



FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
AUTOMOTRIZ**

**Eficiencia y rendimiento del combustible gas natural
comprimido (GNC) en un motor a inyección didáctico.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

Autores

**SANTIAGO RAFAEL ÁLVAREZ BORRERO
THYRONE RAMIRO JARAMILLO CHAMBA**

Director

EDGAR MAURICIO BARROS BARZALLO

CUENCA, ECUADOR

2016

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis me gustaría agradecerle a mi Dios por bendecirme y haberme llenado de sabiduría para llegar hasta donde he llegado. A la UNIVERSIDAD DEL AZUAY por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. Al Ing. Mauricio Barros por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, experiencia y don de gente, ha permitido guiar este proyecto y concluirlo exitosamente. Y por último quiero terminar agradeciendo a toda mi familia, de manera especial a mi madre que ha sido el pilar en toda mi carrera universitaria, gracias a su apoyo incondicional he podido culminar esta etapa de mi vida. Para ellos muchas gracias!.

Santiago Rafael

Todo el esfuerzo entregado en la realización del presente lo dedico con mucho cariño a mis padres, hermanos y esposa quienes con su ejemplo de superación diaria han contribuido a culminar cada una de mis metas trazadas.

Thyrone Ramiro

AGRADECIMIENTO

La más profunda gratitud a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay, por todos los conocimientos entregados a lo largo de la carrera, así como un sincero agradecimiento al Director de tesis Ing. Mauricio Barros, Mg por su valioso aporte en el desarrollo del presente trabajo.

Los Autores

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	PÁG.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDOS	iv
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE FIGURA	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I: GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)	3
1.1. Generalidades	3
1.2. Composición química del GNC	4
1.3. Características	6
1.4. Fuentes de gas natural en el Ecuador	7
1.4.1. Proyecto piloto Ancón	8
1.4.2. Proyecto Santa Paula	9
1.5. Proceso de Obtención y almacenamiento del GNC	10
1.5.1. Extracción de gas natural	11
1.5.2. Proceso de separación	12
1.5.3. Proceso de Almacenamiento y compresión del gas	13
1.5.4. Proceso de deshidratación	16
1.5.5. Planta de purificación	17
1.5.6. Estación de servicio	18
1.5.7. Normas de seguridad y precauciones de la planta	20
1.6. Equivalencia energética	21

1.7. Aplicaciones	22
1.7.1. Uso doméstico	22
1.7.2. Comercio e industria	23
1.7.3. Generación de Electricidad	23
1.7.4. Vehículos a gas natural	24
1.8. Impacto Ambiental del gas natural	24
1.8.1. Gas natural y protección del entorno	25
1.9. Conclusiones	26

CAPÍTULO II: PRUEBAS EN MOTOR A INYECCIÓN DE GASOLINA **27**

2.1. Obtención de la potencia y torque	27
2.1.1. Torque	27
2.1.2. Potencia	27
2.2. Dispositivos de obtención de la potencia y torque	28
2.2.1. Dinamómetro de rodillos	28
2.2.2. Dinamómetro estático hidráulico	29
2.3. Datos técnicos	31
2.4. Curva de torque y potencia	31
2.4.1. Torque	31
2.4.2. Potencia	32
2.5. Prueba de emisión de gases de escape	33
2.6. Estado de los elementos	35
2.7. Conclusiones	38

CAPITULO III: ADECUACIÓN SISTEMA GNC **39**

3.1. Sistema GNC en motores a inyección	39
---	----

3.2. Componentes básicos para la conversión al sistema	41
3.2.1. Reductor	42
3.2.1.1 Características técnicas	42
3.2.2. Válvula de carga	43
3.2.2.1. Válvula de carga interna	43
3.2.2.2. Válvula de carga externa	44
3.2.3. Válvula de cilindro	44
3.2.3.1. Características Técnicas	45
3.2.4. Electroválvula de alta presión	46
3.2.4.1. Características Técnicas	46
3.2.5. Unidad electrónica de control	47
3.2.6. Llave selectora de combustible	48
3.2.7. Vareador de avance	48
3.2.8. Sensor de presión y vacío	49
3.2.9. Sensor de temperatura del reductor	49
3.2.10. Manómetro de presión	50
3.2.11. Manguera de alta presión	50
3.2.12. Cilindro contenedor	51
3.3. Selección del sistema GNC	52
3.3.1. Equipo de primera y segunda generación	52
3.3.2. Sistema de Combustible GNC de lazo cerrado (3ra. Generación)	52
3.3.3. Sistema de Combustible GNC de inyección 4ta.-5ta. Generación	53
3.4. Instalación del equipo GNC	54
3.4.1. Reductor	54
3.4.2. Válvula de carga	55
3.4.3. Válvula de cilindro	55
3.4.4. Manómetro de presión	56
3.4.5. Regulador de caudal	56
3.4.6. Mezclador	57
3.4.7. Unidad electrónica de control	57
3.4.8. Cableado del sistema	59
3.5. Normas de Instalación	60

3.5.1. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2487:2009	60
3.5.2. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2488:2009	61
3.5.3. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2489:2009	61
3.5.4. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2490:2009	62
3.5.5. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2491:2009	62
3.6. Conclusiones	63

CAPÍTULO IV: PRUEBAS MOTOR INYECCION USANDO COMBUSTIBLE GNC

64

4.1. Instalación Equipo electrónico GNC	64
4.1.1. Programación del sistema lambda X5	65
4.1.2. Programación Chip Max	70
4.2. Torque y potencia utilizando GNC	72
4.2.1. Obtención de potencia	72
4.2.2. Torque	73
4.3. Medida de compresión	73
4.4. Prueba de emisión de gases de escape	75
4.4.1. Analizador de emisiones de ASM	75
4.4.2. Gases contaminantes producto de la combustión	76
4.5. Comprobación estado final de elementos internos	81
4.6. Conclusiones	84

CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

85

5.1. Potencia y Torque (Toyota)	85
5.2. Potencia y Torque (Chevrolet)	87
5.3. Perdida de potencia y torque	88

5.3.1. Toyota	88
5.3.2. Chevrolet	89
5.4. Análisis comparativo de torque y potencia motor Kia	90
5.4.1. Torque	91
5.4.2. Potencia	91
5.5. Estado final de los elementos	92
5.6. Emisiones	92
5.7. Economía	93
5.8. Conclusiones	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
Conclusiones	94
Recomendaciones	95
BIBLIOGRAFÍA	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Composición Química Gas Natural Comprimido	4
Tabla 1.2. Composición del gas en la planta compresora de la sección 7	5
Tabla 1.3. Composición del gas en la planta compresora de la sección 7	5
Tabla 1.4. Porcentajes del gas presente en el campus petrolero	6
Tabla 1.5. Características químicas de los gases con mayor índice de porcentaje en el campo petrolero	7
Tabla 1.6. Reservas, producción y comercio de gas natural	8
Tabla 1.7. Equivalencia Energética	21
Tabla 1.8. Comparación de Características de Gasolina y Gas Natural	22
Tabla 2.1. Datos técnicos Motor de prueba Kia	31
Tabla 2.2. Datos de la curva de potencia	32
Tabla 2.3. Datos de la curva de torque	33
Tabla 3.1. Características Técnicas Reductor	42
Tabla 3.2. Características Técnicas Válvula de cilindro	45
Tabla 3.3. Características Técnicas electroválvula de alta presión	46
Tabla 3.4. Características de cilindro contenedor	51
Tabla 4.1. Límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Banco dinamométrico de rodillos	29
Figura 2.2. Curva de torque	31
Figura 2.3. Curva de potencia	32
Figura 2.4. Cuadro de CO y HC a 1500 rpm	34
Figura 2.5. Cuadro de CO y HC a 3000 rpm	34
Figura 3.1. Diagrama de funcionamiento	40
Figura 3.2. Equipo necesario	41
Figura 3.3. Reductor	42
Figura 3.4. Válvula de carga interna	43
Figura 3.5. Válvula de carga externa	44
Figura 3.6. Válvula de Cilindro	45
Figura 3.7. Electroválvula de alta presión	46
Figura 3.8. Unidad Electrónica de control	47
Figura 3.9. Selector de combustible	48
Figura 3.10. Vareador de avance	48
Figura 3.11. Sensor de presión y vacío	49
Figura 3.12. Sensor de temperatura del reductor	49
Figura 3.13. Manómetro de presión	50
Figura 3.14. Tubería de alta presión	50
Figura 3.15. Instalación unidad de Control habitáculo de la cabina	58
Figura 3.16. Instalación unidad de control compartimiento del motor	58
Figura 3.17. Cableado del Sistema	59
Figura 4.1. Configuración Vehículo	65
Figura4.2. Configuración TPS	65
Figura4.3. Configuración Válvula reguladora de caudal a 3000 rpm	66
Figura 4.4. Configuración Válvula reguladora de caudal sin aceleración	66
Figura 4.5. Configuración correcta válvula reguladora de caudal	67
Figura 4.6. Configuración Actuador	67

Figura 4.7. Configuración Cut-Off	68
Figura 4.8. Configuración Actuador	68
Figura 4.9. Grafico Señal Sensor Lambda	69
Figura 4.10. Grafico Señal Sensor Lambda	69
Figura 4.11. Configuración Data Flex	70
Figura 4.12. Configuración Data Flex	70
Figura 4.13. Configuración Data Flex	71
Figura 4.14. Emulador de Sonda Lambda	71
Figura 4.15. Proyección de la potencia motor GNC	72
Figura 4.16. Proyección del torque motor GNC	73
Figura 4.17. Manómetro	74
Figura 4.18. MGT 5 Analizador de emisiones contaminantes	76
Figura 4.19. Sensor de oxigeno externo	76
Figura 4.20. Prueba a 2500 rpm	79
Figura 4.21. Soltar el acelerador hasta llegar a ralentí	79
Figura 4.22. Aceleración a ralentí	80
Figura 5.1. Curva de potencia Chevrolet	86
Figura 5.2. Curva de torque Toyota	86
Figura 5.3. Curva de potencia Chevrolet	87
Figura 5.4. Curva de Torque motor Chevrolet	88
Figura 5.5. Curva pérdida de potencia y torque Toyota	89
Figura 5.6. Curva de pérdida de potencia Chevrolet	90
Figura 5.7. Curva comparativa del Torque entre gasolina y gas	91
Figura 5.8. Curva comparativa de la Potencia entre gasolina y gas	91
Fotografía 1.1. Primera planta de Gas Natural Vehicular	9
Fotografía 1.2. Bomba de extracción estacionaria	11
Fotografía 1.3. Tubería dentro de pozo	11
Fotografía 1.4. Tuberías de flujo	12
Fotografía 1.5. Bomba de extracción móvil	12
Fotografía 1.6. Cilindros separadores	13
Fotografía 1.7. Tanques de reserva de gas	13
Fotografía 1.8. Estación de compresión Tigre	14

Fotografía 1.9. Estación de compresión	67	14
Fotografía 1.10. Tuberías de entrada		15
Fotografía 1.11. Motor compresor		15
Fotografía 1.12. Presión a la salida del compresor		15
Fotografía 1.13. Planta de deshidratación		16
Fotografía 1.14. Tamices moleculares		16
Fotografía 1.15. Torres de deshidratación		17
Fotografía 1.16. Planta de purificación		17
Fotografía 1.17. Separadores de agua		18
Fotografía 1.18. Compresor		18
Fotografía 1.19. Presión final		19
Fotografía 1.20. Cilindros de almacenamiento		19
Fotografía 1.21. Estación de carga del gas		19
Fotografía 1.22. Presión en las tuberías		20
Fotografía 2.1 Banco dinamométrico estático hidráulico		30
Fotografía 2.2. Bloque motor		36
Fotografía 2.3. Pistones		36
Fotografía 2.4. Cabezote o culata		37
Fotografía 2.5. Válvulas y bujías		37
Fotografía 3.1. Reductor de presión		54
Fotografía 3.2. Válvula de carga		55
Fotografía 3.3. Válvula de cilindro		55
Fotografía 3.4. Manómetro de presión		56
Fotografía 3.5. Regulador de caudal		56
Fotografía 3.6. Mezclador de gas		57
Fotografía 4.1. Cabezote		81
Fotografía 4.2. Válvulas de admisión y escape		82
Fotografía 4.3. Salida múltiple de escape		82
Fotografía 4.4. Pistones 2 y 3 PMS		83
Fotografía 4.5. Pistones 1 y 4 PMS		83

**EFICIENCIA Y RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE GAS NATURAL
COMPRIMIDO (GNC) EN UN MOTOR A INYECCIÓN DIDÁCTICO.**

RESUMEN

La presente tesis estuvo basada en determinar el porcentaje de reducción de emisiones contaminantes de hidrocarburos no combustionados y monóxido de carbono en un motor de ciclo Otto a inyección, utilizando como combustible gas natural comprimido (GNC). Se utilizó un motor Kia 2000 cc debido a la compatibilidad de la electrónica con el programa de emulación de sensores del equipo de conversión a GNC. Para la obtención de resultados se usó el analizador de gases contaminantes MAHA modelo MGT5; comprobando la reducción de monóxido de carbono en 0,03%, e hidrocarburos en 45 ppm. De acuerdo a referencias científicas se tiene que el torque y potencia disminuyen al utilizar GNC en un 15%. Con lo cual se concluye que al utilizar GNC por su combustión completa y reducción de emisiones es una opción favorable.

Palabras claves: Gas natural comprimido, reducción de emisiones contaminantes, programa de emulación, analizador de gases, conversión a GNC.


Edgar Mauricio Barros Barzallo
Director del Trabajo de Titulación


Diego Francisco Torres Moscoso
Director de Escuela


Santiago Rafael Álvarez Borrero


Thyrone Ramiro Jaramillo Chamba

Autores

COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) FUEL EFFICIENCY AND PERFORMANCE IN AN INJECTION ENGINE TRAINING UNIT

ABSTRACT

This thesis aimed at determining the percentage of pollutant emissions reduction of unburned hydrocarbons and carbon monoxide in Otto-Cycle injection engine, using compressed natural gas (CNG) as fuel. A Kia 2000 cc engine was used due to the electronics compatibility with the emulation program sensors of the conversion equipment to CNG. In order to obtain results, the MAHA MGT5 model pollutant gas analyzer was used; verifying the reduction of carbon monoxide in 0.03%, and 45 ppm in hydrocarbons. According to scientific references, torque and power decrease when using 15% CNG. Therefore, it is concluded that using CNG for complete combustion and emission reduction is a favorable option.

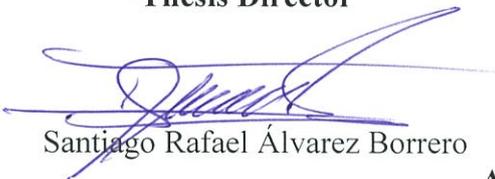
Keywords: Compressed Natural Gas, Pollutant Emission Reductions, Emulation Program, Gas Analyzer, Conversion to CNG.



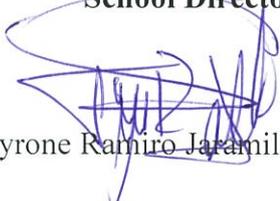
Edgar Mauricio Barros Barzallo
Thesis Director



Diego Francisco Torres Moscoso
School Director



Santiago Rafael Álvarez Borrero



Thyrone Ramiro Jaramillo Chamba

Authors



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Jaramillo Chamba Thyrone Ramiro

Álvarez Borrero Santiago Rafael

Trabajo de Titulación

Ing. Barros Barzallo Edgar Mauricio, Mg.

Julio, 2016

EFICIENCIA Y RENDIMIENTO DEL COMBUSTIBLE GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC) EN UN MOTOR A INYECCIÓN DIDÁCTICO

INTRODUCCIÓN

El parque automotor actual mundial está conformado casi en su totalidad por vehículos a combustión interna impulsados por diésel o gasolina, lo que ha llevado a un acelerado desequilibrio de las características del aire que respiramos, además de otras implicaciones sobre el clima y otros procesos físicos químicos que se producen en el medio ambiente.

En nuestro país casi su totalidad del campo automotor es impulsado por medio de combustibles fósiles, responsables de los altos índices de contaminación dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo; lo que implica pensar en empresas destinadas a la fabricación de energías alternativas menos contaminantes. Por lo tanto, este estudio servirá para determinar si el GNC como combustible alternativo es rentable aplicarlo en nuestro medio.

Se realizó pruebas en un motor a inyección de gasolina tipo didáctico para luego verificar la instalación del sistema GNC, de manera que estableciendo una segunda etapa de pruebas se verificó que los valores de consumo, emisiones contaminantes, rendimiento, potencia son favorables para recomendar su aplicación.

CAPITULO I

GAS NATURAL COMPRIMIDO (GNC)

1.1. Generalidades

El gas natural fue descubierto por Alessandri Volta en el año de 1776 (Gualtieri 2004). La extracción de este recurso energético de origen natural fósil se lo puede realizar en suelos marinos como continentales.

El origen del petróleo y gas natural se remonta a millones de años atrás con la muerte y descomposición de animales y plantas, más la presión que la tierra ejerció sobre estos cuerpos y el calor del magma bajo las placas terrestres.

Existen dos tipos de yacimientos dependiendo de la presencia del petróleo junto con el gas:

- Cuando ambos comparten el yacimiento se llaman yacimientos asociados.
- Mientras que cuando el gas natural se encuentra únicamente con pequeñas partes de otros gases e hidrocarburos, se los conoce como yacimientos no asociados.

El gas natural ocupa el tercer lugar entre las fuentes de energía primarias y la quinta parte del consumo en Europa como en el resto del mundo, sus beneficios ambientales como económicos son claves para el desarrollo del mismo.

Por razones de seguridad se le añade un químico llamado mercaptan que le da un olor desagradable con el propósito de detectar una posible fuga de gas, el cual es almacenado a altas presiones entre 200 y 250 bar, según la normativa de cada país.

1.2. Composición Química del GNC

Una vez que se termina la refinación, la composición del gas natural varía, por lo que se hace referencia en forma general a la tabla 1.1. de la composición química del gas en España. El gas natural contiene una mezcla de hidrocarburos volátiles de bajo peso molecular (hasta ocho átomos de carbono) y en forma general tiene la siguiente composición: metano (80%), etano (13%), propano (3%), butano (1%), alcanos C_5 - C_8 (0,5%), además de nitrógeno (2,5%), dióxido de carbono, helio e hidrogeno. (Wikimedia Commons 2010).

