



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL EN LA  
CAMIONETA CHEVROLET LUV D-MAX DE LA UNIVERSIDAD  
DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN  
LATACUNGA**

**AUTORES: JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA  
ALEX JAVIER RAMOS JINEZ**

**DIRECTOR: ING. NÉSTOR ROMERO**

**LATACUNGA**

**2017**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL EN LA CAMIONETA CHEVROLET LUV D-MAX DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores **JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA** y **ALEX JAVIER RAMOS JINEZ**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar a **JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA** y **ALEX JAVIER RAMOS JINEZ** para que lo sustenten públicamente.

**Latacunga, 31 de enero de 2017**

Ing. Néstor Romero G.

**DIRECTOR**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA**, con cédula de identidad N° 1720091238 y **ALEX JAVIER RAMOS JINEZ**, con cédula de identidad N° 1804326625, declaramos que este trabajo de titulación "**SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL EN LA CAMIONETA CHEVROLET LUV D-MAX DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 31 de enero del 2017**



Jaime León A.



Alex Ramos J.



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA** y **ALEX JAVIER RAMOS JINEZ**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“SISTEMA BIFUEL ALTERNATIVO GNV/DIESEL EN LA CAMIONETA CHEVROLET LUV D-MAX DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

**Latacunga, 31 de enero del 2017**



---

Jaime León A.



---

Alex Ramos J.

## DEDICATORIA

A Dios pilar fundamental y promotor de este gran logro. A mis padres quienes me apoyaron todo el tiempo para lograr este tan anhelado objetivo.

A mi esposa y a mi hija quienes siempre estuvieron ahí apoyándome y dándome las fuerzas necesarias, cuando parecía que me iba a dar por vencido.

A mis hermanos Julia y Hugo quienes de una u otra manera siempre estuvieron presentes en cada paso de mi vida.

A mi compañero de tesis y gran amigo Alex con el cual hoy compartimos este logro tan anhelado.

A mis maestros quienes apoyaron en mi formación, inculcándome además de conocimiento muchos valores y una manera distinta de ver al mundo.

*Jaime E. León A.*

## DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy. A Margarita, por ser la mujer más importante en mi vida, para ti querida madre, va dedicado este trabajo y todo cuanto alcance en la vida.

A mis abuelos por ser mis segundos padres, y en especial a uno que desde el cielo cuida y protege mis pasos. Para ustedes con el mayor cariño y afecto del mundo.

A mis familiares que siempre están al pendiente de mí y me brindan su apoyo, sobre todo en los momentos difíciles, es muy grato contar con una familia unida y de gran corazón.

Y siempre habrá personas que llegan a tu vida y te impulsan a ser mejor. Para todos los que de una u otra forma me han brindado su amistad y apoyo en esta hermosa ciudad, con mucho afecto les dedico este paso importante en mi vida. A ti Daniela.

Con mucho cariño y afecto...

*Alex Javier.*

## AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por bendecirme y proporcionarme todos los instrumentos necesarios para hoy poder cumplir este sueño, a mis padres quienes nunca se rindieron y que hoy comparten conmigo esta felicidad; a mi esposa Adriana que a pesar de nuestras diferencias siempre es mi apoyo para cumplir con todos mis objetivos, a mi hija Angelita que es el motor que mueve cada uno de mis pasos.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L por acogerme en sus aulas y darme la oportunidad de estudiar, ser un profesional y una mejor persona.

A mi director de tesis, Néstor Romero por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su apoyo y paciencia ha logrado que hoy culmine un escalón en mi vida.

También agradezco a mis profesores quienes durante toda mi carrera me ha inculcado valores y conocimientos que han influenciado en mi formación, entre ellos a Leonidas Quiroz quien a más de ser un profesor ha sido un gran amigo.

A los ingenieros Euro Mena, José Quiroz, Germán Erazo a quienes hoy les digo gracias por sus consejos y enseñanzas y sobre todo por su amistad.

A mi compañero de tesis que a pesar de las discusiones y peleas hemos logrado culminar con éxito este proyecto.

Son innumerables las personas que han contribuido en mi formación a las mismas que me encantaría agradecerles por su amistad, su apoyo y su compañía.

*Jaime E. León A.*

## AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto es el resultado de un trabajo conjunto, por eso el agradecimiento sincero e infinito para todos quienes formaron parte de este grupo de trabajo.

Primero el agradecimiento a Dios, por haberme guiado en este camino hacia la culminación de una meta tan importante en mi vida; y a mis padres por su apoyo incondicional y la confianza depositada en mí. Gracias a ellos por siempre apoyarme en la vida.

A Jaime, mi compañero de aulas y de tesis, por el apoyo como un gran amigo y compañero; este proyecto se ha hecho realidad gracias a su apoyo y trabajo conjunto.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz, por sus conocimientos brindados a lo largo de estos años y sobre todo por el apoyo durante la realización de este proyecto. ¡Mil gracias a todos!

*Alex Javier.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA.....</b>	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>xviii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto.....	5
1.4. Justificación e importancia.....	5
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7

		x
1.6.	Metas .....	8
1.7.	Hipótesis .....	8
1.8.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>9</b>
<b>GENERALIDADES DEL GNC EN AUTOMOCIÓN .....</b>		<b>9</b>
2.1.	El GNC como combustible .....	9
2.1.1.	Características .....	10
2.1.2.	Ventajas .....	11
2.1.3.	Desventajas .....	12
2.1.4.	Seguridad.....	13
2.1.5.	Impacto ambiental.....	14
2.2.	El GNC en el Ecuador .....	15
2.2.1.	Reservas.....	16
2.2.2.	Cambio de matriz productiva.....	18
2.3.	Conversión del motor diesel a GNV .....	18
2.3.1.	Conversión para operación dual .....	19
2.3.2.	Conversión solo GNV.....	21
2.4.	Normativas de GNCV en Ecuador .....	22
2.4.1.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2487:2009 .....	22
2.4.2.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2488:2009 .....	23
2.4.3.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2489:2009 .....	23
2.4.4.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2490:2009 .....	23
2.4.5.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2491:2009 .....	24
2.4.6.	Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2591:2011 .....	24

<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>25</b>
<b>SISTEMA BIFUEL GNV/DIESEL .....</b>	<b>25</b>
3.1. Evaluación del vehículo antes de la instalación .....	25
3.1.1. Análisis mecánico de la camioneta .....	25
3.1.2. Análisis eléctrico y electrónico de la camioneta .....	26
3.2. Componentes del sistema bifuel .....	26
3.2.1. Sensores.....	27
3.2.2. Actuadores.....	29
3.2.3. Regulador de presión.....	30
3.2.4. Válvula de carga .....	31
3.2.5. Componentes mecánicos.....	32
3.3. Adaptación mecánica.....	32
3.3.1. Depósito.....	32
3.3.2. Llenado del depósito .....	33
3.3.3. Protector térmico.....	34
3.3.4. Tuberías de alta presión .....	34
3.3.5. Tuberías de baja presión .....	37
3.3.6. Adaptación mecánica del sensor EGO .....	40
3.3.7. Esquema mecánico del sistema instalado .....	42
3.4. Adaptación electrónica.....	43
3.4.1. Llave conmutadora.....	43
3.4.2. Unidad electrónica de control.....	43
3.4.3. Conexión al TPS .....	45
3.4.4. Conexión al CKP .....	45
3.4.5. Conexión al EGO .....	47
3.4.6. Emuladores.....	48

3.4.7.	Esquema electrónico del sistema instalado .....	50
3.5.	Adaptación eléctrica .....	50
3.5.1.	Tensión de alimentación .....	50
3.5.2.	Sistemas de protección .....	51
3.5.3.	Cable de alimentación.....	52
3.5.4.	Interruptor de parada de emergencia.....	54
3.5.5.	Esquema eléctrico del sistema instalado .....	54
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>55</b>
<b>FUNCIONALIDAD Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA.....</b>		<b>55</b>
4.1.	Parámetros de funcionamiento .....	55
4.2.	Ajustes necesarios .....	57
4.3.	Calibración del sistema .....	58
4.3.1.	Regulación y puesta a punto del equipo .....	59
4.4.	Verificación del funcionamiento.....	63
4.4.1.	Prueba de fugas.....	63
4.5.	Pruebas de funcionabilidad del sistema.....	64
4.5.1.	Régimen de revoluciones del GNV .....	64
4.5.2.	Pruebas de ruta.....	65
4.6.	Pruebas a realizar .....	69
4.6.1.	Pruebas dinamométricas .....	69
4.6.2.	Mediciones con el osciloscopio .....	79
4.6.3.	Análisis de emisión de gases .....	81
4.7.	Análisis técnico de la instalación del sistema bifuel .....	89
4.8.	Análisis económico de la instalación del sistema bifuel .....	91
4.9.	Análisis ambiental de la instalación del sistema bifuel .....	95

<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>97</b>
<b>MARCO ADMINISTRATIVO.....</b>	<b>97</b>
5.1. Recursos humanos .....	97
5.2. Recursos tecnológicos.....	98
5.3. Recursos materiales .....	98
5.4. Presupuesto.....	100
5.5. Cronograma .....	101
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>111</b>
Anexo A. Pruebas dinamométricas	
Anexo B. Opacidad con Diésel	
Anexo C. Opacidad con GNV/Diésel	
Anexo D. Análisis de gases con Diésel	
Anexo E. Análisis de gases con GNV/Diésel	
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>112</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de una estación de servicio de GNV.....	2
Figura 2 Contaminación ambiental en Ecuador .....	4
Figura 3 Proceso de implementación del GNC .....	12
Figura 4 Tanque de GNV .....	13
Figura 5 Comparación de emisiones tóxicas .....	15
Figura 6 Reservas GNC en Ecuador .....	17
Figura 7 Reservas GNC en Ecuador .....	17
Figura 8 Motores multicomcombustible .....	21
Figura 9 Motor diésel dedicado.....	22
Figura 10 Camioneta Luv D-Max .....	25
Figura 11 Revisión mecánica.....	26
Figura 12 Kit de conversión GNV/Diésel.....	27
Figura 13 Sensor TPS .....	28
Figura 14 Sensor CKP Chevrolet D-Max .....	28
Figura 15 Construcción del sensor de oxígeno.....	29
Figura 16 Rango de voltaje del EGO .....	29
Figura 17 Inyectores GNV .....	30
Figura 18 Regulador de presión.....	30
Figura 19 Válvula de carga .....	32
Figura 20 Cilindro de GNV .....	33
Figura 21 Tubería de alta presión. ....	35
Figura 22 Tuberías de baja presión. ....	38
Figura 23 Perforaciones en el ducto de alimentación. ....	39
Figura 24 Fijación de las mangueras de baja presión.....	39
Figura 25 Desmontaje del tubo de escape .....	40
Figura 26 Adaptación del sensor EGO .....	41
Figura 27 Colocación del sensor EGO.....	42
Figura 28 Esquema mecánico del sistema .....	42
Figura 29 Llave conmutadora .....	43
Figura 30 Unidad electrónica de control .....	44

Figura 31 Señal obtenida del TPS .....	45
Figura 32 Salida del CKP .....	46
Figura 33 Señal del CKP .....	46
Figura 34 Conexión del EGO .....	47
Figura 35 Señal del EGO .....	47
Figura 36 Conexión pines del Arduino .....	48
Figura 37 Circuito transformador de 5V .....	48
Figura 38 Conexión de los inyectores .....	49
Figura 39 Esquema electrónico .....	50
Figura 40 Interruptor de parada de emergencia.....	54
Figura 41 Esquema eléctrico .....	54
Figura 42 Curva característica de torque .....	56
Figura 43 Curva característica de potencia .....	56
Figura 44 Ducto de admisión .....	57
Figura 45 Sensor EGO .....	58
Figura 46 Emulador de inyectores .....	58
Figura 47 Arduino nano .....	59
Figura 48 Arduino IDE 1.8.0.....	60
Figura 49 Apertura del archivo Arduino IDE .....	61
Figura 50 Programación del Arduino .....	61
Figura 51 Tiempo de inyección en la programación .....	61
Figura 52 Guardar cambios Arduino .....	62
Figura 53 Cable USB-serial Arduino .....	62
Figura 54 Grabar en el Arduino.....	63
Figura 55 Acoples cañerías GNC .....	63
Figura 56 Conexiones salida del cilindro .....	64
Figura 57 Circuito para la prueba de ruta .....	66
Figura 58 Anclaje prueba dinamométrica .....	70
Figura 59 Prueba dinamométrica.....	71
Figura 60 Torque y potencia con diesel .....	77
Figura 61 Torque y potencia con GNV/diesel .....	78
Figura 62 Comparación de torque y potencia con diesel y GNV/diesel .....	78

Figura 63 Curva inyector GNV 1 .....	79
Figura 64 Curva inyector GNV 2 .....	80
Figura 65 Curva inyector GNV 3 .....	80
Figura 66 Curva inyector GNV 4 .....	80
Figura 67 Equipo Cartek .....	81
Figura 68 Opacómetro Cartek .....	82
Figura 69 Pantalla de inicio software Cartek.....	82
Figura 70 Selección de prueba software Cartek .....	82
Figura 71 Ingreso de la sonda en el tubo de escape .....	83
Figura 72 Resultados de la prueba de opacidad.....	83
Figura 73 Resultados opacidad diesel .....	84
Figura 74 Resultados opacidad GNV/diesel .....	84
Figura 75 Opacidad diesel y GNV/diesel .....	85
Figura 76 Porcentajes de opacidad .....	86
Figura 77 Analizador de gases AGS-688.....	87
Figura 78 Prueba de gases diesel .....	88
Figura 79 Prueba de gases GNV/diesel.....	88
Figura 80 Variación de potencia y torque .....	90
Figura 81 Comparación emisión de gases.....	95
Figura 82 Porcentaje de opacidad .....	96
Figura 83 Cronograma .....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Gases emitidos por los motores de los vehículos .....	3
Tabla 2 Análisis cromatográfico GNC .....	10
Tabla 3 Composición del gas natural.....	11
Tabla 4 Efectos ambientales y salud de los combustibles .....	14
Tabla 5 Parámetros característicos sensor TPS.....	27
Tabla 6 Características del racor .....	38
Tabla 7 Parámetros característicos unidad electrónica de control.....	44
Tabla 8 Características de los inyectores de GNV.....	49
Tabla 9 Calibres de cables eléctricos. ....	53
Tabla 10 Parámetros de funcionamiento .....	55
Tabla 11 Características de Arduino.....	59
Tabla 12 Características técnicas del dinamómetro. ....	70
Tabla 13 Torque con diesel .....	71
Tabla 14 Potencia con diesel.....	72
Tabla 15 Torque con GNV/diesel.....	74
Tabla 16 Potencia con GNV/diesel .....	75
Tabla 17 Torque y Potencia con diesel y GNV/diesel .....	76
Tabla 18 Opacidad con diesel y GNV/diesel.....	85
Tabla 19 Comparación de emisión de gases. ....	89
Tabla 20 Análisis variación de torque y potencia.....	90
Tabla 21 Ahorro por kilómetros recorridos.....	94
Tabla 22 Recursos humanos .....	97
Tabla 23 Recursos tecnológicos .....	98
Tabla 24 Recursos materiales .....	99
Tabla 25 Presupuesto total .....	100

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Ecuación de Barlow.....	35
Ecuación 2	Esfuerzo de trabajo del acero. ....	36
Ecuación 3	Ley de Ohm.....	51
Ecuación 4	Cálculo de la sección de cables de cobre .....	52
Ecuación 5	Consumo de combustible en carretera.....	67
Ecuación 6	Costo de operación con diésel por cada 100 km .....	91
Ecuación 7	Costo de operación bifuel por cada 100 km .....	92
Ecuación 8	Cálculo de ahorro por 100 km .....	93

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación consistió en la implementación de un sistema Bifuel GNV/Diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max, de acuerdo a la Normativa Técnica Ecuatoriana vigente, con combustible alternativo, de tal manera de determinar la incidencia de este carburante en las emisiones, producto de los procesos de combustión y rendimiento mecánico del motor de combustión interna ciclo Diesel. La implementación del sistema se realizó mediante la adaptación de componentes mecánicos y electrónicos, en el sistema de alimentación y gestión electrónica. El sistema bifuel está constituido por un sistema neumático de alta y baja presión, controlados a partir de la gestión electrónica de combustible del sistema de alimentación GNV/Diesel, mediante sensores, actuadores y módulos de control. Una vez instalado el sistema en la camioneta, se realizó pruebas de funcionalidad, análisis de emisiones, pruebas dinamométricas y pruebas de ruta, en condiciones estándar y con la implementación del sistema Bifuel GNV/Diesel. De la implementación del sistema Bifuel se disminuyó la emisión de gases contaminantes y niveles de opacidad, contribuyendo al medio ambiente y optimizando el rendimiento del motor en parámetros de torque y potencia.

### **PALABRAS CLAVE:**

- ) CAMIONETA CHEVROLET LUV D-MAX
- ) SISTEMA BIFUEL
- ) GNV/DIESEL
- ) EMISIÓN DE GASES - OPACIDAD

## ABSTRACT

The present titling project consisted in the implementation of a Bifuel GNV/Diesel system in the Chevrolet Luv D-Max pick-up, according to the current Ecuadorian Technical Regulations, with alternative fuel, in order to determine the incidence of this fuel in the emissions, product of the combustion processes and mechanical performance of the diesel internal combustion engine. The implementation of the system was done by the adaptation of mechanical and electronic components, in the power system and electronic management. The bifuel system consists of a pneumatic system of high and low pressure, controlled from the electronic fuel management of the GNV/Diesel fuel system, through sensors, actuators and control modules. Once the system was installed in the van, performance tests, emissions analysis, dynamometric tests and road tests were performed under standard conditions and with the implementation of the Bifuel GNV/Diesel system. From the implementation of the Bifuel system the emission of polluting gases and levels of opacity decreased, contributing to the environment and optimizing the performance of the engine in parameters of torque and power.

## KEYWORDS

- ) CHEVROLET LUV D-MAX TRUCK
- ) BIFUEL SYSTEM.
- ) GNV/DIESEL
- ) GAS EMISSION - OPACITY

## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Antecedentes

La tendencia mundial para disminuir las emisiones de los gases contaminantes obliga a las industrias a buscar nuevos combustibles que reemplacen los comunes derivados del petróleo; principalmente se busca reducir la emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), los óxidos nitrosos ( $\text{NO}_x$ ), mismos que son los mayores causantes del conocido efecto invernadero, fenómeno natural relacionado con el calentamiento global; de igual manera se desea mitigar la denominada lluvia ácida que es ocasionada principalmente por la industria metalúrgica y la industria automotriz por sus altas emisiones de Azufre (S).

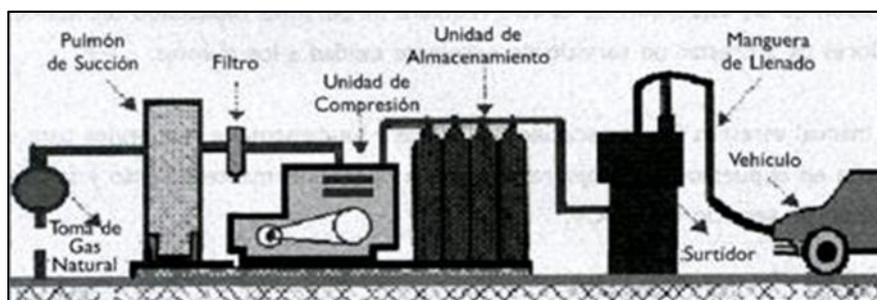
Dentro de la industria automotriz se han desarrollado nuevas alternativas para solucionar los mencionados problemas ambientales, optando por combustibles alternativos entre los que se puede mencionar la energía eléctrica, y algunos tipos de carburantes como el (GLP) Gas Licuado de Petróleo y el (GNC) Gas Natural comprimido.

