

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE MECÁNICA INDUSTRIAL**



**TESIS DE MAESTRÍA**

**DIAGNÓSTICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A  
TRAVÉS DEL DESEMPEÑO MECÁNICO Y AMBIENTAL EN  
SISTEMAS DE INYECCIÓN SECUENCIAL,  
GASOLINA – GNC EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

**POR: EDGAR QUIROGA VILLCA**

**TUTOR: Dr. Ing. RAMIRO W. PERALTA URÍA**

LA PAZ - BOLIVIA

2013

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**  
**CARRERA MECÁNICA INDUSTRIAL**

**TESIS DE MAESTRÍA**

DIAGNÓSTICO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A TRAVÉS DEL  
DESEMPEÑO MECÁNICO Y AMBIENTAL EN SISTEMAS DE INYECCIÓN  
SECUENCIAL, GASOLINA – GNC EN LA CIUDAD DE LA PAZ

**Presentada por:** Lic. Edgar Quiroga Villca

Para optar el grado académico de:

**Magister en Gestión de Mantenimiento**

**Director de carrera:**

Lic. Gonzalo Gerl Pardo .....

**Tutor:**

Dr. Ing. Ramiro W. Peralta Uria .....

**Tribunal:**

MSc. Ing. Carlos Andrade Mallea .....

MSc. Lic. Yhonny Tenorio Misto .....

**Calificación** .....

**Valoración** .....

### ***DEDICATORIA***

Mi eterna gratitud a mi madre Angélica, a mi esposa Enny y familia quienes han colaborado al proporcionarme su tiempo y apoyo, en la conclusión de esta investigación de maestría, en la UMSA.

## ***AGRADECIMIENTOS***

Reconocer y agradecer a la U.M.S.A., al Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica, a los Docentes que han impartido la Maestría en Gestión del Mantenimiento y especialmente al Tutor Dr. Ing. Ramiro W. Peralta Uría por su dedicada colaboración en esta Investigación.

## Resumen

La tecnología para la conversión vehicular a GNV, actualmente utilizada en nuestro parque vehicular como en la ciudad de La Paz, caracterizada por una geografía especial y una topografía complicada, los kits de conversión no responden eficientemente en los motores de combustión interna, siendo la parte más crítica la de los mezcladores. Los convencionales instalados, han sido optimizados con el uso de mezcladores de diafragma tipo turbina y variando el ángulo de adelanto del distribuidor, que en ensayos de pruebas piloto han mejorado la potencia del motor sin resultados alentadores en la obtención de torque motor.

Una tecnología emergente y de última tendencia en la conversión de motores gasolina a GNV es la de inyección secuencial, la que en el presente trabajo de investigación se pretende evaluar utilizando criterios y metodologías de mantenimiento predictivo, a través del diagnóstico, como una nueva alternativa de evaluación y mediante comparación del desempeño del vehículo en un ciclo de conducción, siguiendo protocolos de evaluación de la norma DIN 70020 y SAE J1349, para ello se instala un kit de conversión de quinta generación de Romano Gas en el vehículo de prueba Suzuki Carry.

Para esta evaluación se adopta como metodología de ensayo las pruebas de carretera, con cargas parciales en síntomas característicos del desempeño mecánico y desempeño ambiental, de manera que mediante la comparación de funcionamiento y de sus síntomas de comportamiento, se pueda establecer la confiabilidad de la conversión dual realizada para el motor de combustión interna en altura de la ciudad de La Paz.

De acuerdo a requerimiento, se miden rendimientos potencia, torque, aceleración, velocidad, tiempo y potencia entregada en la rueda, utilizada como parámetros proporcionales al síntoma deseado, de manera que su lectura sea lo más cercana a la realizada y sin necesidad de ser intrusiva ni invasiva. Convirtiéndose como una nueva metodología de evaluación de desempeño para vehículos de última generación.

**PALABRAS CLAVE:** Conversión de GNV de 5ta generación, Desempeño del vehículo en ciclos de conducción, Diagnóstico y Mantenimiento.

## **Abstract**

The currently technology used in the GNV vehicle conversion and particularly in the vehicle fleet as it is the city of La Paz which is characterized by a special geography and a difficult topography. Conversion kits do not respond efficiently in internal combustion engines thus being the most critical part of the mixers. Conventional installations are optimized with the use of turbine mixers diaphragm and by varying the angle of advance of the dispenser which in pilot trials have improved engine output without having good results in obtaining torque motor.

An emerging technology and one of the latest trends in converting gasoline engines to GNV is the sequential injection which in this research we pretend to evaluate by using criteria and predictive maintenance methodologies. Through the diagnosis of this new alternative assessment by comparing the performance of the vehicle driving cycle, following the assessment protocols to DIN 70020 and SAE J1349 this will install a conversion kit the Roman Gas of the fifth generation in vehicle testing.

For this evaluation methodology it is adopted the rehearsal road tests with partial load in characterized symptoms of mechanical performance and environmental performance. Therefore, by comparing their performance and symptoms it may be established the reliability of the dual conversion made by the internal combustion engine in the altitude of La Paz city.

According to the requirement, it is measured power, torque, acceleration, speed, time and power delivered on the wheel, used as a proportional parameter to the desired symptom. Therefore, its reading is closer to that performed one without being intrusive or invasive. Becoming as a new evaluation methodology for the vehicles of the latest generation.

**KEYWORDS:** Conversion of GNV of 5ta generation, Performance of the vehicle in cycles of driving, Diagnosis and Maintenance.

## Índice de contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimientos y reconocimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice de contenido	vii
Índice de figuras	xi
Índice de cuadros	xiv
Índice de tablas	xv
Lista de símbolos	xvi
Capítulo 1	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Análisis del problema	7
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivos específicos	9
1.4 Justificación	9
1.5 Metodología	11
1.6 Alcance y límites	12
Capítulo 2	
<b>MARCO REFERENCIAL</b>	
2.1 Parque automotor del país convertido a GNV	13
2.2 Utilización del GNC en vehículos automotores	15
2.2.1 Criterios para la conversión a sistemas dual	15
2.2.1.1 Motor a carburador	16
2.2.1.2 Motores a inyección	17
2.3 Conversión vehicular	20
2.4 Normas para determinar la potencia en el motor	24
2.4.1 La norma SAE	24
2.4.2 La norma CUNA	25
2.4.3 La norma DIN	25
2.4.3.1 Correcciones de la norma DIN	25
2.5 Principio del dinamómetro	25
2.5.1 Curvas Características de un motor	27
2.5.2 Curvas Características a cargas parciales	28
2.6 Dinámica de un vehículo	29
2.6.1 Potencia	29

2.6.1.1	Potencia térmica o teórica	29
2.6.1.2	Potencia en la llanta	29
2.6.1.3	Potencia indicada	30
2.6.1.4	Par Motor	30
2.6.1.5	Potencia Neta o Efectiva	31
2.6.2	Relación de transmisión total	31
2.6.3	Velocidad del vehículo en distintas marchas	32
2.6.4	Mecánica de movimiento	33
2.7	Resistencia a la marcha	33
2.7.1	Resistencia a la rodadura	33
2.7.2	Resistencia del aire	34
2.7.3	Resistencia en pendiente	35
2.7.4	La fuerza sobrante	35
2.8	Rendimiento del motor	35
2.8.1	La gasolina	36
2.8.2	El Gas Natural Vehicular GNV	37
2.8.3	Coefficiente lambda de la calidad de mezcla	38

### Capítulo 3

#### **MARCO PRÁCTICO**

<b>MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DEL MOTOR</b>	<b>40</b>	
3.1	Políticas de mantenimiento	41
3.1.1	Definición de mantenimiento	41
3.1.2	Objetivo del mantenimiento	42
3.1.3	Tipos de mantenimiento	42
3.1.3.1	Mantenimiento preventivo	43
3.1.3.2	Mantenimiento correctivo	43
3.1.3.3	Mantenimiento predictivo	43
3.2	Planes de mantenimiento	44
3.2.1	Organización del mantenimiento predictivo	45
3.2.2	Confiabilidad	45
3.3	Diagnóstico	46
3.3.1	Técnicas de diagnóstico predictivo	47
3.4	Ciclo del mantenimiento predictivo	48
3.4.1	Curva de tasa de falla – tiempo	49
3.4.2	Definición de síntoma	50
3.4.3	Correlación mediante tablas de síntoma	50

### Capítulo 4

#### **CONVERSIÓN DEL GNC DE 5TA GENERACIÓN**

4.1	Instalación del cilindro	51
4.1.1	Válvula de cilindro	52



4.1.2	Línea de cañería de alta presión	53
4.1.3	Válvula de llenado	53
4.1.4	Electroválvula de GNC	53
4.2	Reductor GNC	54
4.3	Instalación riel inyectores sobre vehículo	55
4.4	Sensor de presión absoluta del colector (MAP)	56
4.5	Tuberías de conexión	56
4.5.1	Boquillas	57
4.6	Unidad de control electrónico del GNC	58
4.6.1	Cableado del sistema	59
4.6.2	Conexión eléctrica	60
4.6.3	Conexiones de las electroválvulas	61
4.7	Inyectores gas	62
4.8	Alimentación y masas batería	62
4.8.1	Fusibles y relé	63
4.8.2	Conmutador	63
4.8.3	Sensor de nivel	64
4.8.4	Sensor de presión y temperatura gas (TPS)	65
4.8.5	Señal de cuentarrevoluciones motor	65
4.8.6	Señal sonda lambda	65
4.9	Conexión toma de diagnóstico	66
4.10	Programa de aplicación del kit de conversión a GNC	66
4.10.1	Configuración del sistema y diagnóstico	67
4.10.2	Corrección del tiempo de inyección de gas	68

## Capítulo 5

### **MATERIALES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN**

5.1	Motorizado y motor de combustión interna	70
5.1.1	Sistema de alimentación del motor	71
5.1.2	Sistema de encendido DIS	72
5.2	Motor convertido a sistema dual de combustible	74
5.3	Proceso experimental	74
5.3.1	Metodología de ensayo	76
5.3.2.	Protocolo de evaluación	76
5.3.2.1	Prueba de desempeño mecánico	77
5.3.2.1.1	Equipo de evaluación de carretera	79
5.3.2.1.2	Dinamómetro TM-900	79
5.3.2.2	Prueba de desempeño energético	80
5.3.2.2.1	Ciclo de trabajo	81
5.3.2.2.2	Ciclo de prueba en la ciudad de La Paz y El Alto	81
5.3.2.2.3	Medición de consumo de combustible	82
5.3.2.3	Prueba de desempeño ambiental	83
5.3.2.3.1	Analizador de emisiones contaminantes para motores	84

5.3.2.3.2 Banco de análisis	84
5.3.2.3.3 Método de preparación del equipo y evaluación del vehículo	86

## Capítulo 6

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

6.1 Resultados del desempeño mecánico	87
6.1.1 Capacidad de aceleración	87
6.1.2 Recuperación de velocidad	89
6.1.3 Rotación del motor	90
6.1.4 Torque del motor	92
6.1.5 Potencia del motor	95
6.1.6 Potencia efectiva del motor	97
6.1.7 Potencia en la rueda	98
6.2 Resultados del desempeño energético	98
6.2.1 Rendimientos energéticos	99
6.2.2 Medición del combustible	99
6.2.3 Costo por recorrido	100
6.3 Desempeño ambiental	101
6.3.1 Emisiones contaminantes	101

## Capítulo 7

### **Conclusiones**

7.1 Conclusiones generales	106
7.2 Conclusiones particulares	107
7.3 Recomendaciones	108
7.4 Trabajos futuros	109

<b>Referencias bibliográficas</b>	110
-----------------------------------	-----

<b>Anexos</b>	113
---------------	-----

## Índice de Figuras

01.- Componentes del Sistema conversión dual gasolina – GNC	16
02.- Tipos de mezcladores convencionales y de turbina (Gentileza del IIME-UMSA)	17
03.- Normas Europeas en reducción de gases de escape en automóviles a gasolina.	19
04.- Emisiones anuales por tipo de fuente en la ciudad de La Paz (Fuente: Aire Limpio Swisscontact,)	20
05.- Efecto de la presión atmosférica en la pérdida de potencia, de un motor encendido provocado, (Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia)	21
06.- Efecto de la altitud sobre la composición volumétrica del oxígeno, (Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia)	22
07.- Efecto de la altitud sobre el rendimiento del motor, (Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia)	23
08.- Freno Prony	26
09.- Curvas de potencia y par motor del motor Otto	27
10.- Curvas multiparamétricas de isoconsumo específico de un MEP, a cargas parciales.	28
11.- Diferentes denominaciones de potencias en el vehículo	30
12.- Marcha en que transita el vehículo a una velocidad	32
13.- Resistencias a la pendiente, al aire y rodadura	33
14.- El Diagrama de Sankey	36
15.- Mezcla estequiométrica que se muestra en la generación de CO/HC/NOx	39
16.- Sistema de gestión del mantenimiento	40
17.- Centro de inspección monitorizado Modelo adoptado por el Instituto de Investigaciones Mecánicas de la UMSA	45
18.- Identificación de falla y diagnóstico	46
19.- Instrumentos de diagnóstico del motor de combustión interna	48
20.- Curva de la bañera y frecuencia de inspección según la etapa de utilización	49
21.- Instalación del cilindro y cuna en el vehículo Suzuki Carry de ensayo	52
22.- Válvula de cilindro	52
23.- Línea de cañería de alta presión diámetro 6x1mm y niples de unión	53
24.- Válvula de llenado tipo pico de bayoneta	53
25.- Electroválvula de GNC	54
26.- Reductor o regulador de presión de GNC, suelto e instalado en vehículo de pruebas	55
27.- Instalación de riel de inyectores RRDM/6 E 13 110R0001113 en el motor Suzuki	55
28.- Sensor de presión absoluta MAP	56
29.- Mangueras de goma, en corte por herramienta y ajuste de seguros en terminales	56

30.- Posición de perforación de la boquilla con un ángulo de 30 grados en dirección a la admisión	57
31.- Perforación del múltiple de admisión cerca al inyector de admisión	57
32.- Roscado del con herramienta, pegado con el sellador la boquilla en múltiple admisión	58
33.- Centralita de kit de conversión GNC y su instalación en vehículo	59
34.- Cableado del sistema de conversión GNC de 5ta generación	60
35.- Diagrama de instalación del cableado de Romano kit de GNC	61
36.- Electroválvula tipo Romano Fast REIN/04 CLASS-2A	62
37.- Conexión de las electroválvulas en el motor Suzuki Carry	62
38.- Alimentación del kit de inyección secuencial GNC.	63
39.- Fusible y relé que protege la centralita del GNC	63
40.- Conmutador en gasolina y GNC	64
41.- Sensor de nivel o manómetro de presión	64
42.- Sensor de presión y temperatura de gas	65
43.- Señal de la sonda lambda	65
44.- Toma de diagnóstico e interface del funcionamiento con la computadora del motor Suzuki Carry convertido a GNC	66
45.- Software del fabricante del kit de conversión de GNC	68
46.- Auto calibración del kit de conversión del vehículo Suzuki Carry a GNC	68
47.- Mapeo de corrección de inyección a GNC	69
48.- Vehículo de prueba Suzuki APV con el motor G16A.	70
49.- Motor Suzuki G16 A	71
50.- Esquema de un sistema de encendido estático DIS	72
51.- Detalle de salto de chispa en un sistema de encendido DIS	73
52.- Bobinas dobles en sistema de encendido	73
53.- Dinamómetro portátil TM-900	79
54.- Esquema de funcionamiento del dinamómetro portátil TM-900	80
55.- Ciclos de prueba según la norma SAE J1082	81
56.- Ciclo de prueba en el desempeño energético del vehículo Suzuki Carry a gasolina y GNC	82
57.- Analizador de gases de escape BEAR BE-140 instalado en vehículo Suzuki Carry	85
58.- Comparación de la capacidad de aceleración del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	88
59.- Comparación de la recuperación de velocidad del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	89
60.- Comparación de revoluciones de rotación del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	90
61.- Reducción del área de circulación en el colector de admisión por la influencia de los dos inyectores ,de gasolina y de GNC.	92
62.- Comparación del torque generado en el motor en correspondencia con la velocidad de vehículo funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	93
63.- Comparación de la Potencia en el motor vs. Velocidad del vehículo funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	96

64.- Comparación de curvas características del vehículo funcionando a carga parcial del 36% con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	97
65.- Comparación de la potencia en la rueda vs la velocidad del vehículo funcionando a carga parcial del 36% con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)	98
66.- Comparación de la emisión de CO para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	102
67.- Comparación de la emisión de HC para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	102
68.- Comparación de la emisión de CO a velocidad de cruce para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	103
69.- Comparación de la emisión de HC a velocidad de cruce para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	103
70.- Comparación de la emisión de CO <sub>2</sub> a velocidad de ralentí para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	104
71.- Comparación de la emisión de CO <sub>2</sub> a velocidad de cruce para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente	104

## Índice de cuadros

01.- Vehículos convertidos a GNV (Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energía 2012)	19
02.- Política de cambio de matriz energética y conversión realizadas por EEC-GNV	19
03.- Protocolo de evaluación del desempeño en el motor combustión interna.	77

## Índice de tablas

01.- Niveles de contaminación según Aire Limpio. (Fuente Red Mónica),	10
02.- Evolución de la tecnología del kit de conversión por generaciones del GNC,	18
03.- Pérdida de potencia de un motor de encendido provocado en Colombia a diferentes altitudes.	23
04.- Característica del combustible (Fuente: Swisscontact)	38
05.- Cantidad teórica de aire para diferentes combustibles Swisscontact.	38
06.- Boquilla de empalme según la cilindrada del motor Suzuki Carry de 1590 cc,	58
07.- Especificaciones técnicas Suzuki Carry	70
08.- Especificaciones técnicas motor G16A	71
09.- Limite máximos permisibles a Gasolina y GNV, NB 62002	84
10.- Valores máximos de torque en el motor Suzuki G16A	94
11.- Costos básicos de operación en el motor Suzuki G16A	100
12.- Resultados del analizador de gases BEAR en ralentí y cruce en el motor Suzuki G16A.	101
13.- Resumen de Desempeño, Mecánico, Energético y Ambiental del vehículo Suzuki Carry	105

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valor guía de la OMS de niveles de concentración (microgramos por metro cubico)
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
Bar	Factor de presión
BAR-97	Característica del analizador de 4 o 5 gases con precisión BAR-97
BEAR BE – 140	Marca del analizador de gases y serie
Centralita	Unidad de control del kit de 5ta generación de GNV
$\text{C}_2\text{H}_6$	Etano
$\text{C}_3\text{H}_8$	Propano
$\text{C}_4\text{H}_{10}$	Butano
$\text{C}_5\text{H}_{12}$	Pentano
$\text{C}_6\text{H}_{14}$	Hexano
$\text{C}_7\text{H}_{16}$	Heptano
$\text{C}_8\text{H}_{18}$	Octano (gasolina)
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono, también llamado anhídrido carbónico
CUNA	Comisione Technica de Unification dell Automovile Italia, norma para determinar rendimientos de motor de combustión interna.
CV	Caballos Vapor unidad de potencia efectiva SAE
CH <sub>4</sub>	Metano
DIN	Instituto Alemán de Normas
DIN 70020	Deutsche Industrie Normen Alemania, normas para determinar rendimientos de motor de combustión interna.
DIN 70030-1	Norma para determinar el consumo de combustible de los vehículos en carretera
DIS	Sistema de Encendido sin Distribuidor
ECU	Unidad de Control Electrónico (computadora del motor)
EEC – GNV	Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular



EGR	Válvula de recirculación de gases de escape
EURO	Norma Europea de Emisiones Vehiculares
EVAP	Sistema de control de evaporaciones de gases
g/KW-h	Consumo específico de combustible
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GN	Gas Natural
GNC	Gas Natural Comprimido
GNV	Gas Natural Vehicular
HC	Hidrocarburos
IAC	Válvula de control de marcha mínima, componente de motores de inyección electrónica
IBNORCA	Instituto Boliviano de Normalización y Calidad
IIME	Instituto de Ingeniería Mecánica Electromecánica
INE	Instituto Nacional de Estadística
ISO	Organización Internacional de Normalización
ISO 9000	Estándar para el sistema de administración de calidad
ISO 14000	Estándar internacional de gestión ambiental
Kit	Juego de componentes de conversión de GNC
KW	Kilo Watt, unidad de medida de potencia
m/s	Metros por Segundo
MAF	Medidor de masa de aire
MAP	Sensor de presión absoluta del múltiple
MCIA	Motor de Combustión Interna Alternativo
MEP	Motor Encendido Provocado
MON	Número de Octano en Motor
NB	Norma Boliviana
NB 62002	Norma Boliviana, Calidad de aire emisiones de fuentes móviles generalidades clasificación y límites máximos permisibles.
NB 62003	Norma Boliviana, Calidad de aire emisiones de fuentes móviles método de medición de emisiones de gases contaminantes de vehículos motorizados
NDIR	Non Dispersive Infrared aprovecha la propiedad de ciertos gases de

	absorber radiación infrarroja en un rango estrecho de longitud de onda.
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrógeno
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrógeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
O <sub>2</sub>	Oxígeno
O <sub>3</sub>	Ozono troposférico, compuesto por tres átomos de oxígeno, provocando irritación en gargantas y ojos.
OBD II	Conector de diagnóstico a bordo II (enchufe normalizado para la toma de diagnóstico).
OSHAS 18000	Norma para Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional
Odómetro	Medidor que indica la distancia recorrida por un vehículo en Km.
PCV	Abreviatura de ventilación positiva del cárter.
PM	Material Particulado
pme	Presión media efectiva, parámetro fundamental para valorar las prestaciones del motor
ppm	Partes por millón, es la unidad de medida con que evalúa la concentración
RON	Numero de Octano Investigado
RUAT	Registro Único de Administración Tributaria Municipal
SAE	Sociedad de Ingenieros de Automóviles
SAE J1082	Norma y procedimiento de prueba para medir el ahorro de Combustible y autonomía
SAE J1349	Norma de certificación y procedimiento de prueba para determinar la potencia efectiva en el volante de inercia y par motor
SAE J 1491	Norma para las pruebas de aceleración en el desempeño mecánico del vehículo
SGM	Sistema de Gestión de Mantenimiento
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
TM -900	Serie del Dinamómetro Portátil Tecnomotor
TPS	Sensor de posición de mariposa del acelerador
λ	Lambda, coeficiente de exceso de aire



## Capítulo 1

# INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo industrial y tecnológico ha originado diversas formas de contaminación, las cuales alteran el equilibrio de la naturaleza. El consumo de energía por parte del sector automotor prácticamente se triplicó entre 1970 y 2010, incrementándose en forma determinante su contribución a la polución del medio ambiente en las grandes ciudades siendo la causa principal es la combustión de combustibles fósiles como el petróleo, carbón, diesel, gasolina, produciendo emisiones peligrosas, que generan el efecto invernadero, la lluvia acida y el smog.

En Bolivia y particularmente en la ciudad de La Paz, el panorama no es nada diferente, sino hasta mucho más complicado debido a sus particularidades geográficas y topográficas, un parque automotor viejo y poca costumbre entre los conductores de efectuar mantenimientos adecuados y efectivos. Esta situación se evidencia en el estudio efectuado por Swisscontact <sup>[1]</sup> a través del Programa “Aire limpio” a lo largo de seis años y que se muestran en la obra “El auto nuestro de cada día”, que además de justificar las anteriores condiciones, pone de manifiesto que en el propósito de masificar el uso de Gas Natural Comprimido para uso en vehículos automotores, aspectos como incremento de la contaminación ambiental por hidrocarburos no quemados, bajos rendimientos térmicos en el ciclo termodinámico dual Gasolina-GNV, desgaste prematuro y acelerado de componentes del motor, son consecuencia de una mala combustión, es decir de un funcionamiento no adecuado, en el que sus parámetros y variables de combustión no son los estequiométricamente convenientes para tener una combustión óptima, aspectos estos que han quedado encubiertos por la ventaja económica financiera que representa el uso de GNV, al ser mucho más barato que cualquier combustible líquido.

Según la Cámara Argentina del Gas Natural Comprimido <sup>[2]</sup>, el sustituto más limpio para motores a gasolina, es el gas natural comprimido GNC o gas natural vehicular GNV como se lo consideran en nuestro medio, siendo una buena alternativa desde el punto de vista

- 
1. BOLETÍN 14 .AIRE LIMPIO. Abril 2011.El auto nuestro de cada día. El parque vehicular en Bolivia diagnóstico y control. [consulta 20 de febrero 2013]<<http://www.swisscontact.bo.htm>>
  2. 5ª GENERACIÓN, LA TECNOLOGÍA DE LAS NUEVAS CONVERSIONES.2010. Prensa vehicular en GNC, Buenos Aires, Republica de Argentina. Octubre., A4-1p

ambiental, pero a costa de desmejorar considerablemente la respuesta mecánica de la potencia del motor, debido a sus particularidades geográficas y topográficas (falta de oxígeno por efecto de altura), y son dependientes de las tecnologías empleadas. Por esta razón el gobierno central vió la necesidad de repartir kits de conversión tanto al transporte público como privado, promoviendo así, el cambio la Matriz Energética.

Queda entonces, el desafío tecnológico para investigadores e institutos de investigaciones, de responder a la sociedad con trabajos aplicados a problemas de optimización y mantención energética posibilitando optimización medioambiental y mejorando la vida útil.

### **1.1 ANTECEDENTES**

El Gas Natural (GN) es una mezcla gaseosa con componentes de hidrocarburos, provenientes de reservorios a gran profundidad ubicados en el sureste del país. El GN distribuido por tubería está compuesto casi enteramente de metano, pero también contiene pequeñas cantidades de otros gases como el etano, propano, butano y pentano. El GN, es un compuesto químico en cuya composición se presentan moléculas de hidrocarburos, formadas por átomos de carbono e hidrógeno y por otras, en pequeñas proporciones de óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono y compuestos sulfurosos, todos estos componentes se presentan en estado gaseoso. En Bolivia, el GN que se produce, se encuentra libre de compuestos sulfurosos, por esto es conocido como “gas dulce”.

Composición del gas natural rico:

- Gas Natural Seco: 80 a 90 %  $\text{CH}_4$  metano, más 4 a 10 %  $\text{C}_2\text{H}_6$  etano
- Gas Licuado de Petróleo (GLP): 2 a 3 %  $\text{C}_3\text{H}_8$  propano, más 0,5 a 2 %  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  butano

El GN ocupa mayor volumen que un tradicional combustible líquido, por ello debe ser comprimido o licuado para facilitarse y hacerse más práctico, para aplicaciones de transporte, el GNC es la más común aplicación para el GNV, de ahí que en el ámbito mundial desde hace algunas décadas, en países tales como: Argentina, Pakistán, Italia, Alemania, Francia, Brasil, Perú y Colombia, existan empresas dedicadas a convertir

vehículos, que utilicen GN, como sustituto de los combustibles líquidos, debido a su disponibilidad, bajo costo de producción, seguridad y protección al medio ambiente.

Bolivia no es un país con potencial petrolero, dado que posee moderadas existencias del recurso, pero si tiene extensas reservas de GNC. Asimismo enfrenta un gran crecimiento caótico del parque automotor, según el Instituto Nacional de Estadística en los seis últimos años se ha tenido un crecimiento significativo de vehículos legales en Bolivia, pasando de 699.646 a más de 1.200.000 vehículos.

Tal incremento no sólo presiona sobre la infraestructura vial urbana de las ciudades, sino también genera un crecimiento del consumo de combustibles, por lo cual como un intento de alcanzar soluciones aunque parciales, desde hace años se ha instituido la circulación diaria por número de placas, restringiendo el ingreso al centro urbano principal, lo cual constituyó un ligero paliativo, ya que los vehículos que no circulan en cierto día, lo hacen, sobre todo del transporte público, cambiando solamente de rutas en las zonas periurbanas.

Otro factor importante es la antigüedad del parque vehicular en Bolivia, el que evidencia un promedio de 18 años, peor aun cuando se constata que gran parte de ese parque automotor antiguo y obsoleto prestando sus servicios en el sector del autotransporte, el que además, irónicamente se ha “modernizado” en base al ingreso de vehículos usados.

Esta situación ha obligado a que se importe y subvencione importantes cantidades de gasolina y diesel (se prevé este año supere los 1.000 millones de \$us), estos grandes volúmenes están generando problemas en la administración y política económica gubernamental, que necesariamente acarrearán grandes conflictos sociales con el intento por nivelar los precios de los combustibles y ordenar el tráfico vehicular.

Por ello, tanto a nivel gobierno central y gobierno municipal se ha proyectado como vital estrategia:

- El cambio de la matriz energética con el uso masivo de GNC en el parque automotriz.
- El cambio de sistema de transporte de minibuses a buses de transporte masivo.

## **Subvención en el sector de hidrocarburos**

Desde hace años atrás Bolivia produce gas natural tanto para su consumo, como para exportarlo a Brasil y Argentina, el poder calórico del gas que entrega Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos (YPFB) a Brasil, está fijado en 1.034 BTU (Unidades británicas térmicas por sus siglas en ingles), y a la Argentina en 1.000 BTU, el cual va afectando en las plantas de separación de licuables al no poder separar más por los convenios firmados con cada uno de estos países.

Sin embargo, como la producción de hidrocarburos líquidos (diesel gasolina y gas licuado) no cubre el consumo nacional, se los importa a precios reales y se los vende a precios subvencionados. Desde enero de 2005 sus precios se encuentran congelados y cualquier intento de incrementarlos cómo en diciembre del 2010 fracaso por la resistencia popular. Hugo del Granado, especialista en hidrocarburos<sup>[3]</sup>, asegura que a todas luces es totalmente insuficiente la posibilidad de abastecernos con la producción del país y de las refinerías. Por eso sostiene que desde el punto de vista energético “el mayor costo para el país en una amnistía de esta naturaleza, está en el incremento del consumo de gasolina”, el cual crecerá en un mercado que es “escasamente abastecido por ese combustible, producido por las refinerías”. Se requería incrementar en un 24% la producción de refinerías para poder abastecer tal cantidad de motorizados, algo que no es posible, dado que en el mes de febrero y marzo hubo un descenso de la producción. “Esto ocasiona obviamente un proceso mucho más ajustado en el mercado interno y tiene que ser abastecido con importación”.

Debido al incremento del consumo y del precio de estos combustibles el gobierno central (22/01/12) indicó que la subvención durante 2011 alcanzó a 706 millones de dólares, lo que explica la política energética de transformar el parque automotor, para que en lugar de gasolina se utilice GNC. Al presente la gran mayoría de taxis y moviidades de servicio público de las ciudades de Cochabamba y Santa Cruz utilizan GNC, no así los de La Paz, cuyos propietarios se quejan de problemas en el funcionamiento de vehículos accionados con GNC, como la falta de potencia en pendientes y menor duración de los motores convertidos.

---

3. PLATAFORMA ENERGÉTICA.2012. Especialista que cuestiona las cifras de YPFB y del ministerio de hidrocarburos.[Consulta: 20 de febrero]< <http://www.plataformaenergetica.org>>

## **Contaminación ambiental**

Según el Ministerio de Medio Ambiente, el parque automotor del país produce más del 80% de la contaminación en las ciudades, estas cifras se incrementarán con el ingreso de vehículos indocumentados. A más vehículos circulando en las ciudades, mayor contaminación del aire. Los vehículos que ingresan al país son: antiguos, transformados y no tienen un catalizador, por lo cual son altamente contaminantes con gran riesgo de cáncer pulmonar. A ello se suma que la legislación no contempla la medición y control de esas emisiones.

Según Swisscontact en Bolivia, las ciudades de La Paz y El Alto, Cochabamba y Santa Cruz son las que presentan los mayores niveles de contaminación del aire, las emisiones a la atmósfera, son generadas en un 87,8% por las fuentes móviles de la circulación vehicular en el transporte urbano a través de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y la formación de ozono troposférico (O<sub>3</sub>) por la presencia de los anteriores. En las que no solo se influyen las emisiones las características de la tecnología, sino también instancias como la mala condición de las vías de transporte, las malas prácticas de conducción, son condiciones que provocan una alta congestión vehicular, que a su vez genera, una baja velocidad de desplazamiento y con ello más contaminación, con un mayor consumo de combustible, que el requerido para el mismo recorrido en condiciones de buen flujo vehicular.

## **Cambio de la Matriz energética**

La política gubernamental del cambio de la matriz energética con la masificación del uso de GNV, a fin de disminuir la subvención a los combustibles, ha ocasionado acciones que están haciendo que cada día sean más los conductores que opten por el uso del GNV, muchas veces dejando de lado aspectos perjudiciales del uso no adaptado de esta tecnología, como son el incremento de emisiones de hidrocarburos no quemado y el sacrificio de la máquina por desgaste.

Otro aspecto que está en vigencia es el adoptado por el Gobierno Central a fin de favorecer la utilización de GNC en vehículos del autotransporte, con la conversión a GNV, que



forma parte de la política de cambio de la matriz energética del país, de forma directa a los chóferes del transporte público y libre para que se beneficien en forma gratuita.

Otros ejemplos recientemente ocurridos con respecto a la temática son:

- Instalación de kits de conversión gratuita a automóviles del servicio público.
- Amenaza continua de incremento del costo de la gasolina.
- Minimización de los efectos de las emisiones en el medioambiente.
- Tendido de redes por las ciudades a propósito de la instalación de nuevas estaciones.
- Control severo sobre las estaciones expendedoras de diesel y gasolina.

Según datos oficiales del INE se tiene que la cantidad de vehículos convertidos todavía no es expectable, particularmente en La Paz y debido a sus características topográficas y geográficas se enfrenta el problema de la altura, donde si bien hay utilización no con los rendimientos y eficiencias deseadas, atribuibles a tres casos:

- En motores Dual Gasolina-GNV, la mezcla combustible comburente es muy rica, más aun cuando se refiere a prácticas empíricas dedicadas a “potenciar los motores debido a la pérdida por la altura”.
- En motores bi-combustible Diesel-GNV, todavía está en proceso de investigación ya que si bien se posibilita su funcionamiento el proceso termodinámico es más caliente y genera problemas de orden térmico.
- En motores dedicados solo GNV, hay expectativa pero los importadores han apostado a traer móviles de grandes potencias de manera de compensar cualquier mal funcionamiento con excedente de potencia disponible, con el correspondiente incremento del consumo, compensado con el bajo precio del GNV.

En cualquiera de los casos mencionados, antes de realizarlos debería ser necesario confrontar con pruebas experimentales de evaluación, que permitan contar con Protocolos de Evaluación para cualquier motorizado, asegurando de esta forma no se cometan “errores”, problemas o situaciones vinculadas con:

- Falta de potencia
- Malas inversiones

- Servicios inapropiados
- Desperfectos mecánicos
- Desgaste prematuro
- Consumos excesivos
- Rendimientos ineficientes
- Otros

De todos ellos se pueden dar ejemplos que han ocurrido en la ciudad de La Paz y que se comentan como anécdotas, pero no se hace nada más por falta de Metodologías, Protocolos, Normas, Reglamentos que permitan de forma objetiva evaluar el comportamiento de automotores.

Por lo tanto es evidente que la altura sobre el nivel del mar, es un factor que afecta en forma significativa, en el rendimiento del motor y principalmente en su potencia. En ciudades de altura como en La Paz, Potosí y Oruro, donde la cantidad de oxígeno es menor para una buena combustión.

## **1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

En la actualidad pese a las investigaciones e innovaciones tecnológicas efectuadas por los fabricantes de automóviles, el aprovechamiento de la energía primaria en los motores de encendido provocado sigue siendo bajo, manifestándose una eficiencia cercana al 25%. Esta eficiencia se ve afectada por las condiciones ambientales ya que a medida que se incrementa la altura de aproximadamente por cada 100 metros de altitud, a la que se encuentre operando el motor, perderá un 1% de potencia, a partir de los mil metros., disminuyendo así la densidad del aire directamente con la presión atmosférica y la composición volumétrica del oxígeno, en el aire disminuye por tener mayor peso molecular que el nitrógeno, siendo estos dos los principales componentes del aire atmosférico. Situación que es crítica en la región occidental de nuestro país, debido a nuestras condiciones topográficas, en la que los principales centros urbanos están por encima los 3500 m.s.n.m.

En el país se han hecho algunas pruebas piloto con la conversión dual gasolina GNV con equipos poco precisos, las cuales han mostrado interesantes resultados, sin embargo, por razones financieras no se pueden realizar todos los ensayos que convengan al caso, para determinar de un modo certero los beneficios y problemas de hacer dichas transformaciones para las características de operación en nuestro medio. Particularmente en la ciudad de La Paz, la carrera de Mecánica Automotriz se constituye en la única entidad que ha probado y ensayado los rendimientos de la conversión dual (Gasolina – GNC) con resultados preliminares prometedores, sin embargo estas pruebas no fueron adecuadamente validadas por la carencia de instrumentos de medida y presupuestos adecuados, arrojando pérdidas de potencia entre 10 y 15% en los llanos y hasta 50% a la altura de la ciudad de La Paz, situación bastante distante de la comúnmente aceptada por el mundo automotor.

El diagnóstico del desempeño en la conversión del motor funcionando a GNv respecto a la gasolina, permite obtener conocimientos y criterios precisos, para garantizar su óptima operación, más aun cuando se utilizan equipos de última tecnología como es la de 5ta generación secuencial. La situación de la conversión a GNV que no está muy clara en Bolivia y menos en las regiones de altura, porque las conversiones actuales no responden a criterios tecnológicos y científicos característicos de los fenómenos de la combustión del gas natural, lo cual sacrifica la utilización de este energético.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar por comparación el desempeño mecánico y ambiental del kit de conversión, mediante la inyección secuencial de gasolina – GNC, como alternativa tecnológica de confiabilidad, para el motor de combustión interna en la altura de la ciudad de La Paz.