Tabla 1.1. Composición Química Gas Natural Comprimido (España)

HIDROCARBURO	COMPOSICION QUIMICA	RANGO %
Metano	CH_4	80
Etano	C_2H_6	13
Dióxido de carbono	CO_2	0-2
Propano	C_3H_8	0-3
Nitrógeno	N	0-1

Fuente: (Comisión Nacional de Energía)

El gas natural tiene una densidad de ($0,60 \text{ Kg/m}^3$) inferior a la del aire (1 Kg/m^3) por lo que, tiene tendencia a elevarse fácilmente así como diluirse del sitio donde se encuentra por cualquier grieta. El gas natural casi no contiene azufre inferior a las partes por millón (ppm), por lo que no genera dióxidos de azufre, y las emisiones de dióxido de carbono son inferiores a la de otros combustibles fósiles.

La composición del gas varía según la zona geográfica o la reserva de la que ha sido extraído como se indica en la tabla 1.2. y 1.3. además que los hidrocarburos que forman el gas natural pueden ser separados utilizando sus respectivas propiedades como peso, temperatura de ebullición y presión de evaporación. Después de su extracción no se lo puede transportar ni utilizar en forma comercial pues antes necesita una transformación para eliminar impurezas como el agua.

Tabla 1.2. Composición del gas en la planta compresora de la sección 7

COMPONENTES	FLUJO MOLAR (lb/hr)	FRACCIÓN MOLAR (Y_i)
Nitrógeno	18,47	0,0852
Metano	165,08	0,7615
CO ₂	0,99	0,0046
Etano	11,28	0,052
Propano	7,56	0,0349
Iso-Butano	2,78	0,0128
n-Butano	3,17	0,0146
Iso-Pentano	1,63	0,0075
n-Pentano	0,7	0,0032
C ₆₊	5,12	0,0026
TOTAL	216,78	1

Fuente: (www.dspace.espol.edu.ec)

Tabla 1.3. Composición del gas en la planta compresora de la sección 7

COMPONENTE	FLUJO MOLAR (lb/hr)	FRACCIÓN MOLAR (Y_i)
Nitrógeno	17,91	0,0957
Metano	147,41	0,7874
CO ₂	0,65	0,0034
Etano	8,56	0,0457
Propano	4,66	0,0249
Iso-Butano	1,62	0,0087
n-Butano	1,79	0,0096
Iso-Pentano	0,79	0,0042
n-Pentano	0,34	0,0018
C ₆₊	3,48	0,0186
TOTAL	187,12	1

Fuente: (www.dspace.espol.edu.ec)

1.3. Características

El gas natural se caracteriza por la ausencia de cualquier tipo de impurezas y residuos lo que descarta la emisión de partículas sólidas y hollines.

De acuerdo a la información obtenida de ANGLO ECUADORIAN OIL del año 1963, se estableció que el gas asociado del campo tiene el siguiente contenido y composición tabla 1.4.

Tabla 1.4. Porcentajes del gas presente en el campus petrolero Ing. Gustavo Galindo Velasco.

GASES	PORCENTAJE
Metano	84.67 %
Etano	6.61 %
Propano	3.0 %
Butano	1.11 %
Hidrocarburos pesados	4.61 %

Fuente: (www.dspace.espol.edu.ec)

Los componentes del gas natural indicados anteriormente son usualmente representados en términos de porcentaje por volumen del gas o vapor en el aire, donde se muestra el límite superior e inferior de inflamabilidad de los gases representativos.

Los rangos explosivos están basados en presión y temperatura atmosféricas normales; al aumentar la temperatura de la mezcla, el rango inflamable baja; al disminuir, el rango sube.

En la tabla 1.5. se indica las características químicas de los gases con mayor índice de porcentaje en el campo y de esta manera clasificarlos de acuerdo a su grado de peligrosidad en la clase que pertenecen según el INEC 2005.

Tabla 1.5. Características químicas de los gases con mayor índice de porcentaje en el campo petrolero Ing. Gustavo Galindo Velasco.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	METANO (CH ₄)	ETANO (C ₂ H ₆)	PROPANO (C ₃ H ₈)	BUTANO (C ₄ H ₁₀)
Punto de Inflamación	-187.8 °C (-306 °F)	-135° C (-211° F)	Gas inflamable	-80 °C (-112 °F)
Punto de Ebullición a 1 atm	-161.49° C (-258.64°F)	-88.63° C (-127.53°F)	-42.04° C (-43.67° F)	-6.25 °C (20 °F)
Límite de Inflamabilidad	5 - 15 %	3 - 12.4 %	3.4 - 13.8%	1.6 - 10%
Límite inferior de Explosividad (LIE)	5%	3%	3.4%	1.6 %
Límite Superior de Explosividad (LSE)	15%	12.4%	13.8%	13.8%-10%
Temperatura de auto ignición	537 °C (999 ° F)	515° C (959° F)	493° C (919° F)	725 °F (385 °C)
Densidad de Vapor o Gas con respecto al aire 1 atm 21.1 °C	0.68 kg/m ³	1.2799 kg/m ³	1.8580 kg/m ³	2.40 kg/m ³
Clasificación Eléctrica	Clase I, Grupo D	Clase I, Grupo D	Clase I, Grupo D	Clase I, Grupo D

Fuente: (www.dspace.espol.edu.ec)

1.4. Fuentes de Gas Natural en el Ecuador

En primera instancia se realizara un breve análisis global de la situación a nivel de Latinoamérica; las reservas probadas de gas natural alcanzan los 5.451 billones de metros cúbicos, de los cuales el 77% corresponden a Venezuela (Ministerio de Planificación y Desarrollo, Oficina de Desarrollo Limpio Bolivia 2008-2012).

En los últimos diez años, el Perú incrementó sus reservas en el campo de Camisía, mientras que Bolivia las cuadruplicó en los últimos cuatro años; por los resultados exitosos de la exploración realizada en la Subregión podría esperarse que hubiese un potencial gasífero muy cuantioso que aún no ha sido descubierto.

Hay que destacar que el nivel de las reservas probadas está muy afectado por las reducidas exploraciones que se han dirigido de manera específica a localizar yacimientos de esos hidrocarburos, puesto que hasta hace poco tiempo se privilegiaban las inversiones para localizar acumulaciones de petróleo (Secretaría General de la Comunicación Andina 2012).

Tabla 1.6. Reservas, producción y comercio de gas natural

América Latina						
RESERVAS PROBADAS DE GAS NATURAL 2012						
Billones de Metros Cúbicos						
	País	2008	2009	2010	2011	2012
1	Venezuela	4,983	5,065	5,525	5,528	5,563
2	Brasil	380	365	358	417	434
3	México	359	359	339	349	360
4	Perú	415	415	345	353	359
5	Argentina	428	399	379	359	333
6	Bolivia	750	750	695	281	281
7	Colombia	114	124	134	153	155
8	Chile	46	46	45	43	41
9	Ecuador	8	8	8	6	6

Fuente: (Sistema de información Económica Energética SIEE: OLADE/CE)

El éxito del gobierno de Bolivia ha sido, localizar yacimientos gasíferos y mejorar los precios internacionales del gas natural; y la necesidad de aumentar la generación térmica de electricidad lo que ha llevado a decisivos progresos en tecnología que se han producido en las áreas de licuefacción, regasificación y transporte del gas.

1.4.1. Proyecto piloto Ancón

PACIFPETROL, Empresa privada de procedencia Brasileña que aprovecha el gas natural en el Ecuador, concibe el proyecto piloto para la utilización de los excedentes de gas asociado para su uso en el patio vehicular utilizado en la operación del campo, entrando a operar en el año 2008, para lo cual se inauguró la primera Planta de Extracción de Gasolina y Deshidratación de Gas Natural en Ancón (fotografía 1.1.), provincia de Santa Elena.



Fotografía 1.1. Primera planta de Gas Natural Vehicular

Del volumen de gas natural obtenido por día, aproximadamente es de 500 mil pies cúbicos, de los cuales 180 mil pies cúbicos son utilizados para generar corriente eléctrica, mientras que los restantes 300 mil pies podrían ser usados en el proyecto para uso vehicular (Fuentes, E. & Gil, V. & Luna, C. & Medina A. & Mora, L. 2010)

1.4.2. Proyecto Santa Paula

Gas natural vehicular del Ecuador GNV S.A. consideró hacer una segunda estación de gas natural en SANTA PAULA, Provincia de Santa Elena, obteniendo el gas natural asociado proveniente del campo “Gustavo Galindo Velasco”, en donde la capacidad estimada de servicio es para 700 vehículos por día y el tiempo de carga es menos de 4 minutos por vehículo. El gobierno ecuatoriano planea explotar dos reservas de gas natural en el golfo de Guayaquil, en alianza con empresas petroleras de Venezuela y Chile, esto es que en un bloque se unirían petróleos de Venezuela. S.A (PDVSA) con Petroecuador, y en el otro bloque se uniría Petroecuador con la estatal petrolera de Chile, ENAP (Periódico Expreso-Guayaquil 2007)

Petróleos de Venezuela continuará con las operaciones exploratorias de gas natural en la isla Puná situada en la zona del suroeste ecuatoriano, donde se cambiará la técnica de exploración a 3D (ausculta miento visual del subsuelo), con la finalidad de mostrar la extensión lateral de arena, puntos brillantes y acumulación de gas.

Después de varias semanas de instalación de equipos, los operarios de PDVSA iniciaron la perforación del pozo exploratorio "Puná 1" en busca de gas y petróleo. La exploración de gas en el Golfo de Guayaquil inició en el mes de junio de 2009 con la perforación del pozo Campo Alegre, lo que no resultó productivo y por ello se planificaron exploraciones 3D, a pesar que los resultados presentados por PDVSA indican grandes indicios de existencia de gas en la zona de la isla PUNÁ". La posibilidad de la existencia de gas natural en esa área se basa en estudios sísmicos realizados en el pasado por la petrolera estatal ecuatoriana "Petroecuador" y varias empresas privadas, que advierten de la presencia de hidrocarburos en la zona (Diario la Hora 2009)

A esos estudios preliminares se sumará la información que arroje esta nueva operación exploratoria, costa afuera en el mar ecuatoriano para determinar la totalidad de nuevas reservas de gas y petróleo que se podría incorporar al país. El inicio de la exploración se realizó luego de un trabajo de consulta social a la población de la Isla Puná por la empresa venezolana, antes de la construcción de la plataforma de perforación, las vías de acceso y otras facilidades que se han ejecutado en esa zona. En esta fase de exploración, que contará con una inversión de unos 32 millones de dólares, se previó encontrar 1,3 trillones de pies cúbicos de gas. Petróleos de Venezuela mantiene una alianza estratégica con Petroecuador para de forma conjunta colaborar en proyectos de hidrocarburos en ambos países ya que el petróleo es el principal producto de exportación de Ecuador y la principal fuente de ingresos del Estado. El gobierno ecuatoriano está empeñado en cambiar la matriz energética del país, que actualmente se basa en el consumo de derivados del petróleo, cuya importación supone para el Estado un enorme gasto.

1.5. Proceso de Obtención y Almacenamiento del GNC.

Planta: PACIFPETROL

Lugar: ANCON, Provincia de Santa Elena

1.5.1. Extracción del gas natural

El gas que se requiere para el proceso se recupera del campo de 100 pozos a través de líneas de flujo de 2 pulgadas que los traslada hacia los separadores en las subestaciones, (fotografía 1.2.). Dentro de los pozos existe petróleo y gas, los que son extraídos por medio de bombas mecánicas a través de tubería de 2 pulgadas, a una presión de 2 psi, (fotografía 1.3 y 1.4.), los cuales van hacia los separadores. Existen dos tipos de extracción del gas y petróleo que son las máquinas estacionarias (fotografía 1.2.) y las móviles que son montadas dentro de camiones de carga, utilizadas para pozos de poca capacidad (fotografía 1.5.).



Fotografía 1.2. Bomba de extracción estacionaria



Fotografía 1.3. Tubería dentro de pozo



Fotografía 1.4. Tuberías de flujo



Fotografía 1.5. Bomba de extracción móvil.

1.5.2. Proceso de separación

El gas mezclado con petróleo viene por las tuberías de flujo (fotografía 1.3), hacia una serie de cilindros que se encargan de separar el petróleo del gas por medio de gravedad (fotografía 1.6.), el gas al ser más liviano que el líquido sube por la tubería y se deposita en los tanques de reserva (fotografía 1.7.), aquí se mantiene el gas a una presión de 2.2 psi.



Fotografía 1.6. Cilindros separadores



Fotografía 1.7. Tanques de reserva de gas

1.5.3. Proceso de almacenamiento y compresión del gas

Dentro de toda la planta Ancón, existen tres zonas llamadas: tigre, 67 y Santa Paula, esta última es muy pequeña y se utiliza este gas para generación de luz eléctrica dentro de la planta y funcionamiento de los motores. Por cada una hay un compresor que almacena todo el gas que sale de cada pozo de su zona. La más grande de todas es la zona 67 que posee 57 pozos.

Todo el gas que viene de cada zona pasa a la planta de almacenamiento y compresión, la cual cumple la función de comprimir el gas para luego llevarlo a la planta de deshidratación (fotografías 1.8. y 1.9.)



Fotografía 1.8. Estación de compresión Tigre



Fotografía 1.9. Estación de compresión 67

Dentro de la estación el gas ingresa por medio de tuberías (fotografía 1.10.), el mismo que va hacer comprimido por el motor a una presión de 150 psi (fotografías 1.11. y 1.12.).



Fotografía 1.10. Tuberías de entrada



Fotografía 1.11. Motor compresor



Fotografía 1.12. Presión a la salida del compresor

1.5.4. Proceso de deshidratación

El proceso de deshidratación consiste en absorber lo pesado o impurezas del gas para obtener el etano, metano y demás derivados (fotografía 1.13.)



Fotografía 1.13. Planta de deshidratación

Dentro de la planta el gas pasa por deshidratadores que tienen en su interior tamices moleculares y alúmina activada, en forma de torres (fotografía 1.14.). Esta deshidratación se da por medio de un baño de aceite, el cual ingresa por la parte superior descendiendo por los tamices internos y obteniendo un aceite rico, el mismo que en su futuro se convertirá en gasolina. Mientras tanto por la parte superior sale el gas seco, el que es enviado al compresor principal para su almacenamiento (fotografía 1.15.)



Fotografía 1.14. Tamices moleculares



Fotografía 1.15. Torres de deshidratación

1.5.5. Planta de purificación del gas

Esta área es la encargada de extraer el agua que existe en el gas, para poder ir al compresor principal (fotografías 1.16. y 1.17.).



Fotografía 1.16. Planta de purificación



Fotografías 1.17. Separadores de agua

1.5.6. Estación de servicio

El gas libre de agua entra al compresor principal de cuatro etapas que comprime el gas a 230 bar ó 2500 psi (fotografías 1.18. y 1.19.). Para luego ser almacenado en cilindros de almacenamiento (fotografía 1.20.), que van conectados al surtidor de la estación de servicio de gas natural, (fotografía 1.21.)



Fotografías 1.18. Separadores de agua



Fotografía 1.19. Presión final



Fotografía 1.20. Cilindros de almacenamiento



Fotografía 1.21. Estación de carga de gas

1.5.7. Normas de seguridad y precauciones de la planta

- Mantener en óptimas condiciones el sistema contra incendios de la planta.
- Mantener 2 extintores de incendio de 150 libras cerca de la planta.
- Verificación constante de los parámetros de operación de la planta como: niveles, presión, temperatura como se indica en la fotografía 1.22.
- Verificación constante de los parámetros de operación del caldero, como suministro de gas, aire, agua, presión interna.



Fotografía 1.22. Presión en las tuberías

- Verificación constante de los parámetros del compresor del producto, como suministro de gas, presión y temperatura.
- Mantener en óptimas condiciones el sistema contra incendios del horno, el mismo que funciona a base de vapor de agua en caso de inundación de gas en el mismo y así evitar alguna explosión.
- No usar celulares ni fumar dentro de las instalaciones.
- Tener suficiente iluminación dentro de la planta para facilitar el trabajo a los operadores durante la noche.
- Cercar todo el perímetro de la planta de gas con mallas u otro tipo de material con el fin de darle protección y resguardo ante un evento inesperado del exterior.

1.6. Equivalencia Energética

Un metro cubico de GNC como combustible vehicular en condiciones normales equivale aproximadamente a 1.10 litros de gasolina, es decir que un vehículo puede recorrer alrededor de un 10 % más que un metro cubico de GNC que con un litro de gasolina.

El GNC posee un octanaje de 130 octanos Reserch (Ron), esto significa que puede ser usado sin ningún problema en cualquier tipo de vehículo, tanto de alta como baja relación de compresión. Haciendo una equivalencia energética entre GNC, gasolina y diesel, se utiliza como base un mismo volumen de mezcla carburante:

$$1 \text{ m}^3 \text{ GNC} = 1,138 \text{ ltrs de gasolina} = 1,025 \text{ ltrs de diésel.}$$

Fuente: (Universidad Nacional del Santa 2002)

A continuación se muestra tablas 1.7 y 1.8 de relaciones energéticas del gas con respecto a otros combustibles:

Tabla 1.7. Equivalencia Energética

Combustible	Densidad (ton/ m ³)	Poder calorífico	Equival. Energética	Rendimiento
Gasolina	0,730	11200 Kcal/kg	8176 Kcal/lt	10 Km/lt
Gas natural comprimido (GNC)	0,00083	9,341 Kcal/m ³	9341 Kcal/m ³	11,4 Km/m ³
GNC	0,00083	9,341 Kcal/ m ³	9341 Kcal/m ³	4 ,6 10 Km/lt

Fuente: Prensa Vehicular Noviembre 2002

Tabla 1.8. Comparación de Características de Gasolina y Gas Natural

Características	Gasolina	Gas natural
Gravedad específica	3,5	0 , 68
Temperatura de ignición (°C)	30	700
Temperatura de ebullición (°C)	27	161
Relación volumétrica (aire/combustible)	15:1	10:1
Presión de almacenaje (bar)	1	200
Rango mezcla explosiva	1- 16	1-14
Contenido energético (Btu/galón)	123000	5900

Fuente: Gas natural para Vehículos, Alternativa Automotriz 2002

1.7. Aplicaciones

La producción de calefacción y generación de electricidad son sus principales usos, así como en los hogares el gas natural calienta con rapidez y eficacia, no necesita almacenaje previo, ya que es un combustible disponible y que contamina menos actualmente. En la industria se benefician con la calidad de la llama ya que no contiene impurezas y es regular, para el futuro el problema del medio ambiente puede conducir a una mayor utilización de este combustible para la automoción.