El GNC se encuentra en todas partes del mundo, ya sea en depósitos ubicados en las profundidades de la superficie terrestre, o en los mares. El GNC se consigue directamente de la tierra, sin necesidad de que sea procesado. Se encuentra en las cavidades intersticiales del planeta, donde se pueden generar grandes cantidades de gas; se almacena en cilindros a una presión de 200 bares y puede usarse como combustible alterno en

vehículos alimentados con gasolina que posea un sistema a carburador o un sistema de inyección o vehículos impulsados con motores diesel. (Camara Argentina del Gas Natural Comprimido, 2012)

En el país existen 187263 vehículos propulsados con motores a diesel (Inec, 2014), y al usar gas natural en estos vehículos, permitirá al Estado, sustituir parte del diesel de uso vehicular por GNV y de esta manera reducir costos de subsidios que ya serían innecesarios. Esto podría realizarse a través de estaciones de servicio dedicadas a GNV que abastecerían del combustible. (Ministerio de Recursos Naturales No Renovables, 2013)

El GNC es considerado como uno de los combustibles más seguros. Su principal diferencia con el gas propano es el peso ya que por ser más liviano que el aire, tiende a subir rápidamente lo que permite su disipación al contrario que el gas licuado de petróleo o la gasolina que se acumulan a nivel del piso y son un riesgo inminente de incendio o explosión. El gas natural primero pasa por un proceso en el cual se eleva la presión mediante un compresor y es almacenado en cilindros a 200 bares, logrando acumular un mayor volumen de GNC en los cilindros del vehículo y consiguiendo mayor autonomía por Km de recorrido. (Banco de la República Actividad Cultural, 2015)



**Figura 1 Esquema de una estación de servicio de GNV.**

Fuente: (Banco de la República Actividad Cultural, 2015)

## 1.2. Planteamiento del problema

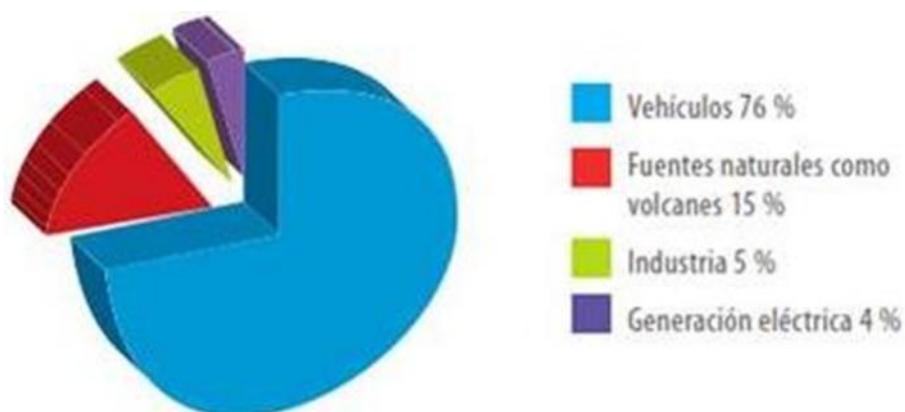
En el mundo, el alto índice de contaminación ocasionado por la emisión de gases residuales de la combustión de motores es uno de los principales causales del calentamiento del planeta; por lo que es necesario buscar soluciones, en este sentido se considera a los combustibles alternativos como una opción, dado que poseen similares propiedades que los combustibles convencionales, pero a su vez reducen la contaminación ambiental. A continuación en la tabla 1 se observa los principales gases emitidos por los motores de combustión interna, debido a sus procesos térmicos.

**Tabla 1**  
**Gases emitidos por los motores de los vehículos**

Componentes de los gases de escape	Contenido máximo en volumen (%)		Observaciones
	Gasolina	Diésel	
Nitrógeno	74.0-77.0	76.0-78.0	No Tóxico
Oxígeno	0.3-0.8	2.0-18.0	No Tóxico
Vapor de Agua	3.0-5.5	0.5-4.0	No Tóxico
Dióxido de Carbono	5.0-12.0	1.0-10.0	No Tóxico
Monóxido de Carbono	0.1-10.0	0.01-0.5	Tóxico
Óxido Nítrico	0.1-0.5	0.001-0.4	Tóxico
Hidrocarburos no Cancerígenos	0.2-3.0	0.009-0.5	Tóxico
Aldehídos	0.0-0.2	0.001-0.009	Tóxico
Dióxido de Azufre	0.0-0.002	0.0-0.003	Tóxico
Hollín	0.0-0.04	0.01-1.1	Tóxico
Benzopireno	Hasta 20.0	Hasta 10.0	Cancerígeno

Fuente: (Salazar, 2014)

El parque automotor es el principal elemento contaminante en el Ecuador con un 76 % como lo menciona (Córdova, 2012) “La mayor contaminación ambiental es generada por los vehículos que utilizan combustibles de mala calidad”; se ha visto necesario cambiar el tipo de combustible que utilizan los vehículos para funcionar, tomando en cuenta el factor económico, lo que llevará a tener más eficiencia energética con estos vehículos, es decir, optimizar el rendimiento con igual o menor cantidad de combustible.



**Figura 2 Contaminación ambiental en Ecuador**

Fuente: (Córdova, 2012)

Considerando esta situación se propuso la implementación de un sistema de alimentación bifuel GNV/Diesel con el cual se procuró reducir las emisiones de gases contaminantes; como los óxidos nitrosos e hidrocarburos no combustionados, y determinar cómo influye en los niveles de opacidad.

### 1.3. Descripción resumida del proyecto

El funcionamiento del sistema GNV/Diesel consiste en adaptar un actuador en el múltiple de admisión del motor que proporcione la cantidad adecuada de GNV, esta mezcla de GNV-Aire ingresa a la cámara de combustión por aspersión donde es comprimida por el ascenso del pistón; a continuación ingresa diesel a alta presión por el inyector lo que ocasiona la combustión del GNV/diesel, generando el trabajo del motor.

Para la implementación del sistema GNV/Diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max es necesario analizar los parámetros de funcionamiento de la misma, y de ésta manera seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que garanticen la conversión; considerando normas de conversión, instalación y seguridad, mediante la calibración que permita poner a punto el motor, de tal manera que garantice la funcionalidad y operatividad del sistema bifuel.

Para evidenciar los resultados obtenidos, se realizarán pruebas con equipos de medición como el dinamómetro, analizador de gases y opacímetro, estos proporcionarán información que permita analizar el rendimiento del vehículo y emisiones desde su eficiencia y la fiabilidad del sistema.

### 1.4. Justificación e importancia

La importancia de utilizar fuentes de energía alternativas que permitan obtener un óptimo funcionamiento de los motores de combustión interna, de manera particular los motores alimentados con diesel, puesto que las

emisiones contaminantes provenientes de la combustión han contribuido al deterioro de nuestro planeta; mediante la implementación del GNV como combustible se logró reducir dichos elementos contaminaciones, contribuyendo al medio ambiente disminuyendo la cantidad de monóxido de carbono emitido, partículas en suspensión, producidos como consecuencia de la combustión de carburantes convencionales.

En la actualidad aún existe una elevada dependencia de los combustibles convencionales; por otra parte, el alto contenido de carbono de estos combustibles conlleva a la emisión de altos niveles de dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  a la atmósfera lo que acelera el efecto invernadero (Borras Brucart, 1987) y el consiguiente cambio climático del planeta; además de  $\text{CO}_2$  se emiten óxidos de nitrógeno y azufre que favorecen la lluvia ácida que perjudica a los cultivos, corroe los metales y son los principales causantes del cambio climático.

Se debe considerar que en el Ecuador el ministro de Electricidad y Energía Renovable, afirmó que el gobierno intenta poner en vigencia el uso de gas natural comprimido (GNC) para la transportación pública; mencionó que el uso de gas licuado de petróleo (GLP) en taxis, es el comienzo de los cambios de combustible para el sector del transporte. (Mogollón, 2015)

Al implementar el sistema bifuel alternativo GNV/Diesel se pretende disminuir la emisión de gases contaminantes antes mencionados para contribuir con el cuidado del medio ambiente; de igual manera se espera optimizar el rendimiento del vehículo.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Implementar un sistema bifuel alternativo GNV/Diésel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

### 1.5.2. Objetivos específicos

- ) Analizar los parámetros de funcionamiento del motor de la camioneta Chevrolet Luv D-Max.
- ) Seleccionar los componentes mecánicos adecuados que permitan realizar las adaptaciones en el motor diesel.
- ) Adaptar los componentes mecánicos necesarios para el funcionamiento del GNV como combustible.
- ) Elegir los componentes eléctricos que permitirán implementar el sistema GNV/Diesel.
- ) Instalar los componentes eléctricos en el vehículo para realizar la conversión.
- ) Determinar los elementos electrónicos que se van a utilizar para el funcionamiento del sistema.
- ) Acoplar los sistemas electrónicos al vehículo para su funcionamiento.
- ) Ejecutar pruebas de funcionalidad y calibración del sistema alternativo bifuel GNV/Diesel
- ) Efectuar pruebas de emisión de gases y dinamométricas para determinar los parámetros de funcionamiento del motor diesel antes y después de la implementación del sistema.

### 1.6. Metas

- ) La implementación y calibración del sistema bifuel, considerando normas de conversión como las NTE INEN 2487, 2488, 2489, 2490, 2491 y 2591.
- ) Optimizar el rendimiento mecánico del motor ciclo Diesel mediante la implementación de un sistema Bifuel con control electrónico.
- ) Utilizar un combustible alternativo que reduzca los porcentajes de opacidad en el motor de ciclo Diesel.

### 1.7. Hipótesis

- ) Mediante la implementación de un sistema bifuel GNV/Diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max se logrará disminuir la contaminación originada por la emisión de NO<sub>x</sub>.
- ) Al implementar el sistema bifuel GNV/Diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max se logrará optimizar parámetros como torque y potencia del motor.

### 1.8. Variables de la investigación

- ) Variable Dependiente  
La conversión bifuel GNV/Diesel
- ) Variable Independiente  
Motor de la camioneta Chevrolet Luv D-Max

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES DEL GNC EN AUTOMOCIÓN

#### 2.1. El GNC como combustible

El gas natural comprimido (GNC) es un combustible que ofrece múltiples ventajas en el ámbito económico y medioambiental, es considerado como una alternativa frente a combustibles tradicionales. Mediante la utilización del GNC se consigue reducir emisiones contaminantes a la atmósfera y de esta manera obtener un aire más limpio en las ciudades. El óxido de nitrógeno se ve reducido en más del 85 % y el dióxido de carbono uno de los principales causantes del efecto invernadero se reduce en un 24 %. En términos económicos permite un ahorro comprendido desde el 30 hasta el 50 % en el costo del combustible. (HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS, 2013).

El GNC está formado por un pequeño grupo de hidrocarburos, principalmente el metano y en menor proporción el butano y propano. Se extrae del subsuelo, asociado con el petróleo o solo. El proceso de extracción del GNC es similar al del petróleo y su transporte es través de gasoductos hasta centros de distribución y consumo; el transporte también se lo hace mediante contenedores. Es considerado como una de las fuentes de energía más limpias y amigables con el medio ambiente.

En la tabla 2 se aprecia las características del GNC obtenidas a través de análisis cromatográfico.

**Tabla 2**  
**Análisis cromatográfico GNC**

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Gas Natural</b>
<b>Componente</b>	<b>% Molar</b>
<b>Nitrógeno</b>	1.2310
<b>Metano</b>	97.9381
<b>CO<sub>2</sub></b>	0.3884
<b>Etano</b>	0.2685
<b>Propano</b>	0.0911

Fuente: (Castro, 2013)

#### 2.1.1. Características

El GNC es el gas natural seco que se comprime para almacenarlo y utilizarlo como combustible vehicular o transportarlo a los lugares donde no lleguen las redes. El objetivo es acoplar, en tanques pequeños o medianos, una cantidad suficiente de gas que brinde una autonomía de 150 a 200 km a los vehículos que lo utilicen. Es comprimido de 200 a 250 bares, se mantiene como gas y su volumen se logra reducir en 40 veces, lo que sí facilita su transporte y el uso en vehículos

Es muy complicado determinar de una manera clara las características del GNC existente en el mercado, debido a que su composición varía en función del yacimiento donde se encuentra, de cómo es extraído y del posterior tratamiento que le da la cada una de las empresas gasistas.

En los yacimientos se encuentra a una presión que alcanza los 100 bares, y al ser transportado por los gaseoductos esta presión disminuye

entre los 25 a 60 bares. En la tabla 3 presentaremos la composición química del gas natural en sus valores medidos:

**Tabla 3**

**Composición del gas natural**

SUSTANCIA	CANTIDAD
<b>Metano</b>	89 / 95 %
<b>Etano</b>	0,05 / 5,2 %
<b>Propano/Butano</b>	0,50 / 7,5 %
<b>Nitrógeno</b>	0,70 / 2,7 %
<b>ANH. Carbónico (CO<sub>2</sub>)</b>	0,50 / 1,8 %
<b>Agua</b>	113 mg/m <sup>3</sup>
<b>Azufre Libre</b>	50 mg/ m <sup>3</sup>

Fuente: (Gualtieri, 2013)

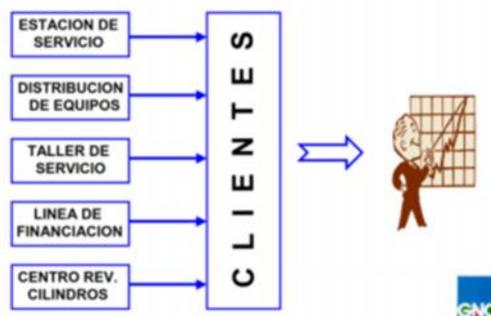
2.1.2. Ventajas

- ) Disminución considerable de la toxicidad y humeado de los gases de escape (hasta un 90 %).
- ) Menor precio respecto de otros combustibles (aproximadamente 30 % menos que el diesel).
- ) Disminución del desgaste de las piezas del grupo pistón-anillos (de 1.5 a 2 veces menos que funcionando con combustible convencional).
- ) Disminución del nivel de ruidos en el motor (entre el 50 y 60 %).
- ) No contamina el suelo ni el agua.
- ) Mencionando que el metano es un gas emitido por los vehículos que funcionan a gas natural y es un causante del efecto invernadero, esto se compensa con la reducción de emisiones de dióxido de carbono los mismos que son considerados más contaminantes que el metano.

- ) El GNC ayuda en la preservación y cuidado del medio ambiente puesto que es un combustible totalmente limpio, permitiéndonos tener un aire más puro y así mejorar nuestra calidad de vida. (Grupo Kiosko, 2013)

### 2.1.3. Desventajas

- ) El transporte y la conservación del GNC es uno de los principales inconvenientes que se puede apreciar en Ecuador por ser poco comercializado.
- ) Para la aplicación de este sistema sería necesaria la implementación de una red de distribución de GNC puesto que en nuestro medio no existe dicha tecnología, por lo tanto la dificultad recaería en la carga de los tanques del sistema de combustión GNC.
- ) Se puede tener pérdidas de potencia que van desde 10 % al 15 % como máximo debido a una menor eficiencia del ciclo.
- ) El peso del cilindro que es de 50 a 80 kg dependiendo su capacidad.
- ) La creación de estaciones de servicio requiere de una inversión debido a la normativa de las mismas como se muestra en la figura 3.



**Figura 3 Proceso de implementación del GNC**

Fuente: (Castro, 2013)

#### 2.1.4. Seguridad

El GNC es comprimido a altas presiones y se almacena en cilindros sin costura específicos para este tipo de gases, y éstos a su vez están alojados en un vehículo que proveen de energía para el movimiento del vehículo. El hecho de comprimir el GNC a altas presiones, ocasiona un inconveniente para almacenar en un volumen reducido una gran cantidad de energía para poder brindar la máxima autonomía al vehículo.

El GNC tiene un menor grado de peligrosidad comparado con cualquier otro combustible debido a que su temperatura de ignición es más alta que la gasolina (700 °C en comparación con 450 °C) y su rango de inflamabilidad es muy bajo, alrededor del 5 al 15 % con respecto a la gasolina.



**Figura 4 Tanque de GNV**

Fuente: (Motorbit.com, 2016)

El gas natural es comprimido de 200 a 250 bar y se almacena en el vehículo en cilindros específicos para este uso instalados en la parte trasera del automotor, el chasis, o en un sitio donde esté protegido lo más posible por la estructura del vehículo. En la norma GE N°1-115 dice que los dispositivos de seguridad para los recipientes son los siguientes:

Los dispositivos de seguridad (correas, platinas, abrazaderas) para el recipiente son mecanismos destinados a preservar la integridad de los recipientes y por ende las consecuencias de su estallido ante emergencia de incendio o de otro tipo de factor que pueda causar presión excesiva dentro de aquellos.

#### 2.1.5. Impacto ambiental

El GNC es sinónimo de ecología en lo que compete a combustibles, mediante la implementación del GNC para la propulsión de vehículos de combustión interna se realiza una contribución para reducir la emisión de gases contaminantes para el medio ambiente.

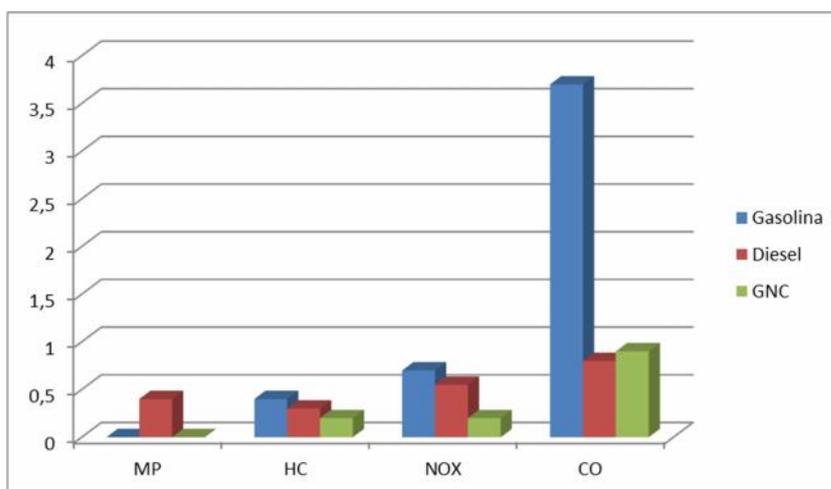
**Tabla 4**

#### **Efectos ambientales y salud de los combustibles**

<b>Combustible</b>	<b>Kg de CO<sub>2</sub>/Kg</b>	<b>Kg de CO<sub>2</sub>/L</b>
<b>GNC</b>	2,54	1,52
<b>GLP</b>	3,03	1,70
<b>Combustóleo</b>	3,23	3,17
<b>Diesel</b>	3,16	2,73

Fuente: (Gas Natural SDG S.A., 2013)

Los porcentajes de la emisión de sustancias tóxicas es considerablemente menor en el GNC, frente a combustibles convencionales, por ejemplo, la cantidad de hidrocarburos sin quemar (HC) es relativamente pequeña (30-40 % menor). Además, no se emiten compuestos de plomo, dióxido de azufre, hollín (MP); los óxidos de nitrógeno (NOX) son aproximadamente 50-70 % menores que con diesel.