### 1.3.2 Objetivos específicos

El trabajo de investigación pretende lograr, los siguientes objetivos:

- Adecuación de los procesos y tecnologías de conversión en motores de encendido provocado Gasolina-GNC, en la ciudad de La Paz.
- Desarrollo de la metodología de ensayo basada en pruebas de carretera de acuerdo con las normas internacionales mayormente usadas para este tipo de pruebas DIN 70020 y SAE J1349
- Montaje del banco de pruebas experimental usando el kit de conversión, mediante inyección secuencial e instalación de instrumentos de medición con tecnología no intrusiva.
- Determinación del desempeño mecánico y ambiental del motor de encendido provocado operando con Gasolina y luego con Gas Natural en ciclos de pruebas de carretera.
- Diagnóstico y evaluación por comparación de la eficiencia de combustión del sistema de inyección secuencial en su rendimiento y potencia, operando con gasolina y con GNC, en ralentí y crucero.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

Pese a que en la actualidad se siguen realizando innovaciones tecnológicas, sin embargo el aprovechamiento de energía primaria en los motores sigue siendo bajo, manifestándose en su eficiencia cercana al 25% con niveles de emisiones aceptables según las normas que siguen los fabricantes de vehículos.

Por lo tanto es pertinente realizar esta investigación, ya que en el Departamento de La Paz, se ha generado índices alarmantes de la contaminación ambiental por el tráfico vehicular, como se muestra en la (Tabla 01), que afecta la salud de los ciudadanos de forma imperceptible <sup>[4]</sup>. Debido al ingreso de los vehículos indocumentados y que fueron legalizados, incrementado así el tráfico vehicular y la contaminación ambiental, con un alto consumo combustible subvencionado, como es la gasolina.

---

4. BOLETÍN 4. AIRE LIMPIO.2008. Control de calidad de la red Mónica Bolivia. Como está el aire en mi ciudad. La Paz Bolivia. 7 p.

<b>CIUDAD</b>	<b>Ozono troposférico (O3) µg/m<sup>3</sup>/60</b>	<b>Dióxido de Nitrógeno (NO2) µg/m<sup>3</sup>/40</b>	<b>Partículas menor a 10 micras (PM10) µg/m<sup>3</sup>/50</b>
<b>Patrones normales (OMS)</b>	<b>60</b>	<b>40</b>	<b>50</b>
<b>La Paz</b>	<b>41,5</b>	<b>52,5</b>	<b>55,1</b>
<b>El Alto</b>	<b>62,8</b>	<b>48,9</b>	<b>70</b>
<b>Santa Cruz</b>	<b>11</b>	<b>49,1</b>	<b>155,9</b>
<b>Cochabamba</b>	<b>50,5</b>	<b>42,9</b>	<b>309,4</b>

Tabla 01.- Niveles de contaminación según Aire Limpio. (Fuente Red Mónica),

Por ello se ha planteado la utilización del combustible alternativo como es el GNC. Mediante un cambio de la matriz energética, proporcionando el gobierno kits de conversión correspondientes a la primera, segunda y tercera generación, los cuales no responden a las condiciones del parque vehicular de La Paz, donde se necesita, aprovechar mejor la energía del GNV debido a la evidente pérdida de potencia por efecto de la altura sobre el nivel del mar, factor que afecta en forma significativa, en el rendimiento del motor debido a la baja cantidad de oxígeno. Donde estos factores han intervenido en detrimento de la eficiencia energética de combustión para que todavía no se haga efectiva la conversión total de los vehículos.

Ha surgido en el mercado nacional y de manera limitada, con un mayor costo y tecnología de vanguardia, una nueva alternativa para viabilizar la conversión de motores de encendido provocado de gasolina a GN, que es comercializado, con el denominativo de “kit de conversión de quinta generación” y que se refiere a un sistema de inyección de combustible gaseoso por demanda y controlado electrónicamente de manera secuencial. Los mismos se presentan como favorables para la reducción de la contaminación ambiental, mejorando la potencia del motor, al aprovechar mejor la energía térmica del GNC en la altura.

Con la evaluación experimental por comparación del desempeño de vehículos, con motor de combustión interna a gasolina y gas natural comprimido, bajo condiciones de funcionamiento por pruebas de carretera estandarizadas, se busca establecer la fiabilidad y viabilidad de implementar el kit de quinta generación de GNC para vehículos de inyección electrónica en la ciudad de La Paz, y enmendar los problema de pérdida de potencia en la altura y cuidar el medio ambiente.

## **1.5 METODOLOGÍA**

Establecer el desempeño operativo de una máquina en general ya sea para su homologación, su certificación de rendimiento de su condición de funcionamiento, implica la evaluación de síntomas, los cuales también pueden ser considerados como indicadores de mantenimiento. Esta evaluación del desempeño adquiere mayor connotación y efectividad de aplicación, cuando se la hace por comparación, es decir se registra una “firma de funcionamiento” y se comparan estados de funcionamiento posteriores, principal fundamento cuando se trata de implementar sistemas de mantenimiento predictivo.

Si bien en el trabajo de investigación desarrollado, se plantea utilizar la comparación de síntomas, como criterio de evaluación del funcionamiento de un motor de encendido provocado, utilizando dos combustibles de forma alternativa, el método establecido puede ser utilizado como una rutina de mantenimiento predictivo, en la explotación de automotores.

Para el desarrollo de la metodología de evaluación y posterior validación del Protocolo de ensayo, se plantea evaluar el desempeño del kit de conversión por inyección secuencial de GNC por comparación con su similar funcionando solamente con gasolina, de esta manera se tendrá una referencia paramétrica objetiva de cuales deberían ser los valores referenciales de comparación. Los síntomas de comparación serán los establecidos para evaluar el desempeño mecánico de rendimiento y el desempeño ambiental mediante pruebas de carretera.

Para las pruebas de desempeño mecánico de rendimiento en carretera, se determinará la potencia efectiva y el torque máximo alcanzado por el vehículo automotor de acuerdo con las normas DIN 70020 “Road vehicles; automotive engineering; dimensional terms” y SAE J1349” Certified Power”, y un protocolo de ensayo generado para este efecto.

Para las pruebas de desempeño medioambiental, se evalúa el análisis de niveles de emisión de gases de escape del vehículo, realizado las pruebas con un marco referencial, a las normativas proporcionadas por IBNORCA NB-62002 referida a los parámetros límites para emisiones y contaminantes por fuentes móviles.

## **1.6 ALCANCE Y LIMITES**

La investigación a desarrollarse, se limita exclusivamente a realizar pruebas en carretera en un ciclo de vía, con un vehículo previamente convertido de gasolina a GNC, en el que se ha instalado el kit de conversión por inyección secuencial de GNC, siguiendo los protocolos de evaluación de la potencia, según la norma DIN 70020 y SAE J1349. Para los resultados de emisiones de contaminación de gases, se adopta las normas emitidas por IBNORCA, tanto en ralentí como en velocidades crucero, con el analizador de gases.

No se efectuarán pruebas de desempeño energético, ni se determinarán desgastes con cada uno de los combustibles ya mencionados, ni tampoco pruebas de carretera en pendientes con diferentes velocidades de cambio. Asimismo, al ser una evaluación por comparación de desempeño, no se realizará ninguna interpretación, ni teorización de funcionamiento, por ser más concerniente a un análisis termodinámico del funcionamiento del motor.

## MARCO REFERENCIAL

### 2.1 PARQUE AUTOMOTOR DEL PAÍS CONVERTIDO A GNV

La conversión de vehículos a GNV, se inició a principios de los años 90 y según un estudio de la Superintendencia de Hidrocarburos ha determinado que el parque automotor Boliviano consta del 80% de motorizados livianos que funcionan con gasolina y GNV, y que el 20% son vehículos pesados que funcionan a diesel, especialmente sirviendo a la agroindustria de Santa Cruz.

El Registro Único de Administración Tributaria Municipal (RUAT) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) han informado que a diciembre del 2009, el 81% de los vehículos a GNV transitan en las ciudades de Cochabamba y Santa Cruz, el 12% en la ciudad de El Alto, el 6% en las capitales de Sucre, Oruro y Tarija y apenas el 1% en la ciudad de La Paz. En el país existen 133 estaciones de GNV y 109 talleres de conversión.

En base a esta realidad, en Marzo 2010 el Gobierno hizo público su Plan de Desarrollo Energético 2010 – 2027 o más conocido como Cambio de la Matriz Energética, donde el gas natural conformará el 55 % de suministro de combustibles, abandonando el diesel, la gasolina para inclinarse en su totalidad al GNV.

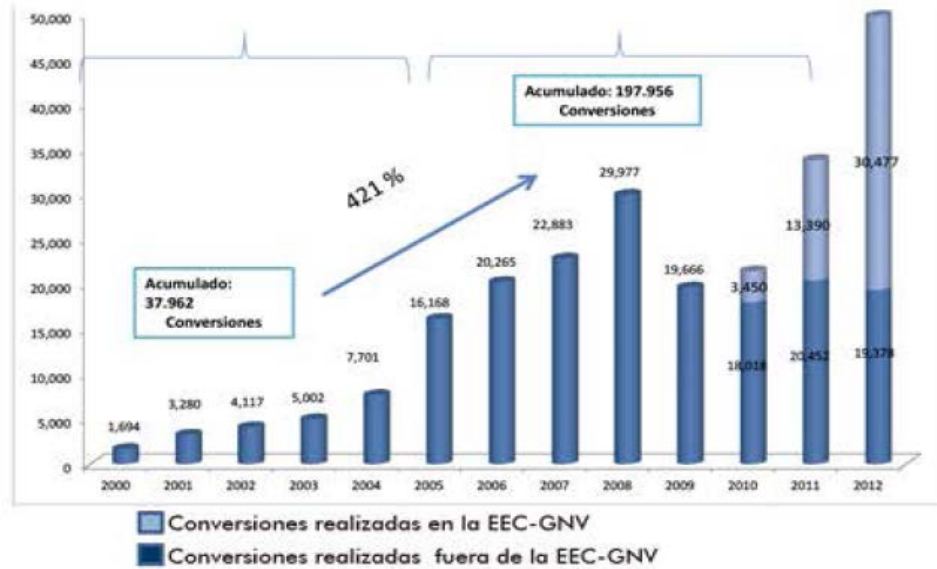
Para este proceso de transformación se muestra en el (Cuadro 01), comparativos de cantidades de vehículos convertidos a GNV en los periodos 2000 – 2005, se realizaron 37.962 conversiones mientras que entre 2006 – 2012 se llegó a un total de 197.956 conversiones <sup>[5]</sup>, resultando un total de 235.918.

---

5. MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA. 2013. Informe de gestión 2012. La Paz Bolivia. 37p.



### Cantidad de vehículos convertidos a GNV Período 2000 - 2012



Cuadro 01.- Vehículos convertidos a GNV (Fuente: Ministerio de Hidrocarburos y Energía 2012)

Cumpliendo con la política del cambio de Matriz Energética, (Cuadro 02), en el país la Entidad Ejecutora de Conversión a Gas Natural Vehicular EEC-GNV <sup>[6]</sup>, durante la gestión 2012 realizó 30.477 conversiones gratuitas a Gas Natural, en los departamentos de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba, Oruro, Sucre y Potosí.

### CONVERSIONES DE LA EEC-GNV



Cuadro 02.- Política de cambio de matriz energética y conversión realizadas por EEC-GNV

6. HIDROCARBUROS BOLIVIA. 2013. 30.477 mil vehículos fueron convertidos gratuitamente a GNV el 2012. La Paz. 35 p

A nivel nacional la cantidad de vehículos a gasolina convertidos a sistema dual según la Superintendencia de Hidrocarburos incrementó notablemente respecto al año 2000, particularmente en los departamentos de Santa Cruz y Cochabamba, la mayor cantidad de vehículos, han sido convertidos a GNC, mientras que en el departamento de La Paz, no hubo esa gran cantidad de vehículos convertidos, porque muchos propietarios, se rehúsan, primero por la altura de La Paz y topografía que es muy accidentada lo cual no le permite al motor funcione de manera correcta, con la consiguiente pérdida de potencia por altura, y aún más por la conversión mediante un kit que no responde a la expectativas de los nuevos vehículos, a ser transformados por su tecnología avanzada.

## **2.2 UTILIZACIÓN DEL GNC EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES**

La utilización del gas natural en vehículos automotores se da de manera más simple, cuando utilizan motores del ciclo Otto, debido no solo a las características termodinámicas del ciclo sino principalmente al proceso físico de operación, que en general es más básico. Adicionalmente debe considerarse que también forman la mayor parte del parque de vehículos.

Tecnológicamente se han desarrollado distintos tipos de sistemas de alimentación de combustible líquido, teniéndose por consiguiente diferentes opciones de conversión.

### **2.2.1 Criterios para la conversión a sistemas dual**

El sustituto más limpio para la gasolina, es el GNC, a ser usado en motores convertidos del tipo dual, siendo una buena alternativa desde el punto de vista ambiental, pero a costa de desmejorar considerablemente la respuesta mecánica del motor, a causa de la falta de oxígeno por efecto de la altura, que determina sean dependientes de la tecnología empleada.

El sistema dual de combustible gasolina y gas está constituido por un conjunto de elementos (equipo completo de conversión) <sup>[7]</sup>, que hace operar el vehículo con gasolina según su diseño original, o alternativamente con GN, el cambio de uso de combustible se

---

7. SERGIO ANTONIO LÓPEZ ROJAS. 2008. Consideraciones técnicas y económicas de vehículos a gas natural. Vehículos con sistemas de gas natural vehicular. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería. 20 p

puede realizar aun con el vehículo en marcha gracias al conmutador como se muestra en la siguiente Figura 01.

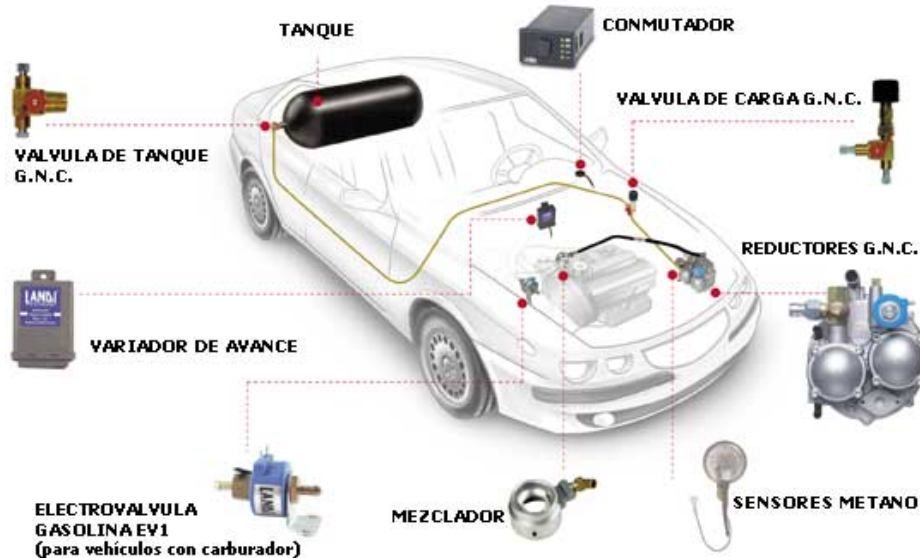


Figura 01.- Componentes del Sistema conversión dual gasolina – GNC

### 2.2.1.1 Motor a carburador

La conversión de un motor a carburador a GNC podría definirse como una conversión básica, donde la admisión de gas se produce gracias a la aspiración del pistón, que provoca una succión en un pico o en un mezclador tipo Venturi, el gas ingresa a la cámara de combustión, junto con el aire, tal como ocurre con la gasolina.

La configuración más básica es de tipo lazo abierto, con un pico de mezcla clavada en el carburador y sin variador de encendido, el avance se da, simplemente actuando sobre el distribuidor entre el funcionamiento a gas natural y a gasolina. Estos motores en general, no traen sistemas de control de emisiones, ni dispositivos electrónicos, las dificultades están limitadas, a hacer más eficientes las mezclas aire gas natural a través de dosificadores más eficaces y conseguir avances de encendido apropiados a cada motor.

En la medida que se fue avanzando tecnológicamente en los niveles de conversión, se fueron agregando elementos, como el variador de encendido, que es un dispositivo que cumple la función de modificar la curva original de avance de encendido, para adaptarla a

la correcta variación para el gas, sin alterar las condiciones de avance para el combustible original, también se avanzó en la calidad y el rendimiento de los mezcladores, optimizando las condiciones de mezcla, logrando una mejora substancialmente del rendimiento del vehículo y cumplir los límites de estándares como el EURO 1.

### **2.2.1.2 Motores a inyección**

La tecnología del motor evolucionó conforme se hicieron más estrictas las restricciones de emisiones contaminantes. Las normas EURO 2 obligaron a los fabricantes a desarrollar sistemas de inyección de combustible, con eficientes catalizadores de oxidación y componentes electrónicos del kit de conversión, con las señales de referencia que deben recibir las computadoras de inyección.

Por otra parte, debieron acentuar el desarrollo de mezcladores, Figura 02, en procura de que las señales de funcionamiento en vacío del motor fuesen correctamente interpretadas por el reductor de gas.



Figura 02.- Tipos de mezcladores convencionales y de turbina (Gentileza del IIME-UMSA)

En cumplimiento de las normas EURO2 hoy se usa como referencia de límites máximos de nivel de emisiones contaminantes en muchos de los países. Este tipo de tecnología de lazo cerrado, utiliza los sensores de emisiones del vehículo, que junto con los elementos electrónicos del equipamiento de conversión dosifican el combustible, en todos los estados de carga e interactúan con los sistemas originales de manera que ellos no generan falla en la ECU.

Sin embargo, las motores a inyección gasolina fueron evolucionando en la búsqueda de la mayor eficiencia de la combustión y así se pasó, de la inyección mono punto EFI a la

inyección multipunto secuencial con diversas tecnologías intermedias <sup>[8]</sup>, pudiéndose alcanzar los exigentes límites de las normas EURO3. Así es como soluciones electrónicas aplicadas a los motores: señales de inyectores, de sensores de oxígeno, MAP, MAF, sistemas auto adaptativos, sistemas OBD II, ECU en extremo complejas combinadas, con soluciones mecánicas, como árbol de levas con la geometría variable, sistema de admisión variable, etc. requirieron de soluciones conceptualmente diferentes desde el punto de vista de aplicación de gas natural. (Tabla 02).

<b>Equipo de GNC</b>	<b>1ª Generación</b>	<b>2ª Generación</b>	<b>3ª Generación</b>	<b>4ª Generación</b>
La Paz	Carburador	Inyección electrónica	Inyección electrónica	Inyección electrónica
Puesta en marcha	Según posición llave conmutadora	Automática a gasolina	Automática a gasolina	Automática a gasolina
Control Lambda	No tiene	Puede o no tenerlo	Si	Si
Autonomía	Según capacidad del cilindro	Según capacidad del cilindro	Según capacidad del cilindro	Según capacidad del cilindro
Rendimiento	Regular	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
Potencia	Regular	Buena	Muy buena	Muy buena
Regulación	Manual	Manual y con tester	Solo con escáner	Solo con escáner
Ralentí	Sensible	Bueno con control Lambda	Asegurado electrónicamente	Asegurado electrónicamente

Tabla 02.- Evolución de la tecnología del kit de conversión por generaciones del GNC,

En principio, si bien los vehículos certifican emisiones cuando nuevos, estas se deterioran en condiciones de uso, por varios los motivos:

8. CÁMARA ARGENTINA DEL GAS LIMPIO. 2013. Tecnologías básicas de conversión vehicular a GNC. [Consulta 25 de mayo] <<http://www.gnc.org.ar>>.