1.7.1. Uso doméstico

La aplicación de gas natural en los hogares es el más común conocido, puede utilizarse para cocinar, lavar, secar, obtener agua caliente y la climatización de las casas. También la tecnología mejora día a día los electrodomésticos con el fin de utilizar el gas natural de forma más económica y segura. Las cocinas y hornos van equipados con dispositivos más modernos como: encendido electrónico y válvulas de seguridad que impiden el paso del gas si se apaga la llama, además los costos de mantenimiento del material que funciona con gas son generalmente inferiores respecto a otras fuentes de energía.

1.7.2. Comercio e industria

Los principales usuarios comerciales de gas natural son de servicios médicos y edificios de oficinas que incluyen la climatización como aire acondicionado y refrigeración. Los sectores industriales necesitan energía térmica limpia, eficaz y económica para hornos, fundiciones, tratamientos térmicos, calefacción de grandes locales como son los polideportivos y naves industriales.

Este sector es el principal consumidor del mercado de gas natural y este puede experimentar un crecimiento aproximado del 25%. En el comercio y la industria el gas natural puede ser utilizado en cualquier proceso de generación de calor o frío y en la cogeneración de energía térmica y eléctrica.

La combustión del gas natural permite regular mejor la temperatura de las cámaras de combustión de una extensa gama de equipos y aplicarla directamente al tratamiento de multitud de productos. Por su alto contenido de hidrogeno, el gas natural es la materia prima más utilizada en la producción de amoniaco para fertilizantes como en otras aplicaciones petroquímicas, también puede emplearse para hacer funcionar las pilas de combustible con un dispositivo electroquímico que permite combinar el hidrogeno y el oxígeno contenidos en el aire con el fin de producir electricidad, calor y agua.

1.7.3. Generación de electricidad

Otra aplicación de la actualidad y con gran futuro es la cogeneración con gas natural que produce conjuntamente energía eléctrica o mecánica y calor útil para las fábricas, centros sanitarios, hoteleros y complejos urbanísticos para de esta manera ayudar a reducir en gran medida las emisiones contaminantes.

En la generación de electricidad en centrales térmicas convencionales o de ciclo combinado (CCGT), las cuales utilizan el calor residual para producir más electricidad, este proceso permite ahorrar energía además que ayuda a disminuir los niveles de contaminación.

1.7.4. Vehículos de gas natural

El gas natural se lo utiliza como combustible en los vehículos a motor como GNC o como gas licuado. Los vehículos que utilizan este combustible emiten mucho menos contaminantes que aquellos que utilizan gasolina o diésel, además que no contiene plomo que no genera prácticamente óxidos de azufre ni partículas de suspensión. Se estima que los vehículos que utilizan este combustible emiten un veinte por ciento menos de gas de efecto invernadero que los vehículos que funcionan con gasolina o diésel. “De acuerdo con la asociación Internacional de vehículos de gas natural, el parque automovilístico que funciona con gas natural es de más de 4,7 millones de vehículos en todo el mundo.

Las preocupaciones respecto a la calidad del aire en la mayor parte de las regiones del mundo refuerzan el interés por la utilización de este combustible (Universidad de Costa Rica - Segundo Boletín Informativo 2013). En el Ecuador existen aproximadamente 60 vehículos que transitan con GNC en la provincia de Santa Elena, estos vehículos son de propiedad de la empresa.

1.8. Impacto Ambiental del Gas Natural

Se entiende por contaminantes de la atmosfera al monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos (HC), los óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas de suspensión y humos emanados producto de la combustión de los motores equipados con motores diésel o gasolina. Los métodos para la evaluación de los contaminantes atmosféricos serán establecidos por los organismos nacionales, provinciales o municipales competentes. En la atmosfera los gases contaminantes de los motores nuevos o modificados que consumen GNC, no deberán superar los límites máximos admitidos en la Norma Ecuatoriana de calidad del Aire del Ambiente, de la legislación Ambiental.

El gas natural es un combustible fósil que tiene un impacto ambiental mínimo comparado con el resto de los combustibles y cuya utilización contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La combustión del gas natural, compuesto principalmente por metano (CH_4), CO_2 que la combustión del carbón por unidad de energía producida. Se atribuye al CO_2 el 65% de la influencia de la actividad humana en el efecto invernadero y al CH_4 el 19% de dicha influencia (Domínguez 2013). Las empresas que distribuyen gas natural les corresponde menos del 10% de las emisiones de metano a la atmósfera, valor que se va reduciendo cada año por las medidas que han adoptado las empresas, como es la renovación de tuberías antiguas y de venteos de gas.

El gas natural es un combustible que emite menos CO_2 por unidad de energía producida, por tratarse de un gas su mezcla con el aire y su posterior combustión es más fácil que con otros combustibles y la ausencia de partículas y compuestos corrosivos de azufre y por lo tanto las ventajas de su utilización. Además las reservas de gas natural son abundantes, su transporte y distribución mediante tuberías enterradas hacen que su impacto sobre el paisaje sea mínimo. Por su rendimiento y baja emisión de contaminantes el gas natural es apropiado para la generación de electricidad y cogeneración, en el uso de calderas y hornos industriales, automoción, climatización y otros usos en el sector comercial y doméstico (Diario La Verdad 2013).

1.8.1. Gas Natural y protección del entorno

La preservación del medio ambiente con la utilización del gas natural es una ventaja, por lo que se desarrollan actividades de manera que contribuyan de forma positiva al comportamiento medio ambiental asociado a procesos, instalaciones y servicios. Se realiza un esfuerzo continuo en identificar, caracterizar y mejorar el impacto medio ambiental derivado de sus actividades, como las instalaciones y procesos de negocios, procurando la utilización eficiente de los mismos.

Se efectúa tareas de prevención de la contaminación y evaluación de riesgos potenciales, que consisten en aplicar el principio básico de prevención de la contaminación desde la planificación y evaluación de decisiones sobre proyectos.

Se presta apoyo a diferentes administraciones y entidades públicas o privadas en la búsqueda de soluciones a los problemas medio ambientales que plantea el ejercicio de la actividad gasista e incorpora los criterios medio ambientales a la gestión de negocio. Entre sus objetivos primordiales es transmitir a los proveedores de las empresas del grupo gas natural los procedimientos y requisitos medio ambientales aplicables y asegurar su cumplimiento.

1.9. Conclusiones

- Desde el punto de vista social, el gas natural mejora la calidad de vida en los hogares así como facilita y abarata los servicios requeridos en la cocina, calefacción, agua caliente, aire acondicionado.
- La cogeneración con gas natural que produce conjuntamente energía eléctrica o mecánica y calor útil para fábricas, centros hoteleros, complejos urbanos para de esta manera reducir en gran medida la emisión de gases contaminantes.
- Por sus propiedades químicas el GNC es un combustible más seguro que los tradicionales, debido a que es más liviano que el aire y se disipa fácil y rápidamente, mientras que los vapores de gasolina son cinco veces más pesados y pueden acumularse en lugares poco ventilados.

CAPÍTULO II

PRUEBAS EN EL MOTOR A INYECCIÓN DE GASOLINA

2.1. Obtención de la Potencia y Torque

Los términos de torque y potencia son indicadores del funcionamiento del motor y representan tanto la fuerza como la rapidez que puede producir el motor.

2.1.1. Torque

El torque se refiere a la fuerza que producen los cuerpos en rotación, debido a que el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando. A mayor cantidad de fuerza de giro que puede hacer el motor a cierto número de revoluciones, se le conoce con el nombre de torque o par máximo. Matemáticamente, el torque es la fuerza que se aplica multiplicada por el largo de la palanca (distancia), es decir:

Torque = $F \times D$, se mide en Newton/Metro

Fuente: (Valcarse 2014)

En un motor de combustión interna, la fuerza es producida por la explosión de la mezcla de aire y gasolina en el interior del cilindro. La fuerza actúa a través del pistón y de la biela sobre el cigüeñal. Cuanto más elevado es el torque, es mayor la fuerza (de torsión) que desarrolla el vehículo.

2.1.2. Potencia

La potencia es la rapidez con que puede trabajar el motor. En términos matemáticos se refiere a la cantidad de trabajo, realizado en una unidad de tiempo:

Potencia = Trabajo / tiempo, y se mide en caballos de potencia (hp).

Fuente: (Valcarse 2014)

Por lo tanto al decir potencia máxima se refiere al mayor número obtenido de multiplicar, el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera.

2.2. Dispositivos de Obtención de la Potencia y Torque

Para la obtención de potencia y torque existen varios métodos, uno de los más utilizados por los fabricantes de vehículos, es el banco estático de potencia por freno de agua, es el más popular ya que miden la potencia y torque con el motor desmontado, brindando así el mínimo de rozamiento que elementos como sistema de transmisión, carrocería, chasis, etc. reducen la potencia y torque real que entregan los motores.

Sin embargo a nivel mundial algunos de los fabricantes de vehículos y talleres particulares, el método más común para la obtención de la potencia y el torque son por medio de un dinamómetro de rodillos. Este método a excepción del banco estático por freno de agua, es más común debido a su precio más económico y por qué brinda valores reales en pista del rendimiento del motor.

2.2.1. Dinamómetro de rodillos

Los dinamómetros de rodillos (Figura 2.1.) se utilizan para obtener las curvas de potencia, par torsor y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento.



Figura 2.1. Banco dinamométrico de rodillos.
Fuente: (<http://www.dinamotor.com.ar>)

Para la realización del ensayo se colocan las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos y seguidamente se fijan los sistemas que garantizan que el vehículo permanezca inmóvil durante el ensayo. Se arranca el motor y comienza la prueba, la cual se desarrolla en una marcha determinada; se parte desde un número bajo de revoluciones por minuto (rpm) y se acelera a fondo hasta el número de máximo de rpm deseado. El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas motrices, y un sistema de captura de datos y un software especializado muestran en la pantalla de una computadora los resultados obtenidos en forma de gráficos y tablas (Arruti, J. & Aular, F. & Rodríguez, R. & Mejías A. & Pereira, J. & Caraballo, G. 2012). Con un banco de rodillos, se puede determinar si el motor de un vehículo cumple con las especificaciones señaladas por el fabricante, así como también, evaluar la influencia de modificaciones mecánicas o electrónicas, sobre el rendimiento del motor, sin tener que desmontarlo.

2.2.2. Dinamómetro estático hidráulico

El sistema de frenos hidráulico consta de una bomba hidráulica, un depósito de fluido, la tubería entre las dos partes y un disco montado en una cubierta la cual contiene el fluido (agua). Insertado en la tubería es una válvula ajustable, y entre la bomba y la válvula es un indicador u otros medios de medición de la presión hidráulica.

En términos más simples, el motor se acelera hasta las rpm deseadas y la válvula de paso se cierra o se abre gradualmente para el paso del fluido. Como se aumenta la salida del líquido de las válvulas, que incrementa la carga y se mide el esfuerzo de rotación.

A diferencia de la mayoría de los otros sistemas, la energía se calcula mediante la factorización de volumen de flujo, presión hidráulica, y rpm. Freno (hp), ya sea calculado con la presión, el volumen y rpm, o con una carga diferente de tipo celular freno dinamométrico, debe producir cifras de potencia esencialmente idénticas. Los dinamómetros hidráulicos son famosos por tener la capacidad de cambio de carga más rápida, apenas superando ligeramente al freno de energía de Foucault. La desventaja es que requieren grandes cantidades de aceite caliente a alta presión y un depósito de aceite (Osorio 2011)



Fotografía 2.1. Banco dinamométrico estático hidráulico.

2.3. Datos Técnicos

Tabla. 2.1. Datos técnicos motor de pruebas Kia

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS							
Marca	Modelo	Año Fabr.	Comb.	Cilindr. (cm ³)	Potencia (Hp)/rpm	Tracción	Par (ft.lb)/rpm
Kia	Cerato	2005	Gasolina	1975	144/6900	Delantera	129/4200

Fuente: (www.carros.mitula.ec/carros/kia-cerato-gasolina)

2.4. Curva de Torque y Potencia

La obtención de los valores de potencia y torque del motor KIA CERATO estándar, fueron obtenidos mediante datos reales a diferentes revoluciones por minuto. Estas pruebas son hechas en la empresa ensambladora en un banco estático de frenos hidráulico el mismo que proporciona datos reales de la potencia y torque del motor.

2.4.1. Torque

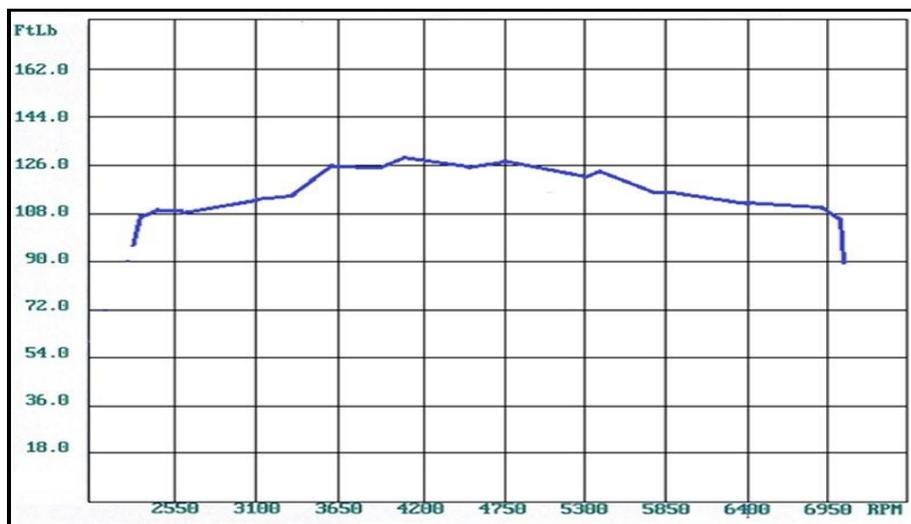


Figura 2.2. Curva de torque
Fuente: (<http://www.kdmtuning.com/>)

En la figura 2.3. Al observar la curva de torque, de un motor KIA CERATO de 2000cc. Los rangos de revoluciones varían desde 1800 hasta 6900 (rpm), obteniendo un torque máximo a 4000 (rpm) de 130 (ft.lb). Ocupando combustible fósil (gasolina) de 92 octanos.

Tabla 2.3. Datos de la curva de Torque

VELOCIDAD DEL MOTOR (R.P.M.)	GASOLINA 92 OCTANOS (ft.lb)
2550	110.0
3100	115.0
3650	126.0
4200	129.0
4750	128.0
5300	120.0
5850	117.0
6400	113.0
6900	108.0

2.4.2. Potencia

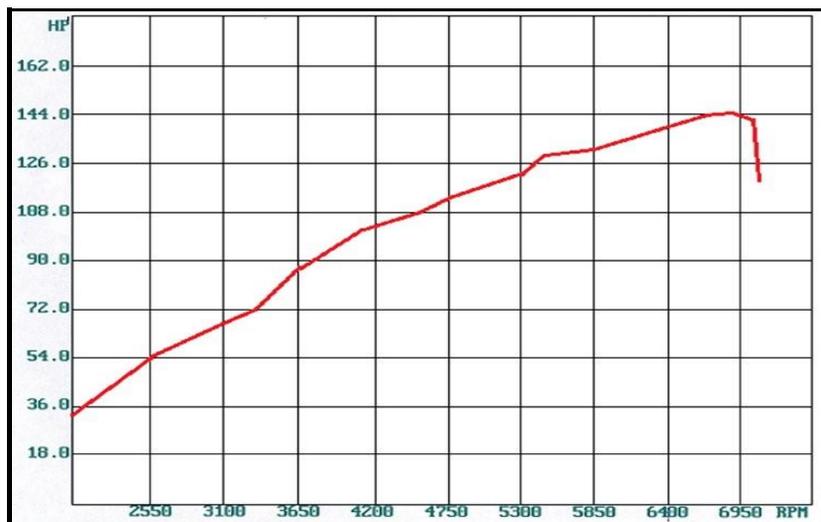


Figura 2.3. Curva de Potencia (rpm/hp)
 Fuente: (<http://www.kdmtuning.com/>)

Tabla. 2.2. Datos de la curva de Potencia

VELOCIDAD DEL MOTOR (R.P.M.)	GASOLINA 92 OCTANOS (HP)
1800	35.0
2550	54.0
3100	68.0
3650	87.0
4200	104.0
4750	113.0
5300	120.0
5850	133.0
6400	139.0
6900	144.0

En la figura 2.2; se observa la curva de potencia, de un motor KIA CERATO de 2000 cc. Los rangos de revoluciones varían desde 1800 hasta 6900 (rpm), obteniendo una potencia máxima a 6900 (rpm) de 144 (hp). Utilizando combustible fósil (gasolina) de 92 octanos.

2.5. Prueba de Emisión de Gases de Escape

Para la medición de gases de escape del motor se utilizó un analizador de gases obtenido en los talleres de mecánica de la Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay; marca MAHA, modelo MGT 5, con la finalidad de que con los datos obtenidos con el motor estándar funcionando a gasolina compararlos con los del motor convertido a GNC.



Figura 2.4. Cuadro de CO y HC a 1500 rpm.

Los monóxidos de carbono (CO), que se muestran son obtenidos a 1500 rpm el mismo que está en los rangos aceptables ya que el límite de CO aceptables es de 1%, obteniendo en el ensayo 0,54 %.(Figura 2.4.)

En el caso de los hidrocarburos (HC), de igual forma fueron obtenidos a 1500 rpm obteniendo un valor de 99 ppm, estando entre los rangos requeridos ya que el límite de HC es de 300 ppm. (Figura 2.5.)



Figura 2.5. Cuadro de CO y HC a 3000 rpm.

Los valores de CO a 3000 rpm, es de 0,66 % al igual que en la gráfica anterior se encuentran entre los límites, con la acepción que a más revoluciones los CO aumentan, a diferencia de HC que en cambio a más revoluciones disminuyen obteniendo un valor de 99 ppm.

2.6. ESTADO DE LOS ELEMENTOS

Para realizar una verificación apropiada del estado de los elementos internos del motor a gasolina, se reparó el motor completamente para tener un funcionamiento óptimo y sus componentes totalmente limpios. Con el motor funcionando perfectamente se lo hace trabajar durante 200 horas, las mismas que se estipuló en los objetivos para la determinación del desgaste que el combustible ocasiona durante este tiempo, para luego compararlo con los datos que obtengamos con GNV.