**Figura 5 Comparación de emisiones tóxicas**

Fuente: (Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular, 2015)

## 2.2. El GNC en el Ecuador

El ex-ministro de Electricidad y Energía Renovable, Alexei Mosquera, afirmó que el gobierno intenta poner en vigencia el uso de Gas Natural Comprimido (GNC) para la transportación pública. (La Hora, 2013)

El ex-secretario de Estado dijo el uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) en taxis, es el comienzo de los cambios de combustible para el sector del transporte. Sin embargo, precisó que no habrá subsidio para el GNC. La propuesta entraría en vigencia una vez que esté en pleno funcionamiento la nueva refinería de Manta. El beneficio no será para la transportación pesada, que seguirá consumiendo diesel. (La Hora, 2013)

El ex-ministro Alexei Mosquera, quien expuso la Matriz Energética en Diario La Hora, aclaró que el país debe comenzar a generar valor agregado en todos sus proyectos y reducir los volúmenes de importación de derivados de crudo. (La Hora, 2013)

“Debemos tener energía con costo variable y renovable”, indicó. Solo las compras externas de derivados de petróleo ascienden a 91 %, del total de importaciones, con una demanda interna en consumo de 80 %. El ex-ministro adelantó que para viabilizar estos proyectos es necesario un cambio del sistema Fiscal, que brinde ahorros al Estado. (La Hora, 2013)

El Ecuador cuenta con seis cuencas sedimentarias: Oriente, Guayaquil, Manabí, Esmeraldas, Litoral Pacífico y Cuenca, las cuales abarcan 191.000 Km<sup>2</sup>, de ellas, solamente las primeras han demostrado presencia de reservas hidrocarburíferas. La región amazónica es una importante cuenca sedimentaria, cuyos reservorios de petróleo no poseen casquetes de gas libre y éste se encuentra disuelto en el crudo; de acuerdo con la configuración geológica de la región no parece que deban esperarse descubrimientos importantes de gas natural y la orientación comercial se inclinaría por los crudos pesados con baja concentración de gas asociado. (Lapuerta, 2012)

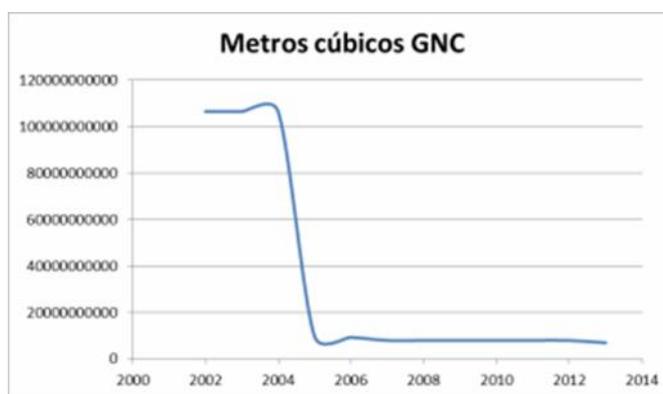
### 2.2.1. Reservas

De acuerdo a (El Comercio, 2015), Petroecuador triplicó las reservas de gas natural en campo Amistad; con el último descubrimiento de Petroecuador en el bloque 6, ubicado aguas adentro del Golfo de Guayaquil. Allí se encuentra el campo Amistad, que fuera operado por la Estadounidense EDC, pero que está a cargo de Petroecuador desde noviembre de 2010. El campo tenía reservas probadas por 0,45 trillones de pies cúbicos.

Sin embargo, con la reinterpretación de datos de exploración y una nueva campaña exploratoria a lo largo de 520 km<sup>2</sup>, Petroecuador descubrió

reservas adicionales por 1,7 trillones. Con ello las reservas de gas natural que dispone el país se multiplicaron por 3,7 veces. (El Comercio, 2015)

La gráfica de la figura 6 indica las cantidades de gas natural de los yacimientos explorados en Ecuador obtenidos mediante el análisis de datos geológicos y de ingeniería, los mismos que dan un alto grado de fiabilidad.



**Figura 6 Reservas GNC en Ecuador**

Fuente: (CIA World Factbook, 2015)

En la figura 7 se puede visualizar la cantidad de reservas comprobadas de gas natural en Ecuador en metros cúbicos, los datos son del año 2014.



**Figura 7 Reservas GNC en Ecuador**

Fuente: (CIA World Factbook, 2014)

### 2.2.2. Cambio de matriz productiva

Los ejes para la transformación de la matriz productiva son:

- ) Diversificación productiva basada en el desarrollo de industrias estratégicas-refinería, astillero, petroquímica, metalurgia y siderúrgica y en el establecimiento de nuevas actividades productivas-maricultura, biocombustibles, productos forestales de madera que amplíen la oferta de productos ecuatorianos y reduzcan la dependencia del país.
- ) Agregación de valor en la producción existente mediante la incorporación de tecnología y conocimiento en los actuales procesos productivos de biotecnología (bioquímica y biomedicina), servicios ambientales y energías renovables.
- ) Sustitución selectiva de importaciones con bienes y servicios que ya se produce actualmente y que se podría sustituir en el corto plazo: industria farmacéutica, tecnología (software, hardware y servicios informáticos) y metalmecánica.
- ) Fomento a las exportaciones de productos nuevos, provenientes de actores nuevos (particularmente de la economía popular y solidaria), o que incluyan mayor valor agregado (alimentos frescos y procesados, confecciones y calzado, turismo). Con el fomento a las exportaciones se busca diversificar y ampliar los destinos internacionales de nuestros productos. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2012)

### 2.3. Conversión del motor diesel a GNV

Para la conversión de diesel a GNV se pueden considerar dos posibilidades, operación dual y motores dedicados.

### 2.3.1. Conversión para operación dual

Conversión de Motor Diesel a “GNV/Diesel”: En este caso, se mantiene el ciclo diesel original y se añade el sistema de combustible GNV, por lo que el motor pasa a trabajar con diesel y gas natural al mismo tiempo, se tiene la operación dual.

Una de sus principales ventajas es el menor costo de adecuación con respecto a los motores dedicados (transformados a ciclo Otto), sin embargo el costo operativo y las emisiones de escape de los motores duales podrían ser más altos en comparación a un motor dedicado.

Este sistema (mixto) conserva el ciclo termodinámico diesel original y trabaja con una mezcla de aire-gas natural y con una cantidad predeterminada de diesel para generar la inflamación de la mezcla. La relación de trabajo Diesel/GNV varía de acuerdo al régimen de funcionamiento del motor, y generalmente, el reemplazo de diesel por gas natural podría ser, por ejemplo, 20 % para bajas revoluciones, y en los regímenes nominales llegar a un 80 %, dependiendo de los ciclos de servicio en tránsito (ciudad, autopista, o períodos combinados). (Camara Argentina del Gas Natural Comprimido, 2012)

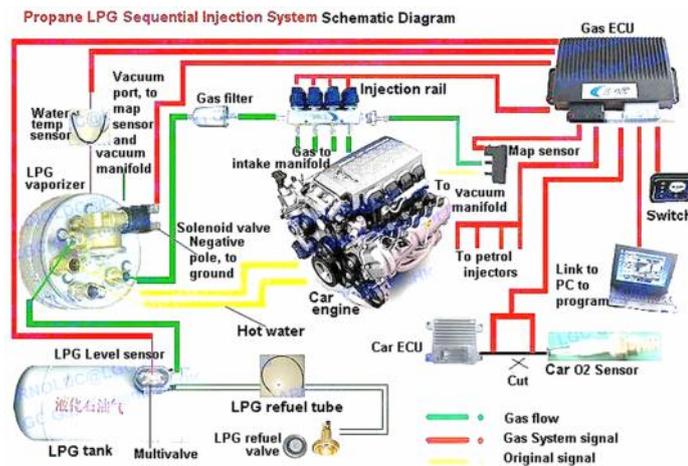
El sistema dual está proyectado para el ahorro de los beneficiarios, pero fundamentalmente, para lograr que los vehículos provistos con motores de ciclo diesel reduzcan considerablemente la emisión de contaminantes perjudiciales para la salud y el medio ambiente, los cuales que originan una producción alta de gases de efecto invernadero.

En una primera etapa, la instalación de este sistema podría conseguir una reducción importante de consumo de diesel, llegando a ser la mezcla de combustibles de un 60 % de GNV con 40 % de diesel en interurbanos y 40 % de GNV con 60 % de diesel en vehículos urbanos.

Esta fase, es la más costosa, pues conlleva la ubicación del sistema de carga del gas, depósitos, central electrónica, mano de obra, etc. Pero el ahorro se situaría en el orden del 15 % para urbanos y del 25 % para interurbanos, haciendo la instalación muy viable.

La segunda etapa de la instalación de este sistema es muy sencilla y aumentaría el ahorro entre un 5 y 10 % adicionales a los ya ganados en la primera etapa, para su realización se necesitaría una recalibración de la central electrónica, y la intervención de un sensor del vehículo por lo que los costos de implementación serían bajos.

La ecología, economía y viabilidad, en la actualidad son ejes fundamentales del dual fuel, este sistema está siendo utilizado con notoriedad por flotas de autobuses y camiones en Europa, en donde ya no es permitida la compra de buses nuevos con motores de ciclo diesel, pero con gran parte de unidades aún en su provisión, convirtiéndose este sistema una solución económica, medio ambiental, y efectiva.



**Figura 8 Motores multicomcombustible**

Fuente: (Agrupasuma, 2016)

### 2.3.2. Conversión solo GNV

Conversión de motor Diesel a “motor dedicado a GNV”: Estos son los recursos tecnológicos que esencialmente consisten en el cambio de ciclo termodinámico, es decir, que los motores pasarán de trabajar con ciclo diesel a trabajar con ciclo Otto.

Según las distintas propuestas, estas conversiones pueden ser reversibles e irreversibles, es decir, existen opciones donde luego de convertido a ciclo Otto, el motor, provisionalmente podría ser reconvertido al ciclo original diesel.

En el caso de los motores “dedicados”, el combustible es Gas Natural totalmente. Las ventajas primordiales son el inferior costo de operación y registros menores de emisiones contaminantes; no obstante, la reconversión de ciclo termodinámico tendrá un mayor costo, al menos en un principio.

El principio de funcionamiento y operación es el de un sistema de inflamación por chispa, esto conlleva un mantenimiento simple. (Camara Argentina del Gas Natural Comprimido, 2012)



**Figura 9 Motor diésel dedicado**

Fuente: (Angesel S.A., 2012)

#### 2.4. Normativas de GNCV en Ecuador

##### 2.4.1. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2487:2009

Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Estaciones de servicio para suministro de GNCV. Requisitos.

Esta norma establece los requisitos de instalación, construcción y seguridad que deben cumplir las estaciones de servicio para el suministro de GNCV para uso en vehículos automotores. Esta norma se aplica a las estaciones de servicio que suministren GNCV.

#### 2.4.2. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2488:2009

Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Instalación de equipos completos en vehículos con Gas Natural Vehicular (GNCV). Requisitos.

Establece los requisitos para la instalación de componentes para vehículos cuyo motor funcione con GNCV o bicomcombustible. Se aplica a la instalación de componentes y cilindros; en vehículos automotores que funcionen con sistema dual o dedicado a GNCV y no se aplica en la instalación de componentes y cilindros en vehículos que funcionen con GLP o GNL.

#### 2.4.3. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2489:2009

Gas Natural. Requisitos.

Esta norma se aplica al gas natural seco que se suministre en el país, ya sea para consumo industrial, automotriz, residencial, comercial, etc.

#### 2.4.4. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2490:2009

Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Componentes del Equipo de Conversión de Gas Natural Comprimido para uso en vehículos automotores (GNCV). Requisitos.

Establece los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir los componentes del equipo de conversión de GNC para uso en vehículos. Se aplica a los componentes del equipo de conversión de GNCV y no se aplica para componentes de conversión a GLP o GNL.

#### 2.4.5. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2491:2009

Vehículos Automotores. Funcionamiento de vehículos automotores con GNCV. Talleres de Instalación y Reparación de equipos completos para GNCV. Requisitos.

Establece los requisitos técnicos y de seguridad que deben cumplir los talleres dedicados a la instalación, mantenimiento y reparación de equipos de conversión para el uso de GNCV en vehículos. Se aplica tanto para sistemas dual de combustible o dedicados a GNCV.

#### 2.4.6. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2591:2011

Dispositivos de sujeción para Cilindros en vehículos con Gas Natural Vehicular (GNCV). Requisitos e Inspección.

Esta norma establece las características que deben cumplir los dispositivos de sujeción utilizados para la instalación de cilindros que almacenan GNCV.

## CAPÍTULO III

### SISTEMA BIFUEL GNV/DIESEL

#### 3.1. Evaluación del vehículo antes de la instalación

Antes de ser utilizada la camioneta Luv D-Max en el proyecto de investigación, se evaluó aspectos mecánicos, eléctricos y electrónicos de la camioneta, los mismos que se detallan a continuación.



**Figura 10 Camioneta Luv D-Max**

##### 3.1.1. Análisis mecánico de la camioneta

Para el análisis mecánico de la camioneta se realizó una inspección visual de los componentes de los sistemas de suspensión, frenos, dirección, tomando en cuenta parámetros como convergencia y divergencia para el sistema de suspensión, revisión de fugas en las cañerías de frenos y del fluido hidráulico de la dirección; determinando de esta manera que los componentes mecánicos de la camioneta se encuentran en un estado normal de funcionamiento.



**Figura 11 Revisión mecánica**

### 3.1.2. Análisis eléctrico y electrónico de la camioneta

La parte eléctrica de la camioneta está conformada por fusibles, sistema de carga, módulo de gestión electrónica, sistema de arranque, alumbrado, los mismos fueron revisados a través de una inspección visual y pruebas de funcionamiento logrando de esta manera determinar que se encuentran en buen estado.

Los componentes electrónicos que comprenden sensores como TPS y CKP de la camioneta fueron verificados mediante la obtención de curvas características que se indican en las figuras 31 y 33 respectivamente llegando a la conclusión de que los mismos se encuentran en correcto funcionamiento.

### 3.2. Componentes del sistema bifuel

Los componentes, tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos, del sistema bifuel se dividen en diferentes tipos, entre los que se destacan sensores, actuadores, componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos.



**Figura 12 Kit de conversión GNV/Diésel**

Fuente: (Alibaba, 2015)

### 3.2.1. Sensores

Los sensores que intervienen en el sistema bifuel GNV/Diesel son TPS, CKP y EGO.

El TPS (Sensor de posición de la mariposa del acelerador) es un sensor tipo potenciómetro compuesto por tres cables, el de alimentación, el de señal y el de masa; cada uno de ellos debe presentar los parámetros de funcionamiento que se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5**

**Parámetros característicos sensor TPS**

Cable	Voltaje
Alimentación	4,99 V
Señal	235,4 mV – 3,65 V
Masa	0,50 mV

Fuente: (Casa & León, 2011)



**Figura 13 Sensor TPS**

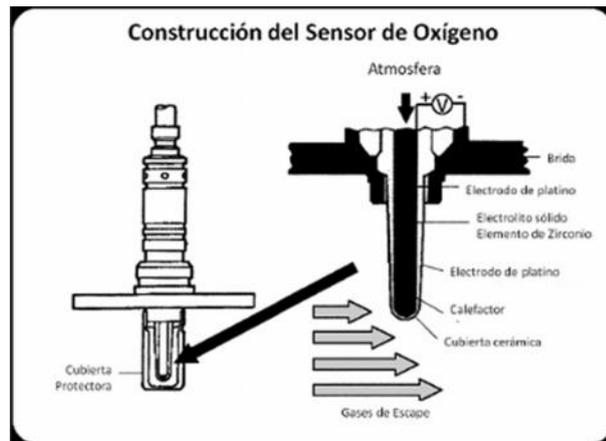
El CKP (Sensor de posición del cigüeñal) es un sensor de tipo inductivo compuesto por dos cables, que generan una señal de voltaje alterno su curva característica se puede visualizar en la figura 33.



**Figura 14 Sensor CKP Chevrolet D-Max**

Fuente: (Mercado Libre, 2016)

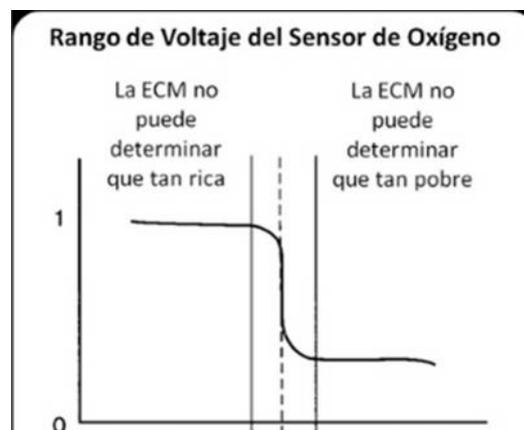
EL EGO (Sensor de oxígeno) es un sensor de tipo piezoeléctrico, compuesto por zirconio y el mismo al contacto con el oxígeno generan una reacción química y por lo tanto un voltaje que va desde 0.1 a 0.9 V.



**Figura 15 Construcción del sensor de oxígeno**

Fuente: (e-auto, 2015)

En la figura 16 se puede visualizar los parámetros de funcionamiento del sensor EGO.



**Figura 16 Rango de voltaje del EGO**

Fuente: (e-auto, 2015)

### 3.2.2. Actuadores

Los principales actuadores que intervienen en el sistema de conversión dual GNV/Diésel son los inyectores de gas que son los encargados de

proporcionar la cantidad adecuada de gas en la admisión del vehículo para su posterior combustión, solenoides que complementan la parte electrónica del sistema.



**Figura 17 Inyectores GNV**

### 3.2.3. Regulador de presión

Es el encargado de mantener la presión del gas en el sistema, además de proporcionar la presión adecuada para el correcto funcionamiento del sistema GNV/Diesel.



**Figura 18 Regulador de presión**

Fuente: (Tecnología Automotiva, 2016)

La función principal del reductor de presión es reducir la presión del GNC contenido en el cilindro y dosificar la salida del mismo hacia los inyectores. (gnceros, 2016)

Para esto se requiere de tres etapas; la primera etapa reduce los 200 bares de presión con los que el GNC sale del tanque a una presión aproximada de 3.5 bares, esto se logra mediante un conjunto resorte diafragma; el gas natural pasa por un agujero calibrado y se conecta con la segunda etapa en la que la presión se reduce a 1.5 bares de igual manera con un mecanismo resorte diafragma; en la tercera etapa se realiza un proceso similar a los anteriores con la particularidad que con la ayuda de un balancín y válvulas deja salir del regulador cierta presión se transforma en un caudal constante. (gnceros, 2016)

En el regulador de presión también actúa un circuito de agua, que tiene como principio, calentar el reductor, principalmente donde circula el caudal de GNC, a fin de evitar que la descompresión de éste provoque un congelamiento de las partes móviles del reductor. (gnceros, 2016)

#### 3.2.4. Válvula de carga

La válvula de carga está compuesta por un cuerpo principal y por un sistema de control manual de cierre y apertura circuito de gas natural comprimido, además de permitir la carga o abastecimiento de GNC desde las estaciones de carga, entre sus principales componentes se tiene una válvula anti retorno que solo permite el ingreso de gas en el momento de la carga.



**Figura 19 Válvula de carga**

Fuente: (TES, 2016)

### 3.2.5. Componentes mecánicos

Los componentes mecánicos son fundamentales para la realización del proyecto puesto que los mismos se encargan de la presurización y dosificación del gas.

### 3.3. Adaptación mecánica

Se detalla todos los componentes mecánicos que se utilizan para la instalación del sistema alternativo bifuel GNV/diesel, indicando la manera de adaptarlos.

#### 3.3.1. Depósito

Según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009) en el literal 4.1.1.1. (a) dice: “Los cilindros a instalar en el vehículo deben estar contruidos para operar a una presión normal de 20 MPa (200 bar), estar aprobados por la entidad competente y una vez instalados, no ser modificados ni alterados.”

Según (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011) en el literal 4.2.3 dice “En cilindros de hasta 110 kg de tara los sunchos de sujeción deben tener un ancho mínimo de 30 mm y un espesor de 3 mm.” Por lo tanto se adquirió platina de  $\frac{1}{4}$  de pulgada para realizar la estructura del soporte donde va ubicado el cilindro.

Las platinas están fijadas al balde de la camioneta mediante pernos de sujeción, las mismas que envuelven al cilindro para que éste quede fijo colocando entre el tanque y las platinas una protección de caucho para evitar el desgaste por fricción entre los componentes.



**Figura 20 Cilindro de GNV**

### 3.3.2. Llenado del depósito

Para el primer llenado, el cilindro de GNV, debe ser aspirado o dado una sustitución de nitrógeno para disipar el aire en el cilindro. Al menos 0.1 MPa de presión debe permanecer en el cilindro antes del relleno. Un cilindro de GNV llenado al máximo, debe estar mantenido lejos de fuentes de calor, rayos del sol directas y debe estar al menos 10 metros lejos de la flama.