1. Los combustibles no son los apropiados, para los sistemas de control de emisiones ya que poseen impurezas (propias o producto de ciertas manipulaciones en el circuito comercial).
2. Deterioro acelerado de catalizadores y sondas.
3. Falta de mantenimiento del sistema de GNC.

En vista que nuestro parque automotriz, ya cuenta con una cantidad incidente de vehículos de tercera generación de forma dual (gasolina-GNC), y siendo el combustible líquido subvencionado, existe la necesidad de fortalecer el plan de cambio de la Matriz Energética, la cual no solo se viene dando por conveniencia y eficiencia operativa, sino como se explicó por una política gubernamental que provee equipos de conversión gratuitos en desmedro de la potencia y la vida útil de los motores.

Como parte de la evolución tecnológica en sistemas de conversión a GNV. Figura 03, han surgido los equipos de quinta generación para los vehículos de nueva generación que cumplen en condición de nuevo, con las normas EURO4, EURO5 y EURO6<sup>[9]</sup>, las cuales se encuentran vigentes y cumplirán los requisitos medioambientales hasta finales del 2015 en las diferentes regiones del mundo.

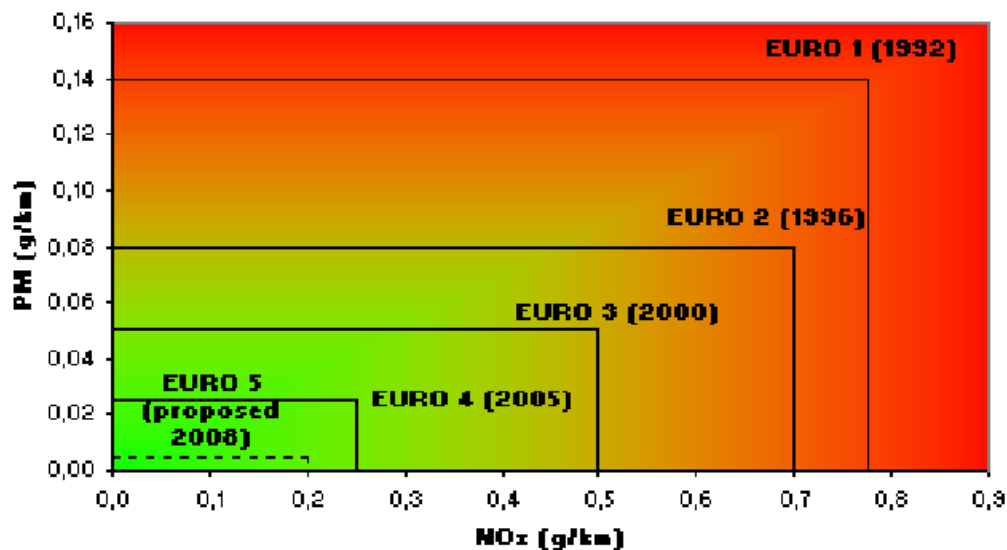


Figura 03.- Normas Europeas en reducción de gases de escape en automóviles a gasolina.

9. NORMATIVA EUROPEA SOBRE EMISIONES.2008. Emisión de vehículos. [Consulta 25 de marzo]<<http://es.wikipedia.org/wiki/normativa+europeo+sobre-emisiones>>.

## 2.3 CONVERSIÓN VEHICULAR

La utilización del gas natural en vehículos automotores se da de manera más simple cuando utilizan motores del ciclo Otto, debido no solo a las características termodinámicas del ciclo sino principalmente al proceso físico de operación, que en general es más básico. Adicionalmente debe considerarse que también forman la mayor parte del parque de vehículos.

A pesar de tener experiencias en diferentes partes del mundo, tanto en motores de combustión interna Otto, Diesel, se tiene poca información de valores comparativos de las emisiones de los principales contaminantes (CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, y partículas) emitidos a la atmósfera, por los vehículos convertidos a GNC de forma dual, particularmente en La Paz, los últimos estudios serios de contaminación con equipos de conversión gasolina GNC han sido efectuados hace unos 10 años atrás y con equipos de hasta segunda generación. Existiendo un desconocimiento del comportamiento de los equipos de conversión posteriores y mucho más de los equipos de tecnología reciente, como el de la quinta generación.

De acuerdo con el estudio de un inventario de emisiones contaminante en La Paz <sup>[10]</sup>, Figura 04, se estableció que los más abundantes que se emiten a la atmósfera, son el CO<sub>2</sub> con 1420,371 toneladas y el CO con 179,660 toneladas. Las emisiones a la atmósfera, son generadas en un 87,8% por las fuentes móviles de la circulación vehicular en el transporte urbano, fenómeno similar ocurre al de muchas otras ciudades en Bolivia.

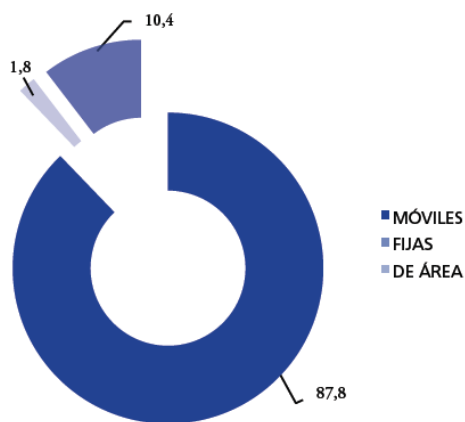


Figura 04.- Emisiones anuales por tipo de fuente en la ciudad de La Paz (Fuente: Aire Limpio Swisscontact,)

Debido a los altos niveles de contaminación por el sector de transporte en las principales ciudades, se han emprendido acciones a disminuir las emisiones de contaminantes arrojados a la atmosfera, implementando estrategias, para mejorar el flujo vehicular y para promover el uso de energéticos limpios, como el gas natural comprimido.

También existen otras instancias que incrementan las emisiones contaminantes provenientes de los vehículos, que no radica necesariamente en su tecnología, como la mala condición de las vías de transporte, las malas prácticas de conducción, que son condiciones que provocan una alta congestión vehicular y que a su vez generan una baja velocidad de desplazamiento y con ello más contaminación, con un mayor consumo de combustible que el requerido, para el mismo recorrido en condiciones de buen flujo vehicular.

En la Figura 05, se muestra los resultados de un estudio experimental efectuado por la Universidad de Colombia <sup>[11]</sup> en el que se establece la pérdida de potencia en el motor únicamente por efecto de la densidad del aire, en la práctica las pérdidas pueden ser mayores debido a los otros factores ya mencionados que se ven afectadas con la altitud.

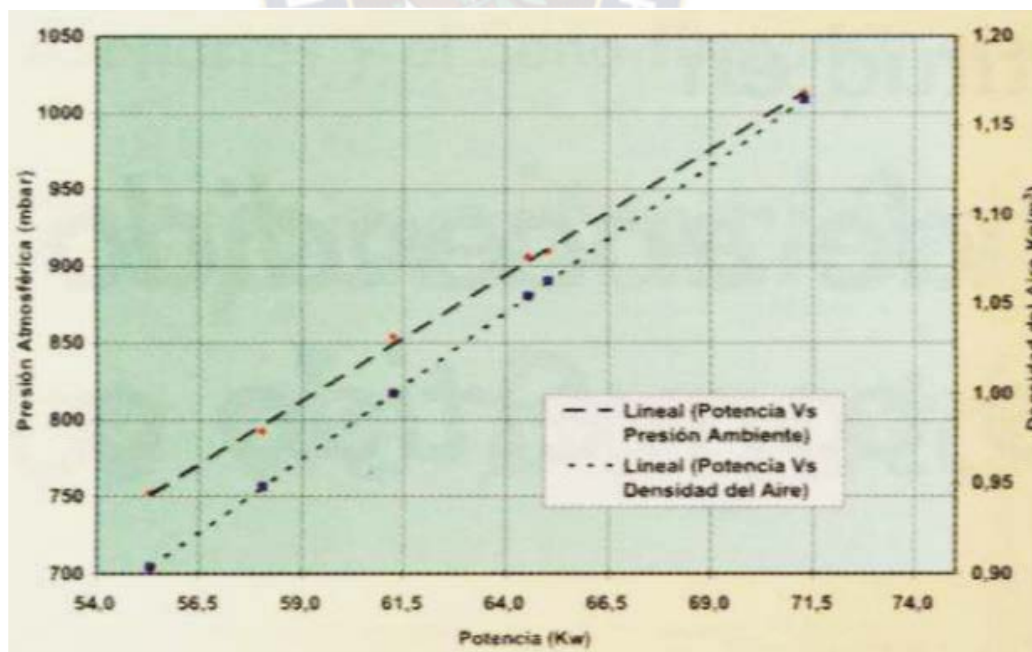


Figura 05.- Efecto de la presión atmosférica en la pérdida de potencia, de un motor encendido provocado, (Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia)

11. DIEGO ALBERTO CASTAÑO y ANDRES ARMELL ARRIETA. 2002. Efecto de la altitud en un motor de encendido provocado convertido a GN. Revista Colombia Gas vehicular (15). 37p.



A medida que se incrementa la altura sobre el nivel del mar, la densidad del aire disminuye directamente con la presión atmosférica y la composición volumétrica del oxígeno en el aire disminuye por tener mayor peso molecular que el nitrógeno, siendo estos dos los principales componentes del aire atmosférico, es decir al incrementar la altura se tendrá menos aire, y adicionalmente se tendrá menos oxígeno. Aproximadamente por cada 100 metros de altitud, a la que se encuentre operando el motor, se perderá en 1% de potencia en el motor.

El rendimiento de combustible tiende a disminuir por efecto de la densidad y altura, por la influencia de la transferencia de calor del combustible, empeorando en el proceso de combustión.

El cambio en la altitud <sup>[12]</sup>, afecta la composición del aire, en el caso de motor y cualquier sistema en donde participe un combustible y un comburente, en nuestro caso el aire del cual solo el oxígeno participa en los fenómenos de combustión, es importante analizar el efecto de la altitud sobre la composición volumétrica del aire y en especial el cambio en la fracción volumétrica del oxígeno que a condiciones del nivel del mar es de 0.21, siendo la condición donde más abundancia de oxígeno puede tener el aire. En la Figura 06, se muestra la influencia de la altitud en la fracción volumétrica del oxígeno en el aire a diferentes temperaturas.

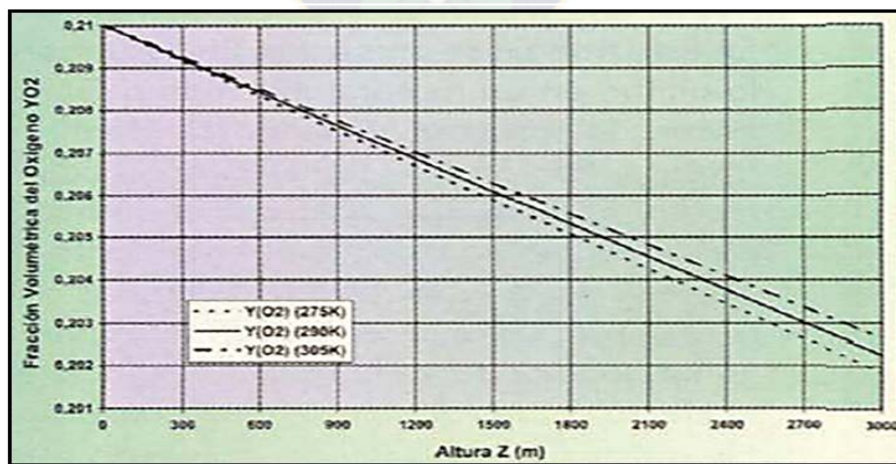


Figura.06.- Efecto de la altitud sobre la composición volumétrica del oxígeno,  
(Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia)

12. DIEGO ALBERTO CASTAÑO y ANDRES ARMELL ARRIETA. 2002. Efecto de la altitud en un motor de encendido provocado convertido a GN. Revista Colombia Gas vehicular (15). 38 p.

En los trabajos realizados experimentalmente en Colombia <sup>[13]</sup>, a diferentes alturas en cada una de sus ciudades como se muestra en la (Tabla 03), la variación de la altura sobre el nivel del mar afecta en las prestaciones del motor con una pérdida de potencia.

Ciudad	Altura msnm	P amb. ( m bar)	T amb. ( °C)	Densidad del aire Kg/m3	Perdida de Potencia (%)	Potencia (kW)
Barranquilla	0	1013	30	1,1643	0	71.28
Bucamanga	960	909	25	1,0623	8.76	65.04
Cali	991	905	26	1,0541	9.47	64.54
Medellin	1475	853	24	1,0002	14.09	61.24
Manizales	2150	792	18	0,9478	18.59	58.03
Bogotá	2600	752	17	0,9031	22.44	55.29

Tabla 03.- Pérdida de potencia de un motor de encendido provocado en Colombia a diferentes altitudes.

En la Figura 07, se muestra el comportamiento del rendimiento del motor, en función del régimen de giro para los funcionamientos elegidos. La pérdida de rendimiento del motor con la altura está directamente relacionada con la deficiencia de oxígeno y con el régimen de transferencia de calor del motor al refrigerante y al entorno.

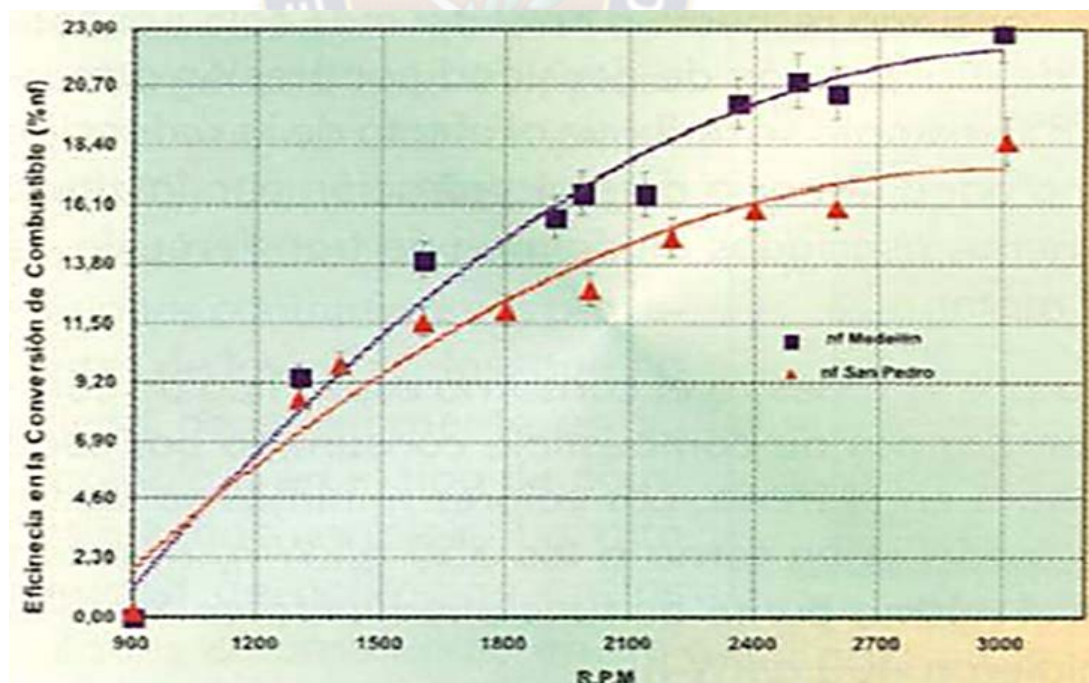


Figura 07.- Efecto de la altitud sobre el rendimiento del motor,  
(Fuente: Universidad de Antioquia, Colombia).

13. DIEGO ALBERTO CASTAÑO y ANDRES ARMELL ARRIETA. 2002. Efecto de la altitud en un motor de encendido provocado convertido a GN. Revista Colombia Gas vehicular (15). 39 p.

A partir de la revisión de la literatura internacional y nacional disponible, se tiene resultados que muestran una disminución en los niveles de emisiones de contaminantes con el uso de GNC. De esta manera es que estos combustibles alternativos, si pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de las grandes ciudades.

Sin embargo, es evidente que el comportamiento mecánico y las emisiones comparativas entre la gasolina y el GNC son sensibles a:

- A la tecnológica del motor, a los componentes, al estado mecánico de los vehículos y su mantenimiento continuo.
- Al tipo de kit empleado, al sensor de oxígeno, a la configuración del equipo de conversión.
- A la composición físico químico del combustible de la gasolina y del metano en el GNC.
- A las condiciones ambientales locales (calidad de aire, tráfico, altura, humedad relativa).

## **2.4 NORMAS PARA DETERMINAR LA POTENCIA EN EL MOTOR**

La medida de la potencia efectiva, que se obtiene por medio del banco de pruebas o freno, puede hacerse siguiendo las siguientes normas SAE, CUNA y DIN. <sup>[14]</sup>

### **2.4.1 La norma SAE**

La SAE (Society of Automotives Engineers - U.S.A.) posee normativas internacionales de amplio reconocimiento para el área automotriz, de acuerdo con estas normas, se ensaya el motor prescindiendo de los accesorios propios del mismo, tales como alternador, ventilador, bomba de agua, bomba de gasolina, filtros de aire, filtro de aceite, silenciador, etc., que evidentemente consumirán una cierta potencia en el caso de haberse montado en el motor.

Se realizan los ensayos a 20°C y se ajustan en cada régimen, los reglajes de encendido y carburación o inyección a su posición óptima. También es llamada Potencia Bruta.

---

14. PAULO PENIDO FILHO.2002. Motores de combustión interna. Performance de motores. Brasil. 313 p.

### **2.4.2 La norma CUNA**

Las normas CUNA (Comisión Técnica de Unificación del Automóvil - Italia), plantean una solución intermedia entre SAE y DIN, prescinde de los accesorios, pero mantiene el reglaje en serie, salvo en lo que afecta a los reglajes de encendido y carburación o inyección, que debe ser igual al de los motores en serie. La temperatura ambiente se reduce a 15 °C.

### **2.4.3 La norma DIN**

La norma DIN (Deutsche Industrie Normen – Alemania), donde el motor se dispone en el dinamómetro de banco o portátil, es decir de la misma forma que será utilizado en un vehículo en serie, con todo el equipo auxiliar que exige su funcionamiento normal. Los reglajes también son los que se utilizan para el montaje en serie del motor, menor a 20°C. Esta potencia es por tanto, la que mejor expresa el funcionamiento del motor, en la realidad conocido como Potencia Neta.

#### **2.4.3.1 Correcciones de la norma DIN**

Con la altitud, se pierde como término medio un 1 % de potencia por cada 100 m de altitud. También la temperatura del aire influye en la potencia del motor, para ello se corrige con factor de corrección en función de la temperatura del aceite y la presión atmosférica de la prueba <sup>[15]</sup>.

