airbag. Madrid cultural 2000, 1167p. ISBN 978-84-8055-758-0
6. es.wikipedia.org/wiki/Motor
7. es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna
8. www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/af_motor_gasolina_2.htm
9. www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/af_motor_gasolina_3.htm
10. TABORDA OLARTE, Adrian. Diseño del sistema de conversión de una moto de gasolina 4T a gas natural. Tesis (Tecnólogos en Mecánica Automotriz), TPBIU, 2009
11. Organización TERPEL S.A, conferencia TERGAS Medellín febrero de 2005, ingeniería del gas natural, Aplicaciones.
12. Organización TERPEL S.A, conferencia TERGAS Medellín febrero de 2005, ingeniería del gas natural, Comparación del GNV vs. Otros combustibles.
13. Organización TERPEL S.A, conferencia TERGAS Medellín febrero de 2005, ingeniería del gas natural, departamento técnico.
14. Ministerio del medio ambiente, Estudio de consultoría en gas natural vehicular septiembre de 2001, funcionamiento de un motor con GNVC.
15. Ministerio del medio ambiente, Estudio de consultoría en gas natural vehicular septiembre de 2001, evaluación del programa de conversión a GNV de vehículos de la flota de EPM.
16. Ministerio del medio ambiente, Estudio de consultoría en gas natural vehicular septiembre de 2001, experiencias internacionales de evaluación de vehículos a GNV, págs. 34-51.

ANEXOS

Anexo 1. Registro Fotográfico:

- Estado de culata antes de reparación de motor.



- Estado de pistón antes de reparación de motor.



- Estado del cilindro antes de reparación de motor.



- Partes del motor nuevas y rectificadas.



- **Sistema de combustión con gas propano de experimentación**



- **Estado de la culata después de haber realizado las pruebas.**



- Estado del pistón y cilindro después de haber realizado las pruebas.