Para tener una operatividad óptima con gas natural es necesario comprimir el gas natural hasta un máximo de 200 bares y después proceder al llenado. Por lo tanto los cilindros de almacenamiento deben ser muy resistentes para soportar tan elevadas presiones. (Aficionados a la mecánica, 2014)

### 3.3.3. Protector térmico

El protector térmico para el presente proyecto no fue necesario, debido a que la línea de alta presión de gas está instalada lo más lejana posible al tubo de escape de la camioneta. Cumpliendo así con lo que indica el (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009) en el literal 4.1.1.2 (j) “No deben estar ubicadas en canales que contenga el sistema de gases de escape y los materiales deben ser resistentes a la corrosión o deben tener un tratamiento adecuado que garantice su comportamiento en medios corrosivos.”

### 3.3.4. Tuberías de alta presión

El (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009) en el literal 4.1.1.2 (h) dice: “Las tuberías para la conducción de GNCV deben seguir el recorrido práctico más corto, entre los cilindros y el mezclador, compatibles con su flexibilidad, y deben ser protegidas contra daños o roturas debido a choques, esfuerzos excesivos o desgaste por rozamiento. Las tuberías deben ser encamisadas cuando resulte necesario. (h.1) Es recomendable que la ruta de la tubería siga la ruta de la línea de gasolina o línea de frenos original.”

De acuerdo a lo citado anteriormente, la cañería de alta presión en la camioneta está instalada junto a la línea de combustible de la misma.



**Figura 21 Tubería de alta presión.**

Para el cálculo del espesor de pared de la tubería de alta presión es necesario tomar en cuenta los parámetros de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-2488, la cual indica que la tubería debe tolerar una presión 4 veces mayor que la presión de operación. El espesor de pared se determina mediante la ecuación 1.

$$e = \frac{P \times D}{2 \times \sigma_t}$$

**Ecuación 1 Ecuación de Barlow.**

Fuente: (Tutoriales Ingeniería Civil, 2013)

Siendo:

$$e = \text{Espesor de pared de la tubería [m]}$$

$$P = \text{Presión interna} \left[ \frac{K}{C^2} \right]$$

$$D = \text{Diámetro exterior} [m]$$

$$\sigma_t = E \frac{d t_1}{d a} \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

Para determinar el esfuerzo de trabajo del acero utilizamos la ecuación 2 que se detalla a continuación.

$$\sigma_t = F \times \sigma_f$$

### **Ecuación 2 Esfuerzo de trabajo del acero.**

Fuente: (Tutoriales Ingeniería Civil, 2013)

Siendo:

$$\sigma_f = E \frac{d f}{d a} \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

$$F = F \text{ de reducción de } d f$$

Datos del acero:

$$\sigma_f = 4100 \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

$$F = 0.6$$

Reemplazando en la ecuación 2 se tiene:

$$\sigma_t = 0.6 \times 4100 \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

$$\sigma_t = 2460 \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

Determinado este parámetro y con los siguientes datos de presión y diámetro externo de la tubería.

$$P = 200 \text{ b}$$

Considerando 4 veces la presión

$$P = 800 \text{ b} = 815,772 \left[ \frac{K}{c^2} \right]$$

$$D = 6,35 [m]$$

Se reemplaza los datos en la ecuación 1:

$$e = \frac{815.772 \times 6.35}{2 \times 2460} [m]$$

$$e = 1.053 [m]$$

### 3.3.5. Tuberías de baja presión

Las tuberías de baja presión de este sistema están instaladas a partir del regulador de presión hasta los inyectores de gas, siendo estas mangueras flexibles que soportan la presión de trabajo en esta línea.



**Figura 22 Tuberías de baja presión.**

Para la instalación de las tuberías de baja presión en la admisión del vehículo, se realizó cuatro perforaciones de 8 mm de diámetro en el ducto de alimentación de aire para colocar los racores para manguera de tipo A cuyas características se detallan en la tabla 6, donde luego se van a conectar las mangueras de baja presión.

**Tabla 6**

**Características del racor**

<b>Tipo</b>	<b>Referencia</b>	<b>Diámetro Interno</b>	<b>Rosca NPT</b>
<b>A</b>	B0404	1/4´	1/4´

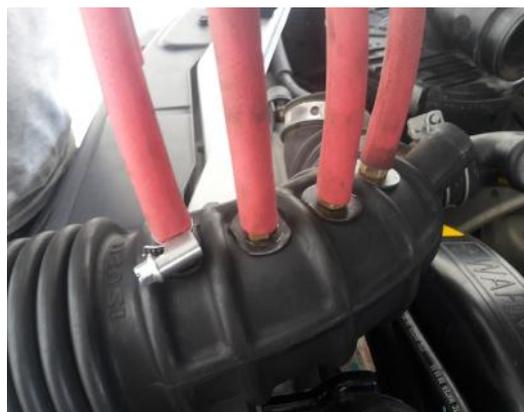
Fuente: (Compañía Importadora y Exportadora de Colombia S.A.S, 2013)

En la figura 23 se muestran las perforaciones realizadas con sus respectivos racores.



**Figura 23 Perforaciones en el ducto de alimentación.**

Después de colocados los acoples, se instalaron las mangueras de baja presión en el sistema de admisión las mismas que deben construirse de modo que toleren una presión de cuatro veces la presión de operación, cuando se hallen ubicadas aguas arriba de la primera etapa de regulación y cinco veces la presión de operación, cuando se hallen ubicadas aguas abajo de la primera etapa de regulación; el material de construcción a emplear, debe ser resistente a la acción química del gas y a las condiciones de operación. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009)



**Figura 24 Fijación de las mangueras de baja presión**

### 3.3.6. Adaptación mecánica del sensor EGO

Los sensores de oxígeno se encuentran directamente en el sistema de escape; la parte exterior del sensor provee un cable y un enchufe que se conectan en el mazo de cables de la ECU y transmiten la tensión para el monitoreo. Todos los sensores de oxígeno tienen el mismo fin, es decir, proporcionan información que permite a la ECU mantener una relación aire-combustible adecuada, se pueden encontrar varios tipos de sensores en los vehículos actuales; entre ellos: dióxido de zirconio, planar, titanio. (Plantilla Fantástico S.A., 2013). El vehículo no posee un sensor EGO, de tal modo fue adaptado uno; para lo cual se desmontó el tubo de escape.



**Figura 25 Desmontaje del tubo de escape**

Posteriormente se perforó el tubo de escape y se soldó una pieza roscada para el ajuste y fijación del sensor EGO.



**Figura 26 Adaptación del sensor EGO**

Finalmente, se colocó el sensor, para su posterior conexión con el sistema de control de inyección de GNV.

Entre algunas características del sensor EGO, se tiene:

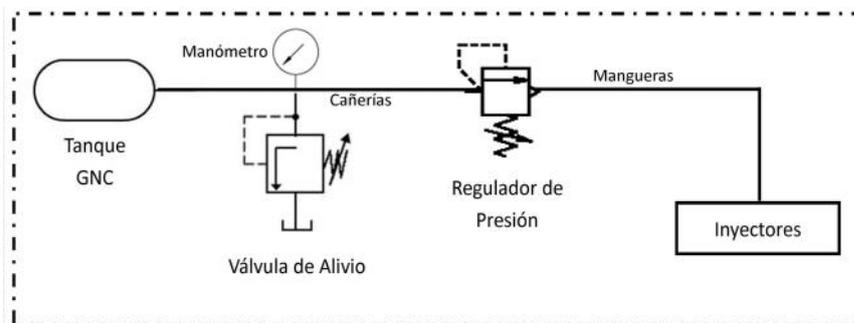
- ) El sensor de oxígeno determina la composición de los gases de escape, enviando una señal a la computadora para que realice los ajustes necesarios y se obtenga la relación óptima de aire-combustible.
- ) Este sensor es de tipo piezoeléctrico lo que quiere decir que es un generador de voltaje debido a que internamente tiene una cerámica que al contacto con el oxígeno empieza a contar iones, este conteo es lo que se aprecia como generador de voltaje.
- ) La amplitud de la señal del sensor de oxígeno es de 0.1V a 0.9V y al disminuir esta amplitud es una señal de que el sensor está perdiendo su capacidad de respuesta. Si el voltaje es de 0.1 a 0.45 significa que es una mezcla rica de combustible y si va de 0.65 a 0.9 es una mezcla pobre.



**Figura 27 Colocación del sensor EGO**

### 3.3.7. Esquema mecánico del sistema instalado

El esquema mecánico del presente proyecto inicia a partir del cilindro de GNV que contiene una llave de carga, el gas circula a través de la tubería de alta presión que sigue la línea de combustible por debajo de la carrocería, llegando hasta el regulador de presión que está ubicado en el compartimiento del motor, luego de este elemento inicia la línea de baja presión que está constituida por mangueras flexibles, las mismas que llegan hasta los inyectores de gas, los cuales van conectados a la entrada de aire de admisión del motor.



**Figura 28 Esquema mecánico del sistema**

### 3.4. Adaptación electrónica

#### 3.4.1. Llave conmutadora

La llave conmutadora es una parte esencial en los motores que funcionan con sistema dual. Es la encargada de realizar el cambio de tipo de combustible cuando el sistema está en condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento con GNV. (PFINALFRA, 2015)



**Figura 29 Llave conmutadora**

#### 3.4.2. Unidad electrónica de control

La unidad electrónica de control es la encargada de generar los pulsos para la inyección del GNV en el sistema de admisión, la inyección va en función de los parámetros de lectura de los sensores del vehículo, en este caso según los valores del TPS y del sensor de revoluciones del motor.

Dentro de las principales características técnicas de la unidad de control electrónica se tiene: control preciso de la relación aire-combustible según la velocidad del motor, puede leer la información original del vehículo y los

códigos OBD de avería, ajuste en tiempo real de la relación aire-combustible, adecuado para motores de 4 a 6 cilindros, función de diagnóstico automático, en caso de mal funcionamiento o falta de GNC. (Sichuan DUJIA Technology Co.,Ltd., 2012)

**Tabla 7**

**Parámetros característicos unidad electrónica de control**

<b>Peso</b>	<b>1,9 Kg</b>
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<b>10 V – 16 V</b>
<b>Tensión nominal</b>	<b>12 V</b>
<b>Resistencia</b>	<b>100 ohm</b>
<b>Conector de depuración</b>	<b>RS232</b>

Fuente: (Sichuan DUJIA Technology Co.,Ltd., 2012)

En la figura 30 se puede apreciar la unidad electrónica de control que fue instalada en el sistema bifuel GNV/diesel.

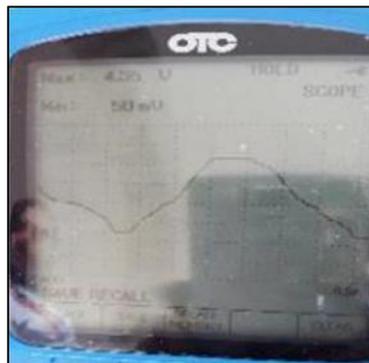


**Figura 30 Unidad electrónica de control**

### 3.4.3. Conexión al TPS

Para la conexión al TPS es necesario ubicar el cable de señal del sensor para conectarlo a la unidad de control electrónica; por lo que con ayuda del osciloscopio obtuvimos la siguiente señal que permite identificar dicho cable.

Este sensor tiene como objetivo informarle a la unidad de control, la posición del cuerpo de aceleración; convierte el ángulo de aceleración en señal eléctrica.



**Figura 31 Señal obtenida del TPS**

### 3.4.4. Conexión al CKP

La señal de CKP fue tomada del tablero del vehículo precisamente del cable que activa el tacómetro del vehículo.

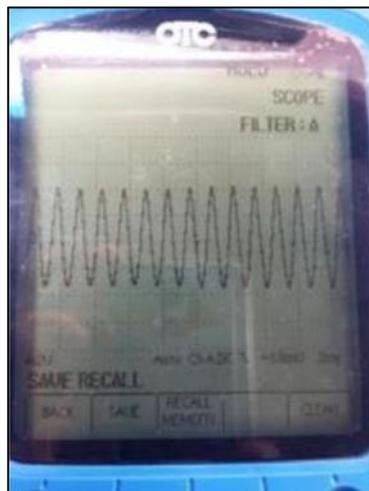
La señal del CKP es usada para establecer la posición del cigüeñal, velocidad del motor, punto de encendido y momento de la inyección. Si este

sensor no funciona, el motor no arrancara. La computadora interpreta esta señal como si el motor no girara.



**Figura 32 Salida del CKP**

Para verificar que la señal sea correcta, se realizó una medición con el osciloscopio y se obtuvo la siguiente curva.



**Figura 33 Señal del CKP**

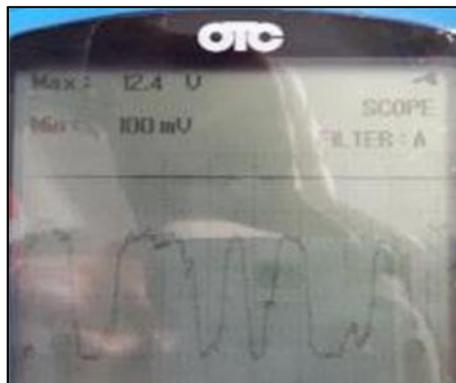
### 3.4.5. Conexión al EGO

La conexión al EGO se la realiza directamente al módulo de control electrónico mediante dos cables que reciben la señal de dicho sensor.



**Figura 34 Conexión del EGO**

La señal generada por el EGO se la puede visualizar en la siguiente imagen.

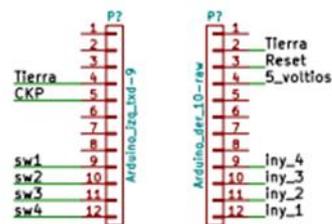


**Figura 35 Señal del EGO**

### 3.4.6. Emuladores

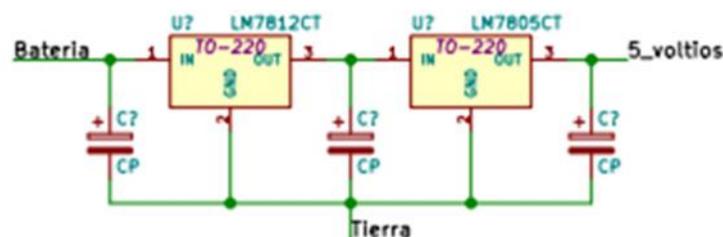
Debido a que la camioneta no posee una inyección simultánea, se realizó un emulador de inyección el mismo que generar los pulsos de activación de los inyectores en función a las señales recibidas en el módulo de control.

Este módulo fue elaborado mediante la utilización de un Arduino y transistores para la activación de los inyectores; a continuación se detalla la conexión del Arduino.



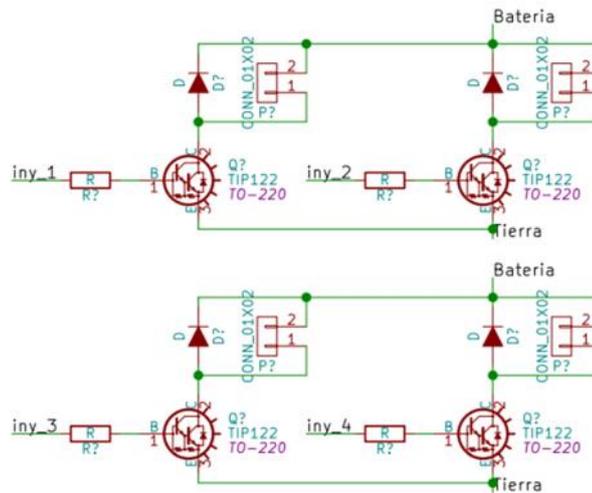
**Figura 36 Conexión pines del Arduino**

Debido a que en el vehículo cuenta con una alimentación de 12 V se diseñó un circuito transformador de voltaje que proporcionará los 5 V con los que se alimenta el Arduino.



**Figura 37 Circuito transformador de 5V**

Los inyectores se activan con los transistores, por lo que a la salida del Arduino a cada uno de los inyectores, es necesaria la implementación del circuito que genera la activación de los inyectores.



**Figura 38 Conexión de los inyectores**

La tabla 8 muestra las características técnicas de los inyectores de GNV.

**Tabla 8**

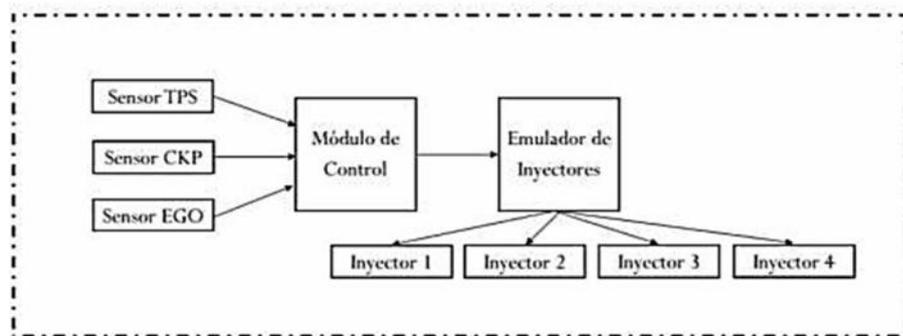
**Características de los inyectores de GNV.**

<b>Voltaje de funcionamiento</b>	<b>DC11-14V</b>
<b>Presión de trabajo</b>	0.5 bar
<b>Presión máxima</b>	3.0 bar
<b>Resistencia de la bobina</b>	1/2/3 ohm
<b>Pico de corriente</b>	4 A
<b>Corriente de trabajo</b>	1 A

Fuente: (Alibaba.com, 2016)

### 3.4.7. Esquema electrónico del sistema instalado

El esquema electrónico del proyecto empieza desde las señales emitidas por los sensores EGO, CKP y TPS los mismos que son captados por el módulo de control electrónico, luego de esto se envía una señal hacia el simulador de inyectores el mismo que se encarga de la activación de los inyectores de GNV.



**Figura 39 Esquema electrónico**

### 3.5. Adaptación eléctrica

#### 3.5.1. Tensión de alimentación

El sistema se encuentra alimentado por 12 V proporcionados por la batería de la camioneta, estos 12 V activan la unidad de control electrónica; además de esto se necesita de 5 V para la activación del emulador de inyectores, estos últimos se obtienen mediante un transformador que convierte los 12 V de la batería en 5 V.

### 3.5.2. Sistemas de protección

Dentro de los sistemas de protección del proyecto se tiene; un fusible que protege a la unidad de control y se encuentra ubicado en la caja de fusibles y un interruptor de parada de emergencia que apaga totalmente el sistema dual GNV-Diesel.

$$V = I * R$$

#### **Ecuación 3 Ley de Ohm**

Fuente: (Nichese, 2012)

Dónde:

$$V = T \quad \text{ón}$$

$$I = I_1$$

$$R = R$$

De la ecuación 3 se despeja la intensidad.

$$I = V/R$$

Reemplazando los datos se tiene

$$I = \frac{12 V}{1,9 \text{ ohm}}$$

$$I = 6,31 A$$

Con factor de seguridad del 50 %

$$I = 6,31 A * 1,5$$

$$I = 9,48 A$$

Por lo tanto se colocó un fusible de 10 amperios.

### 3.5.3. Cable de alimentación

Es necesario el cálculo del calibre del cable de alimentación para evitar sobrecalentamiento en el mismo; para dicho cálculo se va a emplear la ecuación 4.