## **2.5 PRINCIPIO DEL DINAMÓMETRO**

El término "potencia al freno", deriva de las primeras determinaciones, la producción de energía producida por un motor en su eje, era disipado o absorbido por el rozamiento de un freno. La instalación del freno de Prony Figura 08, comprende un volante, un freno constituido por el fleje y zapatas de apriete, las cuales se adaptan alrededor de la superficie perimetral de este volante, el mismo consistía de un freno y una balanza <sup>[16]</sup>. El ensayo se debe realizar a distintas revoluciones del motor para definir la curva de potencia versus rpm, por lo tanto se mantenían determinadas revoluciones del motor a medida que se iba frenando el mismo.

---

15. PAULO PINEDO FILHO, 2010. Normas de corrección, SAE J 1349, CUNA, DIN 70020, Motores de combustión interna. Brasil. 332.

En general se puede decir la potencia efectiva de un motor, resulta de multiplicar la fuerza tangencial del tambor del freno por la velocidad periférica. La fuerza tangencial puede expresarse como la relación entre el momento de giro y el radio de tambor de freno. Repitiendo estas operaciones para distintos regímenes de rpm, se obtiene la curva de potencia a distintas revoluciones del motor.

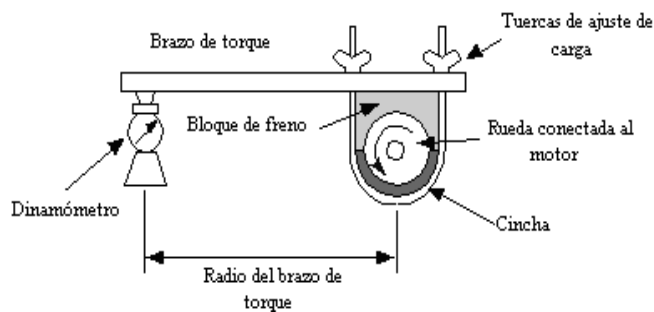


Figura 08.- Freno Prony

La potencia se midió originalmente y se calcula por el uso del indicador (James Watt invención de finales del siglo XVIII), y más tarde por medio de un Freno de Prony conectado al eje de salida del motor.

Un banco dinamométrico es el encargado de medir la potencia de un motor de combustión interna a determinadas revoluciones por minuto. Para lo cual el banco dispone de un freno dinamométrico, el cual genera un par resistente proporcionando carga al motor, es necesario indicar que como característica primordial, esta carga debe ser variable, el cual permite ensayar las distintas condiciones operativas del motor.

Los bancos dinamométricos están compuestos de diferentes elementos que cambian de acuerdo a la marca, al tipo y año de fabricación <sup>[17]</sup>.

Los frenos dinamométricos desarrollados de banco, rodillos y portátiles que se encuentran basados en diversos principios para generar un par resistente, en el motor de combustión interna, entre los cuales resaltamos los más utilizados que son los siguientes: Dinamómetros de fricción, hidráulicos y eléctricos de corriente.

16. Freno Prony-CNBA-MDF- Museo didáctico de Física. [consulta 21 de marzo]< <http://ww.mdf.fisica.cnba.uba.ar/>>

17. FREMAN. Motor. Par motor y potencia efectiva. [consulta 20 de marzo]< [http://www.geocities.com/jam49\\_es/page7.html](http://www.geocities.com/jam49_es/page7.html)>

### 2.5.1 Curvas Características de un motor

Siguiendo la norma DIN 70020 que se ha de utilizar, para hallar la potencia efectiva, se acelera al máximo el motor para que la alimentación se realice a pleno carga progresivamente, variando sucesivamente la carga se tendrá diversos valores del par motor correspondientes.

Se representa en un diagrama en la Figura 09, los valores obtenidos del régimen (r.p.m.) en abscisas y los del Par Motor en ordenadas, como para la Potencia Efectiva a cada régimen, representada en el mismo diagrama de la curva característica de Potencia, Par y Consumo específico del combustible en (g/kW-h) comprendido en un régimen entre las zona de autorregulación, correspondientes a los máximos entre estas dos curvas <sup>[18]</sup>.

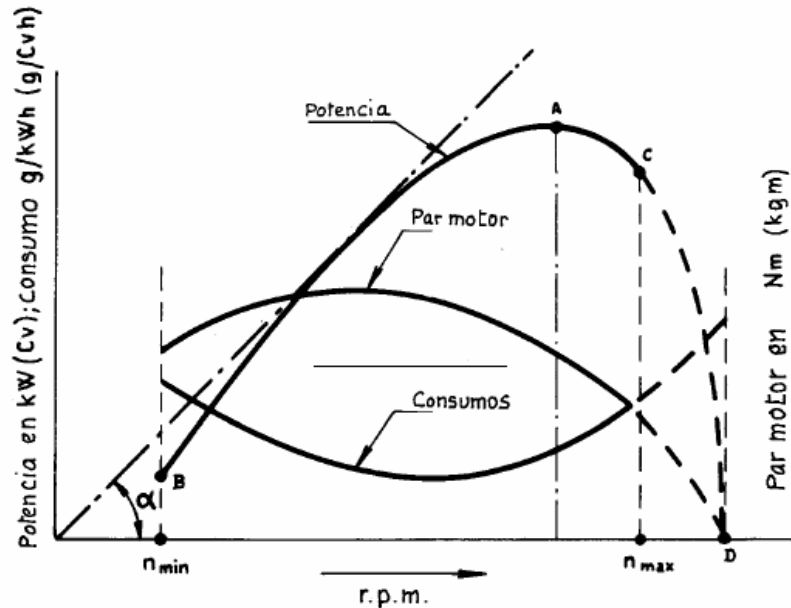


Figura 09.- Curvas de potencia y par motor del motor Otto

Las tres curvas características de un motor expresan el comportamiento del mismo en cualquiera de los regímenes de funcionamiento. La potencia aumenta al elevarse la velocidad del motor hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual disminuye aunque se aumente la velocidad de giro del motor hasta llegar a anularse.

18. F. PAIRY. 2011. Técnicas experimentales y Curvas Características y Aplicaciones, Motores de combustión interna alternativo, REVERETE S. A. Barcelona. 960 p.

## 2.5.2 Curvas características a cargas parciales

Siguiendo la norma DIN 70020, para hallar la potencia efectiva, se acelera al máximo el motor para que la alimentación, se realice a plena carga, progresivamente variando sucesivamente la carga se tendrá diversos valores del par motor correspondientes.

Como los motores operan a un régimen variables representado en curvas multiparamétricas <sup>[19]</sup>, según la carga parcial, Figura 10, varia el consumo específico como función de la velocidad lineal media del pistón y el grado de carga de motor, a través de la presión media efectiva, variando así para diferentes grados de carga según la posición de la válvula de obturación en el régimen de giro del motor, disminuyendo su potencia efectiva.

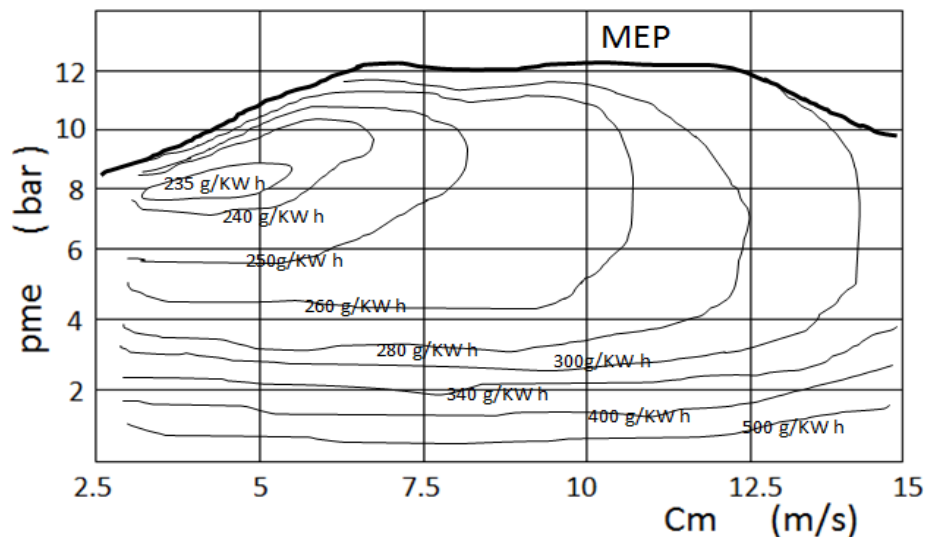


Figura 10.- Curvas multiparamétricas de isoconsumo específico de un MEP, a cargas parciales.(Fuente E. Paity)

Si bien la caracterización de las curvas de carga parcial tiene una mayor aplicación en la evaluación del consumo específico y áreas de menor contaminación ambiental, en el mantenimiento pueden ser utilizadas como "Firma de diagnóstico" de los síntomas de potencia, torque o consumo en condiciones intermedias de funcionamiento de un motor.

19. F. PAIRY. 2011. Técnicas experimentales y Curvas Características y Aplicaciones, Motores de combustión interna alternativo. Barcelona. 965 p.

## 2.6 DINÁMICA DE UN VEHÍCULO

La primera indicación de la capacidad de aceleración de un vehículo surge de la potencia que el motor es capaz de brindar. Sin embargo, para una correcta caracterización de la capacidad de aceleración debe tomarse en cuenta los demás elementos del vehículo y las fuerzas que actúan sobre él, en carretera.

Siguiendo las normas equivalentes de evaluación <sup>[20]</sup>, para la obtención de Potencia Neta según la norma DIN 70020, SAE J 1349. Dentro de esta prueba de desempeño, existen dos curvas de interés: la curva de Potencia y Par motor o Torque.

### 2.6.1 Potencia

Se define la potencia <sup>[21]</sup> en general como el trabajo desarrollado en la unidad de tiempo, dando sus unidades en: 1CV = 0,736 kW; 1kW = 1,36 CV.

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot V$$

$$P = \text{Potencia} \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{s}} ; W \right]$$

$$W = \text{Trabajo} [Nm]$$

$$F = \text{Fuerza} [N]$$

$$S = \text{Distancia} [m]$$

$$t = \text{Tiempo} [s]$$

#### 2.6.1.1 Potencia térmica o teórica

Se denomina así, a la potencia que el motor podría desarrollar si se transformase en trabajo útil todo el calor que se desprende de la combustión, es decir si no existiesen pérdidas de ninguna clase por escape, por rozamientos, por transmisiones, etc.

#### 2.6.1.2 Potencia en la llanta

Es la que existe disponible en las ruedas del vehículo, Figura 11, una vez descontadas las pérdidas por calor, rozamientos y órganos auxiliares del motor, pérdidas por embrague, caja de cambios y transmisiones.

---

20. Potencia, par rpms, bancos de potencia y normas DIN\_ 2013[consulta: 29 mayo2013] . <<http://www.bancos%20de%20potencia%20y%20normas%20DIN.htm>>

21. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Trabajo y potencia Alemania. 147 p.



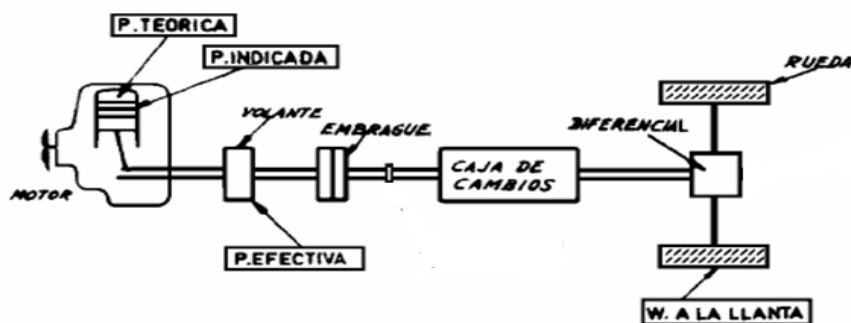


Figura 11.- Diferentes denominaciones de potencias en el vehículo

### 2.6.1.3 Potencia indicada

Como expresa su nombre es la que corresponde al trabajo que recibe realmente la cabeza del pistón. Es la potencia indicada <sup>[22]</sup> que es genera el motor con la combustión, cuyo valor lo certifica el fabricante o puede hallarse como se muestra con esta ecuación:

$$P_i = \frac{A_p \cdot 10 \cdot p_m \cdot i \cdot s \cdot n}{12000}$$

$P_i$  = Potencia indicada [kW]

$A_p$  = Superficie del pistón [cm<sup>2</sup>]

$p_m$  = Presión media de trabajo [bar sobrepresión]

$i$  = Numero de cilindros

$s$  = Carrera [m]

$n$  = Revoluciones [1/min]

### 2.6.1.4 Par Motor

El par motor o torque <sup>[23]</sup>, es el producto de una fuerza aplicada a cierta distancia de un punto, cuyo resultado, es un giro de ese punto. En el motor la fuerza tangencial y la distancia, es longitud del radio de la manivela de cigüeñal.

$$M_M = F_T \cdot r$$

$M_M$  = Par motor [Nm]

$F_T$  = Fuerza tangencial [N]

$r$  = Radio de la manivela de cigüeñal [m]

22. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Potencia indicada. Alemania. 150 p.

23. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Potencia efectiva. Alemania. 152 p.

### 2.6.1.5 Potencia Neta o Efectiva

Es la potencia obtenida en un cigüeñal o volante de inercia y en un banco de pruebas o dinamómetro portátil, dotado el mismo con los elementos y accesorios normales de funcionamiento, necesarios para el fin previsto. El equipamiento requerido para la determinación de la potencia efectiva <sup>[24]</sup>, según las normas equivalentes DIN 70020, SAE J 1349, y puede calcularse por la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{M_M \cdot n}{9550}$$

$M_M$  = Par motor [Nm]

$P_e$  = Potencia efectiva [kW]

$n$  = Número de revoluciones [1/min]

En este caso solo se consideran, como pérdidas el rozamiento y el accionamiento de mecanismos auxiliares y se puede calcular por el rendimiento mecánico <sup>[25]</sup> de la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

$P_e$  = Potencia efectiva [kW]

$P_i$  = Potencia indicada [kW]

$\eta_m$  = Rendimiento mecánico

### 2.6.2 Relación de transmisión total

En el flujo de fuerza del vehículo intervienen las diferentes transmisiones de cambio, según la marcha (caja de cambios) y la transmisión invariable del puente trasero del diferencial. La relación de transmisión total <sup>[26]</sup>, es la existente entre las revoluciones del motor que pasa por la caja de cambios y el diferencial.

$$i_T = i_c \cdot i_d$$

$$i_T = \frac{n_M}{n_A} = \frac{M_A}{M_M}$$

$$n_A = \frac{n_M}{i_T}$$

$$M_A = M_M \cdot i_T$$

24. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Potencia efectiva. Alemania. 153 p.

25. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Rendimiento mecánico. Alemania. 156 p.

26. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Transmisión total de flujo de fuerzas. Alemania. 190 p.

- $i_T$  = Relación de transmisión
- $i_c$  = Relación de cambio de velocidades
- $i_d$  = Relación del diferencial
- $n_M$  = Revoluciones del motor [1/min]
- $M_M$  = Par motor [Nm]
- $n_A$  = Revoluciones del árbol accionamiento [1/min]
- $M_A$  = Par árbol de accionamiento [Nm]

### 2.6.3 Velocidad del vehículo en distintas marchas

La velocidad del vehículo <sup>[27]</sup> depende del tamaño del neumático, revoluciones del motor y la relación de transmisión total, Figura 12.

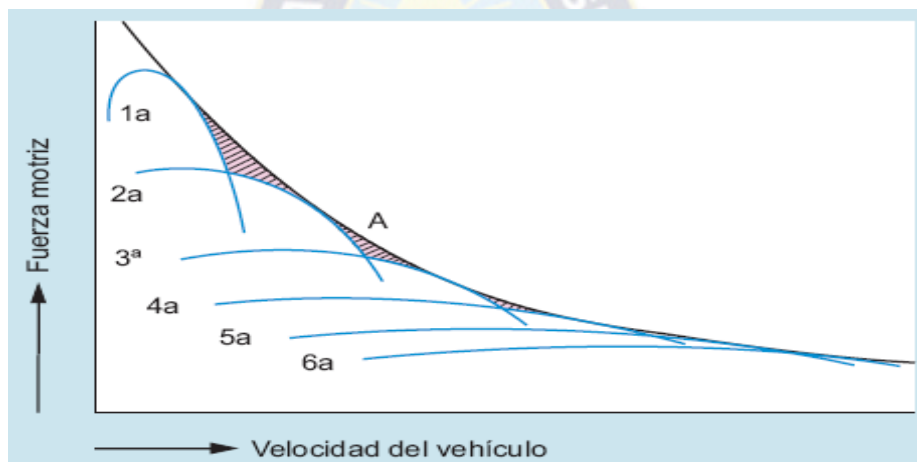


Figura 12.- Marcha en que transita el vehículo a una velocidad

$$V_{(I, II, III, IV, V, R)} = \frac{2 \cdot R_{din} \cdot \pi \cdot n_M \cdot 3.6}{i_{(I, II, III, IV, V, R)} \cdot 60 \cdot 1000}$$

$i_{(I, II, III, IV, V, R)}$  = Relación de transmisión en distintas marchas

$V_{(I, II, III, IV, V, R)}$  = Velocidad del vehículo en distintas marchas [km/h]

$n_M$  = Revoluciones del motor [1/min]

$R_{din}$  = Radio dinámico (mm)

27. MANUAL DE ENTRENAMIENTO TOYOTA. 2010. Velocidad de marcha para distintas velocidades. Embrague y transmisión manual. Japón. 21 p.

28. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Velocidad en distintas marchas. Alemania. 192 p

#### 2.6.4 Mecánica de movimiento

La potencia efectiva del motor, se conduce mediante el mecanismo de transmisión, desde el volante de impulsión del motor, hasta las ruedas motrices, en cada uno de los mecanismos se producen unas pérdidas, que reducen la potencia hasta llegar a ambas ruedas motrices. Por ello aparece en cada rueda motriz la potencia, como la fuerza impulsora <sup>[29]</sup> y la velocidad. La primera de estas se transmite al suelo por las ruedas motrices e impulsa el vehículo hacia adelante.

$$F_A = \frac{P_E \cdot \eta_{TR} \cdot 3600}{V_V}$$

$P_E$  = Potencia efectiva [kW]

$\eta_{TR}$  = Rendimiento del mecanismo de transmisión

$V_V$  = Velocidad del vehículo [Km/h]

$F_A$  = Fuerza impulsora o de accionamiento [N]

#### 2.7 RESISTENCIA A LA MARCHA

La fuerza impulsora de las ruedas, es absorbida por la resistencia a la marcha, Figura 13.