El combustible a utilizar fue gasolina extra de 89 octanos, debido a que esta es la más utilizada en nuestro medio, así se podrá obtener datos más reales, con respecto a lo que este combustible ocasiona a las partes internas en el motor en la mayoría de vehículos en nuestro medio. Después de haber realizado las pruebas durante 200 horas procedemos al desmontaje del motor.

- a) Drenamos todos los fluidos como líquido refrigerante y aceite del motor
- b) Desconectamos todos los sistemas eléctricos y electrónicos del motor como sensores y conectores.
- c) Sacamos todos los elementos anexos al motor como radiador, banda de accesorio, alternador etc.
- d) Retiramos los múltiples de admisión y escape, finalmente sacamos el cabezote o culata.

Después de haber desmontado todos estos elementos tenemos la accesibilidad para poder observar el estado de los elementos internos del motor. (Fotografía 2.2)



Fotografía 2.2. Bloque motor Kia

En la fotografía 2.2, se observa el bloque motor en el cual se encuentran alojados los cilindros, los mismos que se observan en perfectas condiciones, esto es debido a que los cilindros fueron rectificados anteriormente y el tiempo de pruebas es muy corto para ver algún desgaste como ralladuras en los mismos.



Fotografía 2.3. Pistones

A diferencia de los cilindros los pistones que se muestran en la fotografía 2.3, se encuentran en buen estado sin picaduras o factores que impliquen el cambio de los mismos, no obstante se puede denotar los residuos de carbón que deja el combustible gasolina en los cuatro pistones del motor.



Fotografía 2.4. Cabezote o culata

Primeramente vemos el estado del empaque de cabezote el mismo que no tenía corte o roturas, al igual que el estado del cabezote, que el mismo no tenga picaduras y que su planicidad este correcta. Por lo anteriormente mencionado podemos decir que estos elementos se encuentran en buen estado. (Fotografía 2.4)



Fotografía 2.5. Válvulas y bujías

Finalmente en la fotografía 2.5, se observa las válvulas del cabezote, en las cuales podemos denotar que se encuentran parcialmente sucias especialmente las pequeñas que son las de escape, este estado de las válvulas es lógico ya que por ahí salen los gases producto de la combustión. Con respecto a las bujías, estas se encuentran en buen estado, parcialmente negreadas por la carbonilla que deja la combustión lo que nos sugiere que el motor está funcionando correctamente.

2.7. Conclusiones

- A partir de la producción comercial del petróleo a mediados del siglo XIX, la innovación tecnológica en motores a combustión interna propulsados por la mayor fuente de energía utilizada en el mundo como es la gasolina ha sido muy importante, obteniendo una gran variedad de motores que alcanzan grandes velocidades y potencias, siendo la gasolina una de las fuentes de energía predominante a nivel mundial.
- Sin embargo la combustión de la gasolina representa un gravísimo impacto contaminante al medio ambiente; debido a los gases producidos por la combustión como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), y compuestos de plomo, de gran importancia negativa en la contaminación del aire, daño a la capa de ozono y por lo tanto en el calentamiento global.

CAPÍTULO III

ADECUACIÓN DEL SISTEMA GNC

3.1. Sistema GNC en Motores a Inyección

Para convertir a gas natural un vehículo con motor a inyección, fue necesario desarrollos tecnológicos dirigidos a adecuar de manera simultánea los componentes electrónicos del kit de conversión con las señales de referencia que debían recibir las computadoras de inyección. El sistema de mayor avance tecnológico y su funcionamiento es similar al del sistema de inyección secuencial de combustible (gasolina) del vehículo a convertir. El regulador entrega gas a alta presión y se inyecta a cada cilindro en forma secuencial, tal como ocurre con la gasolina. (Figura. 3.1). El funcionamiento es controlado por la computadora del vehículo que genera las señales de inyección y por una computadora propia del equipo de gas que las interpreta para comandar la inyección de gas. De este modo el funcionamiento del vehículo es igual en gas que en gasolina. La tendencia es la aplicación de esta tecnología en modelos de vehículo a partir de modelos 2008 e incluso de algunos modelos anteriores, que tienen ya un avanzado diseño de electrónica de gran rendimiento (Yerera, S. & López, J. & Becerra, G. & Gil, R. & Holzmann, C. & Graziano, S. s/f).

El sistema instalado también controla otras funciones como:

- a) Selección de combustible, por medio de una llave que le permite al conductor seleccionar el tipo de combustible a utilizar, gasolina o GNC.
- b) Alerta de nivel de carga de los cilindros de gas.
- c) Diagnóstico, verificando el rendimiento del sistema.
- d) Seguridad, en caso de una detención accidental del motor, se cierra de inmediato el paso de gas.

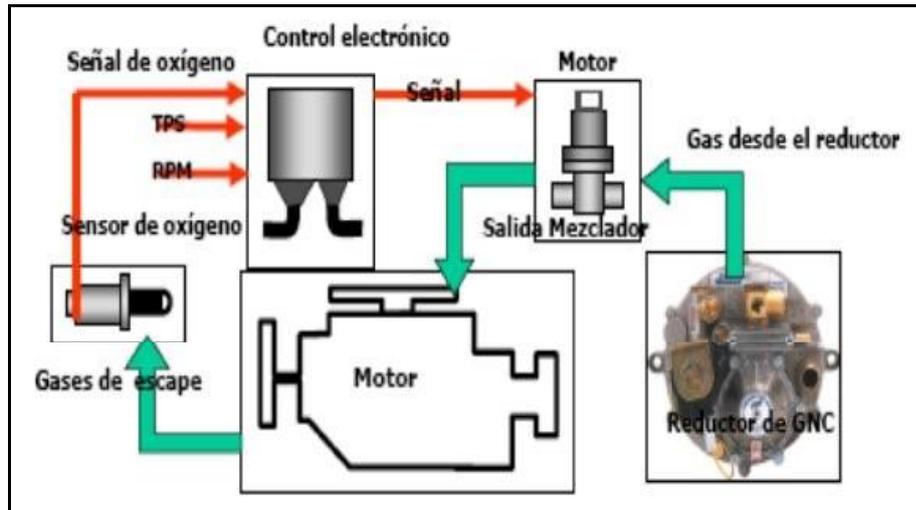


Figura 3.1. Diagrama de funcionamiento

Fuente: (caybergnc.com.ar)

Los accesorios electrónicos del sistema de conversión realizan las siguientes operaciones:

- a) Detienen la inyección de combustible.
- b) Modifican el tiempo de chispa para optimizarlo cuando el motor funciona con GNC.
- c) Emiten la señal de sensor de oxígeno, para evitar que el módulo de control (ECM) descubra anomalías de funcionamiento.

Las principales funciones de este circuito están en manos de los componentes electrónicos:

- Los emuladores de inyección, interrumpen la orden a los inyectores y la alimentación, y envían al módulo electrónico de control una carga equivalente para evitar la detección de anomalías.
- El procesador de cronometraje de chispa modifica el tiempo de duración de la ignición cuando el motor trabaja con gas, manteniendo la duración original de la chispa cuando el motor trabaja con gasolina. Esto es necesario debido al tipo de propagación de la llama cuando se combustiona GNC (Delgado 2005)

3.2. Componentes Básicos para la Conversión al Sistema



Figura 3.2. Equipo necesario

Fuente: (www.gnc.org.ar/downloads/ejemplo_de_equipamento.pdf)

1. Reductor
2. Válvula de carga con pico
3. Válvula de cilindro con sistema de venteo incorporado
4. Electroválvula de alta presión
5. Unidad electrónica de control Lambda
 - 5a. Módulo de control Chip Max
 - 5b. Llave selectora de combustible de inyección
 - 5c. Sensor de presión y vacío
 - 5d. Sensor de temperatura reductor
 - 5e. Manómetro de presión
6. Manguera de alta presión
7. Cilindro de alta presión
8. Abrazaderas
9. Uniones en T
10. Acoples

3.2.1. Reductor

Reductor de presión (Figura 3.3) tiene dos etapas, exclusivo para uso en sistemas de 2^{da} y 3^{ra} generación debido a las excelentes prestaciones de funcionamiento y seguridad, como se indica en la tabla 3.1. segunda etapa bicompensada para una mejor estabilidad y un correcto desempeño en motores turbo hasta 180 HP.



Figura 3.3. Reductor
Fuente: (<http://www.ta.com.ar/sinysec.html>)

3.2.1.1. Características técnicas

Tabla 3.1. Características Técnicas Reductor

USO	AUTOMOTOR (INYECCIÓN)
Tipo de carburante	GNC (Gas Natural Comprimido)
Función	Reductor de presión de dos etapas
Cuerpo	Inyección en aluminio mecanizado
Presión de trabajo	200 bar / 2900 PSI
Conexión de entrada	Niple M12x1
Conexión de salida	Manguera de Ø10mm P
Presión 1 etapa	6 bar
Presión 2 etapa	1.5 / 3 bar
Capacidad en potencia	Hasta 180 hp
Calefacción	Líquido refrigerante del motor
Máximo caudal	80m ³ /h

Fuente: (<http://www.ta.com.ar/pp.html>)

3.2.2. Válvula de Carga

Estas se clasifican en dos grupos:

3.2.2.1. Válvula de carga interna

La apertura manual controlando de este modo el flujo de gas hacia el reductor. Tiene un pico de carga, el cual puede en algunos casos ser desmontado de la válvula sin necesidad de retirar ésta del vehículo.



Figura 3.4. Válvula de carga interna

Fuente: (<http://es.scribd.com/doc/135499674/95607559-Manual-GNC-Master>)

Cuenta con un sistema que permite el rápido abastecimiento del metano en el cilindro contenedor impidiendo el retroceso del mismo, con un sistema denominado anti retorno el cual opera obturando el orificio de carga por medio de una válvula la cual es accionada por la misma presión del gas. En ausencia de presión la válvula es accionada por medio de un resorte expansor el cual cede en su tensión en el momento de carga.

Cuando se trate de válvulas con pico de carga desmontable la unión entre estas dos partes se realiza por medio de un roscado el cual utiliza como sello un retén de silicona o arandela deformable. El pico de carga cuenta con un tapón el cual cumple la función de impedir que se introduzcan basuras en el pico de carga. La válvula de carga debe ser ubicada en línea con el reductor lo más próxima posible al mismo y con los mismos resguardos de seguridad.

3.2.2.2. Válvula de carga externa

Fabricada en latón, a diferencia de la anterior esta se ubica en proximidades del cilindro para facilitar la carga del gas sin necesidad de abrir el cofre.



Figura 3.5. Válvula de carga externa.

Fuente: (<http://es.scribd.com/doc/135499674/95607559-Manual-GNC-Master>)

Se divide en dos componentes: el primero ubicado en el cilindro a la salida de la válvula del mismo este cumple la función de retener el gas en caso de rotura de la válvula de carga (sistema anti retorno). El segundo cumple la función de pico de carga el cual es colocado en la carrocería del vehículo para facilitar la carga del usuario.

Ninguno de los dos componentes debe colocarse por separado, además que no se debe colocar este sistema de carga en paragolpes u otro lugar en el cual el sistema pueda resultar dañado. A diferencia del sistema interno, esta no cuenta con sistema de cierre de accionamiento manual en caso de rotura ya que el sistema anti retorno opera en forma autónoma.

3.2.3. Válvula de Cilindro

Montada sobre el cilindro, es el fusible del circuito de alta presión son de accionamiento manual (si bien existen de accionamiento eléctrico) sus cuerpos son fabricados en latón y luego mecanizados.

3.2.3.1. Características Técnicas

Tabla 3.2. Características Técnicas Válvula de cilindro

USO		AUTOMOTOR	
Tipo de carburante	GNC (Gas Natural Comprimido)		
Función	Cierre manual de paso de gas del cilindro		
Cuerpo	Forja de latón		
Presión de trabajo	200 bar / 2900 PSI		
Seguridad	Fusible para 100 C y disco de estallido entre 300-400 bar		
Sección de pasaje	12,6 mm ² (Ø4 mm)		
Conexión central	CE: DIN 477 W 28,8 3:25		
Conexión lateral	M12 * 1 hembra para niple		
Torque de montaje	20 +- 1 Nm		

Fuente: (<http://www.ta.com.ar/sinysec.html>)



Figura 3.6. Válvula de Cilindro
Fuente: (<http://www.ta.com.ar/pp.html>)

3.2.4. Electro Válvula de Alta Presión

Válvula de alta presión de accionamiento eléctrico, para habilitar el pasaje de gas, entre el regulador y cilindro. En la tabla 1.3 se indican las características de funcionamiento.

3.2.4.1. Características Técnicas

Tabla 3.3. Características Técnicas electroválvula de alta presión

USO	AUTOMOTOR
Tipo de carburante	GNC
Función	Cierre paso de gas
Accionamiento	Eléctrico
Cuerpo	Forja de latón
Presión de trabajo	200 bar/ 2900 Psi
Conexión	M12*1 con filtro de paño
Sistema eléctrico	12 VCC / 12 W
Sección de pasaje	12 ,6 mm (4mm)

Fuente: (<http://www.ta.com.ar/pp.html>)



Figura 3.7. Electroválvula de alta presión
Fuente: (<http://www.ta.com.ar/sinysec.html>)

3.2.5. Unidad Electrónica de Control

Mantiene la performance original del vehículo funcionando a gasolina, no se coloca ningún tipo de restricción en la entrada de aire, como los mezcladores usados en conversiones de generaciones anteriores. La unidad lee los tiempos de inyección calculados por la unidad de control original, aplica las correcciones necesarias para el nuevo combustible, GNC y activa los inyectores. (Figura 3.8)



Figura 3.8. Unidad Electrónica de Control
Fuente: (<http://www.ta.com.ar/sinysec.html>)

Esto hace que el funcionamiento sea similar al programado por el fabricante del vehículo, eliminando definitivamente el riesgo de contra explosiones, presente en todos los sistemas de generaciones anteriores. Esto es especialmente importante en colectores de admisión plásticos.

Evita que la unidad de control original modifique sus parámetros de funcionamiento durante la marcha con gas, originando problemas al retornar a gasolina. La unidad es programada y monitoreada desde una PC, también es posible realizar un registro de operación para verificar su funcionamiento y detectar cualquier anomalía (Castaño, P. & Domínguez, J. 2010)

3.2.6. Llave selectora de combustible de inyección

Tiene como función seleccionar el tipo de combustible gasolina o GNC por medio de una tecla selectora, dependiendo del regulador (aspirado o electrónico). Este será también de señal remoto de la carga del cilindro, debido a la no posibilidad de colocar un manómetro en el interior del mismo (Figura 3.9).



Figura 3.9. Selector de combustible
Fuente: (www.zetronica.com.ar)

3.2.7. Vareador de avance

Para vehículos con Inyección Electrónica que usan sensor MAP o MAF, analógicos o de frecuencia variable. Permite corregir el avance de encendido para un mejor funcionamiento en GNC/GLP, modificando la señal que se envía a la ECU del sensor MAP/MAF (Figura 3.10). La señal emulada puede generarse a través de una "curva de intervención" para obtener el punto óptimo de funcionamiento (Ovidio 2012).



Figura 3.10. Vareador de avance
Fuente: (<http://www.ta.com.ar/pp.html>)

3.2.8. Sensor de presión y vacío

“Este sensor es ligero, pequeño y fácil para ser fijado a la carrocería. Tiene un cuerpo compacto ya integrado con el conector. Contiene un sensor de presión que se adapta sea a motores aspirados, a los turbo-metano, permitiendo una precisa puesta a punto de cada tipo de vehículo (Figura 3.11.).

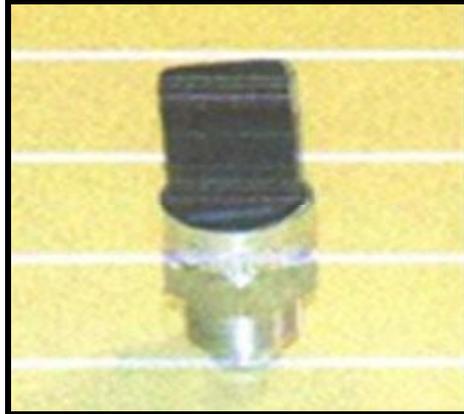


Figura 3.11. Sensor de presión y vacío

Fuente: (<http://www.alberdignc.com.ar/alberdignc/pdfs/1>)

3.2.9. Sensor de temperatura del reductor

Este sensor (Figura.3.12) con un cuerpo compacto e integrado con el conector, es disponible en la versión con sensor de presión P1 y sensor de temperatura gas. Con este sensor la medida de la presión y de la temperatura del gas es más precisa y permite intervenir más rápidamente en las correcciones de carburación del gas (Grosso 2012)



Figura 3.12. Sensor de presión de reductor

Fuente: (<http://www.alberdignc.com.ar/alberdignc/pdfs/1>)

3.2.10. Manómetro de presión

Manómetro para circuitos de G.N.C. vehicular, de tipo bourdon, caja de policarbonato con válvula de seguridad; niple y mecanismo de latón; escala concéntrica sobre cuadrante de metal. El modelo MM1-94/GNC/CE (Figura 3.13) posee un interruptor unipolar que conecta a presiones inferiores a 50 +/- 5 bar. Escalas: 0 - 400 bar. (Nuova Fima 2014).



Figura 3.13. Manómetro de presión
Fuente: (<http://www.nuovafima.com.ar/cata1GNC.htm>)

3.2.11 .Manguera de alta presión

Es un tubo de acero sin costura, el cual es llevado a la medida deseada por medio de varios trafilados para luego ser tratado térmicamente (Figura 3.14) (recocido), se le practica una limpieza para realizar el proceso de zincado con una profundidad de 8 micrones (Delgado 2005)



Figura 3.14. Tubería de alta presión
Fuente: (<http://www.nuovafima.com.ar/cata1GNC.htm>)

Esta cañería deber ser fijada al vehículo por la ruta más corta y firmemente alejada de fuentes de calor, movimientos producto de la suspensión, circuitos de gasolina, frenos y todo roce que puede provocar daño a la cañería. Además debe realizarse una curva, con el fin de absorber las deformaciones en caso de impacto del vehículo, este sistema amortiguador será colocado en los extremos de la cañería. El diámetro mínimo de curvatura será de 250 mm de diámetro, con una separación entre espiras de 2 mm mínimo; con un mínimo de menos 2 espiras.