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * \%}$$

#### **Ecuación 4 Cálculo de la sección de cables de cobre**

Fuente: (Scheer, 2011)

Dónde:

$$S = S \quad \text{ón d} \quad c_i \quad d \quad c_i \quad (m^2)$$

$$I = I_1 \quad (a)$$

$$L = L \quad (m)$$

$$\% = C \quad d \quad t_i \quad \text{ón a}$$

Para poder reemplazar en la fórmula primero es necesario el cálculo de la intensidad de corriente en el cable de alimentación, para lo cual se utiliza la ecuación 3.

$$I = \frac{12 V}{7 \text{ ohm}}$$

$$I = 1,71 a$$

A este valor lo multiplicamos por 2 para considerar un factor de seguridad.

$$I = 1,71 a \quad * 2$$

$$I = 3,42 a$$

Una vez obtenidos estos datos son reemplazados en la ecuación 4.

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * \%}$$

$$S = 0,305 m^2$$

Obtenido este dato se busca el valor mediante la utilización de tablas

**Tabla 9**

**Calibres de cables eléctricos.**

AWG	Diám. mm	Amperaje	AWG	Diám. mm	Amperaje
1	7.35	120	16	1.29	3,7
2	6.54	96	17	1.15	3,2
3	5.86	78	18	1.024	2,5
4	5.19	60	19	0.912	2,0
5	4.62	48	20	0.812	1,6
6	4.11	38	21	0.723	1,2
7	3.67	30	22	0.644	0,92
8	3.26	24	23	0.573	0,73
9	2.91	19	24	0.511	0,58
10	2.59	15	25	0.455	0,46
11	2.30	12	26	0.405	0,37
12	2.05	9,5	27	0.361	0,29
13	1.83	7,5	28	0.321	0,23
14	1.63	6,0	29	0.286	0,18
15	1.45	4,8	30	0.255	0,15

Fuente: (La reparación de la casa, construcción, 2016)

Con lo que se determina que el calibre del cable es de 16 AWG.

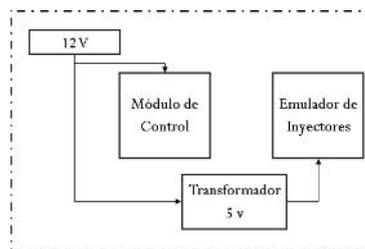
#### 3.5.4. Interruptor de parada de emergencia

El interruptor de parada de emergencia es un switch que se encuentra a un lado de la llave conmutadora y corta por completo la alimentación de la unidad de control electrónica y por lo tanto la inyección de GNV.



**Figura 40 Interruptor de parada de emergencia**

#### 3.5.5. Esquema eléctrico del sistema instalado



**Figura 41 Esquema eléctrico**

## CAPÍTULO IV

### FUNCIONALIDAD Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

#### 4.1. Parámetros de funcionamiento

El torque, la potencia, el consumo de combustible son los parámetros de funcionamiento que más inciden en la realización de nuestro proyecto, por lo que se realizó una comparación de los mismos antes y después de la implementación del sistema bifuel en la camioneta, para determinar la variación de los mismos.

A continuación, en la tabla 10 se detalla estos parámetros antes de la conversión para su posterior análisis.

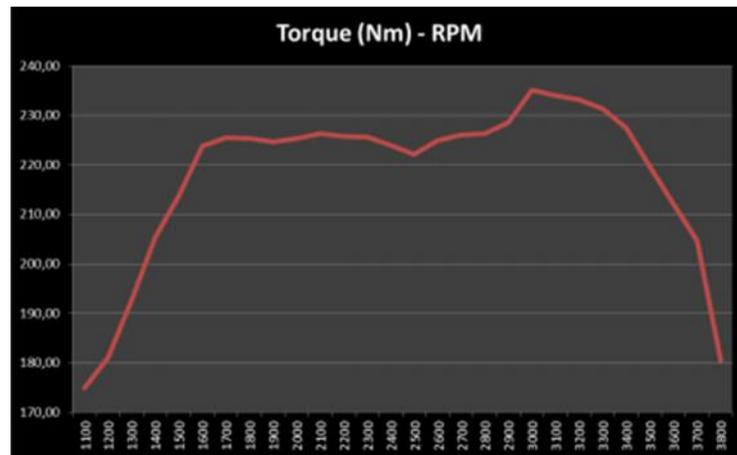
**Tabla 10**

#### Parámetros de funcionamiento

<b>Marca</b>	Isuzu
<b>Modelo</b>	D – Max
<b>Motor</b>	2.5 TD Cabina Simple (136HP)
<b>Potencia Máxima</b>	136 CV /3600rpm.
<b>Velocidad Máxima</b>	150 km/h
<b>Cilindrada Real</b>	2499 cm <sup>3</sup>
<b>Par Máximo</b>	280 Nm /1800rpm.
<b>Combustible</b>	Diesel
<b>Consumo de combustible combinado</b>	7.4 l/100 km.

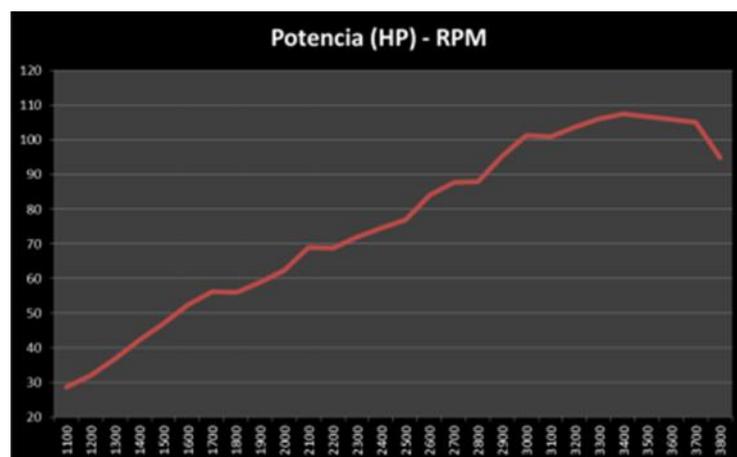
Fuente: (Automotores Continental, 2016)

En las figuras 42 y 43 se muestran las curvas características de torque y potencia de la camioneta Chevrolet Luv D-Max antes de la conversión GNV/diesel.



**Figura 42** Curva característica de torque

La curva de torque del motor muestra valores trazados de acuerdo al incremento de las RPM, el torque máximo es de 235 Nm a 3000 rpm.



**Figura 43** Curva característica de potencia

La potencia máxima del motor es 108 HP a 3400 rpm, la figura 44 muestra la curva descrita por el motor, de acuerdo a las revoluciones del mismo.

#### 4.2. Ajustes necesarios

Para el funcionamiento del sistema GNV/diesel fue necesario realizar algunos ajustes, entre los cuales se destaca, las perforaciones en el ducto de admisión para la colocación de los inyectores de GNV.



**Figura 44 Ducto de admisión**

Para la adaptación del sensor EGO en el tubo de escape del vehículo se tomaron en cuenta distintos factores, tales como, la ubicación del sensor debía estar lo más cercana posible a la línea de conexión y/o alimentación eléctrica del módulo de control del sistema, al ser un sensor de tipo piezoeléctrico, es un pequeño generador de reacción química que informa a la computadora la calidad de los gases de escape; para determinar el tiempo de inyección del GNV.



**Figura 45 Sensor EGO**

Y por último la adaptación del riel de inyectores GNV para poder administrar el gas natural comprimido en la admisión.



**Figura 46 Emulador de inyectores**

#### 4.3. Calibración del sistema

Para la calibración del sistema GNV/diesel es necesario variar el tiempo de inyección de GNV en la admisión mediante la programación de un circuito integrado, para de esta manera conseguir condiciones óptimas de funcionamiento de los inyectores de gas y que este parámetro no incida en el desgaste del motor de combustión interna de ciclo diesel.

#### 4.3.1. Regulación y puesta a punto del equipo

Debido a la inexistencia de un módulo de inyección electrónica en el vehículo fue necesaria la construcción del mismo, para lo cual se utilizó un circuito cuyo principal componente es un Arduino, el mismo debe ser programado para trabajar de diferente manera siempre en concordancia con los parámetros de funcionamiento del vehículo (CKP, TPS, EGO) y de esta manera proporcionar la cantidad adecuada de gas natural en la admisión.



**Figura 47 Arduino nano**

Fuente: (Banggood, 2016)

**Tabla 11**

#### **Características de Arduino**

<b>Ventaja</b>	<b>Descripción</b>
<b>Simplifica</b>	Arduino simplifica el proceso de trabajar con microcontroladores.
<b>Bajos costos</b>	Las placas Arduino son más accesibles comparadas con otras plataformas
<b>Multi-Plataforma</b>	El software de Arduino funciona en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux
<b>Entorno de programación</b>	Es fácil de usar para principiantes y flexible para los usuarios avanzados.
<b>Software</b>	El lenguaje puede ampliarse a través de

CONTINÚA →

<b>ampliable y de código abierto</b>	librerías de C++
<b>Hardware ampliable y de Código abierto</b>	Arduino está basado en los microcontroladores ATMEGA168, ATMEGA328 y ATMEGA1280

Fuente: (Intek Electrónica, 2013)

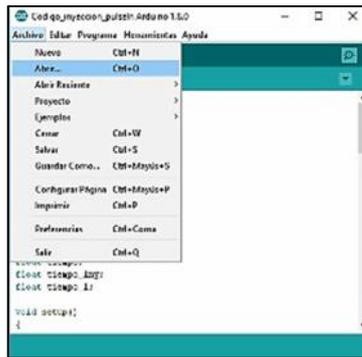
Debido a las ventajas y simple manejo de este software, el ingreso de variables es similar al lenguaje C++, entonces se aprovechó esta característica para programar el tiempo de inyección del GNV, para calibrar el mismo se sigue el proceso que se detalla a continuación.

Se ejecuta el programa Arduino IDE 1.8.0 y se espera que cargue.



**Figura 48 Arduino IDE 1.8.0**

Ejecutar el archivo de programación para poder cambiar el tiempo de apertura de los inyectores de GNV.



**Figura 49 Apertura del archivo Arduino IDE**

Cuando se haya abierto el archivo, buscar la parte de la programación que se muestra en la figura 50.

```
if (velocidad >= 1000 && velocidad < 3000){
  tiempo = 60 / float(velocidad);
  tiempo_l = tiempo * 1000;
  tiempo_iny = tiempo_l * 0.01;
  digitalWrite(inyector1, LOW);
  digitalWrite(inyector2, LOW);
  digitalWrite(inyector3, LOW);
  digitalWrite(inyector4, LOW);
}
```

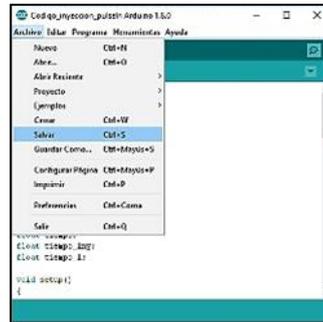
**Figura 50 Programación del Arduino**

Una vez aquí se puede cambiar el parámetro de la cuarta línea de programación, la misma que determina el tiempo de apertura de cada uno de los inyectores de GNV en base a la cantidad de carburante que ingresa al motor y como se ve afectada la estabilidad y vibraciones del mismo.

```
tiempo_l = tiempo * 1000;
tiempo_iny = tiempo_l * 0.05;
digitalWrite(inyector1, LOW);
digitalWrite(inyector2, LOW);
digitalWrite(inyector3, LOW);
digitalWrite(inyector4, LOW);
```

**Figura 51 Tiempo de inyección en la programación**

Se guarda el archivo que se ha modificado con los nuevos parámetros de tiempo de inyección.



**Figura 52 Guardar cambios Arduino**

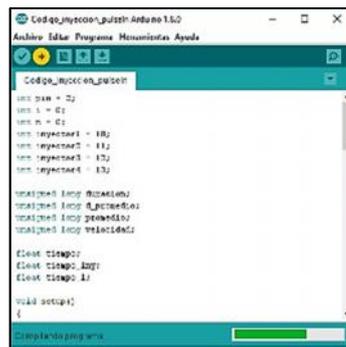
Una vez guardado el archivo se envía la información de la programación al Arduino mediante la conexión del cable USB-serial.



**Figura 53 Cable USB-serial Arduino**

Fuente: (Banggood, 2016)

Se presiona el botón subir como se muestra en la figura 54 y al mismo tiempo el botón reset del Arduino para aceptar la programación.



**Figura 54 Grabar en el Arduino**

De esta manera se realiza la regulación y puesta a punto del equipo ya que el tiempo de inyección de GNV es el único parámetro que se puede modificar.

#### 4.4. Verificación del funcionamiento

##### 4.4.1. Prueba de fugas

La prueba de fugas se la realiza de una manera visual siguiendo las cañerías y conexiones del circuito de gas; poniendo mucha atención en puntos críticos como uniones y acoples, asegurando de esta manera la inexistencia de fugas en el sistema de alimentación de GNV.



**Figura 55 Acoples cañerías GNC**

Uno de los puntos más críticos para la revisión de fugas son los acoples y componentes que se encuentran a la salida del tanque, por la cantidad de elementos existentes, la unión inadecuada de estos puede generar que el gas natural se escape.



**Figura 56 Conexiones salida del cilindro**

#### 4.5. Pruebas de funcionalidad del sistema

Las actividades de esta etapa se refieren a la realización de chequeos completos respecto de la funcionalidad de cada componente y/o parámetro del sistema instalado en la camioneta.

Las pruebas se deben hacer sobre diferentes aspectos, siendo algunos de los más importantes los siguientes.

##### 4.5.1. Régimen de revoluciones del GNV

El régimen de revoluciones al cual opera el sistema de gas en la camioneta va desde las 1000 r.p.m. hasta las 3000 r.p.m., para controlar este régimen ha sido implementado un circuito electrónico con programación

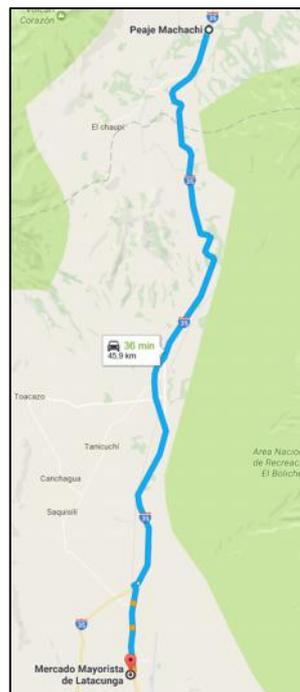
en Arduino que va conectado al tacómetro de la camioneta y controla el emulador de inyectores.

En ralentí el motor trabaja únicamente con diesel, el sistema bifuel trabaja en el rango ya mencionado, cuando el vehículo sobrepasa las 3000 r.p.m., se corta la inyección de gas por seguridad y para prevenir daños en los componentes internos del motor.

#### 4.5.2. Pruebas de ruta

Para la realización de la prueba de ruta se necesita una vía en la cual exista desniveles horizontales para poder analizar el comportamiento de la camioneta en pendientes y en plano; esto permitió determinar la eficiencia del sistema.

La prueba de ruta se realizó desde el peaje de Machachi, hasta el Mercado Mayorista de Latacunga, cubriendo así un tramo de 45.9 Km, en un tiempo de 55 minutos con combustible diesel y de 49 minutos con GNV/diesel, respetando siempre los límites de velocidad de acuerdo a la Ley de Tránsito vigente en nuestro país, la misma que indica una velocidad máxima de 90  $K/h$  en carretera para vehículos livianos.



**Figura 57 Circuito para la prueba de ruta**

Después de realizada la prueba de ruta, se determinó que la variación del tiempo estuvo dentro de un rango tolerable, es decir, que no tuvo una mayor relevancia; el consumo de combustible disminuyó, cuando el vehículo funcionó con diesel consumió 2 galones y cuando funcionó con GNV/diesel se consumieron 1,75 galones; determinando así un ahorro de combustible de 12.5 %.

Con los datos obtenidos en la prueba de ruta y la aplicación de la ecuación 5 de acuerdo a (GTZ, 1986), se realizará el cálculo de consumo de combustible en carretera.

$$C = \frac{d \cdot c_i}{T} = \frac{c_i}{d \cdot m} \frac{(L) * 100}{ón}$$

$$K_s = \frac{K * 100}{s} \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

### Ecuación 5 Consumo de combustible en carretera

Fuente: (GTZ, 1986)

Dónde:

$$K_s = C \quad d \quad cc \quad \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$s = T \quad d \quad m \quad ón$$

En primer lugar, se realizará el cálculo con los datos obtenidos en la prueba de ruta con el vehículo funcionando con el combustible convencional (diesel).

$$K_s = 2 g \quad \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$s = 45,9 k$$

Reemplazando los datos en la ecuación 5, se tiene:

$$K_s = \frac{K * 100}{s} \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$K_s = \frac{2 g * 100}{45,9 k} \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$K_s = 4,36 \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

Como conclusión, el vehículo consumirá 4,36 galones de diesel por cada 100 km que recorra funcionando solo con este combustible (diesel).

Con los datos obtenidos en la prueba de ruta con el vehículo funcionando con el sistema dual GNV/diesel.

$$K_s = 1,75 g \quad \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$s = 45,9 k$$

Reemplazando los datos en la ecuación 5, se tiene:

$$K_s = \frac{K * 100}{s} \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$K_s = \frac{1,75 g}{45,9 k} * 100 \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$K_s = 3,81 \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

El vehículo consumirá 3,81 galones de diesel por cada 100 km que recorra funcionando con el sistema GNV/diesel.

De esta manera, se concluye que con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel tiene un ahorro de 0,55 galones de combustible por cada 100 km de recorrido.

#### 4.6. Pruebas a realizar

Para obtener parámetros relevantes para la realización del proyecto es necesario ejecutar pruebas, las mismas que se detallan a continuación.

##### 4.6.1. Pruebas dinamométricas

El objetivo de las pruebas dinamométricas es determinar la variación de torque y potencia que ocurre en el motor de la camioneta Chevrolet Luv D-Max, se efectuó dos pruebas, una antes y otra después de la adaptación del sistema bifuel GNV/diesel.

Las pruebas dinamométricas se ejecutaron en la ciudad de Quito en Dinamyca Competición, taller que se dedica a realizar este tipo de pruebas.

El dinamómetro utilizado fue un Dyno-Max Pro, trabaja con el software DYNO-MAX 2010 "Pro +" que tiene un gran editor de fórmulas, informes de datos personalizados (con superposiciones, promedios, anotaciones, etc.); las características técnicas del dinamómetro se detallan en la tabla 11

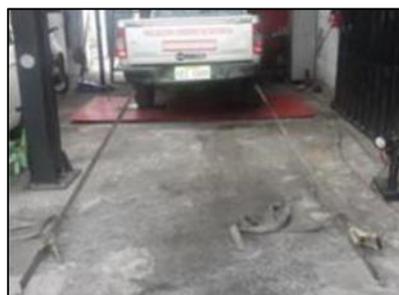
Tabla 12

**Características técnicas del dinamómetro.**

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>Precisión de medición</b>	+/- 2 %
<b>Fusible (lento)</b>	16 A
<b>Carga axial</b>	1000 kg
<b>Peso</b>	270 kg
<b>Velocidad de prueba máx.</b>	320 km/h
<b>Fuerza de tracción máx.</b>	6500 N
<b>Diámetro de rodillo</b>	400 mm
<b>Longitud de rodillos</b>	400 mm
<b>Tensión de red</b>	400 V
<b>Fases</b>	3
<b>Aire comprimido</b>	8 bar
<b>Potencia de rueda (dinámica)</b>	> 350 Kw
<b>Tensión especial</b>	230 V

Fuente: (Intek Electrónica, 2013)

Para realizar la prueba, el primer paso es anclar el vehículo en el dinamómetro, en este caso el mismo es de un solo rodillo por lo que es necesario asegurarlo con correas de seguridad.



**Figura 58 Anclaje prueba dinamométrica**

Una vez asegurado el vehículo, se inicia la prueba que consiste en acelerar el vehículo simulando conducción para hacer girar el rodillo.



**Figura 59 Prueba dinamométrica**

La primera prueba se la realizó funcionando solamente con diesel obteniendo los siguientes resultados.