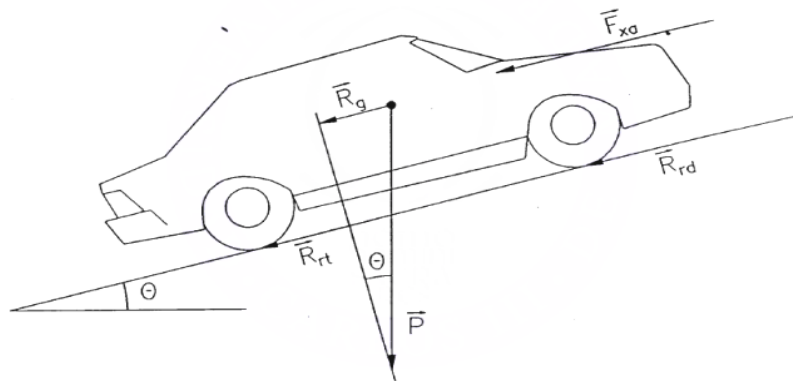


Figura 13.- Resistencias a la pendiente, al aire y rodadura

##### 2.7.1 Resistencia a la rodadura

En su movimiento de rotación sobre el pavimento, las ruedas con neumáticos de goma experimentan otras resistencias además de la propia de rozamiento al rodar. Entre esas otras resistencias, se cuentan las pérdidas por golpeteo de la cubierta, la aspiración que

29. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Mecánica de movimiento. Alemania. 213 p.

hacen las ruedas del suelo y el rozamiento en los cojinetes. Estas distintas influencias se contemplan conjuntamente en el coeficiente de resistencia a la rodadura <sup>[30]</sup>.

$$F_R = \frac{F_N \cdot f_R}{r}$$

$$F_N = G \cdot g$$

$$F_{rod} = f \cdot F_N$$

$F_R$  = Resistencia por rozamiento al rodar [N]

$F_N$  = Fuerza normal del vehículo en el plano horizontal [N]

$f_R$  = Distancia a la aplicación de la reacción [cm]

$f$  = Coeficiente de resistencia a la rodadura

$r$  = Radio de la rueda [cm]

$F_{rod}$  = Resistencia a la rodadura [N]

$G$  = Masa [Kg]

$g$  = Gravedad  $\frac{m}{s^2}$

## 2.7.2 Resistencia del aire

La resistencia del aire o aerodinámico <sup>[31]</sup>, es la fuerza que se opone al desplazamiento del vehículo en marcha y depende de la velocidad del vehículo, de la forma del vehículo en marcha con un coeficiente de penetración, cuando el viento sopla de delante y atrás formando remolinos que se opone al desplazamiento, y también depende del perfil del vehículo.

$$F_{aire} = 0.048 \cdot C_x \cdot A \cdot V_V^2$$

$F_{aire}$  = Resistencia del aire [N]

$C_x$  = Coeficiente de penetración

$V_V$  = Velocidad del vehículo  $[\frac{km}{h}]$

$A$  = Sección transversal del vehículo  $[m^2]$

30. H. KINDER 1984. Matemática aplicada a la técnica del automóvil. Resistencia a la rodadura. Alemania. 215 p.

31. H. KINDER 1984. Matemática aplicada a la técnica del automóvil. Resistencia al aire. Alemania. 217 p.

### 2.7.3 Resistencia en pendiente

Al circular por una pendiente <sup>[32]</sup>, hay que ir levantando continuamente el peso del vehículo. No obstante, la fuerza necesaria para ello, no es la que ejerce el vehículo verticalmente, sino solo la componente, paralela a la pendiente de la carretera.

$$F_{pend} = F_{veh} \frac{h}{l}$$

$F_{pend}$  = Resistencia de la pendiente [N]

$l$  = Longitud del tramo [m]

$h$  = diferencia de nivel del tramo [m]

### 2.7.4 La fuerza sobrante

La fuerza sobrante o impulsora <sup>[33]</sup>, debe vencer las distintas resistencias a la marcha (rodadura, aire y pendiente). Si la fuerza impulsora es mayor que esa resistencia total, se dispone entonces de una fuerza sobrante, que hace que se acelere el vehículo para diferentes cambios de velocidad.

$$F_{sob} = F_A - (F_{rod} + F_{aire} + F_{pend})$$

$F_{sob}$  = Fuerza sobrante [N]

## 2.8 RENDIMIENTO DEL MOTOR

El motor de combustión interna, es una máquina térmica que transforma, la energía química contenida en el combustible en calor mediante la combustión. De este modo, el consiguiente aumento de presión provoca el desplazamiento del pistón, obteniéndose así energía mecánica.

El balance de energía permite conocer cómo se distribuye la energía entregada por el combustible al motor, que cantidad de esta energía realmente realiza trabajo y cual otra es absorbida por el sistema (refrigeración, gases de combustión, ruido, fricción y radiación, etc.).

---

32. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Resistencia en pendiente. Alemania. 219 p.

33. H. KINDER 1984. Matemática aplicada la técnica del automóvil. Fuerza sobrante. Alemania. 219 p.

Para visualizar mejor estos resultados se utiliza el Diagrama de Sankey <sup>[34]</sup>, Figura 14, tomado como base el calor añadido del combustible y posteriormente calculando, el porcentaje que corresponde a la potencial real y a las pérdidas. Por lo tanto el rendimiento mecánico que se alcanza en motores Otto es de 25% y del Diesel de 30%.



Figura.14.- El Diagrama de Sankey

### 2.8.1 La gasolina

La gasolina está compuesto por octanos ( $C_8H_{18}$ ), principalmente, y una mezcla de hidrocarburos, parafínicos, isoparafínicos, oleofínicos, nafténicos y aromáticos, que principalmente contienen moléculas con cadenas de cinco a nueve carbonos, obtenidos en diversos procesos de refinación como destilación, crackeo térmico y catalítico, reformación catalítica, alquilación e isomerización.

Se tiene distintos tipos de gasolina comercial clasificadas en función de su número de octano, en Bolivia se dispone de la Gasolina Especial y la Gasolina Premium que no contienen plomo.

El índice de octano (octanaje) de una gasolina es una medida de su capacidad antidetonante. La gasolina que tiene un alto índice de octano, produce una combustión más suave y efectiva. Existen tres métodos para medir esta propiedad: Número de octano en motor (MON), Número de octano investigado (RON) y el Número de octano en marcha.

34. H. KINDER 1984. Matemática aplicada a la técnica del automóvil. Rendimiento en la transformación de energía. Alemania. 155 p.

El MON es tomado normalmente como una indicación de la habilidad del combustible para prevenir la detonación en motores de altas velocidades, mientras que RON mide la tendencia de detonación a bajas velocidades. Sin embargo, el Número de octano en marcha, es la que muestra realmente cómo se comporta el combustible en el motor en cuanto a su característica de detonación <sup>[35]</sup>.

- La gasolina especial tiene un número de octano 87 RON
- La gasolina Premium tiene un número de octano de 91 RON

### **2.8.2 El gas natural vehicular GNV**

Su composición básica formada principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), que se encuentra en yacimientos en solución o en fase gaseosa, con el petróleo crudo (gas asociado) o bien en yacimientos que no contienen aceite (gas no asociado). Es uno de los combustibles más limpios, que produce bióxido de carbono y vapor de agua y pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno cuando se quema.

Su composición química principal del metano ( $\text{CH}_4$ ).

- De un 90 a 95 % del monóxido de carbono, hidrocarburos reactivos y partículas sólidas.
- De un 30 a 40 % de óxidos de nitrógeno
- De un 20 % de dióxido de carbono.

En seguridad, es menos susceptible a accidentes ya que el gas natural requiere de temperaturas más altas para su ignición. Y es más ligero que el aire, lo cual dificulta su acumulación y por consecuencia la posibilidad de algún accidente.

Para el consumo en relación económica de trabajo se considera 1 m<sup>3</sup> de GNC, equivale a 1.25 litros de gasolina, y según datos oficiales de la ANH publicados por Swisscontact, (Tabla 04), se tiene:

---

35. COSUDE. Proyecto Aire Limpio.2010. Mantenimiento preventivo y afinado del motor. La paz Bolivia. p 26.



	<b>Gasolina</b>	<b>GLP</b>	<b>GNC</b>
Densidad	0.76 kg/l	0.54 kg/l	0.83 kg/m <sup>3</sup>
Poder Calorífico Inferior	43.5 MJ/kg	46 MJ/kg	37.7 MJ/kg
Indice de Octano MON	87...95	95...125	120...130
Velocidad del frente de llama	23...25 m/s	20 ...25 m/s	15...18 m/s
Costo por unidad	3.74 Bs/l	2.25 Bs/kg	1.66 Bs/m <sup>3</sup>
Relación de rendimiento	1l gasol/1l gasol	1kg/1.3 l gasol.	1m <sup>3</sup> /1.25 l gasol.

Tabla 04.- Característica del combustible (Fuente: Swisscontact)

### 2.8.3 Coeficiente lambda de la calidad de mezcla

Su coeficiente lambda de la calidad de mezcla (Tabla 05), es la cantidad teórica necesaria de aire, en el caso de la gasolina es de 14.7 kg de aire por cada kg de gasolina que se vaya a quemar. Y en el GNV es de 17.2 kg de aire por cada kg de GNV que se vaya a quemar.

$\lambda = \frac{\text{Cantidad real de aire aspirado}}{\text{Cantidad teorica necesaria}}$	
<b>Combustible</b>	<b>Relación en masa Aire /Combustible</b>
<b>Gasolina</b>	<b>14.7 / 1</b>
<b>Metano (GNV)</b>	<b>17.2 / 1</b>
<b>GLP (Prop-But)</b>	<b>15.6 / 1</b>
<b>Diesel</b>	<b>15.2 / 1</b>

Tabla 05.- Cantidad teórica de aire para diferentes combustibles (fuente Swisscontact).

Para lograr esta condición se necesita un alto nivel de tecnología garantizando que el peso total de estas sustancias (CO, HC y NOx) en las emisiones son conformes con las normativas sobre emisiones, Figura 15, Es necesario reducir estas sustancias en los vehículos, pero a la vez es importante que los dispositivos de los vehículos cumplan con los estándares en término de vida útil, fiabilidad, seguridad y consumo de combustible.

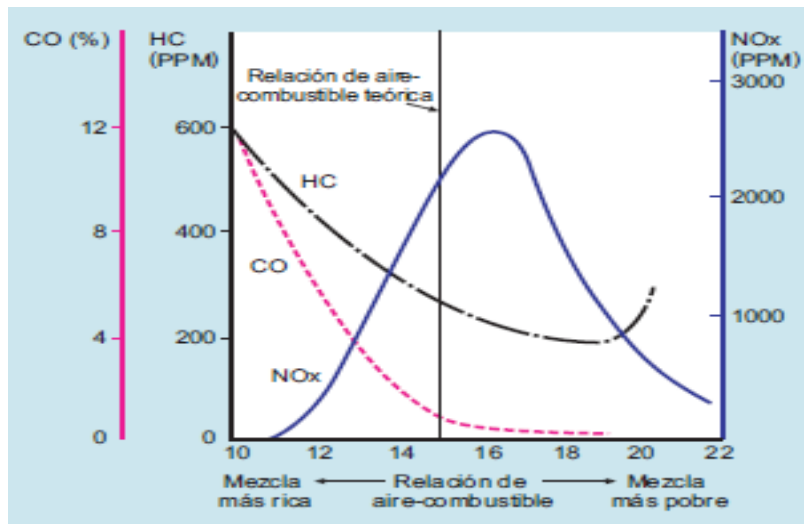


Figura 15.- Mezcla estequiométrica que se muestra en la generación de CO/HC/NOx

El gráfico de relación de aire-combustible <sup>[36]</sup> y la cantidad de CO/HC/NOx, que se genera se produce por el tipo de mezcla:

1. Mezcla más rica:

CO/HC: Aumenta  
NOx: Disminuye

2. Mezcla más pobre:

CO: Disminuye  
HC: Disminuye  
NOx: Aumenta debido a la bajada de la temperatura de combustión.

3. Mientras el motor está frío

Las cantidades de CO/HC generadas aumentan, porque se suministra una mezcla de aire combustible rica.

4. Con una carga pesada

La emisión de gas aumenta, porque aumentan tanto el combustible como el aire.

- Las cantidades de CO/HC generadas aumentan, porque se suministra una mezcla de aire-combustible rica.
- Las cantidades de NOx generadas aumentan, porque aumenta la temperatura de combustión.

36. MANUAL DE ENTRENAMIENTO TOYOTA. 2010. Sistema control computarizado Toyota. Japón. 33p.

## MARCO PRÁCTICO

### MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO DEL MOTOR

El mantenimiento vehicular puede aplicarse a toda organización que cuenta con un área de mantenimiento o presta servicios, sin importar su tipo, su tamaño o la naturaleza del mismo, por lo tanto, un sistema de gestión de mantenimiento (SGM) permite la administración del mantenimiento, Figura 16 en función a las normas ISO 9000, 14000 y OSHAS 18000, cuyo propósito es de permitir que la vida de los bienes y objetos, sea conservadas más allá de su vida útil.

Por lo tanto la política del SGM <sup>[37]</sup> junto con la planificación, implementación, verificación y la retroalimentación, en mejora continua de su desempeño, nos permite investigar su confiabilidad.



Figura 16.- Sistema de gestión del mantenimiento

Por tanto en esta etapa, se identificará el área de mantenimiento automotriz, el cual debe ser analizado siguiendo un sistema de gestión de mantenimiento, que toda empresa o propietario de un vehículo, debe considerar para alcanzar su alta confiabilidad. Con el propósito de administrar el mantenimiento a través de la planeación, organización,

37. IBNORCA NB 12017. 2013. Sistema de gestión de mantenimiento. La Paz Bolivia. 3 p.

dirección, coordinación y control, para una óptima ejecución de las operaciones de preservación del vehículo, durante su ciclo de vida.

### **3.1 POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO**

La política de mantenimiento en el campo automotriz, es hacer eficiente y mantener el parque vehicular en su nivel máximo de rentabilidad y de competitividad. En la medida en que es difícil prever todas las fallas, el mantenimiento correctivo no puede evitarse. Sin embargo, junto al mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo puede minimizarse hasta 3 o 5% del máximo en las fallas aleatorias, mientras con el mantenimiento predictivo puede proporcionar un ahorro hasta del 33% del presupuesto de mantenimiento.

Los programas de mantenimiento, son realizados en base a recomendaciones de los fabricantes del vehículo, los cuales se aseguran en muchas ocasiones de no correr riesgo de falla durante la garantía, a costa de incrementar la frecuencia de mantenimiento preventivo en base al desempeño actual del equipo, para incrementar la disponibilidad y la confiabilidad.

#### **3.1.1 Definición de mantenimiento**

Se tienen varias definiciones de mantenimiento, pero el que más se acerca a nuestra realidad, qué es la de realizar el diagnóstico del desempeño vehicular<sup>[38]</sup>, es el siguiente:

“Mantener no solo significa tener el equipo funcionando, sino tenerlo en la más alta condición de servicio. Con ello el equipo y la compañía pueden y cumplirán con las severas condiciones impuestas por los reglamentos técnicos y las normas medioambientales”. Klijin A. -2000.

Actualmente el mantenimiento ha adquirido gran importancia, afrontando lo que se denomina “la tercera generación”, etapa caracterizada por la disponibilidad de equipos electrónicos de inspección y diagnóstico, con control sumamente fiables, para conocer el estado real de los equipos, a través de mediciones periódicas o continuas con determinados parámetros.

---

38. RAMIRO W. PERALTA URÍA, 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Introducción al mantenimiento. La Paz Bolivia. 4p.

### 3.1.2 Objetivo del mantenimiento

Es seguir los avances tecnológicos del mantenimiento a través de la gestión de herramientas que proporcionan, la mejora en su desempeño, con una adecuación de los equipos a la condición de operación, y poder alcanzar un nivel de mantenimiento.

Por lo tanto el objetivo del mantenimiento en el campo automotriz, consiste en mantener la disponibilidad del parque vehicular, con el menor costo posible, con un sistema de mantenimiento moderno, que amplifica la eficiencia energética del mismo.

Cada tipo de empresa o propietario de vehículo, necesita de un servicio de mantenimiento adecuado a su proceso productivo, por eso el mantenimiento, es ante todo y sobre todo, un servicio. Por lo tanto el control constante de los vehículos y/o componentes, de trabajos de reparación y diagnóstico son necesarios para garantizar el funcionamiento regular, del buen estado de conservación de sus sistemas, (Anexo A).

Consecuentemente el servicio de mantenimiento es mensurable, (Anexo B) y puede expresarse en cifras como:

- Kilómetros de recorrido
- Calidad de servicio
- Elevada disponibilidad
- Mínimo costo
- Máxima seguridad
- Rendimiento energético (traducidas en la eliminación de pérdidas de energía, que agrava la economía de la empresa).

Y como fin último del servicio de mantenimiento, se considera el momento que debe cesar la vida útil de la maquina (bien por obsolescencia, o bien por pérdida de rendimiento).

### 3.1.3 Tipos de mantenimiento

El mantenimiento debe posibilitar la disponibilidad del vehículo, disminuyendo las averías imprevistas, y aumentando la fiabilidad, en definitiva reduciendo los costos y contribuyendo a la eficiencia global de la conservación del medio ambiente. Siguiendo así los tipos de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo <sup>[39]</sup>.

---

39. RAMIRO W. PERALTA URÍA, 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Tipos de mantenimiento. La Paz Bolivia. 37p.

### **3.1.3.1 Mantenimiento preventivo**

Conjunto de actividades programadas de antemano, encaminadas a reducir la frecuencia e impactos de fallos. Su característica principal, es la de detectar fallas, en su fase inicial y corregirlas oportunamente, según lo que indica el fabricante del vehículo, es decir incluye todo los ajustes de mecanismos, hasta cambio de conjuntos, su aplicación es menos costosa y consume menor tiempo y paros.

### **3.1.3.2 Mantenimiento correctivo**

Conjunto de actividades en la reparación y sustitución de elementos deteriorados, que se realiza cuando aparece la falla imposible de predecir. El mantenimiento correctivo, es realizado después de la falla, ya sea por síntoma o por falla total. Este tipo de mantenimiento esta fuera del programa, su ejecución es inmediata, y su costo es elevado, los tiempos de paro del vehículo son prolongados. Los fallos no detectados a tiempo, pueden causar daños irreparables en otros elementos.

### **3.1.3.3 Mantenimiento predictivo**

Conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico que permite una intervención correctora inmediata, como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. En la parte administrativa de gestión y planificación del mantenimiento le permite programar, adecuadamente el mantenimiento en el momento más adecuado.

La base de la predicción de averías, es la corrección que pueda establecerse, si es posible de causa y efecto, entre una falla y su síntoma que refleje un funcionamiento normal o crítico (límite de alerta) cuyo valor máximo, permita un parámetro de diagnóstico (límite de alarma). Los valores de estos límites o indicadores, lo da el fabricante, su seguridad, lo económico, lo ambiental y la experiencia.

Su monitorizado de nivel de deterioro en el vehículo es de dos tipos:

- Monitorizado continuo o permanente del propio vehículo, gracias a la ECU que posee el vehículo, muestra una alarma visual que informa de la zona de alerta.
- Monitorizado discontinuo, que dependerá de la utilización de equipos de monitorización, aplicadas al motor combustión interna y técnicas de

diagnóstico más conocidas: el Análisis de Vibraciones, el Análisis de Aceite Lubricante, Termografía y el Análisis del Rendimiento Operacional.