3.2.12. Cilindro contenedor de gas

Debe ser capaz de soportar una presión de funcionamiento de 200 bares, teniendo una presión de estallido en 750 bares. Su presentación comercial y espesor puede variar según la necesidad desde 760 – 1620 mm de largo con un diámetro exterior 244- 403 mm, como se indica en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Características de cilindro contenedor

Diámetro (mm)	Volumen (litros)	Presión de Trabajo (bar)	Capacidad (m3)	Longitud (mm)	Peso nominal (kg)	Capacidad equivale ltrs. de gasolina
244,00	30,00	200,00	7,50	760,00	45,00	9 , 50
244,00	34,00	200,00	8,50	920,00	51,00	9 , 60
244,00	38,00	200,00	9,50	940,00	54,00	10 , 70
244,00	50,00	200,00	12,50	1305,00	70,00	14 , 10
244,00	60,00	200,00	15,00	1545,00	81,00	17 , 00
244,00	50,00	200,00	15,60	1365,00	94,00	17 , 70
244,00	60,00	200,00	18,70	1620,00	110,00	21 , 10
273,00	45,00	200,00	11,30	940,00	52,00	12 , 80
273,00	75,00	200,00	18,80	1400,00	72,00	21 , 20
323,00	50,00	200,00	12,50	770,00	58,00	14 , 10
323,00	54,00	200,00	13,50	830,00	63,00	15 , 30
323,00	58,00	200,00	14,50	880,00	66,00	16 , 40
323,00	65,00	200,00	16,30	980,00	70,00	18 , 40
323,00	80,00	200,00	20,00	1190,00	85,00	22 , 30
323,00	100	200	25	1480	102	28 , 3
355,00	65	200	16,3	850	80	18 , 4
355,00	75	200	18,8	956	84	21 , 2
355,00	80	200	20	1010	85	22 , 6
355,00	100	200	25	1220	93	28 , 3

355,00	120	200	30	1430	100	34
403,00	80	200	20	880	96	22 , 6
403,00	95	200	23,8	935	102	26 , 8

Fuente: (Aspro GNC)

3.3. Selección del Sistema

Para entender mejor que equipo se utilizó en el proyecto primero se va a conocer los diferentes sistemas de GNC los cuales han mejorado tecnológicamente durante los últimos tiempos introduciendo dispositivos electrónicos que emulan o imitan señales que envía a la computadora del vehículo.

3.3.1. Equipo de 1^{ra} y 2^{da} generación

Primera generación de conversión a GNC es la que se utilizó y permitió la conversión a GNC abarcando a los vehículos con carburador, encendido con platinos y bobina de ignición. Se introducía la mezcla de gas/aire en la proporción definida mecánicamente, mediante un dispositivo auxiliar mezclador colocado en la entrada de aire al motor, es utilizado en vehículos con carburador. A la tecnología descrita para los primeros sistemas de inyección, se la denomina tecnología de lazo abierto o de segunda generación, compatible con el avance de la industria automotriz.

3.3.2. Sistema de Combustible GNC de lazo cerrado (3^{ra} Generación)

Los sensores del motor actúan sobre el control electrónico del equipo de gas, que a su vez acciona un motor de “paso a paso” que dosifica electrónicamente el gas que necesita el motor de acuerdo con el requerimiento de marcha para un óptimo funcionamiento.

La tendencia es el uso de esta tecnología en una gran cantidad de modelos de vehículos, acompañando el avance general de diseño de los vehículos con electrónica adecuada.

3.3.3. Sistema de combustible GNC de inyección secuencial (4^{ta} y 5^{ta} Generación)

Es el sistema de mayor avance tecnológico y su funcionamiento es similar al del sistema de inyección de combustible del vehículo a convertir. El regulador entrega gas a alta presión y se inyecta a cada cilindro en forma secuencial, tal como ocurre con la gasolina.

El funcionamiento es controlado por la computadora del vehículo que genera las señales de inyección y por una computadora propia del equipo de gas que las interpreta para comandar la inyección, de esta forma el funcionamiento del vehículo es igual en gas que en gasolina.

Este sistema es el que utilizan las fábricas automotrices para sus vehículos a gas originales y está disponible en los talleres de conversión que le indicará al potencial usuario, el respectivo productor de equipos completos que debe ser consultado expresamente en cada caso, en nuestro país solo utilizan este sistema los vehículos de la planta PACIFPETROL.

Una vez conocidos los diferentes sistemas de GNC, para la selección del mismo se ha consultado con la empresa PACIFPETROL que tiene instalado el equipo en Ecuador, PACIFPETROL que es la encargada de la extracción de GNC en Santa Elena la misma que sugirió el equipo de Tomasetto Achile, utilizado en los vehículos de la empresa además que dispone de los talleres de montaje y mantenimiento habilitados.

Es un sistema de conversión a gas, proyectado para alimentar los vehículos con GNC, tenga el mando de los inyectores simple o múltiple, es detectado automáticamente por la centralita durante la fase de regulación.

Tecnológicamente es lo más moderno y avanzado que el mercado sudamericano puede ofrecer. Fácil de instalar, sin violaciones o interferencias con los sistemas de diagnóstico originales que se hallan en los vehículos modernos.

3.4. Instalación del Equipo GNC

Antes de realizar la instalación de los diferentes componentes del sistema, es bueno controlar el funcionamiento a gasolina del motor, en particular, revisar cuidadosamente el estado de la instalación eléctrica de encendido, el filtro del aire, el catalizador y la sonda lambda.

3.4.1. Reductor

El reductor se lo debe fijar a la carrocería de manera sólida como se indica en la fotografía 3.1 tal que no esté expuesto a vibraciones ni estar en contacto contra otro dispositivo cuando el motor está en funcionamiento y puede ir en cualquier orientación.



Fotografía 3.1. Reductor de presión

El tubo que conecta el reductor al rail no debería superar un largo de 200-300 mm y el cable del sensor de temperatura no debe estar tenso, retorcido, ni formar pronunciados pliegues a la salida del sensor. El tubo de acero que va de la electroválvula al reductor no debe pasar por zonas del motor demasiado calientes, se debe evitar áreas demasiado incómodas para poder efectuar operaciones de mantenimiento sin dificultades. Para la conexión al circuito de refrigeración, ésta debe ser efectuada en paralelo en relación al circuito de calefacción del habitáculo; es importante controlar, que la temperatura del gas no alcance valores bajos, especialmente luego un prolongado uso en potencia.

3.4.2 .Válvula de carga

Se la debe instalar cerca del regulador de presión y un máximo de 600 mm, además debe estar ubicada en un lugar de fácil acceso para poder operar sobre ella (Fotografía 3.2).



Fotografía 3.2. Válvula de carga

3.4.3. Válvula de cilindro

Sirve para cortar el paso de gas alta presión desde el cilindro hacia el regulador; se la instala a la salida del cilindro (Fotografía 3.3).



Fotografía 3.3. Válvula de cilindro

3.4.4. Manómetro de presión

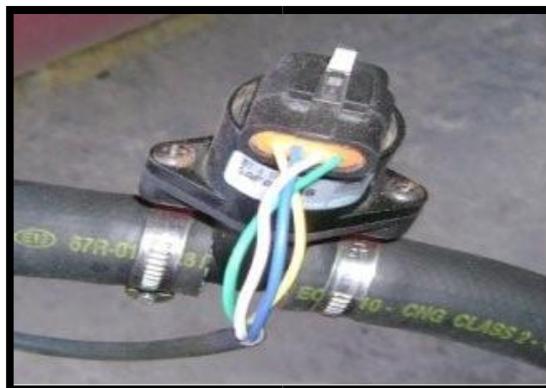
La instalación debe ser lo más cerca de la válvula de carga como se indica en la fotografía 3.4, para tener una fácil y cómoda lectura especialmente durante la operación de carga, este dispositivo envía una señal al selector de combustible de manera que el usuario desde el puesto del conductor tenga noción clara y precisa de la cantidad de gas disponible.



Fotografía 3.4. Manómetro de presión

3.4.5. Regulador de caudal

Está ubicado entre el regulador de presión y el mezclador como en la fotografía 3.5.; se calibra por medio del programa de emulación, debe ir en posición vertical para buen funcionamiento eléctrico del bulón.



Fotografía 3.5. Regulador de caudal

3.4.6. Mezclador

Es un dispositivo que consiste en un Venturi que se instala en el cuerpo de aceleración (Fotografía 3.6) que va desde el filtro al múltiple de admisión produciendo la mezcla aire - gas que ingresa en la cámara de combustión del motor por la depresión que se produce en el cilindro en la fase de admisión.



Fotografía 3.6. Mezclador de gas

3.4.7. Unidad electrónica de control

Puede ser fijada en el habitáculo no necesariamente en un lugar accesible, utilizando la apropiada brida de fijación, sea en el compartimiento motor, utilizando los agujeros de fijación que hay en la caja de aluminio y evitando someter la estructura a esfuerzos excesivos, zonas calientes o sujetas a fuerte irradiación térmica. (Figuras 3.15 y 3.16).

Si bien la unidad de control es hermética, evitar la instalación en zonas sujetas a continuo goteo en caso de lluvia, para que el agua no se filtre y no se estanque en el cableado.

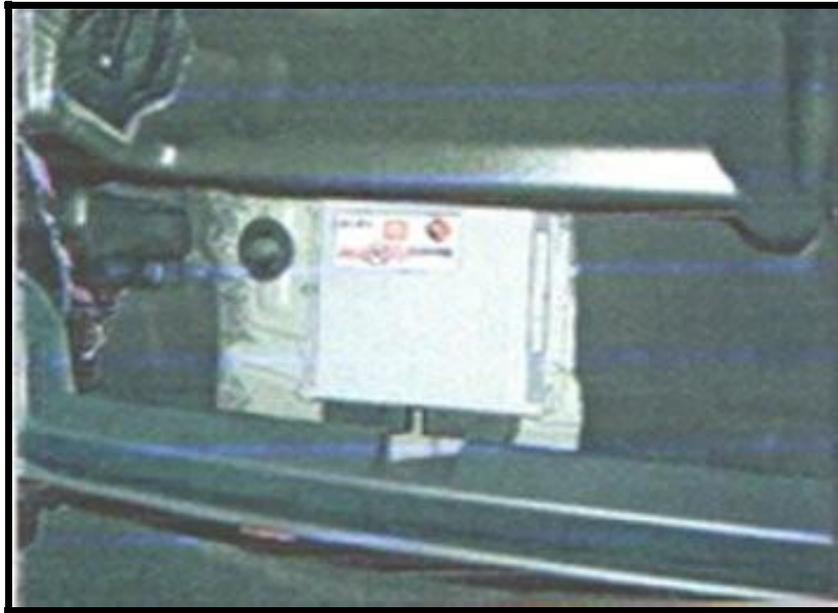


Figura 3.15. Instalación unidad de Control habitáculo de la cabina
Fuente: (<http://www.alberdignc.com.ar/alberdignc/pdfs/1>)

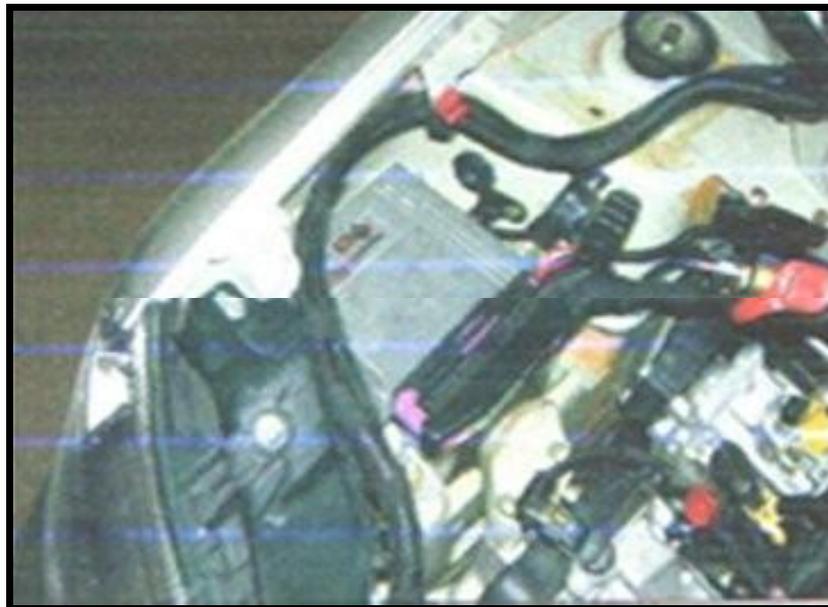


Figura 3.16. Instalación unidad de control compartimiento del motor
Fuente: (<http://www.alberdignc.com.ar/alberdignc/pdfs/1>)

Lo que es importante, más bien, es que el cable que parte de la centralita y que lleva la conexión para el ordenador sea puesto en un lugar muy accesible y protegido por el protector contra posibles infiltraciones de agua.

3.4.8. Cableado del sistema

Se aconseja tratar el cableado muy cuidadosamente, evitando forzar sobre las conexiones, nunca halar sobre los cables para hacer pasar un conector por un agujero o para desconectarlo de la misma manera evitar dobleces, torsiones exageradamente fuertes con abrazaderas, arrastres contra partes en movimiento, etc. Evitar que algunas partes del cable sean demasiados tensos cuando el motor está bajo esfuerzo.

Fijar adecuadamente las partes de cable cerca de los conectores, para evitar que se desconecten, también tener cuidado el contacto con aristas vivas (Figura 3.17).

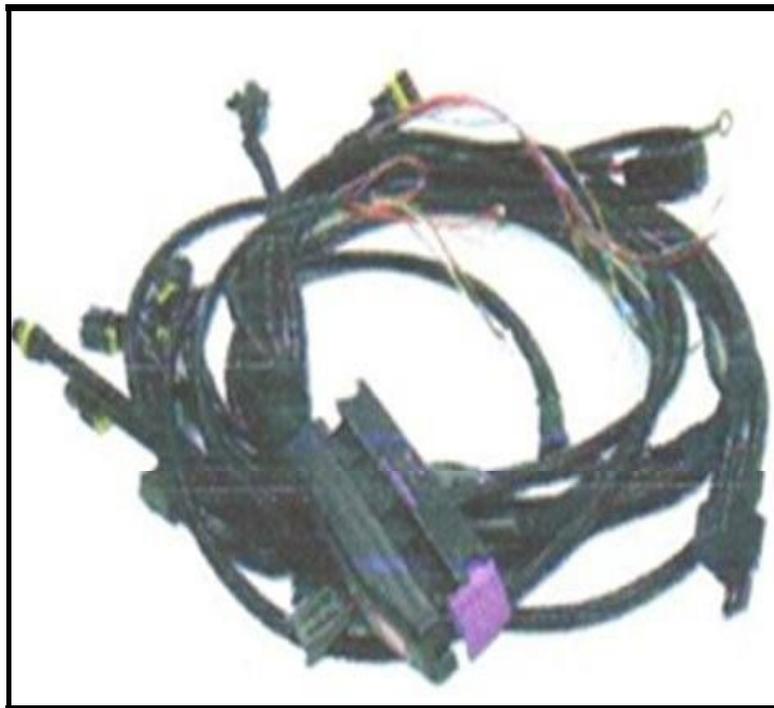


Figura 3.17. Cableado del Sistema
Fuente: (<http://www.alberdignc.com.ar/alberdignc/pdfs/1>)

No colocar los cables del sistema muy cerca de los cables de las bujías o de otras partes sujetas a alta tensión debido a que cada conector está polarizado.

3.5. Normas de Instalación

El Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, es una entidad técnica de derecho público, que es el organismo nacional competente en materia de Reglamentación, Normalización y Metrología. Elabora los documentos normativos a través de comités y subcomités técnicos. El INEN tiene el propósito de elaborar las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) en materia de transporte, almacenamiento y distribución de gas natural, para todas aquellas personas que diseñen, construyan y operen instalaciones relacionadas con el gas natural. A través de estas normas se establecen las condiciones mínimas de seguridad que son obligatorias para los permisionarios en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de gas natural. En la actualidad, el INEN ha emitido las siguientes normas respecto a éste tema:

3.5.1. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2487:2009

Título Español: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Estaciones de servicio para suministro de (GNCV).

Carácter: Voluntaria

Descriptor temático: Ingeniería automotriz, vehículos automotores, gas natural, estaciones de servicio para suministro de gas natural, requisitos

Esta Norma Oficial se emite para establecer los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir las estaciones de servicio para suministro de GNCV como combustible automotor.

3.5.2. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2488:2009

Título Español: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Instalación de equipos completos en vehículos con gas natural vehicular (GNCV). Requisitos.

Carácter: Voluntaria

Fecha Publicación: 2009-02-02

Fecha Aprobación: 2008-11-28

Nro. Registro oficial: 519

Descriptorios temáticos: Ingeniería automotriz, vehículos automotores, gas natural, instalación de equipos de conversión, requisitos.

Esta norma establece los requisitos para la instalación de los componentes del equipo completo para vehículos cuyos motores funcionan con gas natural comprimido (GNC) o biocombustible. Así mismo los ensayos y verificaciones a los vehículos implementados con estos equipos para utilizar GNCV.

3.5.3. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2489:2009

Título: Gas natural. Requisitos

Carácter: Voluntaria

Esta Norma Oficial se emite para establecer los requisitos técnicos y de seguridad generales que se deben cumplir con respecto a explotación y almacenamiento de gas natural desde el punto de vista de su extracción inicial.

3.5.4. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2490:2009

Título: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Componentes del equipo de conversión de gas natural comprimido para uso en vehículos automotores (GNCV). Requisitos

Carácter: Voluntaria

Fecha Publicación: 2009-02-02

Fecha aprobación: 2008-11-28

Nro. Registro oficial: 519 F

Descriptores temáticos: Ingeniería automotriz, vehículos automotores, gas natural, componentes del equipo de conversión, requisitos.

Esta Norma Oficial se emite para establecer los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir, desde el punto de vista de su fabricación, los componentes del equipo de conversión de gas natural comprimido para el uso en vehículos automotores (GNCV).

3.5.5. Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2491:2009

Título Español: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Talleres de instalación y reparación de equipos completos para GNCV, Requisitos

Carácter: Voluntaria

Fecha Publicación: 2009-02-02

Fecha aprobación: 2008-11-28

Nro. Registro oficial: 519

Descriptorios temáticos: Ingeniería automotriz, vehículos automotores, gas natural, taller de instalación, reparación, equipos de conversión, requisitos.