La tabla 13 indica los valores del torque del motor en bases a las RPM, el motor alcanza su máximo torque a las 2400 r.p.m., siendo éste de 340,99 Nm. Estos valores grafican la curva característica del torque con el motor trabajando con diesel únicamente.

**Tabla 13**

**Torque con diesel**

<b>RPM</b>	<b>Torque ft-lb</b>	<b>Torque Nm</b>
<b>1100</b>	129	174,90
<b>1200</b>	133,6	181,14
<b>1300</b>	142,1	192,66
<b>1400</b>	151,5	205,41
<b>1500</b>	157,7	213,81

CONTINÚA →

<b>1600</b>	165,1	223,85
<b>1700</b>	166,3	225,47
<b>1800</b>	166,2	225,34
<b>1900</b>	165,7	224,66
<b>2000</b>	166,2	225,34
<b>2100</b>	166,9	226,29
<b>2200</b>	166,5	225,74
<b>2300</b>	166,4	225,61
<b>2400</b>	165,2	223,98
<b>2500</b>	163,8	222,08
<b>2600</b>	165,9	224,93
<b>2700</b>	166,7	226,01
<b>2800</b>	166,9	226,29
<b>2900</b>	168,6	228,59
<b>3000</b>	173,4	235,10
<b>3100</b>	172,6	234,01
<b>3200</b>	172	233,20
<b>3300</b>	170,6	231,30
<b>3400</b>	167,8	227,51
<b>3500</b>	162	219,64
<b>3600</b>	156,4	212,05
<b>3700</b>	151	204,73
<b>3800</b>	133,1	180,46

En la tabla 14 se puede apreciar la potencia del vehículo en función de las revoluciones por minuto. En este caso, la potencia máxima del motor se alcanza a las 3400 r.p.m.; 107,4 HP es el valor máximo y con los demás valores obtenidos se grafica la curva de la potencia del motor, trabajando con diesel.

**Tabla 14**

**Potencia con diesel**

<b>RPM</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Potencia CV</b>
<b>1100</b>	28,65	29,05
<b>1200</b>	31,95	32,39

CONTINÚA →

<b>1300</b>	36,77	37,28
<b>1400</b>	42,18	42,76
<b>1500</b>	47,02	47,67
<b>1600</b>	52,44	53,16
<b>1700</b>	56,08	56,85
<b>1800</b>	56,05	56,82
<b>1900</b>	59,01	59,82
<b>2000</b>	62,36	63,22
<b>2100</b>	68,92	69,87
<b>2200</b>	68,78	69,73
<b>2300</b>	71,87	72,86
<b>2400</b>	74,47	75,50
<b>2500</b>	76,92	77,98
<b>2600</b>	84,18	85,34
<b>2700</b>	87,78	88,99
<b>2800</b>	87,86	89,07
<b>2900</b>	95,2	96,51
<b>3000</b>	101,2	102,60
<b>3100</b>	100,8	102,19
<b>3200</b>	103,7	105,13
<b>3300</b>	106	107,46
<b>3400</b>	107,4	108,88
<b>3500</b>	106,7	108,17
<b>3600</b>	105,9	107,36
<b>3700</b>	105	106,45
<b>3800</b>	94,88	96,19

La segunda prueba se la realizó con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel en funcionamiento. La tabla 15 muestra los valores del torque del motor en base a sus revoluciones, alcanzando el torque máximo de 359,70 Nm a 2000 r.p.m., variando así la curva con respecto al funcionamiento del motor únicamente con diesel.

Tabla 15

## Torque con GNV/diesel

RPM	Torque ft-lb	Torque Nm
1100	149,2	202,29
1200	167,8	227,51
1300	185,6	251,64
1400	204,1	276,72
1500	205	277,94
1600	225,6	305,87
1700	246,4	334,07
1800	259,7	352,11
1900	264,8	359,02
2000	265,3	359,70
2100	262,6	356,04
2200	259,5	351,83
2300	255,8	346,82
2400	251,5	340,99
2500	247,9	336,11
2600	235,3	319,02
2700	199,8	270,89
2800	169,4	229,68
2900	170,1	230,62
3000	174,9	237,13
3100	174,1	236,05
3200	172,6	234,01
3300	171,2	232,12
3400	169,2	229,40
3500	163	221,00
3600	158,7	215,17
3700	149,2	202,29
3800	138,7	188,05

En la tabla 16 se puede apreciar la potencia del vehículo en función de las revoluciones por minuto, con el sistema de GNV/diesel. La potencia máxima que alcanza el motor es de 118 HP a 2500 r.p.m., obteniendo mayor

potencia en comparación al funcionamiento solo con diesel, y a menores revoluciones.

**Tabla 16**

**Potencia con GNV/diesel**

<b>RPM</b>	<b>Potencia HP</b>	<b>Potencia CV</b>
<b>1100</b>	33,75	34,22
<b>1200</b>	40,19	40,74
<b>1300</b>	48,62	49,29
<b>1400</b>	57,64	58,44
<b>1500</b>	58,23	59,03
<b>1600</b>	68,75	69,70
<b>1700</b>	79,76	80,86
<b>1800</b>	89,99	91,23
<b>1900</b>	95,79	97,11
<b>2000</b>	101	102,39
<b>2100</b>	105	106,45
<b>2200</b>	108,7	110,20
<b>2300</b>	112	113,55
<b>2400</b>	115	116,59
<b>2500</b>	118	119,63
<b>2600</b>	116,5	118,11
<b>2700</b>	102,1	103,51
<b>2800</b>	89,24	90,47
<b>2900</b>	96,06	97,39
<b>3000</b>	102,1	103,51
<b>3100</b>	101,7	103,10
<b>3200</b>	104,1	105,54
<b>3300</b>	106,4	107,87
<b>3400</b>	108,4	109,90
<b>3500</b>	107,4	108,88
<b>3600</b>	107,5	108,98
<b>3700</b>	107	108,48
<b>3800</b>	106,2	107,67

La tabla 17 muestra el torque y potencia del motor funcionamiento solo con diesel y con el sistema GNV/diesel. Los dos parámetros son mayores cuando funciona el sistema bifuel, y alcanzando su valor máximo a menores revoluciones del motor.

**Tabla 17**

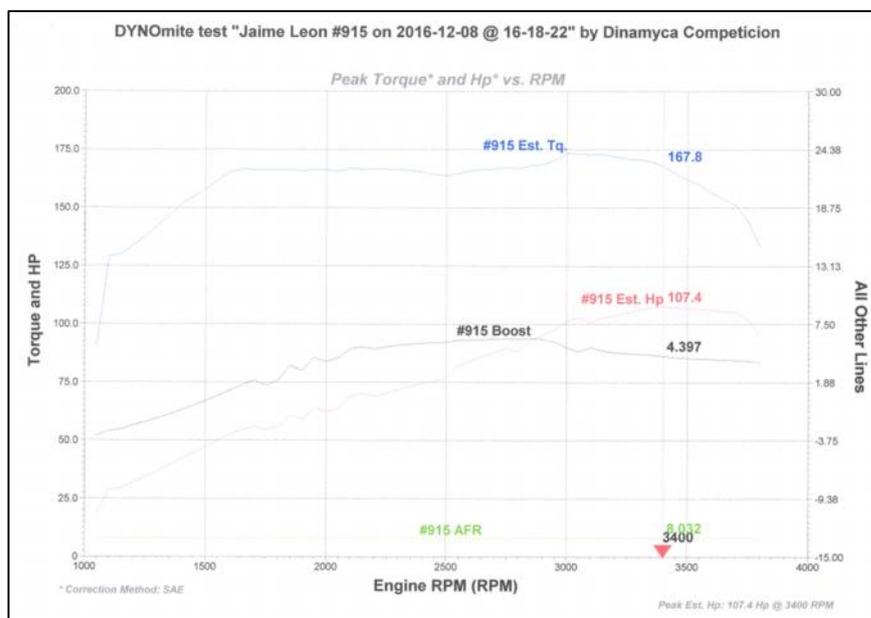
**Torque y Potencia con diesel y GNV/diesel**

RPM	Diesel		GNV/diesel	
	Torque Nm	Potencia HP	Torque Nm	Potencia HP
<b>1100</b>	174,90	28,65	202,29	33,75
<b>1200</b>	181,14	31,95	227,51	40,19
<b>1300</b>	192,66	36,77	251,64	48,62
<b>1400</b>	205,41	42,18	276,72	57,64
<b>1500</b>	213,81	47,02	277,94	58,23
<b>1600</b>	223,85	52,44	305,87	68,75
<b>1700</b>	225,47	56,08	334,07	79,76
<b>1800</b>	225,34	56,05	352,11	89,99
<b>1900</b>	224,66	59,01	359,02	95,79
<b>2000</b>	225,34	62,36	359,70	101
<b>2100</b>	226,29	68,92	356,04	105
<b>2200</b>	225,74	68,78	351,83	108,7
<b>2300</b>	225,61	71,87	346,82	112
<b>2400</b>	223,98	74,47	340,99	115
<b>2500</b>	222,08	76,92	336,11	118
<b>2600</b>	224,93	84,18	319,02	116,5
<b>2700</b>	226,01	87,78	270,89	102,1
<b>2800</b>	226,29	87,86	229,68	89,24
<b>2900</b>	228,59	95,2	230,62	96,06
<b>3000</b>	235,10	101,2	237,13	102,1
<b>3100</b>	234,01	100,8	236,05	101,7
<b>3200</b>	233,20	103,7	234,01	104,1
<b>3300</b>	231,30	106	232,12	106,4
<b>3400</b>	227,51	107,4	229,40	108,4
<b>3500</b>	219,64	106,7	221,00	107,4
<b>3600</b>	212,05	105,9	215,17	107,5

CONTINÚA →

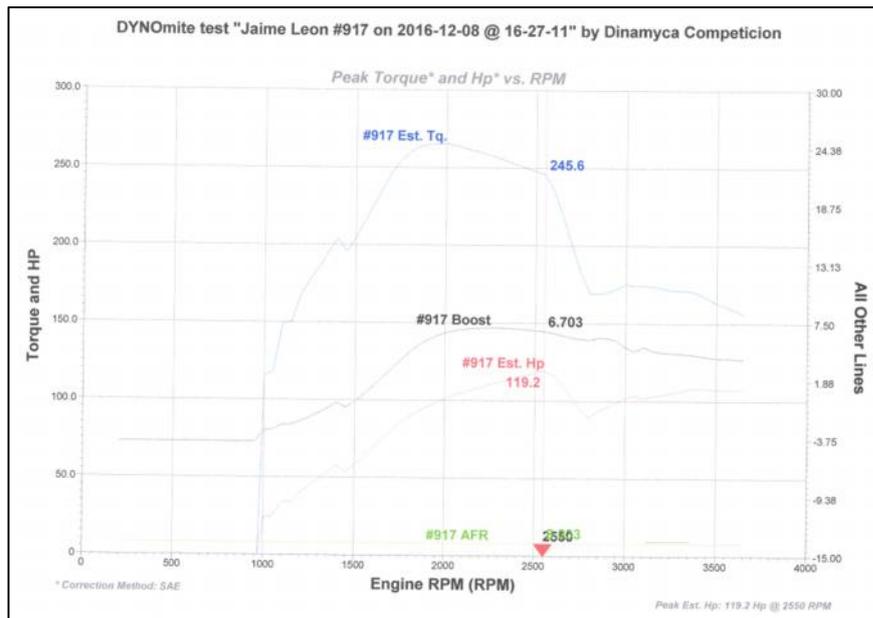
<b>3700</b>	204,73	105	202,29	107
<b>3800</b>	180,46	94,88	188,05	106,2

En la figura 60 se puede apreciar la curva obtenida de torque y potencia del vehículo, funcionando con diesel.



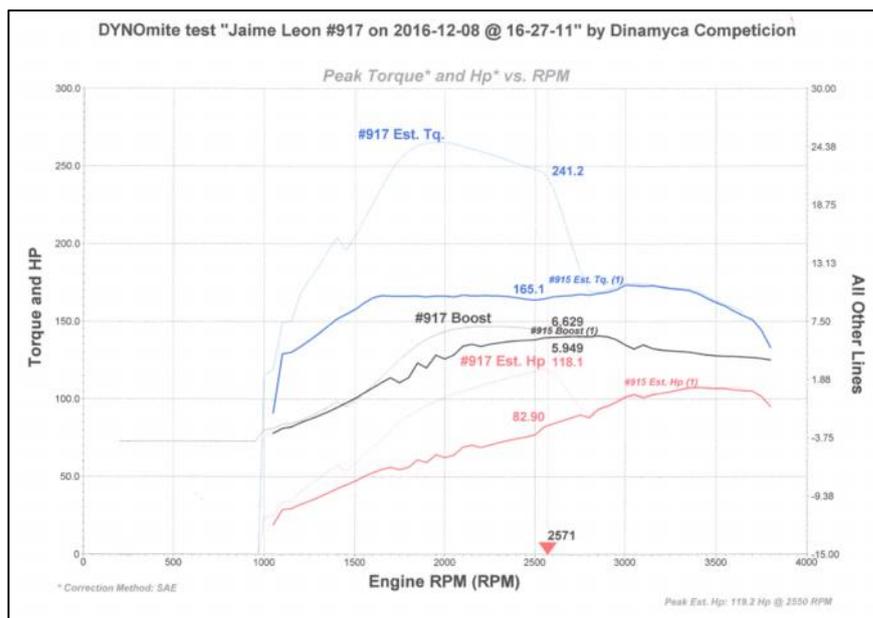
**Figura 60 Torque y potencia con diesel**

En la figura 61 se puede apreciar la curva obtenida de torque y potencia del vehículo funcionando con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel.



**Figura 61 Torque y potencia con GNV/diesel**

En la figura 62 se observa la comparación de las curvas de torque y potencia de la camioneta funcionando con diesel y con GNV/diesel.



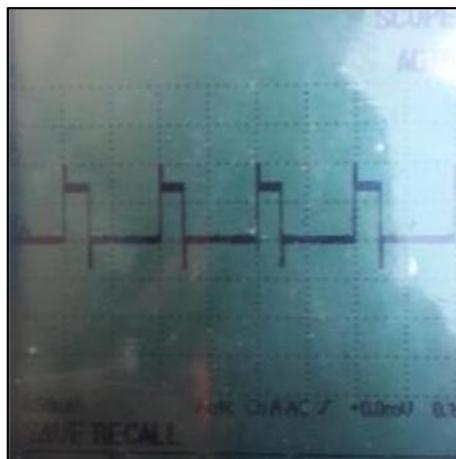
**Figura 62 Comparación de torque y potencia con diesel y GNV/diesel**

Del análisis de datos de pruebas de rendimiento se determina que: la potencia máxima de la camioneta funcionando con diesel es de 107,4 HP y funcionando a GNV/diesel es de 118 HP lo que representa un incremento de 10,6 HP; además la potencia alcanza su valor máximo a menores revoluciones con el sistema bifuel. Generando un aumento de potencia de 9,86 %.

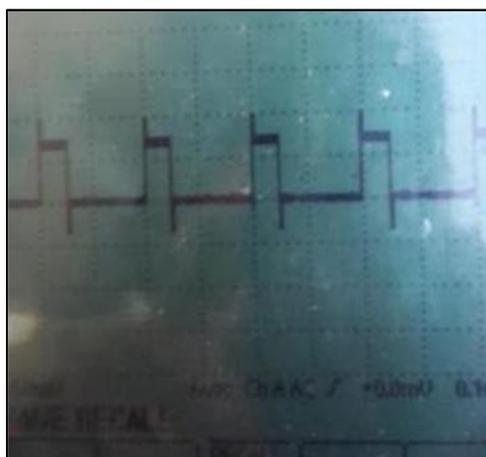
El torque máximo de la camioneta con su combustible convencional es de 235,10 Nm y funcionando a GNV/diesel se incrementa 124,5 Nm; llegando a 359,70 Nm; con lo que mejora en un 52,99 % el torque.

#### 4.6.2. Mediciones con el osciloscopio

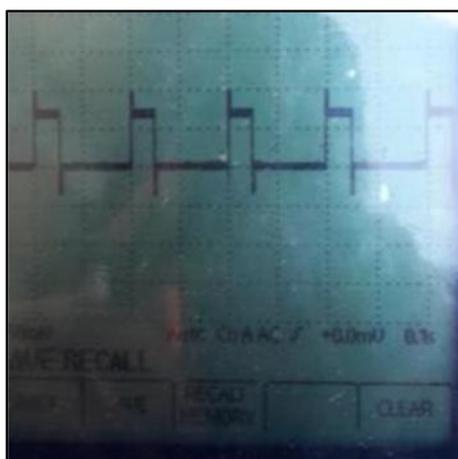
Mediante la ayuda del osciloscopio OTC se pudieron extraer las siguientes curvas de los inyectores de GNV.



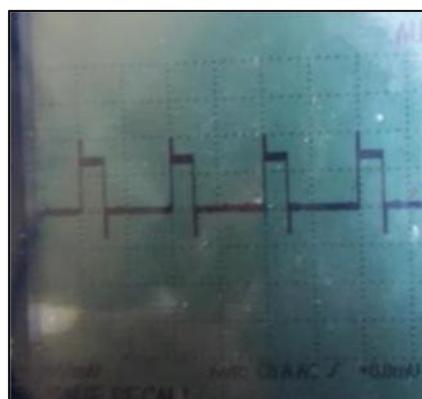
**Figura 63 Curva inyector GNV 1**



**Figura 64 Curva inyector GNV 2**



**Figura 65 Curva inyector GNV 3**



**Figura 66 Curva inyector GNV 4**

Como se puede apreciar, todos los inyectores trabajan de la misma manera, garantizando así una inyección simultánea y con el mismo tiempo de apertura de cada inyector de GNV.

#### 4.6.3. Análisis de emisión de gases

Debido a que el proyecto se desarrolla con una camioneta provista de un motor diesel es esencial la realización de una prueba de opacidad, la misma que fue ejecutada con un equipo CARTEK en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga del Laboratorio de Mecánica de Patio de la Carrera de Ingeniería Automotriz.



**Figura 67 Equipo Cartek**

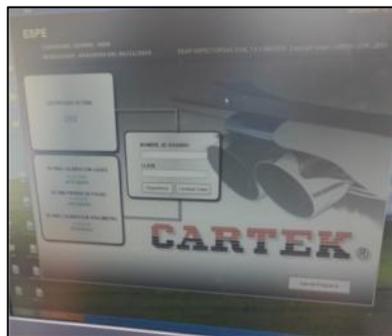
A continuación se detalla el procedimiento para la realización de la prueba de opacidad de la camioneta Chevrolet Luv D-Max.

Realizar las conexiones necesarias tanto de alimentación como del equipo de opacidad al módulo de adquisición de datos y validación.



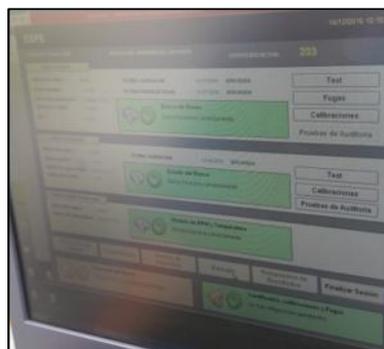
**Figura 68 Opacímetro Cartek**

Encender el computador del equipo CARTEK y ejecutar el programa de medición de opacidad.



**Figura 69 Pantalla de inicio software Cartek**

Se debe ingresar el usuario y contraseña del operador responsable del análisis para pasar a la selección de la prueba, seleccione test de opacidad.



**Figura 70 Selección de prueba software Cartek**

Se siguen las indicaciones que aparecen en la pantalla para la calibración del sistema y la realización de la prueba.



**Figura 71 Ingreso de la sonda en el tubo de escape**

El software detalla paso a paso el procedimiento para continuar con la prueba. Indica cuando acelerar y dejar el vehículo en ralentí varias veces; una vez concluida la prueba se obtiene los resultados para su posterior análisis.