### 3.2 PLANES DE MANTENIMIENTO

Fijar una política de mantenimiento de vehículos, es ante todo, contestar a las preguntas siguientes:

- ¿Hasta cuándo hay que conservar los vehículos, para que las operaciones de mantenimiento, no rebasen el grado de complejidad, que el laboratorio o taller puede aceptar?
- ¿Cuál debe ser el nivel de los equipos y herramientas del taller o laboratorio para hacer estas operaciones?

La respuesta puede desglosarse en siete niveles de complejidad creciente el mantenimiento preventivo de vehículos:

- Nivel 0 Operaciones de conservación (engrase, cambio de aceite, filtros)
- Nivel 1 Plan de mantenimiento por recorrido, etc. (diagnóstico, control y afinación del motor)
- Nivel 2 Reparaciones de partes que sufren desgaste continuo (frenos, embrague, neumáticos)
- Nivel 3 Cambio estándar de elementos (piezas y accesorios)
- Nivel 4 Reparación componentes (sensores, alternadores, radiador, componentes electrónicos, etc.)
- Nivel 5 Reparaciones del tren motriz (motor, caja de velocidades, diferencial)
- Nivel 6 Reparaciones especializadas (aire acondicionado)
- Nivel 7 Pintura y estructura de la carrocería

Desde luego, cada empresa o propietario puede adaptar un modelo que el fabricante le sugiere según la marca, a sus propios requisitos de concebir un plan de mantenimiento para cada vehículo.

### 3.2.1 Organización del mantenimiento predictivo

Siguiendo la organización del mantenimiento predictivo <sup>[40]</sup>, la planificación, prepara los programas de inspección en función de periodos (kilómetro de recorrido) previsto entre ellas, en función de la información almacenada en un historial de cada vehículo.

El centro de inspección Figura 17, es el encargado de monitorizar los síntomas, gracias a instrumentos de medida como: el escáner, dinamómetros, analizador de gases y personal especializado, con las rutinas de inspección y diagnóstico de la posible causa, recomendando la operación pertinente en el taller, realizando las operaciones necesarias para corregir las anomalías de su estado.

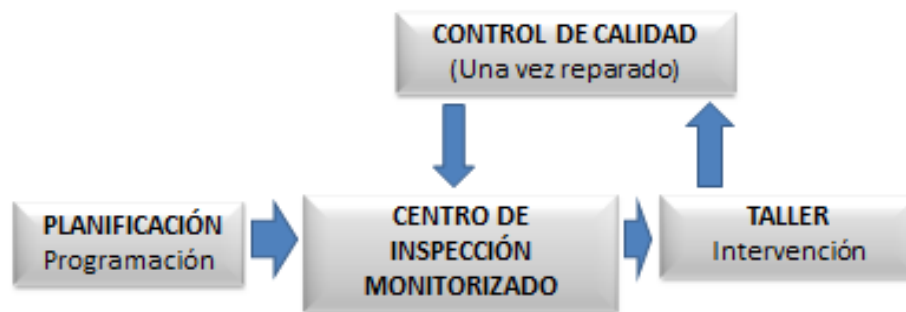


Figura 17.- Centro de inspección monitorizado Modelo adoptado por el Instituto de Investigaciones Mecánicas de la UMSA

### 3.2.2 Confiabilidad

La confiabilidad se refiere a la probabilidad de que un sistema o equipo, pueda funcionar correctamente sin falla, por un tiempo específico. El problema de garantizar y mantener la confiabilidad tiene muchas facetas, entre otras, el diseño de equipo original, el control de calidad, la inspección de aceptación, las pruebas de campo y las modificaciones del diseño.

Un producto puede funcionar satisfactoriamente bajo un conjunto de condiciones, pero no bajo otro, ya que un rendimiento satisfactorio, para un propósito determinado, no garantiza un rendimiento adecuado para otro propósito, como para el caso de la conversión dual de gasolina a gas natural vehicular.

40. RAMIRO W. PERALTA URÍA, 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Organización del mantenimiento predictivo. La Paz Bolivia. 246 p.



### 3.3 DIAGNÓSTICO

El diagnóstico vehicular, representa el principal período de afinación vehicular, si esta sección no funciona o funciona mal, todo el ciclo de mantenimiento vehicular se verá afectado y se reflejará en la pérdida de los resultados energéticos y mecánicos de los parámetros permitidos.

Las fallas, se producen a formas inadecuadas de trabajo, mantenimiento mal realizados o deficientes reparaciones, por lo tanto es imprescindible conocer las causas que lo han originado y eliminarlas.

El diagnóstico de las fallas se puede definir como la investigación de los síntomas<sup>[41]</sup>, que lleven a la detección y aislamiento de la falla, causante de una irregularidad en el vehículo con una disminución de las prestaciones.

La base del diagnóstico Figura 18, es la relación existente entre las manifestaciones externas cuantificables (síntomas que determinan el estado de funcionamiento) y se dispondrá como una herramienta útil de diagnóstico de esta falla. (Anexo C), y recomendar su posible solución al taller.

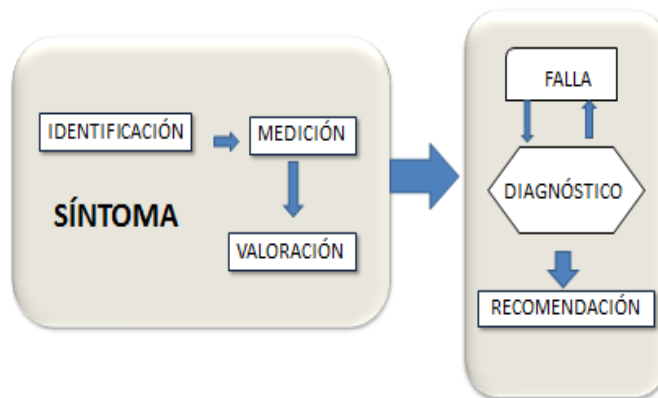


Figura 18.- Identificación de falla y diagnóstico

La relación de las fallas a partir de la investigación de los síntomas y acontecimientos se puede realizar de dos formas:

- Sobre la base de un conocimiento del comportamiento del motor y sus componentes en estado de funcionamiento normal y anormal.
- Mediante la experiencia adquirida en el diagnóstico y mantenimiento del motor.

41. RAMIRO W. PERALTA URÍA, 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Diagnóstico de fallas. La Paz Bolivia. 275 p.

Con esta línea de investigación se pretende aplicar como herramienta de evaluación, el diagnóstico, como base del mantenimiento predictivo, de tal manera que se pueda intervenir en caso de falla en la obtención de potencia efectiva y las emisiones de gases por encima de la norma o “Firma de diagnóstico” ya establecida.

Una vez que el motor a gasolina ha sido convertido a gas natural vehicular, se pasa a un área de diagnóstico y control de calidad o fiabilidad, para lo cual se cuenta con equipos de laboratorios, como el escáner, analizador de gases y los dinamómetros que pueden verificar los resultados del estado físico del motor convertido, detectando las causa de la falla.

### **3.3.1 Técnicas de diagnóstico predictivo**

Las técnicas de diagnóstico pueden ser definidas, como todas aquellas pruebas de medida de síntomas con el tratamiento de la información, trabajando dentro de una normativa, el cual permite conocer la condición de vehículo, en tiempo presente y prever su estado futuro.

Para el desarrollo del mantenimiento predictivo <sup>[42]</sup>, se emplea diversas técnicas de diagnóstico aplicadas a los distintos sistemas del vehículo. En el caso del motor, el objetivo es diagnosticar su estado (compresión, potencia, combustión, reglaje, y emisión de gases de escape, etc.) a través del análisis de prestaciones como potencia efectiva, rendimiento mecánico y niveles de emisiones de gases de escape. También estos análisis de síntomas pueden complementarse con el análisis de aceite, vibraciones y termografía, que son técnicas de monitorizado general y continuo en el mantenimiento basado en la condición y el mantenimiento proactivo.

Sobre la base que una técnica de mantenimiento predictivo, debe cumplir los requisitos de ser:

- No intrusiva con los sistemas
- No invasiva con el proceso de funcionamiento
- Sin desarmar ni desmontar nada
- Debe efectuarse en breves periodos de tiempo
- Registro de datos en tiempo real
- Fiable en sus resultados con elevada precisión de lectura del síntoma
- Insertarse en un protocolo de inspección

Las técnicas de diagnóstico e instrumentos en el monitorizado de motores de combustión interna son variados y dependientes de la tecnología y su fabricación, en la Figura 19 se muestran algunos que son utilizados en las pruebas.



Figura 19.- Instrumentos de diagnóstico del motor de combustión interna

### 3.4 CICLO DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para tener una mayor claridad respecto a la forma de trabajo que posee el Sistema de Mantenimiento Predictivo, se detallará su ciclo de operación general.

- a.- El motor es periódicamente monitoreado a través de la unidad de control electrónica ECU del propio vehículo y diferentes técnicas de diagnóstico, definido en el manual de mantenimiento del vehículo, y para kit de conversión a GNC. Se implementa adicionalmente un programa de mantenimiento, que lo da el fabricante del kit, el cual debe monitorearse una vez realizado la conversión a GNC, verificando su confiabilidad con el dinamómetro y el analizador de gases como parte del mantenimiento predictivo en los tiempos establecidos.
- b.- Los parámetros medidos, serán comparados con las alarmas de operación o firmas de comportamiento previamente definidas, mostradas en tablero de instrumentos y por las normas establecidas, en un historial del vehículo.

---

42. Recomendaciones para su auto propulsado a GNC. [consulta: 30 mayo 2013] <<http://www.Cayber%20gnc%20%20mantenimiento.com.mx>>

- c.- El análisis deberá ser efectuado por personal especializado, que mediante el diagnóstico definirá la necesidad de incrementar, los intervalos de medición o de programar una reparación.
- d.- Si el análisis ha definido, la necesidad de efectuar la reparación del motor, ésta se llevará a cabo de acuerdo a lo programado. Una vez ejecutado el trabajo será necesario tomar una nueva medición de parámetros, a fin de evaluar el óptimo funcionamiento del motor y que éstos se constituyan como línea referencia.
- e.- Por último, el motor volverá a su monitoreo periódicamente por la ECU, hasta que se produzca una nueva alarma operacional, si se presenta alguna falla, cumpliendo así un ciclo de diagnóstico.

### 3.4.1 Curva de tasa de falla - tiempo

La probabilidad de que ocurra una avería y que la falla se represente durante la conversión y puesta en marcha del motor convertido a un sistema dual, sean fallas aleatorias y fallas dependientes del tiempo, que es representado por una Grafica de Davies <sup>[43]</sup>, más conocida como la curva de la bañera, Figura 20, que representa los tres periodos de vida (infancia, útil y desgaste), que pudiera presentar toda conversión realizada a GNC.

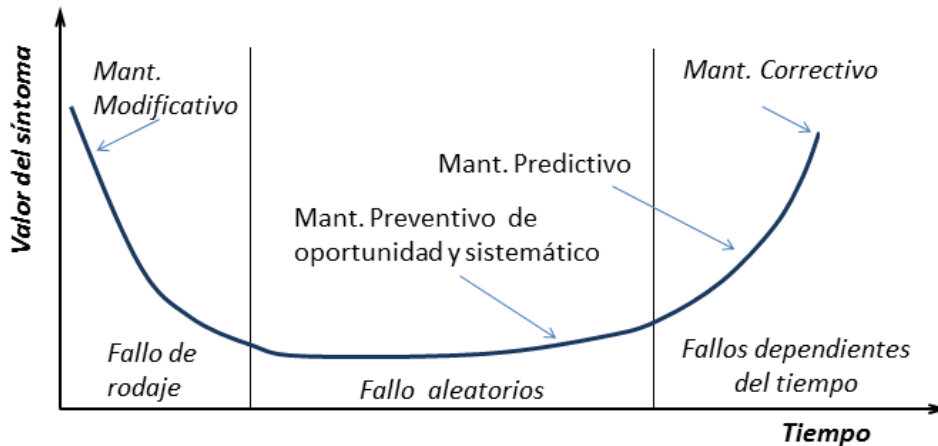


Figura 20.- Curva de la bañera y frecuencia de inspección según la etapa de utilización.

43. RAMIRO W. PERALTA URÍA, 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Evaluación de la curva de tasa de falla-tiempo. La Paz Bolivia. 269p.

### **3.4.2 Definición de síntoma**

Los síntomas se definen, como toda manifestación externa cuantificable, que determina el estado o funcionamiento del motor y componentes, constituyéndose como una herramienta de diagnóstico para el caso del motor, para determinar la potencia efectiva, el rendimiento mecánico y el control de emisión de gases , directamente del instrumento.

La cuantificación de los síntomas, como parámetro de diagnóstico se establece límites de condición de funcionamiento normal, crítico y de falla según el fabricante y la norma emitida por IBNORCA en nuestro país <sup>[44]</sup>. Cuando se sobrepasa debe estudiarse la causa de la anomalía con el fin de evitar la falla. Considerando el límite de alerta, como el valor extremo máximo de funcionamiento normal, y el límite de alarma, al valor extremo máximo permitido como parámetro de diagnóstico.

### **3.4.3 Correlación mediante tablas de síntoma**

Consiste en asignar a un síntoma las posibles fallas causantes del mismo. Estas tablas contienen posibles acciones correctivas para resolver un problema, es una correlación comúnmente utilizada en el mantenimiento convencional y diagnóstico (siguiendo manuales de fabricantes), (Anexo C).

---

44. IBNORCA NB 12017. 2013. Sistema de gestión de mantenimiento. La Paz Bolivia. 7 p.

## CONVERSIÓN DEL GNC DE 5TA GENERACIÓN

El objetivo del kit de 5ta generación es lograr que el funcionamiento en gas del vehículo sea lo más parecido posible al funcionamiento en gasolina <sup>[45]</sup>. Si el sistema está bien ajustado, los tiempos de inyección de gasolina generados por la ECU del vehículo deberán ser iguales a los tiempos de inyección de gasolina con el sistema funcionando a gas, para la mayoría de las condiciones de funcionamiento del motor. Este ajuste se logra mediante un programa del fabricante.

Antes de realizar la instalación de los diferentes componentes del sistema, es bueno controlar el funcionamiento a gasolina del vehículo. En particular, verificar cuidadosamente el estado del equipo eléctrico de encendido, el filtro del aire, el catalizador y la sonda lambda.

### 4.1 INSTALACIÓN DEL CILINDRO

Es un accesorio que permite almacenar gas natural vehicular hasta una presión de 200 Bar, básicamente es un recipiente sin costura de acero al manganeso, colocado bajo el chasis o en carrocería en una cuna de cilindro, retenido con fajas de sujeción, evitando que se apoye el cilindro sobre el soporte metálico Figura 21, con una ventilación directa debiendo tenerse ciertos cuidados en su instalación:

- Las válvulas deben estar protegidos contra golpes
- La distancia mínimo entre el cilindro y borde de la carrocería debe ser mayor a 10 mm.
- La distancia al sistema de escape debe ser mayor a 50 mm.

---

45. ROMANO AUTOGAS, 2012, Manual de instalación y asistencia técnica, Italia.



Figura 21.- Instalación del cilindro y cuna en el vehículo Suzuki Carry de ensayo

#### 4.1.1 Válvula de cilindro

Tiene la función de vincular, el cilindro con la línea de alta presión (tubo de alta presión) a través de conexión (Niples de alta presión Virola), y la de operar manualmente, el paso de gas, desde o hacia el cilindro. Figura 22.

Su rosca cónica, permite ser hermanada al cilindro de GNC con un torque máximo de 25 kg m., su cuerpo es fabricado a partir de bronce forjado.

Tiene sistema de seguridad de doble efecto (Disco de estallido), que permite liberar gas del interior del cilindro, cuando la presión interna supera valores preestablecidos o cuando por acción del fuego directo, el elemento fusible se derrite.

A su vez se incluye un sistema denominado exceso de flujo, el cual frente a un accidente (rotura del caño de alta presión) la válvula cierra el flujo de salida de gas no permitiendo un eventual aumento de la presión en el interior del cilindro por acción del calor.



Figura 22.- Válvula de cilindro

#### 4.1.2 Línea de cañería de alta presión

Es una cañerías y conducto de acero, sin costura destinada a conducir el flujo de GNC, toda tubería de alta presión, deben tener amortiguadores de vibración (rulos) junto a las conexiones, para evitar esfuerzos en estos puntos. La cañería de diámetro 6 x 1 mm CIRC 4043-2002 con empalmes en los dos lados con niples de unión. Figura 23.



Figura 23.- Línea de cañería de alta presión diámetro 6x1 mm y niples de unión

#### 4.1.3 Válvula de llenado

Es el accesorio que permite el libre paso del gas del surtidor a los cilindros, en el momento de llenado, adicionalmente evita que el gas se devuelva hacia la atmosfera por el orificio de carga. Figura 24.



Figura 24.- Válvula de llenado tipo pico de bayoneta

#### 4.1.4 Electroválvula de GNC

La electroválvula de GNC, tiene la función de interrumpir el pasaje del gas, proveniente del cilindro de gas en su circulación, hacia el reductor. Figura 25.



Esta válvula, utilizada únicamente en los vehículos a inyección, es activada por un solenoide y tiene por función el cierre absoluto del paso del gas, cuando así se le indique por medio de la llave conmutadora y la centralita.

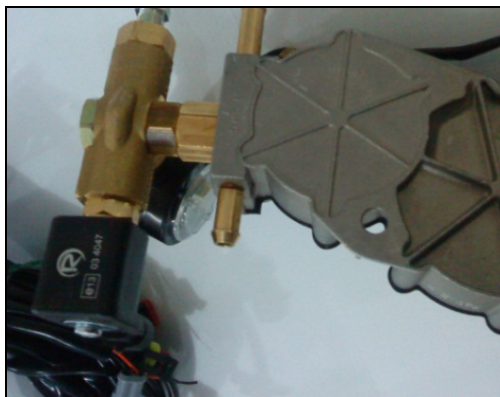


Figura 25.- Electroválvula de GNC

#### **4.2 REDUCTOR GNC**

El reductor debe ser fijado a la carrocería de manera sólida y que no esté expuesto a vibraciones durante el funcionamiento. Se puede instalar el reductor con cualquier orientación, mejor si es paralela a la dirección de marcha. Figura 26.

Al instalar se debe evitar zonas demasiado incómodas, para poder efectuar eventuales operaciones de mantenimiento sin dificultades. Para lo que concierne la conexión del agua, ésta debe ser efectuada en paralelo, en relación al circuito de calefacción del habitáculo del vehículo.

El tubo que conecta el reductor y al riel no debería superar un largo de 200 - 300 mm, asegurado el empalme con abrazaderas y seguros en los conductos de goma.

El cable del sensor de temperatura no debe ser demasiado tenso, ni retorcido, ni formar pronunciados pliegues a la salida del sensor mismo.

La electroválvula al reductor no debe pasar por zonas del compartimiento motor demasiado calientes.