Esta Norma establece los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir los talleres de montaje dedicados a labores de instalación, mantenimiento y reparación del equipo completo de conversión o sus componentes para el uso de gas natural comprimido en vehículos automotores "GNCV" (NTE INEN 2 491:2009)

3.6. Conclusiones

- El sistema a utilizar es el de inyección secuencial de GNC, el que es de mayor avance tecnológico y su funcionamiento, es similar al del sistema de inyección de combustible del vehículo a convertir.
- Un vehículo convertido a GNC tiene la posibilidad de alternar dos tipos de combustibles, cambiando de gas a gasolina oprimiendo solo un interruptor, lo que permite que el conductor use un combustible u otro según la necesidad.
- Economía para el usuario por menor costo de producción, además que los costos de mantenimiento del vehículo ya que incrementa la vida de ciertos elementos como bujías, aceite lubricante, etc.
- El beneficio de utilizar gas lo tendrían quienes usan de modo intensivo el automotor como taxistas, o quienes disponen de un vehículo de alto cilindraje.
- Es de vital importancia para el uso de GNC, tener en condiciones el sistema de encendido (bujías en buen estado, de buena calidad, cables en buen estado, bobina en buen estado), tener en condiciones el avance al encendido lo más cercano al original.

CAPITULO IV

PRUEBAS EN EL MOTOR USANDO COMBUSTIBLE GAS NATURAL COMPRIMIDO

Una vez realizada la instalación del equipo GNC en el motor Kia cerato año 2005 de encendido electrónico de 2000cc, se continúa con la instalación eléctrica y programación de los emuladores.

Para obtener datos teóricos en base al cálculo sobre curvas de potencia y torque en bancos dinamométricos estáticos, así como también basados en las curvas referenciales dados por el fabricante.

Se ha realizado una proyección de la curva de torque y potencia debido a que el banco dinamométrico en algunos casos, estaba siendo reconstruido por los estudiantes de la ESPOCH, otro en mal estado de funcionamiento ESPE; además se envió una solicitud a IASA pero la respuesta fue que el banco que ellos disponen es solo para motores CATEPILLER, otro caso fue que se haga un convenio con la ESPOL para el uso de los laboratorios de dicha universidad dejando el motor con las instalación de GNC, para realizar la prueba en dicho establecimiento.

4.1. Instalación Equipo Electrónico GNV

Para comenzar con la programación de los emuladores, se debe instalar el software del Lambda X5 y el chip MAX, además tener el motor funcionando hasta que alcance la temperatura de adecuada, de esta manera se evita que no baje en el regulador de presión la temperatura y no disminuya el flujo de gas ya que este tiende a congelarse dando como resultado mal funcionamiento del motor cuando se cambia a combustible GNV.

4.1.1. Programación del sistema lambda X5

De las diferentes opciones que indica el programa se elige la ventana VEHÍCULO (Figura 4.1) de la que tenemos que escoger la que corresponden a nuestro motor: para el cálculo de cada ciclo de trabajo se da por dos señales en este caso opción bibobina, luego motor de cuatro cilindros, sonda flex, TPS con cuanto voltaje funcionamiento de 0-5 V, para luego de esto proceder a la programación del TPS mínimo.



Figura 4.1. Configuración Vehículo

Para la configuración del TPS mínimo, escogemos la ventana correspondiente motor y seguir las indicaciones del programa como acelerar hasta posición máxima, soltar por completo y grabar (Figura.4.2).

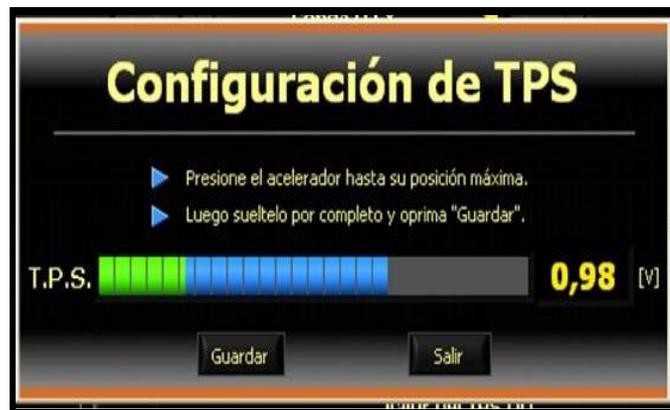


Figura 4.2. Configuración TPS

En la configuración de la válvula reguladora de caudal (Figura 4.3) hay que acelerar el motor progresivamente hasta alcanzar las 3000 rpm y mantener constante unos segundos, hasta que avise soltar el acelerador para al final alarme que la configuración se ha realizado correctamente.



Figura 4.3. Configuración Válvula reguladora de caudal a 3000 rpm

En la figura 4.4 se observa la caída de las rpm cuando indica soltar el acelerador.



Figura 4.4. Configuración Válvula reguladora de caudal sin aceleración

Mientras que en la figura 4.5 indica que se ha realizado correctamente la programación, terminando la programación del dispositivo.



Figura 4.5. Configuración correcta válvula reguladora de caudal

Luego se procedió a la segunda ventana del programa que es ACTUADOR (Figura 4.6); se sigue paso a paso primero la apertura del actuador, con esto se puede modificar la cantidad de gas que será descargada en ralentí variando la opción “PASOS”, y observamos la variación entre mezcla rica y pobre en la señal del sensor de oxígeno.



Figura 4.6. Configuración Actuador

Los límites de desplazamiento del actuador lo ejecutan en forma automática por medio del botón Auto calcular áreas y actualizar (Figura 4.7). Por ultimo en la figura 4.8, que se refiere al Cut-Off que es para el corte de alimentación de combustible GNC para lo que hay que revisar los valores del TPS y RPM del motor están dentro de los valores permitidos.



Figura 4.7. Configuración Actuador



Figura 4.8. Configuración Cut-Off

En la última ventana de FIGURAS, se observa la señal que está emitiendo la sonda lambda y si el motor de pasos se encuentra funcionando correctamente en este caso normal como RPM, TPS, actuador de gas y la variación entre mezcla rica y pobre.



Figura 4.9. Gráfico Señal Sensor LAMBDA



Figura 4.10. Gráfico Señal Sensor LAMBDA

4.1.2. Programación Chip Max

La programación de este emulador (Figura 4.11.) se la realiza conectado directamente y descargando el software que consiste en detectar el modelo CHIP MAX VERSION GREEN (Figura 4.12.); la misma que tiene la misión de cortar la inyección de combustible en el momento que empieza a funcionar el sistema a gas.



Figura 4.11. Configuración Data Flex



Figura 4.12. Configuración Data Flex



Figura 4.13. Configuración Data Flex

En la figura 4.13 nos indica que se ha identificado el modelo y empieza a descargar el programa correctamente; en la gráfica 4.14 avisa que no se dispone del emulador para la SOMDA en esta versión.

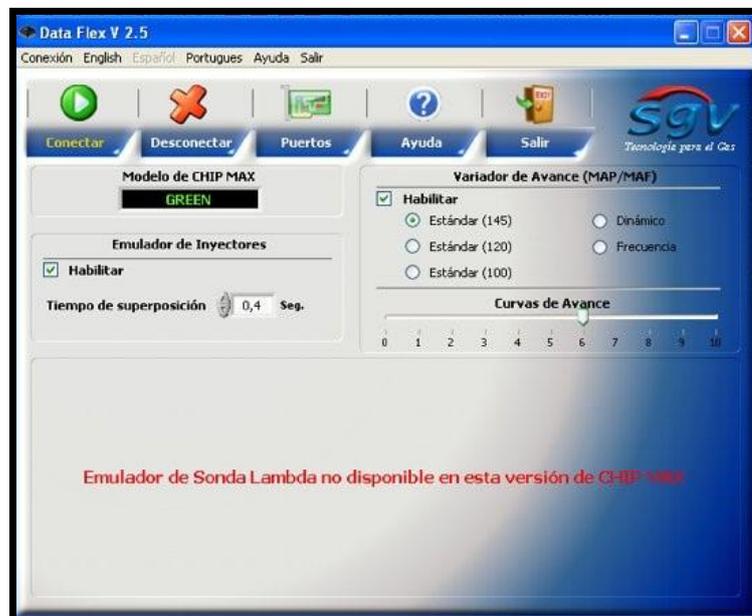


Figura 4.14. Emulador de sonda L_AMBDA

4.2. Torque y Potencia Utilizando GNC

Para realizar las gráficas de torque y potencia se hizo una proyección tomando como base las curvas originales que se la realiza en todos los motores en un banco dinamométrico de rodillos antes de ser comercializados y como dato comprobado que la disminución de potencia en otros motores que utilizan GNC es de un 15 a 20% respectivamente.

4.2.1. Obtención de potencia

La obtención de los valores de potencia del motor modificado se lo realizó por medio de una proyección mediante datos de otros vehículos convertidos en otros países con motores de igual, menor o mayor cilindrada. Para la realización de esta grafica se debe tener en cuenta algunos parámetros, los que ayudaran en el desarrollo del mismo:

- Aceleración variable
- Revoluciones por minuto
- Combustible Gas Natural Comprimido
- Poder calorífico del combustible 44000 KJ/Kg
- Densidad especifica (*)

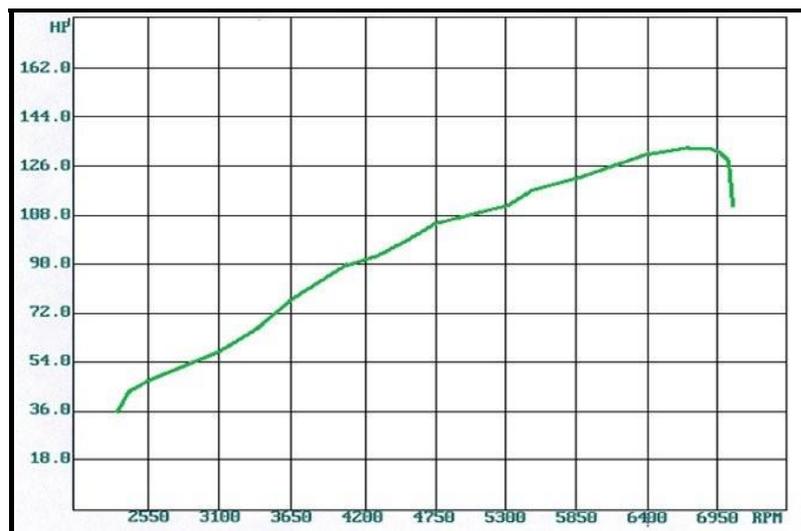


Figura 4.15. Proyección de la Potencia motor GNC

4.2.2. Torque

Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo.

$$Tq = F \times l \quad (23)$$

Dónde:

Tq = Torque (N.m)

F = Fuerza (N)

l = Brazo de palanca (m)

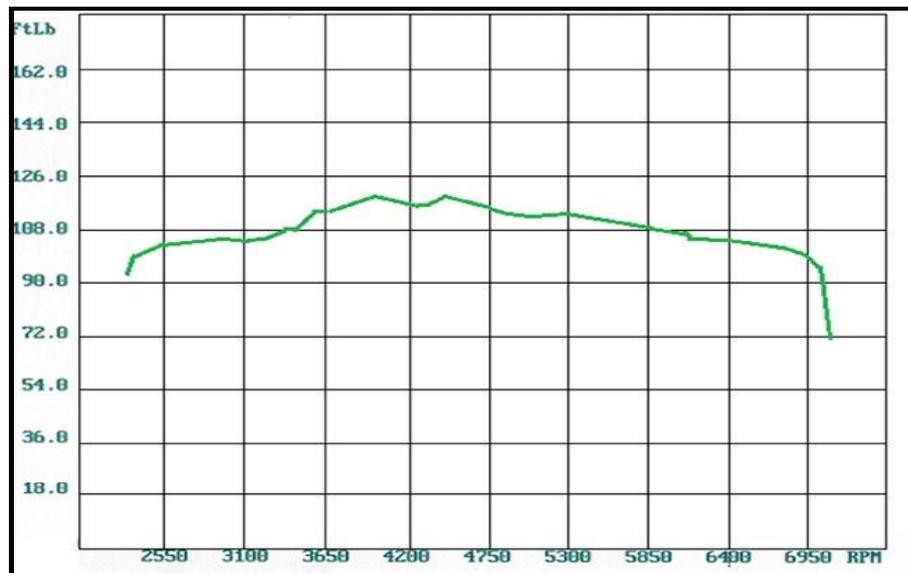


Figura 4.16. Proyección del torque motor GNC

4.3. Medida de Compresión

Para la revisión de la compresión del motor y que esta sea fiable primero hay que poner el motor a temperatura normal de funcionamiento 85°- 90°C, o lo que recomiende el fabricante.

Con el motor caliente retirar el socket de alimentación de la bobina y cables de alta tensión de las bujías; prestar mucha atención al orden en que están conectados los cables de alta tensión.

- Desatornillar una bujía y colocar allí el manómetro de lectura directa cuidando de tapar completamente el orificio de la culata.
- Para medir la compresión del motor en el cilindro se acciona el motor de arranque (por otra persona), durante unos ocho segundos con el acelerador a fondo y pisando el embrague.
- Colocar la bujía retirada y repetir para cada uno de los cilindros del motor restantes.
- La presión leída en el manómetro (Figura 4.17) debe ser igual para todos los cilindros y se puede permitir una diferencia de 1.5 bar entre cilindros para motores de gasolina.

Una vez tomada la medida en cada cilindro, esto revela que los cilindros del motor se encuentra en buen estado de compresión ya que han marcado lo mismo en todos.

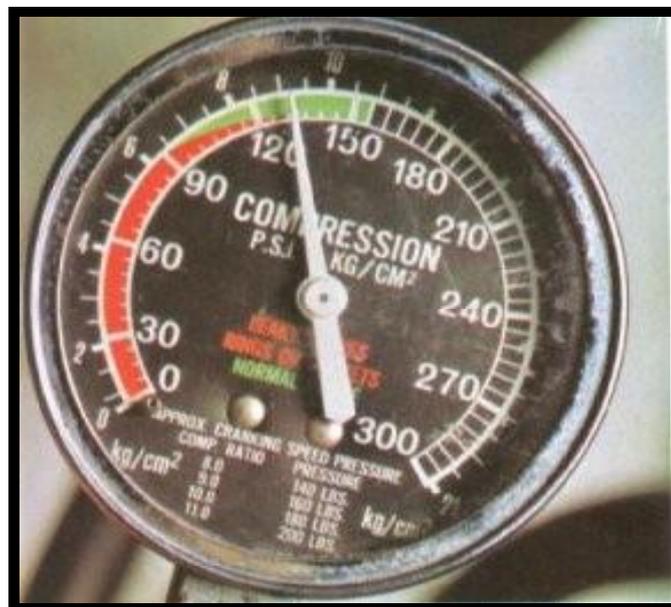


Figura 4.17. Manómetro de compresión

4.4. Prueba de Emisión de Gases de Escape

El objetivo principal, es para medir los niveles de gases contaminantes que son emitidos por el motor KIA convertido a GNC; para esto se utilizó el equipo de opacidad de la Universidad de Azuay marca MAHA, modelo MGT 5, el que ayudara en el control de emisiones máximo permisibles.

4.4.1. Analizador de emisiones de 4/5 gases para Líneas de ensayo, para ASM

MGT 5 para ASM Líneas de ensayo (Hernández 2011):

- Equipo básico para el análisis de gases HC, CO, CO², O² con cálculo de valor Lambda.
- Evacuación del agua de condensación por medio de bomba de membrana independiente.
- Visualización de valores de medición a través de software ASM.
- Evacuación de gases remanentes en manguera (Back Purgue).
- Equipo con dos puntos de calibración.
- Analizador de gases con armazón metálico.
- Separador de agua y filtro principal combinados.
- Conexiones para gas de calibración, sensor oxígeno externo, sonda, manguera de sonda (8m) con filtro, manguera para eliminación de condensación.
- Manual de uso.
- Módulo de control LON para conexión a ASM, líneas de ensayo.
- 2m de cable para conexión LON



Figura 4.18. MGT 5 Analizador de emisiones contaminantes



Figura 4.19. Sensor de oxígeno externo

4.4.2. Gases contaminantes producto de la combustión

Anhídrido carbónico (CO₂).- Es un gas incoloro e insípido, con un gusto ligeramente ácido, y se genera en todos los procesos de combustión. Debido a su propiedad de filtrar el calor radiante, es una contribución importante al efecto invernadero.

Vapor de agua (humedad).- Contenido en el combustible se une con el oxígeno para formar agua (H₂O). Dependiendo de la temperatura de los gases de combustión, aparece luego conjuntamente con el agua del combustible y el aire de la combustión o como condensado.

Sustancias sólidas (polvo, hollín).- Las sustancias sólidas en los gases de combustión se originan a partir de los constituyentes incombustibles de los combustibles sólidos y líquidos.

Estas incluyen, por ejemplo, óxidos de silicio, aluminio, calcio, etc., en el carbón y los sulfatos de diversas sustancias en el fueloil pesado. El efecto nocivo del polvo sobre las personas está producido particularmente por la deposición de sustancias tóxicas y cancerígenas en las partículas de polvo.

Oxígeno (O₂).- El oxígeno no utilizado en el proceso de combustión, si hay exceso de aire, aparece como gas en los gases de combustión y es una medida de la eficiencia de la combustión. Se usa para determinar los parámetros de combustión y como variable de referencia.

Monóxido de carbono (CO).- Es un gas tóxico incoloro e inodoro. Se genera en gran medida como consecuencia de la combustión incompleta de combustibles fósiles y otros materiales que contienen carbono. El CO es, en general, inocuo para las personas porque rápidamente se une con el oxígeno del aire para formar CO₂. En lugares cerrados, sin embargo, el CO es extremadamente peligroso, ya que las personas que respiran aire con una concentración de sólo 700 ppm morirán en pocas horas.

Óxidos de nitrógeno (NO_x).- En los procesos de combustión, el nitrógeno del combustible y, a temperaturas elevadas, el del aire de combustión se une en cierta medida con el oxígeno del aire de combustión para formar óxido nítrico NO (NO combustible y NO térmico) en primera instancia, que luego se oxida cuando entra en contacto con el oxígeno en el conducto de los gases de combustión y posteriormente en la atmósfera, para formar el peligroso dióxido de nitrógeno (NO₂).

Ambos óxidos son tóxicos; el NO₂ en particular es un peligroso veneno respiratorio y en combinación con la luz solar contribuye a la formación de ozono.

Anhídrido sulfuroso (SO₂).- Es un gas incoloro, tóxico con un olor picante. Se produce como resultado de la oxidación del mayor o menor volumen de azufre contenido en el combustible. En combinación con agua o condensado, se forman ácido sulfuroso (H₂SO₃) y ácido sulfúrico (H₂SO₄), ambos de los cuales están relacionados con los diversos tipos de deterioro medioambiental a la vegetación y edificios.