ESPE		LATAJUEGA		Tel: 000000	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
NOMBRE	JUAN	PLACA	RECIBO	MODELO	2009
APELLIDO	LEON	MARCA	CHEVROLET	LANDO	DMV
IDENTIFICACION	17088129	NUMERO DE MOTOR	198	IDENTIFICACION	00000000000000000000
PRUEBA ENSAYO	2.27 %	DISPOSITIVO DE MEDICION	ESP		
PRUEBA 1	2.31 %	REACTIVO	10.000	Q1	00%
PRUEBA 2	2.32 %	RPM OPERACION	300	RPM	30%
PRUEBA 3	2.15 %	TEMPERATURA DE OPERACION	2		
OPCIONES	2.15 %	OPCIONADO LENTE	NO		
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA 12/08/2010 10:00:00		MOTOR			
<b>RESULTADO: APROBADA</b>					
OPERADOR RESPONSABLE: _____					
ESPE					
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>DATOS DEL VEHICULO</b>			
NOMBRE	JUAN	PLACA	RECIBO	MODELO	2009
APELLIDO	LEON	MARCA	CHEVROLET	LANDO	DMV
IDENTIFICACION	17088129	NUMERO DE MOTOR	198	IDENTIFICACION	00000000000000000000
PRUEBA ENSAYO	2.27 %	DISPOSITIVO DE MEDICION	ESP		
PRUEBA 1	2.31 %	REACTIVO	10.000	Q1	00%
PRUEBA 2	2.32 %	RPM OPERACION	300	RPM	30%
PRUEBA 3	2.15 %	TEMPERATURA DE OPERACION	2		
OPCIONES	2.15 %	OPCIONADO LENTE	NO		
<b>RESULTADO: APROBADA</b>					
OPERADOR RESPONSABLE: _____					

**Figura 72 Resultados de la prueba de opacidad**

La prueba se realizó dos veces, una con combustible convencional y la segunda con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel, para de esta manera obtener datos para el análisis de resultados, se debe considerar que para la realización de la prueba, el motor del vehículo se debe encontrar en su temperatura de trabajo.

Después de realizada la prueba; cuando el vehículo se encuentra funcionando con diesel se lograron obtener los datos que se detallan en la figura 73 y cuando funciona con GNV/diesel en la figura 74.

ESPE		Email	
LATACUNGA Tel: 0000000			
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>DATOS DEL VEHICULO</b>	
NOMBRE:	JAIME	PLACA:	XEC1005 MODELO: 2009
APELLIDO:	LEON	MARCA:	CHEVROLET LINEA: DMAX
IDENTIFICACION:	1720091238	NUMERO DE MOTOR:	
		VIN:	8LBDF4LX90019085 DIAM EXHOSTO: 50.00
<b>PRUEBA ENSAYO:</b>	2.27 %	<b>DISPOSITIVO DE MEDICION</b>	8181
<b>PRUEBA 1:</b>	2.31 %	RPM RALENTI	821 RPM
<b>PRUEBA 2:</b>	2.02 %	RPM GOBERNADA	3832 RPM
<b>PRUEBA 3:</b>	2.13 %	TEMPERATURA DE OPACIDAD	0 °
<b>OPACIDAD:</b>	2.15 %	<b>NORMA</b>	
<b>FECHA Y HORA DE LA PRUEBA</b>	12/14/2016 12:06:28	OPACIDAD LIMITE:	10.00 %
		<b>MOTIVO:</b>	
<b>RESULTADO: APROBADA</b>			
OPERARIO RESPONSABLE: _____			
QUIROZ			

**Figura 73 Resultados opacidad diesel**

ESPE		Email	
LATACUNGA Tel: 0000000			
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>		<b>DATOS DEL VEHICULO</b>	
NOMBRE:	JAIME	PLACA:	XEC1005 MODELO: 2009
APELLIDO:	LEON	MARCA:	CHEVROLET LINEA: DMAX
IDENTIFICACION:	1720091238	NUMERO DE MOTOR:	
		VIN:	8LBDF4LX90019085 DIAM EXHOSTO: 50.00
<b>PRUEBA ENSAYO:</b>	1.84 %	<b>DISPOSITIVO DE MEDICION</b>	8181
<b>PRUEBA 1:</b>	1.18 %	RPM RALENTI	828 RPM
<b>PRUEBA 2:</b>	1.89 %	RPM GOBERNADA	4037 RPM
<b>PRUEBA 3:</b>	2.04 %	TEMPERATURA DE OPACIDAD	0 °
<b>OPACIDAD:</b>	1.70 %	<b>NORMA</b>	
<b>FECHA Y HORA DE LA PRUEBA</b>	12/14/2016 12:24:21	OPACIDAD LIMITE:	10.00 %
		<b>MOTIVO:</b>	
<b>RESULTADO: APROBADA</b>			
OPERARIO RESPONSABLE: _____			
QUIROZ			

**Figura 74 Resultados opacidad GNV/diesel**

Tabla 18

## Opacidad con diesel y GNV/diesel

Prueba	Diesel (%)	GNV/diesel (%)
<b>Ensayo</b>	2,27	1,84
<b>1</b>	2,31	1,18
<b>2</b>	2,02	1,89
<b>3</b>	2,13	2,04
<b>Opacidad</b>	2,15	1,70

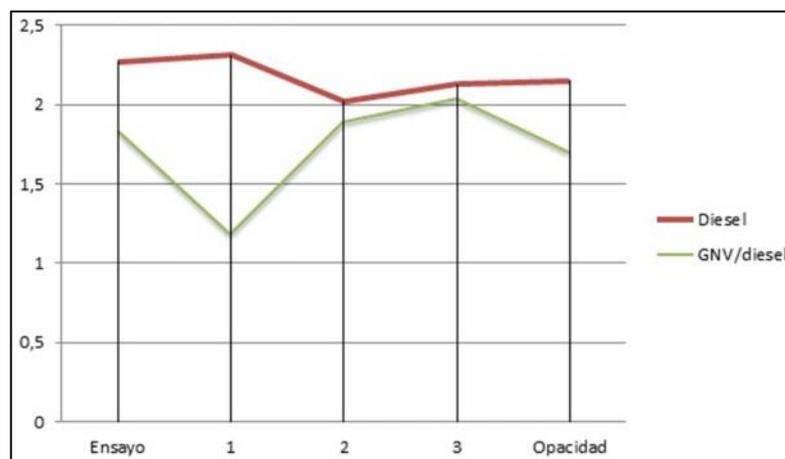
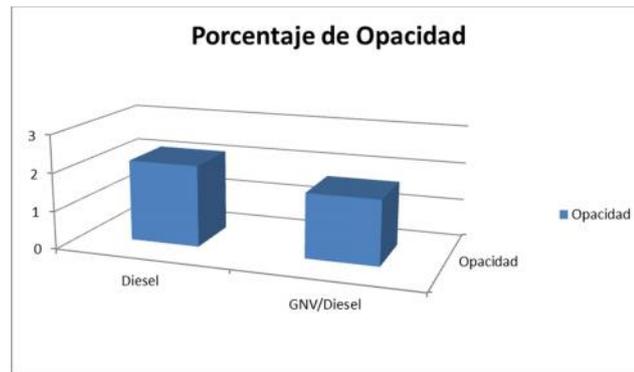


Figura 75 Opacidad diesel y GNV/diesel

La tabla 18 y la figura 75 muestran los valores de las pruebas de opacidad realizadas a la camioneta, y en cada prueba el dato de opacidad es menor cuando el motor funciona con el sistema GNV/diesel. Los valores permiten determinar que la opacidad disminuye de 2,15 % a 1,70 %.



**Figura 76 Porcentajes de opacidad**

Para complementar los datos referentes a emisiones de datos contaminantes se realizó una prueba de emisión de gases con la ayuda de un equipo analizado de gases marca BrainBee Automotive, dicha prueba se realizó en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga del Laboratorio de Mecánica de Patio de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

El analizador AGS-688 BrainBee permite medir parámetros de emisión tales como: HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, cálculo de Lambda, NO<sub>x</sub>. A continuación se detalla el procedimiento para la realización de la prueba.

Previamente, el motor del vehículo debe estar a temperatura de funcionamiento de 85 a 95 °C. A continuación se conecta el analizador a una alimentación de 110 voltios, la sonda de este equipo se coloca en el tubo de escape de la camioneta, también se debe conectar al equipo un sensor de medición de NO<sub>x</sub> y se encera el equipo para iniciar con las pruebas de test continuo.

Con el teclado que posee el analizador se selecciona la prueba que se va a realizar, obviamente luego de que todo esté conectado y habiendo verificado las condiciones necesarias para que la prueba pueda realizarse de manera correcta.



**Figura 77 Analizador de gases AGS-688**

Una vez que todo está listo y verificado, con el teclado de equipo, se da enter para que se inicie la prueba y el analizador vaya registrando los datos. En la pantalla se puede observar, al mismo tiempo, todos los parámetros que este equipo registra.

Finalmente, los datos obtenidos por el analizador pueden ser impresos mediante una impresora térmica que posee el equipo. Se retira la sonda del tubo de escape y se obtienen los datos medidos para el posterior análisis e interpretación, de ese modo se determina con exactitud el estado del motor, en lo que se refiere a gases contaminantes.

Para realizar una nueva prueba será necesario encerrar nuevamente el equipo y repetir el procedimiento. En este caso, fue necesario para hacer la prueba con el sistema de gas activado.

La prueba se la desarrollo dos veces la primera cuando la camioneta funcionaba con diésel, y se obtuvo los siguientes valores.

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DEL VEHICULO	
NOMBRE:	Jaime	PLACA:	XEC-1005 MODELO: 2009
APELLIDO:	León	MARCA:	Chevrolet LÍNEA: D-Max
IDENTIFICACIÓN:	1720091238	NÚMERO DEL MOTOR:	4JA1751744
		VIN:	8LBDTF4LX90019085

PRUEBA DE ANÁLISIS DE GASES		DISPOSITIVO DE MEDICIÓN AGS-688	
TEMP. MOTOR	[°C]	92	RPM RALENTÍ 828 rpm
LAMBDA	[-]	2.8	RPM GOBERNADA 2400 rpm
CO	[% Vol]	0.85	
CO <sub>2</sub>	[% Vol]	12.341	
HC	[ppm Vol]	119	<b>FECHA Y HORA DE LA PRUEBA</b>
NO	[ppm Vol]	349	12/15/2016 15:10:07

OPERARIO RESPONSABLE

Figura 78 Prueba de gases diesel

La segunda prueba se la realizó funcionando con GNV/diésel y obteniendo los siguientes resultados

DATOS DEL CLIENTE		DATOS DEL VEHICULO	
NOMBRE:	Jaime	PLACA:	XEC-1005 MODELO: 2009
APELLIDO:	León	MARCA:	Chevrolet LÍNEA: D-Max
IDENTIFICACIÓN:	1720091238	NÚMERO DEL MOTOR:	4JA1751744
		VIN:	8LBDTF4LX90019085

PRUEBA DE ANÁLISIS DE GASES		DISPOSITIVO DE MEDICIÓN AGS-688	
TEMP. MOTOR	[°C]	95	RPM RALENTÍ 828 rpm
LAMBDA	[-]	3.2	RPM GOBERNADA 2400 rpm
CO	[% Vol]	0.79	
CO <sub>2</sub>	[% Vol]	11.982	
HC	[ppm Vol]	107	<b>FECHA Y HORA DE LA PRUEBA</b>
NO	[ppm Vol]	467	12/15/2016 15:40:13

OPERARIO RESPONSABLE

Figura 79 Prueba de gases GNV/diesel

Tabla 19

## Comparación de emisión de gases.

Parámetro	Unidad	Prueba		Variación	
		Diésel	GNV/Diésel	Porcentual	Cuantitativa
TEMP. MOTOR	[°C]	92	95	---	+ 3
LAMBDA	[—]	2.8	3.2	Aumenta 14.29 %	+ 0,4
CO	[% V ]	0.85	0.79	Disminuye 7.06 %	- 0,06
CO <sub>2</sub>	[% V ]	12.341	11.982	Disminuye 2.91 %	- 0,359
HC	[ppm V ]	119	107	Disminuye 10.08 %	- 12
NO	[ppm V ]	349	467	Aumenta 33.81 %	+ 118

De la tabla 19 se puede concluir que los gases contaminantes como el CO, CO<sub>2</sub> y el HC disminuyen y que los valores de lambda y NO aumentan, considerando esto, se puede decir que el sistema reduce la contaminación generada por los motores diésel.

#### 4.7. Análisis técnico de la instalación del sistema bifuel

En este punto se va a analizar los cambios presentados de torque y potencia de la camioneta antes y después de la instalación del sistema alternativo bifuel GNV/diésel

Tabla 20

## Análisis variación de torque y potencia

	Combustible Convencional	Sistema alternativo bifuel GNV/diésel
<b>Torque máximo (Nm)</b>	235,10	359,70
<b>Potencia máxima (HP)</b>	107,4	118

La tabla 20 muestra los datos de torque y potencia de la camioneta en dependencia del combustible con el que está operando, los datos fueron obtenidos de forma experimental con la realización de las pruebas dinamométricas.

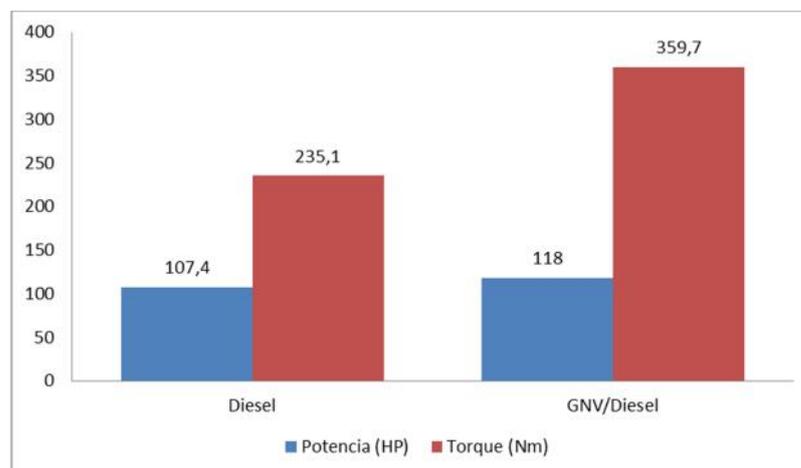


Figura 80 Variación de potencia y torque

Se determinó que el torque aumento en un 52,99 % y la potencia se incrementó en un 9,86 %.

#### 4.8. Análisis económico de la instalación del sistema bifuel

Para la realización del análisis económico es necesaria la comparación de los costes de operación de la camioneta con combustible convencional con los costes funcionando con el sistema alternativo bifuel GNV/diésel.

Según los datos obtenidos en la tabla 25 el costo de adecuación del sistema alternativo GNV/diésel es de \$ 3675,10 dólares de los Estados Unidos de América; y de igual manera el consumo de combustible se reduce en 0,55 galones por cada 100 kilómetros de recorrido de la camioneta, el costo del galón de diésel en nuestro medio es de \$ 1,037; con el conocimiento de estos datos se realiza la siguientes cálculos.

En primer lugar se calcula el costo por kilómetro de recorrido de la camioneta funcionando con combustible convencional.

$$C_1 = K_s * C$$

#### **Ecuación 6 Costo de operación con diésel por cada 100 km**

Siendo:

$$C_1 = C \quad p \quad 100 \quad k \quad d \quad r$$

$$K_s = C \quad d \quad c \quad \left[ \frac{L}{100 \quad k} \right]$$

$$C = p \quad d \quad c \quad p \quad g \quad ón$$

Reemplazando datos en la ecuación 6 se tiene:

$$C_1 = 4,36 \left[ \frac{L}{100 k} \right] * \$ 1,037$$

$$C_1 = 4,52 \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

Lo que significa que por cada 100 km de recorrido la camioneta gastara 4,52 dólares de los Estados Unidos de América.

A continuación se calcula el costo por kilómetro de recorrido de la camioneta funcionando con el sistema alternativo bifuel GNV/diésel.

$$C_1 = K_s d \quad * C_1 + K_s G \quad * C_2$$

#### **Ecuación 7 Costo de operación bifuel por cada 100 km**

Siendo:

$$C_1 = C_p \quad 100 k \quad d \quad r \quad r$$

$$K_s d = C \quad d \quad c \quad d \quad \left[ \frac{L}{100 k} \right]$$

$$K_s G = C \quad d \quad c \quad G \quad \left[ \frac{K}{100 k} \right]$$

$$C_1 = p \quad d \quad d \quad p \quad g \quad ó n$$

$$C_2 = p \quad de \quad G \quad p \quad k$$

Reemplazando datos en la ecuación 7 se tiene:

$$C_1 = 3,81 \left[ \frac{L}{100 k} \right] * \$ 1,037 + 0,25 \left[ \frac{K}{100 k} \right] * \$ 1,25$$

$$C_1 = 4,26 \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

Lo que significa que por cada 100 km de recorrido con el sistema bifuel la camioneta gastara 4,26 dólares de los Estados Unidos de América.

Por lo tanto con los datos obtenidos se puede realizar el cálculo de kilómetros necesarios para recuperar la inversión.

$$A_i = C_1 \cdot C - C_1 \cdot D$$

### **Ecuación 8 Cálculo de ahorro por 100 km**

Dónde:

$$A_i = Aho \quad p \quad c_i \quad 100 k$$

$$C_1 \cdot D = C \quad p \quad c_i \quad 100 K \quad d \quad \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

$$C_1 \cdot C_i = C \quad p \quad c_i \quad 100 K \quad c_i \quad \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

Reemplazando los datos en la ecuación 8 se tiene:

$$A_i = C_1 C - C_1 D$$

$$A_i = 4,52 \left[ \frac{\$}{100 k} \right] - 4,26 \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

$$A_i = 0,26 \left[ \frac{\$}{100 k} \right]$$

Lo que indica que por cada 100 km se tendrá un ahorro de \$ 0,08 y por lo tanto se puede realizar la tabla 20 que indica el ahorro en torno a los kilómetros recorridos.

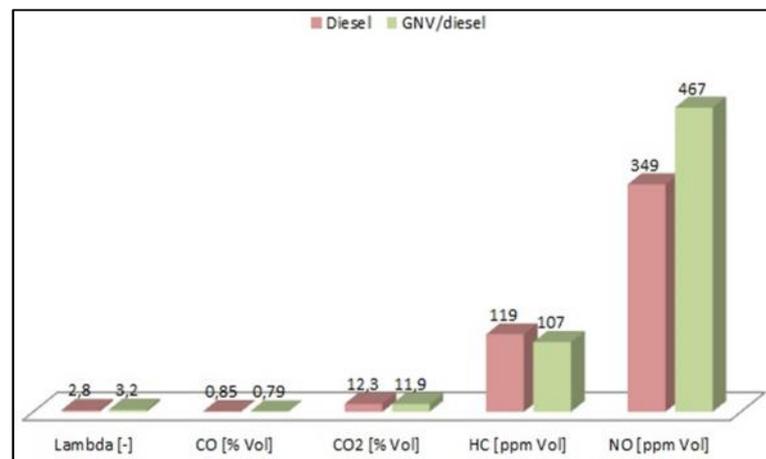
**Tabla 21**

**Ahorro por kilómetros recorridos**

<b>Kilómetros recorridos</b>	<b>Ahorro</b>
<b>20000</b>	<b>\$ 52</b>
<b>25000</b>	<b>\$ 65</b>
<b>40000</b>	<b>\$ 104</b>
<b>50000</b>	<b>\$ 130</b>
<b>75000</b>	<b>\$ 195</b>
<b>100000</b>	<b>\$ 260</b>

#### 4.9. Análisis ambiental de la instalación del sistema bifuel

Finalizadas las pruebas de emisión de gases en la camioneta, con el sistema bifuel GNV/diésel y con combustible convencional, se obtuvo datos veraces del comportamiento del motor, lo que permite realizar una comparación y análisis de parámetros tales como opacidad, gases contaminantes; con las dos formas de operación del motor.



**Figura 81 Comparación emisión de gases**

En la figura 81 se aprecia la variación de los parámetros de emisión de gases entre el funcionamiento del motor con diésel y con el sistema GNV/diésel.

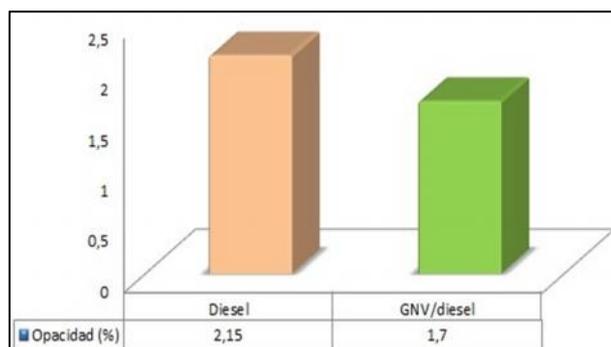
Se nota claramente un aumento de 14,29 % en el factor lambda, lo cual indica que el sistema bifuel trabaja con una mezcla rica para la combustión.

La emisión de óxido de carbono es menor cuando el motor trabaja con el sistema bifuel, aquí se tiene una reducción de 7,06 % en este parámetro.

En cuanto a la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) hay una disminución de 2,91 % cuando el motor trabaja con el sistema GNV/diésel. Reduciendo así la emanación de este gas de efecto invernadero.

La emisión de hidrocarburos (HC) se reduce en 10,08 % cuando el motor trabaja con el sistema bifuel. Se obtiene la disminución de otro parámetro importante de contaminación y contribuye al medio ambiente.

Y finalmente, hay un parámetro que aumenta, en la emisión de óxido de nitrógeno (NO) se ve un incremento de 33,81 % cuando está en funcionamiento el sistema GNV/diésel. Estos gases son degradados inmediatamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias que por lo general están presentes en el aire.



**Figura 82 Porcentaje de opacidad**

El porcentaje de opacidad es menor cuando el motor trabaja con el sistema bifuel GNV/diesel, se muestra claramente una reducción de 0,45 % de este parámetro.

## CAPÍTULO V

### MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1. Recursos humanos

Las personas que aportaron en el desarrollo de nuestro proyecto de investigación se detallan en la tabla 22, en la misma que se describe el aporte específico de cada uno de los colaboradores.

**Tabla 22**

**Recursos humanos**

Nombre	Aporte
<b>Jaime León Almeida</b>	Investigación y elaboración del proyecto
<b>Alex Ramos Jinez</b>	Investigación y elaboración del proyecto
<b>Ing. Néstor Romero Guano</b>	Tutor y asesor general
<b>Ing. Leonidas Quiroz Erazo</b>	Asesoría en instalación y funcionamiento de sistemas GNV/Diésel – Operador Análisis de gases y opacidad
<b>Ing. Fernando Sánchez</b>	Asesoría en productos e instalaciones de Gas y sus seguridades
<b>Ing. Daniel Tinizaray</b>	Asesoría en electrónica automotriz
<b>Ing. José Quiroz Erazo</b>	Asesoría en máquinas-herramientas del laboratorio de AUTOTRONICA
<b>Ing. Álvaro Espinosa</b>	Asesoría en pruebas dinamométricas

## 5.2. Recursos tecnológicos

Se consideran recursos tecnológicos a todas las herramientas que facilitaron la realización del proyecto de investigación, tanto en la parte escrita como en el desarrollo de la misma; dichos recursos se detallan en la tabla 23 con sus respectivos valores:

**Tabla 23**  
**Recursos tecnológicos**

<b>Orden</b>	<b>Recurso Tecnológico</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Individual</b>	<b>Valor Total</b>
1	Software Arduino	1	\$ 110	\$ 110
2	Microsoft Office	1	\$ 90	\$ 90
3	Software análisis de emisión de gases y opacidad	1	\$ 200	\$ 200
4	Pruebas dinamométricas	2	\$ 85	\$ 170
5	Equipo de diagnóstico electrónico automotriz	1	\$ 100	\$ 100
			<b>Total</b>	<b>\$ 670</b>

## 5.3. Recursos materiales

Se consideran recursos materiales a todos los elementos físicos utilizados para el desarrollo del proyecto de investigación, dichos recursos se detallan en la tabla 24 con sus correspondientes valores:

Tabla 24

## Recursos materiales

Orden	Recurso Material	Cantidad	Valor Individual	Valor Total
1	Sensores	6	\$ 60	\$ 360
2	Actuadores	3	\$ 100	\$ 300
3	Componentes Electrónicos	3	\$ 110	\$ 330
4	Cilindro de Gas	1	\$ 150	\$ 150
5	Mangueras	1	\$ 70	\$ 70
6	Cañerías	1	\$ 40	\$ 40
7	Cables	20	\$ 2	\$ 40
8	Cautín	1	\$ 15	\$ 15
9	Estaño	20	\$ 0,60	\$ 12
10	Multímetro Automotriz	1	\$ 90	\$ 90
11	Platinas	4	\$ 7	\$ 28
12	Tuercas y Tornillos	40	\$ 0,50	\$ 20
13	Combustible	20	\$ 1,10	\$ 22
14	Electrodos	10	\$ 1,50	\$ 15
15	Batería	1	\$ 120	\$ 120
16	Carga de GNC	3	\$ 65	\$ 195
17	Impresiones	300	\$ 0,10	\$ 30
18	Gas de calibración Opacímetro	1	\$ 150	\$ 150
19	Filtros de calibración al 70% y 100% de opacidad	1	\$ 170	\$ 170
			Total	\$ 2157

#### 5.4. Presupuesto

Una vez determinados los gastos de los recursos tecnológicos y materiales que permitió la ejecución del proyecto de investigación se realiza la tabla 25 que refleja los valores invertidos en la misma.

**Tabla 25**

**Presupuesto total**

<b>Orden</b>	<b>Recurso</b>	<b>Valor Total</b>
1	Recursos Tecnológicos	\$ 670
2	Recursos Materiales	\$ 2157
3	30% Imprevistos	\$ 848,10
	Total	\$ 3675,10



## CONCLUSIONES

- ) Mediante la implementación del sistema alternativo bifuel GNV/diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max no se logró reducir la cantidad de emisión de óxido nitroso (NO), el mismo que se incrementó en un 33,81 % con respecto al funcionamiento del motor con diesel.
- ) Con la implementación del sistema alternativo bifuel GNV/diesel en la camioneta Chevrolet Luv D-Max se consiguió mejorar los parámetros de rendimiento del motor de la misma, logrando un aumento del 52,99 % del torque y un 9,86 % de potencia.
- ) Se pudo determinar que el costo de combustible por cada 100 km de recorrido cuando la camioneta funciona con combustible convencional es de 4,52 dólares americanos, mientras que el costo del mismo trayecto, con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel en funcionamiento es de 4,26 dólares americanos; lo que proporciona un ahorro de 0,26 dólares americanos por cada 100 km recorridos, por lo tanto en 100000 km de recorrido se genera un ahorro de 260 dólares americanos.
- ) Se observó una disminución del 0,45 % de la opacidad del motor de la camioneta Chevrolet Luv D-Max cuando ésta opera con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel, en comparación a su funcionamiento con diesel.
- ) Se determinó que las emisiones de hidrocarburos (HC) se redujeron en 10,08 % cuando el motor funciona con el sistema alternativo bifuel lo que permite disminuir la emanación de gases contaminantes al medio ambiente.
- ) Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) reflejan una disminución de 2,91 % cuando el motor trabaja con el sistema alternativo bifuel GNV/diesel, aportando a la disminución del efecto invernadero que es generado por estos subproductos de la combustión de los motores alternativos.

- ) Se consiguió una disminución del 7,06 % de las emisiones de óxido de carbono (CO) lo que contribuye a mejorar la calidad del aire, y por lo tanto brinda aportes medioambientales.
- ) Mediante la realización del proyecto se pudo determinar que en Ecuador no se comercializa el GNC como carburante en la transportación y movilidad de vehículos, su uso es exclusivo de cada una de las empresas o plantas que explotan crudo y derivados.
- ) La implementación del sistema es viable en cuanto a términos medioambientales, puesto que todas las emisiones disminuyen, excepto el NO<sub>x</sub> que aumenta; en cuanto al rendimiento del vehículo, tanto el torque como la potencia, presentan un aumento lo que es favorable para el proyecto; en cuanto a aspectos económicos se concluye que el proyecto no tiene viabilidad porque en nuestro medio el costo del GNC es elevado.
- ) Existe una relación directa entre el régimen de giro y la dosificación del gas natural comprimido lo que de cierta manera afecta el trabajo del motor si este es sometido a cargas bruscas produciendo golpeteo dado las propiedades propias GNV acelerando el proceso de combustión.

## RECOMENDACIONES

- ) Investigar la incidencia del GNV en vehículos de quinta generación con motores de ciclo Otto y ciclo Diesel.
- ) Implementar un sistema irreversible para analizar y comparar el ciclo termodinámico de esta conversión con respecto al sistema implementado y estudio realizado en el presente proyecto.
- ) Utilizar programación de módulos de control electrónico, sistemas originales y sistemas de inyección a gas.
- ) Para estudios posteriores, conversiones irreversibles o nuevas alternativas de investigación de sistemas con GNV; se recomienda utilizar pistones forjados, principalmente con aleaciones de aluminio y/o silicio, que permitan disipar mayor temperatura; para prevenir daños en las partes internas del motor.
- ) Plantear métodos y procedimientos para una adecuada y óptima utilización del GNC en plantas petroleras de nuestro país.
- ) Implementar inyectores dual para reducir las pérdidas de bombeo del combustible y aumentar la eficiencia del mismo; dando lugar a una combustión más suave y estable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aficionados a la mecánica. (24 de Julio de 2014). *Aficionados a la mecánica*. Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de <http://www.aficionadosalamecanica.net/gas-natural-comprimido.htm>
2. Agrupasuma. (25 de Junio de 2016). *Agrupados Sumamos*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2016, de <http://agrupasuma.com/page/motores-a-gas-glp>
3. Alibaba. (23 de Noviembre de 2015). *Global trade starts here*. Recuperado el 19 de Octubre de 2016, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/dedicated-cng-conversion-kit-for-diesel-6-8-cylinder-truck-bus-and-boat-126543230.html>
4. Alibaba.com. (25 de Marzo de 2016). *spanish.alibaba.com*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/new-design-for-valtek-or-rail-injector-nozzle-Ing-gnv-gas-fuel-sequential-injection-cng-conversion-fuel-kits-rail-ngv-injector-60172410864.html>
5. Angesel S.A. (10 de Diciembre de 2012). *Conversión de Motores Diesel a Gas Natural*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=heTv1uSizzo>
6. Automotores Continental. (24 de Enero de 2016). *www.automotorescontinental.com.ec*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://www.automotorescontinental.com.ec/luv-d-max-2-5-diesel-cs-tm-4x2>
7. Banco de la República Actividad Cultural. (17 de Mayo de 2015). *www.banrepcultural.org*. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de <http://www.banrepcultural.org/blaaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-operador-de-estacion/gasope3a.htm>

8. Banggood. (23 de Agosto de 2016). *Banggood.com*. Recuperado el 07 de Enero de 2017, de <http://www.banggood.com/ATmega328P-Arduino-Compatible-Nano-V3-Improved-Version-With-USB-Cable-p-933647.html>
9. Borrás Brucart, E. (1987). *Gas natural, características, distribución y aplicaciones industriales*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados.
10. Cámara Argentina del Gas Natural Comprimido. (24 de Julio de 2012). *GNC El Combustible Limpio*. Recuperado el 18 de Febrero de 2015, de <http://www.gnc.org.ar/abc-del-gnc.html#1>
11. Casa, E., & León, E. (2011). Análisis de parámetros de información de diagnósticos PID's y ajustes de combustible LFT-SFT mediante el uso de escáner en vehículos de la marca Chevrolet D-Max 3.0 pertenecientes a la Espe Extensión Latacunga. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.
12. Castro, T. (2013). *Fundamentos del Gas Natural Vehicular GNCV*. Medellín: S.E.
13. CIA World Factbook. (01 de Enero de 2014). *IndexMundi*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <http://www.indexmundi.com/map/?v=98&l=es>
14. CIA World Factbook. (01 de Enero de 2015). *Index Mundi*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=ec&v=98&l=es>
15. Compañía Importadora y Exportadora de Colombia S.A.S. (2013). *CIE de Colombia S.A.S*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://www.ciedecolombia.com/productos/acoples-y-racores/>
16. Córdova, P. (20 de Enero de 2012). *Lección de Ciencias Naturales*. Recuperado el 04 de Enero de 2017, de

<https://sites.google.com/site/lecciondeciencianaturales/el-calentamiento-global/contaminacion-en-las-regiones-de-ecuador>

17. *e-auto*. (2015). Recuperado el 14 de Enero de 2017, de e-auto: [http://www.e-auto.com.mx/manual\\_detalle.php?manual\\_id=228](http://www.e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=228)
18. *El Comercio*. (2012 de Marzo de 2015). [www.elcomercio.com](http://www.elcomercio.com). Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/petroecuador-triplico-reservas-de-gas.html>
19. Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular. (15 de Febrero de 2015). *EECGNV*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <http://www.eecgnv.gob.bo/>
20. Gas Natural SDG S.A. (2013). *Gas Natural Vehicular GNV*. Monterrey: Gas Natural SDG S.A.
21. *gnceros*. (25 de Mayo de 2016). [www.gnceros.com.ar](http://www.gnceros.com.ar). Recuperado el 14 de Enero de 2017, de [http://www.gnceros.com.ar/bib/gnc/como\\_funciona\\_un\\_reductor.php](http://www.gnceros.com.ar/bib/gnc/como_funciona_un_reductor.php)
22. Grupo Kiosko. (19 de Julio de 2013). *Tecno Coche*. Recuperado el 30 de Enero de 2015, de GNC: Ventajas y desventajas para el coche: [http://www.tecnocoche.com/mecanica/mecanica\\_basica/gnc\\_ventajas\\_desventajas.html](http://www.tecnocoche.com/mecanica/mecanica_basica/gnc_ventajas_desventajas.html)
23. GTZ. (1986). *Matemática Aplicada para la Técnica dle Automóvil*. Eschborn: Company Bueno.
24. Gualtieri, P. (2013). *Manual GNC TOMO 1*. Buenos Aires: Artes Gráficas Negri S.R.L.
25. HÍBRIDOS Y ELÉCTRICOS. (9 de Diciembre de 2013). <http://www.hibridosyelectricos.com/>. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de <http://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/gnc-combustible-alternativo-movilidad/20131209191556006439.html>

26. Inec. (24 de Enero de 2014). [www.ecuadorencifras.gob.ec](http://www.ecuadorencifras.gob.ec). Recuperado el 24 de Marzo de 2015, de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario\\_de\\_Estad\\_de\\_Transporte\\_2013.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario_de_Estad_de_Transporte_2013.pdf)
27. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). VEHÍCULOS AUTOMOTORES. FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES CON GNCV. INSTALACIÓN DE EQUIPOS COMPLETOS EN VEHÍCULOS CON GAS NATURAL VEHICULAR (GNCV). REQUISITOS. En INEN, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2488:2009* (pág. 18). Quito: INEN.
28. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). Vehículos Automotores. Funcionamiento de Vehículos Automotores con GNCV. Instalación de equipos completos en Vehículos con gas natural vehicular (GNVC). Requisitos. En INEN. Quito: INEN.
29. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). DISPOSITIVOS DE SUJECCIÓN PARA CILINDROS EN VEHÍCULOS CON GAS NATURAL VEHICULAR (GNCV). REQUISITOS E INSPECCIÓN. En INEN, *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2591:2011*. Quito: INEN.
30. Intek Electrónica. (18 de Abril de 2013). [www.intekelectronica.com.ar](http://www.intekelectronica.com.ar). Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://www.intekelectronica.com.ar/productos/arduino/>
31. La Hora. (28 de Abril de 2013). [www.lahora.com.ec](http://www.lahora.com.ec). Recuperado el 19 de Septiembre de 2016, de [http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/706877/-1/Propuesta\\_para\\_uso\\_de\\_GNC.html#.WFlhmxvhCUk](http://lahora.com.ec/index.php/noticias/show/706877/-1/Propuesta_para_uso_de_GNC.html#.WFlhmxvhCUk)

32. La reparación de la casa, construcción. (29 de Noviembre de 2016). *poimiprosti.ru*. Recuperado el 11 de Enero de 2017, de <http://poimiprosti.ru/calibres-de-cables-electricos/>
33. Lapuerta, A. (2012). *El gas natural: Una posibilidad de combustible limpio en el mercado automotriz del Ecuador*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Andina Simón Bolívar.
34. Mercado Libre. (2016). *Mercado Libre Venezuela*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de [http://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-463317550-sensor-ckp-de-posicion-de-ciguenal-para-luv-dmax-denso-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.ve/MLV-463317550-sensor-ckp-de-posicion-de-ciguenal-para-luv-dmax-denso-_JM)
35. Ministerio de Recursos Naturales No Renovables. (2013). *Gas Natural*. Quito: Ministerio de Recursos Naturales No Renovables.
36. Mogollón, F. (2015). *El Ecuador en la iniciativa metano al mercado - sector gas y petroleo*. Quito: S.E.
37. Motorbit.com. (24 de Febrero de 2016). *TODOAutos*. Recuperado el 9 de Octubre de 2016, de <http://www.todoautos.com.pe/portal/auto/gnv-glp/2299-conversion-auto-gnv>
38. Nichese. (21 de Enero de 2012). *Electricidad y Automatismos*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.nichese.com/formulas1.html>
39. PFINALFRA. (12 de Julio de 2015). *Llave conmutadora GNC*. Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de [http://www.pfinalfra.com.ar/proyectos/llave\\_gnc/llave\\_dual.htm](http://www.pfinalfra.com.ar/proyectos/llave_gnc/llave_dual.htm)
40. Plantilla Fantástico S.A. (22 de Mayo de 2013). *Blogger*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://jmontesdeocalima.blogspot.com/2013/05/sensor-de-oxigeno.html>

41. Salazar, S. (23 de Marzo de 2014). *Monografias.com*. Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos97/contaminacion-del-aire-emanacion-gases-toxicos-producido-vehiculos-motorizados-lima/contaminacion-del-aire-emanacion-gases-toxicos-producido-vehiculos-motorizados-lima3.shtml>
42. Scheer, H. (11 de Enero de 2011). *Solarweb.net*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/8413-calculo-seccion-cables-cc.html>
43. Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (23 de Marzo de 2012). *Planificación*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz\\_productiva\\_WEBtodo.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo.pdf)
44. Sichuan DUJIA Technology Co.,Ltd. (2012). *DUJIA Tech ECU(part)*. Sichuan: S.E.
45. Tecnologia Automotiva. (01 de Marzo de 2016). Recuperado el 15 de Agosto de 2016, de [http://flaviolucasmm.blogspot.com/2016\\_03\\_01\\_archive.html](http://flaviolucasmm.blogspot.com/2016_03_01_archive.html)
46. TES. (16 de 01 de 2016). *Válvula de Carga*. Recuperado el 15 de 08 de 2016, de <http://www.tesmon.com.ar/Valvula-carga-ngv1.php>
47. Tutoriales Ingeniería Civil. (17 de Noviembre de 2013). *ingenieriacivil.tutorialesaldia.com*. Recuperado el 14 de Enero de 2017, de <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/disenio-por-presion-interna-de-tuberias-de-acero-para-el-abastecimiento-de-agua/>

**ANEXOS**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **JAIME EDUARDO LEÓN ALMEIDA Y ALEX JAVIER RAMOS JINEZ.**

En la ciudad de Latacunga, a los **31 días de enero del 2017.**

---

Ing. Néstor Romero

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

**Aprobado por:**

---

Ing. Víctor Danilo Zambrano

**DIRECTOR DE CARRERA**

---

Dr. Juan Carlos Díaz Álvarez

**SECRETARIO ACADÉMICO**