Sulfuro de hidrógeno (H₂S).- Es un gas tóxico que huele mal incluso en concentraciones mínimas (aprox. 2,5 µm/m³). Es un componente que se encuentra naturalmente en el gas natural y el petróleo; por consiguiente está presente en refinerías e instalaciones de procesado de gas natural, no de forma menos importante, tras la combustión incompleta en los convertidores catalíticos de vehículos.

Hidrocarburos (HC).- Son un amplio grupo de compuestos químicos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno. Los HC son las sustancias más importantes en química orgánica; en la naturaleza se encuentran en el petróleo, gas natural o el carbón. Se pueden emitir HC cuando se fabrican productos hidrocarbonados (ej. en refinerías) así como durante su uso y eliminación (disolventes, plásticos, pinturas, combustibles, residuos, etc.).

Las combustiones incompletas son una fuente particular de emisiones de HC. Estas también incluyen los incendios forestales y los cigarrillos, por ejemplo. Los HC también contribuyen al efecto invernadero. Ejemplos de HC incluyen metano (CH₄), butano (C₄H₁₀) y benceno (C₆H₆), pero también componentes cancerígenos como el benzopireno (Cazorla 2013).

La prueba tiene como objetivo, comparar los datos obtenidos a GNC con gasolina y el segundo que el motor pase las prueba de emisiones de gases de escape. Para empezar el procedimiento se debe realizar una inspección visual y verificar el adecuado funcionamiento de los componentes involucrados, fugas en cañerías de gas tubo de escape que no tenga agujeros, filtro de aire, sistema de ventilación del cárter.

- **Prueba a elevadas revoluciones.**

Con el motor a temperatura de funcionamiento adecuada; se lleva a un régimen de 2500 rpm manteniendo constante la aceleración durante un mínimo de treinta segundos; si se observa exceso de humo azul o negro por más de 10 segundos parar la prueba, si no es caso se coloca la sonda del equipo en el tubo de escape y se empieza a determinar las lecturas que se observan en la figura 4.20.



Figura 4.20. Prueba a 2500 RPM CTTE

En la figura 4.21 se observa que las partes por millón de hidrocarburos aumenta, es por razón de que se suelta el acelerador y regresa a ralentí en este instante se produce el aumento de HC.



Figura 4.21. Gráfica desde que se suelta el acelerador hasta que llega a ralentí

- **Prueba a mínimas revoluciones.**

Desaceleramos el motor hasta que alcance las revoluciones mínimas de 800-1200 rpm según el fabricante, manteniendo estas durante unos treinta segundos y esperamos hasta tomar la lectura.



Figura 4.22. Aceleración a ralentí

- **Vehículos a gasolina, gas licuado de petróleo y gas natural, (liviano, mediano y pesado)**

Tabla 4.1. Límites máximos permisibles para vehículos en circulación a nivel nacional

Año de fabricación	CO% de volumen	HC (ppm)	CO+CO ₂ %(mínimo)
Hasta 1995	3.0	400	10
1996 en adelante	3.5	300	10
2003 en adelante	0.5	100	12

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 047-2001-MTC, Límite de emisiones contaminantes del Perú

Para Vehículos a Gasolina: Únicamente para controles en carretera o vía pública, que se realicen a más de 1800 m.s.n.m., se aceptarán los siguientes valores sólo para HC: modelos hasta 1995, HC 450 ppm y 8% CO + CO₂, modelos 1996 en adelante, HC 350 ppm y 8% CO +CO₂ (Pantaleón 2012).

Se puede considerar que el motor Kia convertido a GNC; ha pasado el control de emisiones cuando todos los valores medidos están dentro de los límites máximos permisibles según la norma de cada país.

4.5. Comprobación Estado Final de los Elementos

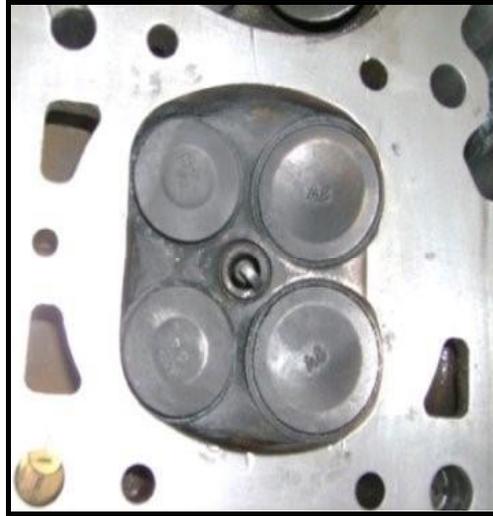
Para realizar la prueba de comprobación al motor Kia, se revisa que todas las nuevas instalaciones estén en perfecto estado y que no haya fugas de gas por las uniones; luego se hace funcionar durante un tiempo de doscientas horas con el combustible alternativo. Esto se lo hizo en la provincia de Santa Elena en el campo petrolero de Ancón, acogiéndonos a todas las normas de seguridad internas que rigen en la empresa PACIFPETROL. Cuando se concluyó con el tiempo de prueba correspondiente del motor verificamos en forma visual si el motor tiene alguna fuga de combustible GNC, aceite o refrigerante para trasladar el motor al taller ubicado en la ciudad de Loja; para desarmar y revisar las respectivas partes internas del motor. En primer lugar procedemos a evacuar todos los fluidos del motor como el combustible, refrigerante y aceite verificando el nivel del mismo y que no se encuentren mezclados producto de algún recalentamiento.

- La fotografía 4.21 desmontaje del cabezote o culata se verifica el estado de guías de válvula, asientos, cámara de combustión, válvulas, que no tengan desgaste, rayones o picaduras; la planicidad y empaque.



Fotografía 4.1. Cabezote

En las fotografía 4.2 se observa que el GNC brinda una combustión más limpia por lo las válvulas de escape, se encuentran más limpias que funcionando a gasolina.



Fotografía 4.2. Válvulas de admisión y escape

- De la misma manera en la fotografía 4.3 se observó que a la salida de los gases de escape al múltiple, se observa que hay menos hollín producto una combustión limpia.



Fotografía 4.3. Salida múltiple de escape

- Observar detenidamente en el desmontaje del cabezote, si se ha producido un recalentamiento; observamos en la fotografía 4.4 que la cabeza de los pistones dos y tres que se encuentran en el PMS están limpios y los cilindros uno y cuatro no hay ralladuras.



Fotografía 4.4. Pistones 2 y 3 en PMS

- En la fotografía 4.5 se observa los cilindros dos y tres que de la misma manera no hay ralladuras y tampoco un recalentamiento.



Fotografía 4.5. Pistones 1 y 4 PMS

- Luego de las respectivas comprobaciones podemos decir que el combustible GNC es más limpio que la gasolina y por lo tanto los elementos antes mencionados se encuentran en buen estado.

4.6. Conclusiones

- En la prueba realizada con el analizador de emisiones disminuyen en promedio en un 57% de hidrocarburos, un 49% de oxígeno, un 11% de CO₂, y un 80% de CO respecto de la gasolina.
- En las pruebas realizadas, notamos que las temperaturas de funcionamiento del motor son aceptables ya que al tener un poder calorífico mayor que la gasolina debería existir un recalentamiento pero no fue el caso.
- Se comprobó que una de las características del GNC, que lo diferencian de otros combustibles fósiles, es que su densidad es menor que la del aire, por lo que ante cualquier pérdida o derrame del mismo, este tiende a elevarse hacia la atmósfera evitando cualquier tipo de peligro de explosión o de asfixia.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para realizar el análisis comparativo de torque y potencia del motor KIA modelo Cerato de 2000 cc funcionado a GNC; se utiliza como referencia las pruebas que se efectuaron en un banco dinamométrico de rodillos a dos vehículos de diferente marca y cilindrada de la empresa pública de Medellín (Colombia).

Se debe resaltar que en los dos vehículos se efectuaron pruebas con tres combustibles diferentes: gasolina original, combustible convertido (gasolina y gas natural), por ultimo con gas natural comprimido.

5.1. Potencia y Torque (Toyota)

Año: 1994

Cilindrada: 4477 cc

Alimentación de combustible: Carburado

En las figuras 5.1 y 5.2 se presentan el comportamiento de la potencia y el torque versus la velocidad del vehículo, mientras este es manipulado sobre un dinamómetro de rodillos. “Las curvas de la figura 5.1 muestran que la máxima potencia del vehículo se desarrolla entre 3500 y las 4000 (rpm), tanto para gasolina como para GNC.

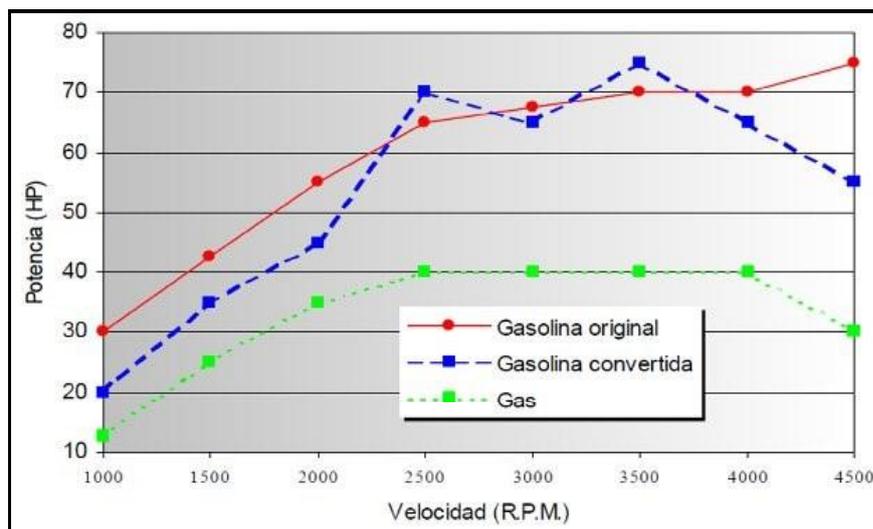


Figura 5.1. Curva de potencia motor Toyota
 Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

En la figura 5.2 el torque máximo, se desarrolla a velocidades de rotación diferentes para cada condición del motor. Para gasolina original, el motor desarrolla su torque a una velocidad de 1000 (rpm) y disminuye mientras aumenta la velocidad. Para gasolina convertida, debido a la instalación del equipo de conversión, el torque se desarrolla a las 2500 (rpm) y con GNC entre 1500 y 2000 (rpm) (Compañía de Entrenamiento Automotriz CETa Ltda. 2001)

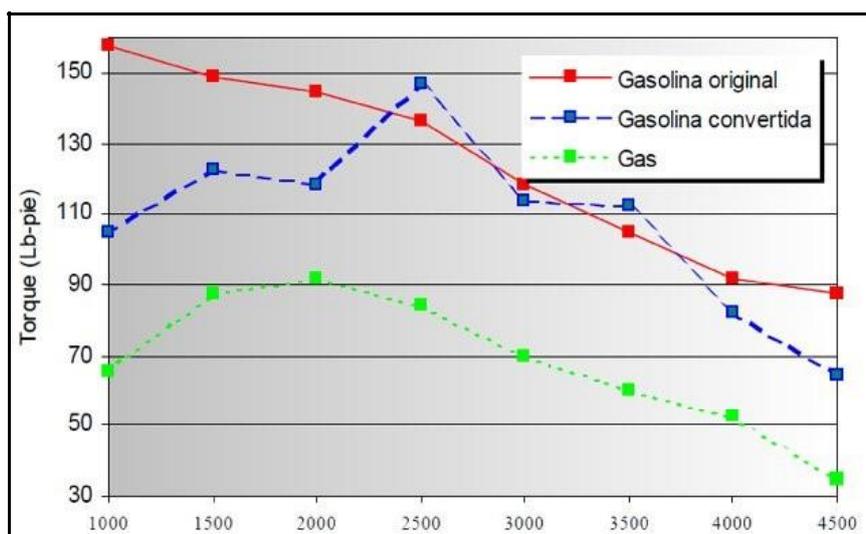


Figura 5.2. Curva de torque Toyota
 Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

5.2. Potencia y Torque (Chevrolet)

Año: 1994

Cilindrada: 2254 C.C.

Alimentación de combustible: Carburado

Las figuras 5.3 y 5.4 muestran el comportamiento de la potencia y el torque versus la velocidad del vehículo, mientras opera sobre un dinamómetro de rodillos. Las curvas de potencia muestran que la máxima potencia del vehículo se desarrolla entre 3500 y 4500 (rpm) del motor para gasolina y a 3500 (rpm) para GNC. En este caso, el hecho de instalar el equipo de conversión a GNC mejora la operación del motor. Las curvas indican ganancias de hasta 50% en la potencia y torque. El torque máximo se desarrolla a velocidades de rotación del motor de alrededor de 2500 (rpm) en todos los casos (Compañía de Entrenamiento Automotriz CETa Ltda. 2001).

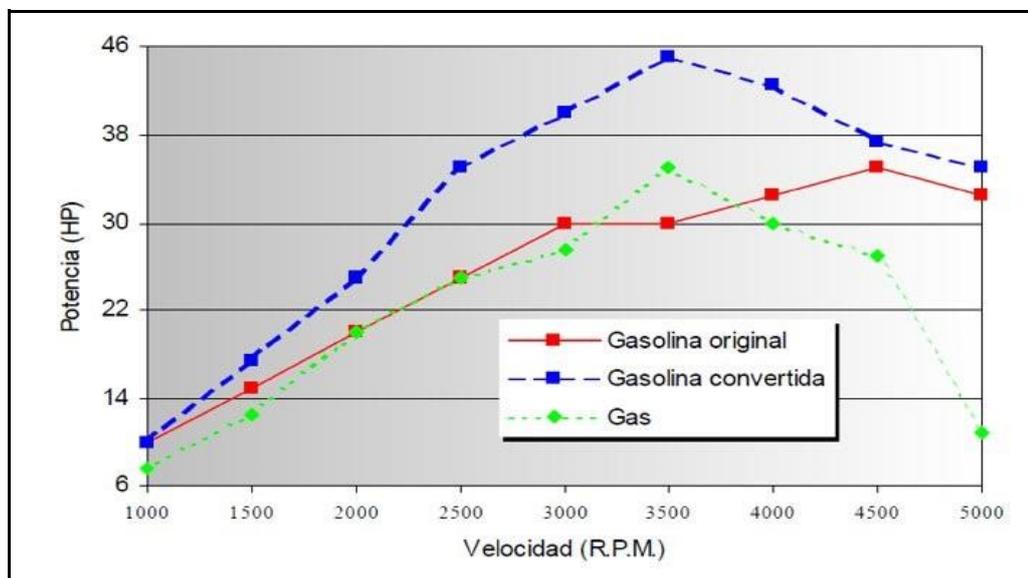


Figura 5.3. Curva de potencia Chevrolet.

Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

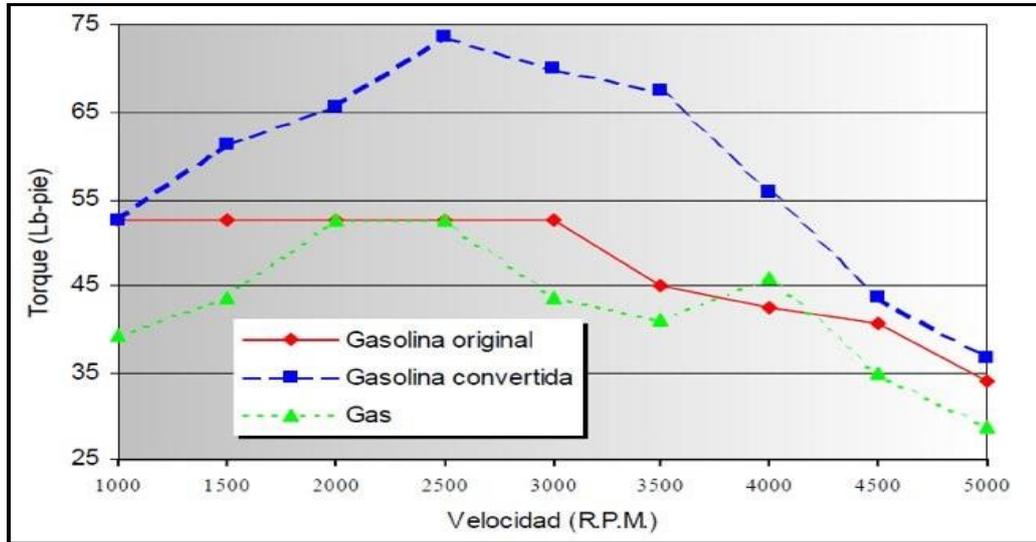


Figura 5.4. Curva de Torque motor Chevrolet
 Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

5.3. PERDIDA DE POTENCIA Y TORQUE

La línea recta al nivel del cero (0) en la escala vertical representa el valor de torque y potencia del 100% con el vehículo operando con gasolina y sin el equipo de gas instalado.

- Los puntos de las curvas que están sobre la línea recta de 0%, representan una mejora de rendimiento.
- Los puntos de las curvas que están por debajo de la línea recta de 0%, representan una pérdida de rendimiento.

5.3.1. Toyota

La figura 5.5 muestra la pérdida o ganancia de torque y potencia del vehículo cuando opera con gasolina convertida y con GNC, en comparación con su operación original con gasolina.

- Gasolina convertido:** La curva muestra una pérdida que va disminuyendo desde 33.33% a 1000 (rpm) hasta 0 % a aproximadamente 2350 (rpm).Luego, entre 2350 y 3700 (rpm) hay un comportamiento similar al de gasolina sin conversión y, a partir de 3700 (rpm), una pérdida creciente de hasta 26.67% a 4500 (rpm).
- GNC:** La curva muestra una pérdida que va disminuyendo desde 58.33% a 1000 (rpm) hasta 36.36 % a 2000 (rpm), se estabiliza alrededor de 40 % hasta las 4000 (rpm) y disminuye nuevamente hasta 26.67 % a 4500 (rpm) (Compañía de Entrenamiento Automotriz CETa Ltda. 2001).

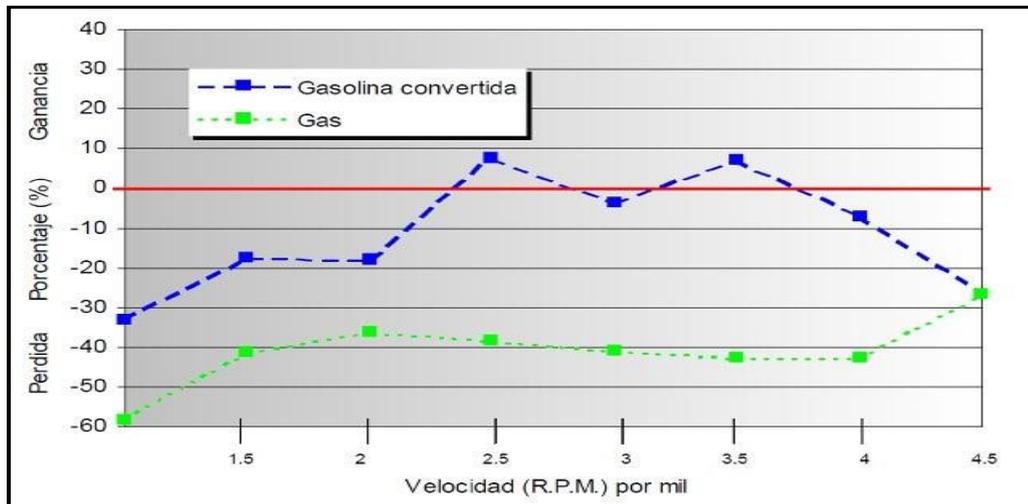


Figura 5.5. Curva pérdida de potencia y torque Toyota
 Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

5.3.2. Chevrolet

La figura 5.6 muestra la pérdida o ganancia de torque y potencia del vehículo cuando opera con gasolina convertida y con GNC respecto a su operación original con gasolina.

- Gasolina convertida:** La curva muestra una ganancia que va aumentando desde 0% a 1000 (rpm) hasta 50 % a 3500 (rpm). Luego desciende hasta una ganancia de 10% a alta velocidad.

- **GNC:** La curva muestra una pérdida que va disminuyendo desde 25% a 1000 (rpm) hasta 0 % a 2000 (rpm), oscila entre pérdida y ganancia del 10% entre 2500 y 4000 (rpm) y cae nuevamente a alta velocidad (Compañía de Entrenamiento Automotriz CETa Ltda. 2001).

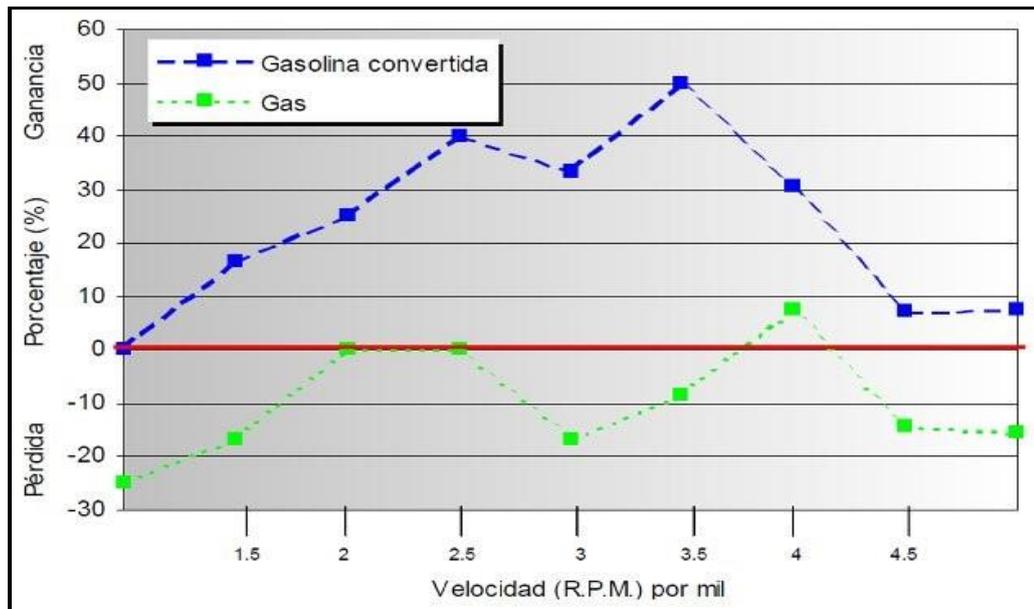


Figura 5.6. Curva de pérdida de potencia y torque Chevrolet
 Fuente: (http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPPM.pdf)

5.4. Análisis Comparativo de Torque y Potencia Motor Kia

Para el análisis de los resultados respecto al torque y potencia, se realizó curvas comparativas basándonos en las pruebas efectuadas en los vehículos Chevrolet Luv y Toyota Land Cruiser anteriormente mencionadas.

Se concluyó que las pérdidas de torque y potencia en el banco dinamométrico operando con GNC, en general son grandes y varían en un rango muy amplio (entre 10 y 40%).

5.4.1. Torque

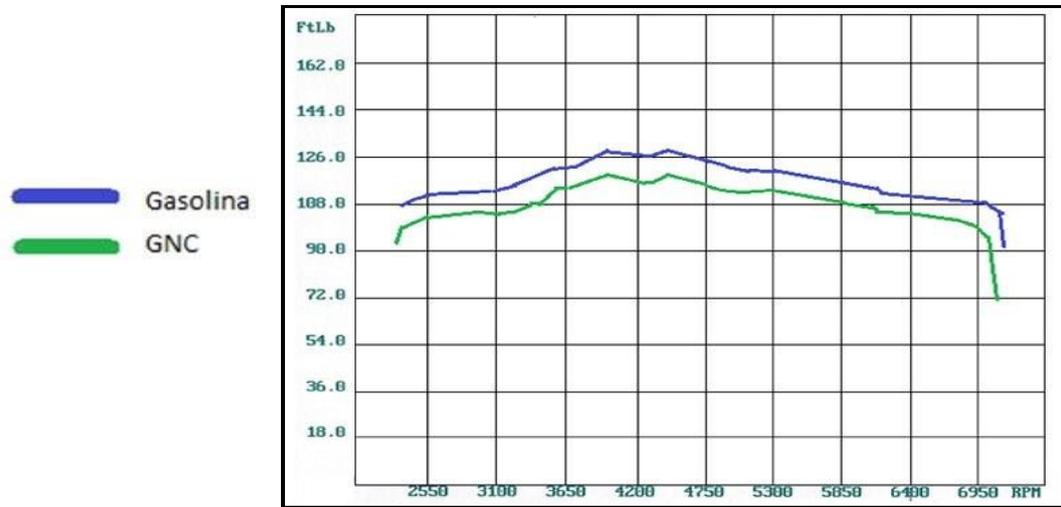


Figura 5.7. Curva comparativa del torque entre gasolina y gas

5.4.2. Potencia



Figura 5.8. Curva comparativa de potencia entre gasolina y gas

Se destaca la influencia que la instalación del kit de conversión (mezclador) tiene sobre la potencia operando con su combustible original, gasolina, llegando a ocasionar pérdidas de potencia de hasta 30% en vehículos en los que el mezclador no es el adecuado o no está bien ajustado.

Obviamente las pérdidas de potencia están relacionadas con pérdidas de torque que pueden ser notables en el evento de que el vehículo sea sometido a condiciones de carga severa. En general se puede decir que aunque las pérdidas de torque y potencia son apreciables, no se perciben en la operación normal de los vehículos debido al tamaño de los motores y al tipo de trabajo sin mayor exigencia de carga al que son sometidos.

5.5. Estado Final de los Elementos

Al producirse la inflamación de estos dos tipos de energía en la cámara de combustión se puede denotar en la figura 5.1. y 5.2. La diferencia en la reducción de residuos de carbono, esto es debido a que el gas es más limpio.

Además, debido a las características de composición y funcionamiento del gas natural comprimido, la duración de las bujías y el estado del aceite del motor se ve ligeramente reducida cuando trabajan constantemente con este combustible.

5.6. Emisiones

Bajo las condiciones de prueba, el GNC muestra muy buen comportamiento, alcanzando reducciones de CO superiores al 80% y de HC hasta del 50% en algunos vehículos.

Se debe anotar que nuestro motor fue específicamente ajustado para una prueba óptima de emisiones, es decir que representa muy bien al parque automotor. Por lo tanto el gas natural comprimido es una muy buena opción para el medio ambiente en la reducción de gases contaminantes y así se reduce el efecto invernadero.

5.7. Economía

El GNC en relación con la gasolina, es ventajoso en términos de económicos. Por ejemplo en países como Colombia se obtiene ahorro por kilómetro recorrido entre el 50 y 60% funcionando con GNC con respecto a la operación con gasolina, siendo este un aspecto muy importante cuando se evalúa la conveniencia de una conversión a GNV. En el año de 1.996, la compañía de taxis Aire Limpio pagó por el GNC entre US\$0,75 y USD \$0,94 por galón. La compañía reportó que esto significa un ahorro de entre USD \$0,30 – \$0,50 por galón. (Aproximadamente USD \$0,03 por milla) con respecto al precio promedio de la gasolina en Washington que era de USD \$1,25 por galón.

La expectativa de retorno de la inversión era de dos años y medio ya que el costo del sistema va desde los USD \$1400 dólares en adelante dependiendo de la calidad y la generación del sistema. En otros países como Perú el costo del GNC es 1,43 soles/m³ y el de la gasolina es de 10,05 soles/galón, en Europa el GNC es 1,445 euros/m³, y la gasolina 3,719 euros/galón. Con respecto al consumo aproximado entre los dos combustible, ocho galones de gasolina equivalen a 10m³ de gas, datos proporcionados por la empresa PACFIPETROL, basados en el consumo diario de sus vehículos.

5.8. Conclusiones

- El factor importante es que los conductores toman en cuenta para la conversión de su vehículo a gasolina a GNC es la economía, podemos denotar que en los países puestos a consideración el GNC es mucho más barato que la gasolina y el consumo por kilómetro va a la par.
- Es importante la reducción de los gases contaminantes haciendo que el GNC sea un combustible amigable al medio ambiente, sin descuidar que también protege a nuestro motor.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El GNC es la mejor opción como combustible alternativo, debido a la gran cantidad de yacimientos petroleros que existen en nuestro país y que se encuentran en fase de extracción lo que hace factible su utilización y distribución.
- El GNC es un combustible apropiado en seguridad, economía y que además presenta beneficios ambientales extraordinarios por reducción en las emisiones de contaminantes de HC y OC, partículas sólidas; además que este gas es beneficioso para los usuarios por ahorro de costo de combustible.
- Los resultados de esta prueba indican que la calidad de las instalaciones, la selección y ajuste de los kits de conversión, el estado del motor y su adecuado mantenimiento, son factores fundamentales para obtener los beneficios ambientales deseados.

Recomendaciones:

- La conversión de vehículos a GNC depende, en gran medida del conocimiento y apropiada capacitación técnica de todas las personas involucrados en la selección de equipos para los vehículos a convertir.
- Para realizar la conversión se debe buscar el equipo adecuado que cumpla con las normas técnicas de fabricación y de la empresa encargada de su comercialización; debido a que en algunos casos las válvulas de carga, de cilindro no son las mismas.
- En el Ecuador el uso del GNC es muy limitado debido a la falta de inversión por el estado y empresa privada que se dedicarían exclusivamente a la comercialización del combustible alternativo beneficioso para el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

1. Gualtieri, P. (2004). *Manual GNC 2. Gas Natural comprimido: Aplicaciones electrónicas para equipos de gas*. Buenos Aires - Argentina
2. Fuentes, E. & Gil, V. & Luna, C. & Medina A. & Mora, L. (2010). *Descripción de las Características y Propiedades del Gas Natural*. Maturín - Venezuela
3. Domínguez, J. (2013). *Jornada sobre Calderas eficientes en Procesos Industriales: Conceptos de combustión y combustibles*. Madrid - España
4. Delgado, D. (2005). *Manual del Curso del Instituto Técnico de Motores: Servicio e Instalación de equipos GNC*. Buenos Aires - Argentina
5. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 491:2009, Vehículos automotores. Funcionamiento de Vehículos Automotores con GNCV. Talleres de Instalación y Reparación de Equipos*. (Primera Edición): Quito - Ecuador
6. Hernández, S. (2011). *Secretaría del Medio Ambiente: Verificación de Emisiones Vehiculares*. Esperanza - México
7. Cazorla, E. (2013). *Tesis de Grado: Optimización del Proceso de Combustión en el Área Clinkerización mediante la Utilización de un Analizador de Gases en la Empresa Cemento Chimborazo C.A. Riobamba - Ecuador*

Referencias electrónicas:

1. Wikimedia Commons (2010). *Química Orgánica; Estructura y Nomenclatura*. Recuperado el 15 de febrero de 2014 de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Qu%C3%ADmica_Org%C3%A1nica.pdf
2. Ministerio de Planificación y Desarrollo, Oficina de Desarrollo Limpio Bolivia (2006-2012). *Mitigación del Cambio Climático: Estrategia de participación en el Mecanismo de Desarrollo Limpio y en otros esquemas de comercio de emisiones de*

gases de efecto invernadero en el marco de Plan Nacional de Desarrollo de Bolivia. Recuperado el 03 de marzo de 2014 de <https://es.scribd.com/doc/75469270/plan-desarrollo-limpio-Bolivia>

3. Secretaria General de la Comunidad Andina (2003). *Los Países Andinos Sobre ¿El Potencial Energético de Ll Subregión Andina como Factor Estratégico para la Seguridad Energética Regional y Hemisférica.* Recuperado del 09 de mayo de 2014 de <http://www.comunidadandina.org/BDA/docs/CAN-INT-0006.pdf>
4. Periódico Expreso (2007). *Gobierno Estudia Uso de Gas Natural, Espol ya lo explota.* Recuperado el 29 de mayo de 2014 de http://www.ecuadorinmediato.com/Noticias/news_user_view/ecuadorinmediato_noticias--60823
5. Diario Nacional La Hora (2009). *Petrolera venezolana inicia exploración de gas natural en Golfo de Guayaquil.* Recuperado el 17 de junio 2014 de http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/896110/-1/Petrolera_venezolana_inicia_exploraci%C3%B3n_de_gas_natural_en_Golfo_de_Guayaquil.html#.V1oazNnhBdg
6. Universidad Nacional de Santa (2002). *El Gas _natural Comprimido como Combustible Automotor: El GCN en el Mundo.* Recuperado el 1 de julio de 2014 de http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/gnc_como_combustible.pdf
7. Universidad de Costa Rica (2013). *Segundo Boletín Informativo: Eficiencia Energética del Gas Natural.* Recuperado el 22 de julio de 2014 de <http://www2.eie.ucr.ac.cr/~jromero/sitio-TCU-oficial/boletines/grupo03/numero-3/INDEX2.html>
8. Diario La Verdad (2013). *El gas natural es el combustible con menor impacto ambiental.* Recuperado el 31 de julio de 2014 de <http://servicios.laverdad.es/extras/medioambiente06/suscr/nec21.htm>
9. Valcarse, Aldo (2014). *Física: Toque y momento de Torsión.* Recuperado el 08 de agosto de 2014 de http://www.astro.puc.cl/~avalcarc/FIS109A/16_Torque.pdf

10. Arruti, J. & Aular, F. & Rodríguez, R. & Mejías A. & Pereira, J. & Caraballo, G. (2012). *Ley Orgánica de Ciencia y Tecnología (LOCTI): Laboratorio Automotriz*. Recuperado el 13 de agosto de 2014 de <http://laboratorioautomotriz.blogspot.com/>
11. Mitula (2014). *Kia cerato: Autos Kia Cerato Gasolina*. Recuperado el 13 de agosto de 2014 de <http://carros.mitula.ec/carros/kia-cerato-gasolina>
12. IIKDM Tuning (2014). *Dyno Results-Hyundai Genesis Coupe 2.0L: Turbo (Stage II)*. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://www.kdmtuning.com/>
13. Osorio Arias, R. (2011). *Sistemas Hidráulicos: Sistema Hidráulico*. Recuperado el 15 de agosto de 2014 de <http://es.slideshare.net/osorird/1-sistemas-hidraulicos1>
14. Yerera, S. & López, J. & Becerra, G. & Gil, R. & Holzmann, C. & Graziano, S. (s/f). *Proyecto de Motores: Sistemas de Inyección Electrónica*. Recuperado el 21 de agosto de 2014 de <file:///C:/Users/Win%20User/Downloads/SISTEMAS%20DE%20INYECCI%C3%93N%20ELECTR%C3%93NICA.pdf>
15. Gnceros Comunidad de Usuarios de Vehículos Convertidos al GNC (2014). *Subforo Técnicos: Todo sobre el GNC*. Recuperado el 22 de agosto de 2014 de <http://www.gnceros.com.ar/phpBB/viewtopic.php?f=3&t=10543>
16. Castaño, V. & Domínguez, J. (2010). *Estudio de sistemas de purificación y aprovechamiento de Biogás: Capítulo 3. Motores de transporte por carretera*. Recuperado el 27 de agosto de 2014 de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/66BC65603F6658EAC125773D002A3F3E/\\$FILE/Cap3.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/66BC65603F6658EAC125773D002A3F3E/$FILE/Cap3.pdf)
17. Zetronic (2014). *Productos Destacados: GNC*. Recuperado el 28 de agosto de 2014 http://zetronica.com/catalogo/index.php?id_category=3&controller=category&id_lang=4
18. Ovidio Flores, C. (2012). *Diagnóstico y Reparación de Fallas en el sistema de Inyección electrónica a Gasolina*. Recuperado el 30 de agosto de 2014 de <http://automotrizenvideo.com/wp-content/sp-resources/forum-file-uploads/uri/2012/11/22222.pdf>

19. Grosso, F. (2012), *Sequent Plug & Drive: Manual para instalador-1/3 GNC*. Recuperado el 02 de septiembre de 2014 de <https://es.scribd.com/doc/65080151/1-Sequent-Plug-Drive-Manual-Instalador-brc>
20. Nuova Fima Argentina (2014). *Cátalo de Productos Nuova Fima*. Recuperado el 02 de septiembre de 2014 de <http://www.pehuen-argentina.com.ar/manometrosytermometros.pdf>
21. Pantaleón, L. (2012). *Angula Dwell: Emisiones Contaminantes y Ángulo Dwell*. Recuperado el 07 de septiembre de 2014 de http://www.academia.edu/5018036/Angulo_dwell
22. Compañía de Entrenamiento Técnico Automotriz CETa Ltda. (2001). *Estudio de Consultoria en Gas Natural Vehicular Contarto No. 079-003/00: Evaluación del Programa de Conversión a GNV de Vehículos de la Flota de empresas Públicas de Medellín (EE.PP.MM.)-Informe No. 1*. Recuperado el 10 de septiembre de 2014 de http://www.gnc.org.ar/downloads/G_gas_natural_vehicular_estudio_GNV_EEPP_M.pdf