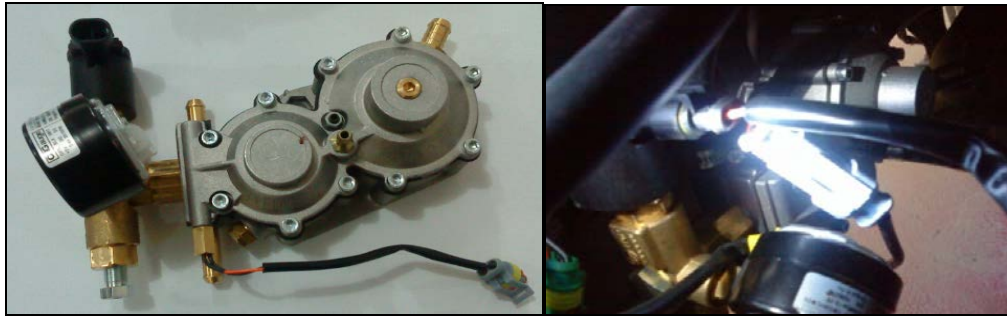


Figura 26.- Reductor o regulador de presión de GNC, suelto e instalado en vehículo de pruebas

La conexión del cableado debe ser hecha según las conexiones del diagrama, durante la conexión del sistema de gas secuencial, se debe prestar especial atención a la relación del regulador de presión en función de la potencia del motor y las boquillas de los inyectores.

Si la presión de GNC cae por debajo del valor mínimo configurado en el controlador, el sistema volverá a trabajar a gasolina. El regulador de presión debe estar regulado cercano a 1 bar (estos valores pueden regularse en el software del calibración).

### 4.3 INSTALACIÓN RIEL INYECTORES SOBRE VEHÍCULO

Se tiene riel de tipo estándar con los inyectores que debe ser fijado en el vehículo lo más cercano al motor y culata, no es importante su orientación. Figura 27.

La fijación debe ser estable, y cercana a la culata del motor de manera que los tubos de conexión con el colector de aspiración sean lo más cortos posible, no debe superar los 200 mm de largo de los inyectores.

En caso de inyectores sobre un lado del tubo debe unirse con el apropiado seguro de empalme, considerando los criterios de buena instalación de tubos y cables eléctricos.



Figura 27.- Instalación de riel de inyectores RRDM/6 E 13 110R0001113 en el motor Suzuki

#### 4.4 SENSOR DE PRESIÓN ABSOLUTA DEL COLECTOR (MAP)

El sensor debe ser fijado a la carrocería, evitando zonas de fuerte irradiación de calor. Figura 28. Lo ideal sería que el tubo fuera lo más corto posible y no supere los 400 mm de largo.

Los cables eléctricos no deben ser demasiado tensos, ni retorcidos, ni formar pliegues pronunciados a la salida del sensor mismo.



Figura 28.- Sensor de presión absoluta MAP

#### 4.5 TUBERÍAS DE CONEXIÓN

Los tubos o mangueras de goma. Figura 29 se conectan con empalmes en los dos lados, con seguros y abrazaderas:

Manguera de goma GNC G7R-01 0145 110R-000017- CLASE 2 4X10 / 05/12.

Manguera de goma RUBBER HOSE AIR-WATER 10-5X10,5 mm.

Manguera de goma RUBBER HOSE VARIO PRESS 10 Bar Made Italy

Manguera de goma GNC G7R-01 0145 110R-000017- CLASE 2 6X13 / 06/12.



Figura 29.- Mangueras de goma, en corte por herramienta y ajuste de seguros en terminales

En las aplicaciones para los inyectores, se utiliza la tubería que debe ser cortada al largo deseado, para luego instalar sobre ella un empalme de seguro con una pinza apropiada.

### 4.5.1 Boquillas

La instalación de boquillas constituye uno de los momentos más importantes de todo el trabajo, Figura 30, utilizando las herramientas específicas, que forman parte del sistema Inyección, se individualiza con claridad todos los puntos del colector, que se deberá perforar, bastante cerca posible de la culata del motor, pero manteniendo la misma distancia en todas las ramas del colector y la misma orientación de las boquillas, perpendicular al eje del conducto de aspiración, formando un ángulo  $30^\circ$  que permite dirigir el flujo hacia el motor.

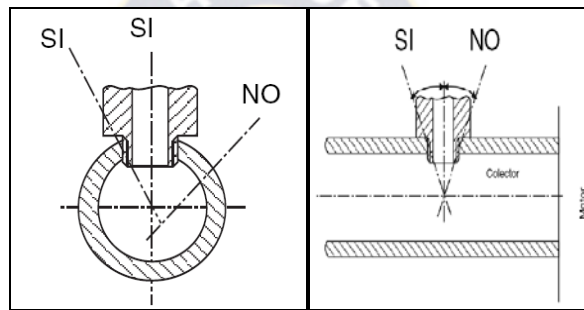


Figura 30.- Posición de perforación de la boquilla con un ángulo de 30 grados en dirección a la admisión. Sobre los colectores de admisión, individualizar las zonas de pared más gruesas posible, señalado cuidadosamente los puntos de perforado, antes de empezar con el taladrado equipado con broca, verificar la ausencia de problemas de espacio que puedan impedir el correcto perforado, según la dirección deseada de la boquilla. Figura 31.

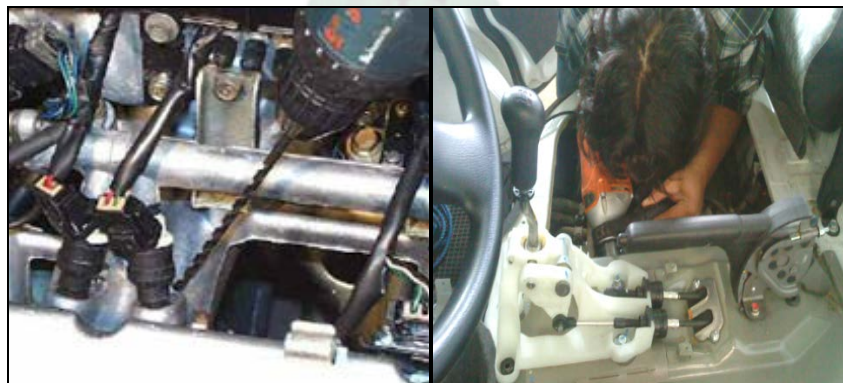


Figura 31.- Perforación del múltiple de admisión cerca al inyector de admisión

Utilizar un macho helicoidal de roscar de 5 mm correctamente dirigida y luego enroscar M6. Durante el perforado y el enroscado, prestar atención en evitar que las virutas formadas caigan en el colector utilizando una aspiradora.

CILINDRADA	Tipo de boquilla	Calibre (mm)
De 900 cc a 1200 cc 8 v	O	ϕ 1.9
De 1200 cc a 1590 cc 16 v	A	ϕ 2.2
De 1600 cc a 1750 cc	B	ϕ 2.6
De 1800 cc a 2000 cc	C	ϕ 3.2
De 2500 cc a 2550 cc	HD 2.6	ϕ 2.6
De 2550 cc adelante	HD 3.0	ϕ 3.0

Tabla 06.- Boquilla de empalme según la cilindrada del motor Suzuki Carry de 1590 cc,

Con la ayuda de llave de 10 mm, atornillar cada boquilla al empalme del múltiple utilizando un tipo de boquilla  $\varnothing$  2.2 mm según la (Tabla 06) anterior, especificada en función de la cilindrada de 1590 cc., para este motor.

Con el previo uso de un apropiado producto sellador, atornillar sobre el agujero del colector, la boquilla con la relativa tubería de admisión. Figura 32. Siguiendo el manual no modificar por ningún motivo el diámetro interno de las boquillas, ni su forma externa.



Figura 32.- Roscado del con herramienta, pegado con el sellador la boquilla en múltiple admisión

#### 4.6 UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL GNC

Puede ser fijada en el compartimiento motor, utiliza la brida y agujeros de fijación, que hay en la caja de aluminio evitando someter la estructura a esfuerzos excesivos. Figura 33. Y también evitar zonas excesivamente calientes.

Si bien la ECU es hermética, evitar la instalación en zonas sujetas a continuo goteo en caso de lluvia, para que el agua no se infiltre y no estanque en el cableado en las relativas vainas de acople.

Ninguna regulación está prevista para la centralita, entonces no es indispensable instalarla en un lugar accesible.



Figura 33.- Centralita de kit de conversión GNC y su instalación en vehículo

La centralita recibe información de diferentes sensores para su toma de decisión correspondiente de pasar de un combustible de gasolina a GNC.

- Temperatura de inyección de la gasolina
- Temperatura del gas
- Temperatura del reductor
- Presión de gas
- Depresión del colector de aspiración
- RPM del motor
- Señal lambda
- Corrector de mezcla

#### 4.6.1 Cableado del sistema

El cableado se realiza muy cuidadosamente, evitando forzar sobre las conexiones (nunca tirar sobre los cables para hacer pasar un conector por un agujero o para desconectarlo).

Figura 34.

Evitar pliegues demasiado marcados, torsiones exageradamente fuertes con abrazaderas, arrastres contra partes en movimiento, etc.



Figura 34.- Cableado del sistema de conversión GNC de 5ta generación

Evitar que algunas partes del cable sean demasiados tensos cuando el motor está bajo esfuerzo. Fijar adecuadamente las partes de cable cerca de los conectores. Evitar colocar los cables del sistema muy cerca de los cables de las bujías o de otras partes sujetas a alta tensión.

Todas las conexiones no cableadas deben ser empalmadas con soldadura blanda (soldadura de estaño) y ser adecuadamente aisladas, siguiendo el diagrama de instalación.

#### **4.6.2 Conexión eléctrica**

Las centralitas se conectan con el resto del equipo eléctrico del sistema (alimentaciones, masas, señales, sensores, actuadores, etc.) a través de un conector de polos que contiene todas las señales necesarias para las diferentes funciones. Figura 35.

La mayoría de los cables del cableado terminan sobre conectores ya cableados, entonces resulta muy sencillo conectar los elementos del sistema a la centralita.

Todas las conexiones relativas a los cables que no terminan sobre conector deben ser realizadas a través de soldaduras de estaño y aislarlas.







Figura 36.- Electroválvula tipo Romano Fast REIN/04 CLASS-2A

#### 4.7 INYECTORES GAS

Los inyectores gas, están conectados al cableado, a través de los cables con conectores ya cableados en orden “L1”, “L2”, “L3”, “L4”. Figura 37.

Los conectores de los inyectores gas están numerados del 1 al 4 de la misma manera están numeradas los cables que tendrán que ser conectados a los inyectores gasolina impresas.



Figura 37.- Conexión de las electroválvulas en el motor Suzuki Carry

#### 4.8 ALIMENTACIÓN Y MASAS BATERÍA

En el conector se indica que tendrán que conectarse a la batería del vehículo: el cable rojo al positivo y los negros al negativo. Figura 38. Es importante conectar los cables así como se encuentran, dejando que alcancen separadamente las abrazaderas de la batería.



Figura 38.- Alimentación del kit de inyección secuencial GNC.

#### 4.8.1 Fusibles y relé

A la salida del conector de la batería están presentes dos fusibles de 15A y 5A del equipo. El cableado está provisionado con dos fusibles de correcto amperaje, insertados en el sitio correcto. Figura 39.



Figura 39.- Fusible y relé que protege la centralita del GNC

#### 4.8.2 Conmutador

El conmutador tiene un modo de sujeción de marco circular, efectuando un agujero de 23 mm., he insertando el conmutador con su marco circular, que permite el pasaje del cable y pegando del conmutador con su marco circular al tablero de instrumentos. Figura 40.

El cable conector se utiliza para la conexión de la centralita al avisador sonoro (buzzer) que indica el vaciado total del cilindro del tanque de Gas, la indicación que le permite al operador saber si el sistema, se encuentra funcionando a Gasolina (color anaranjado), o Gas (color azul).

Al poner en marcha el motor, el sistema arranca en gasolina. Antes de que pueda pasar a gas, espera que se cumplan ciertas condiciones. El sistema no se pasa a gas, hasta que no

haya transcurrido el tiempo, ni la temperatura del agua establecido desde el momento en que se puso en contacto el vehículo.

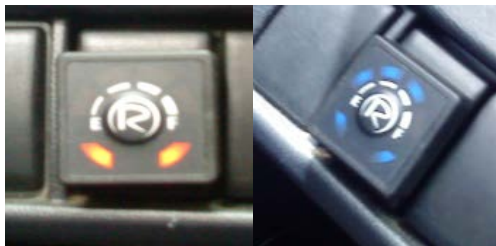


Figura 40.- Conmutador en gasolina y GNC

### 4.8.3 Sensor de nivel

Se instala normalmente junto al regulador, el sensor de nivel de tipo resistivo que se conecta al cableado directamente a través del conector de 2 polos. El manómetro se monta sobre el regulador, en una "T" dispuesta para este fin. Figura 41.

La conexión entre centralita y sensor puede efectuarse a través del apropiado cable de extensión que termina sobre el conector específico del sensor de nivel para el manómetro GNC.

Es el encargado de medir la presión existente en el cilindro contenedor y por lo tanto también el nivel de carga del mismo.

Cuenta con un dispositivo electrónico que envía la señal a la llave conmutadora en el interior del habitáculo del vehículo, para indicar por medio de leds (diodos luminosos), el estado de carga del cilindro.



Figura 41.- Sensor de nivel o manómetro de presión

#### 4.8.4 Sensor de presión y temperatura gas (TPS)

El sensor de presión y temperatura gas, se encuentra directamente sobre el riel (dedicado para inyectores). La conexión con el cableado se hace a través del apropiado conector de 2 vías. Figura 42.

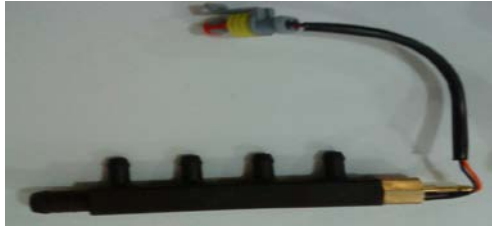


Figura 42.- Sensor de presión y temperatura de gas

#### 4.8.5 Señal de contarrevoluciones motor

El sistema es capaz de adquirir la señal de velocidad de rotación del motor (llamada señal revoluciones o señal RPM) conectándose directamente a la señal del cuentarrevoluciones, que va de la centralita gasolina al cuentarrevoluciones, este cable no debe ser cortado, sino sólo pelado, soldado y aislado.

#### 4.8.6 Señal sonda lambda

El objetivo del sensor de oxígeno o lambda, es indicar a la ECU el tipo de mezcla que está quemando en el motor, donde debe trabajar con mezcla estequiométrica  $\lambda=1$ .

Para esto se conecta el cable violeta de la centralita con la sonda lambda, Figura 43. El cual determina la mezcla real, de rico o pobre, pasando la información a la centralita del GNC, produciendo un auto-mapeado, afinando el funcionamiento del motor.



Figura 43.- Señal de la sonda lambda

#### 4.9 CONEXIÓN TOMA DE DIAGNÓSTICO

La conexión del ordenador a la centralita se basa sobre una toma de diagnóstico que sale directamente del cableado. Se trata de la toma de diagnóstico con conector 3 vías (puerta hembra en el cableado), equipado con tapón de protección. La toma de diagnóstico se encuentra normalmente cerca del conector polos de la centralita.

Para la conexión con el ordenador, hace falta el apropiado cable de interface de diagnóstico a la computadora que interactúa con el programa del fabricante. Figura44.



Figura 44.- Toma de diagnóstico e interface del funcionamiento con la computadora del motor Suzuki Carry convertido a GNC

#### 4.10 PROGRAMA DE APLICACIÓN DEL KIT DE CONVERSIÓN A GNC

La inyección de combustible en un motor a gasolina es dosificada por la ECU (unidad de control electrónica) a través de impulsos eléctricos, que controlan el tiempo de inyección de combustible en la cámara de admisión. En cada ciclo, la ECU genera un pulso de inyección, cuya duración depende de la cantidad de combustible necesaria, a mayor tiempo de apertura del inyector, mayor combustible será utilizado en la mezcla.

Es la ECU del vehículo quien decide cuanto combustible debe utilizar en cada ciclo, según las variables que se presentan en las distintas situaciones de funcionamiento del motor (ralentí, aceleración, con o sin carga, temperatura y cantidad de aire entrante en el sistema de admisión).

El sistema, cuando realiza la conmutación a gas, anula la inyección de gasolina, y la sustituye por la inyección del combustible alternativo, utilizando el mismo principio que el instalado en el vehículo; esto es, controlando un juego completo de inyectores de Gas, uno por cada cilindro. Cada uno de estos inyectores de gas, es controlado por la centralita y son activados en sincronización con los pulsos de inyección de gasolina, y el tiempo de apertura de cada inyector de gas es función del tiempo de inyección de gasolina generado por la ECU del vehículo, pero no igual. La diferencia entre el tiempo de inyección de gas y el de gasolina es justamente la corrección calculada por él, en cada ciclo, dependiendo del estado del gas en ese instante.

Uno de los factores más importantes en la decisión de la cantidad de combustible a inyectar, es la lectura de la sonda lambda, o sensor de oxígeno. La información proporcionada por la sonda lambda ayuda a la ECU del vehículo a controlar la mezcla en su punto estequiométrico: si la mezcla resultó pobre, la ECU intentará agregar más combustible; por el contrario, si la mezcla resulta rica, en el próximo ciclo la ECU disminuirá la cantidad de combustible.

Cuando el sistema funciona a gas, y el ajuste es incorrecto la ECU intentará compensar la falta o exceso de combustible resultante aumentando o disminuyendo el tiempo de inyección, respectivamente.

#### **4.10.1 Configuración del sistema y diagnóstico**

Para la configuración y diagnóstico de un sistema, es necesaria la aplicación de software, y la Computadora Personal portátil. Figura 45, con un cable de Interfaz de comunicaciones y CD de distribuidor de kit aplicativo con el cual se realiza los siguientes ajustes:

- Seleccionar la Auto-calibración.
- Selecciona los tiempos de inyección, en el panel de mediciones.
- Seleccionar el Osciloscopio en el panel de mediciones.
- Activar el acceso al OBDII del vehículo para diagnóstico.
- Configuración el mapeo de corrección.
- Forzar el cambio de Gas a Gasolina y de Gasolina a Gas.
- Aumenta el valor de Ajuste de Corrección Porcentual ( +1% )

Decremento el valor de Ajuste de Corrección Porcentual ( -1% )

Aumenta el valor de Suma al Tiempo de inyección de Gas ( +0,1 ms )

Decremento el valor de Suma al Tiempo de inyección de Gas ( -0,1 ms )



Figura 45.- Software del fabricante del kit de conversión de GNC

Para seleccionar la auto calibración, el sistema en primera instancia analiza el comportamiento de funcionamiento del sistema de inyección del fabricante en gasolina y posteriormente, el programa lo auto calibra a un sistema de alimentación de GNC con los mismos parámetros pertinentes a este nuevo sistema de inyección de gasolina y gas. Figura 46.



Figura 46.- Auto calibración del kit de conversión del vehículo Suzuki Carry a GNC

#### 4.10.2 Corrección del tiempo de inyección de gas

El tiempo de inyección de gas para cada cilindro se calcula ciclo a ciclo, en tiempo real, de acuerdo a tres tipos de factores:

1. El tiempo de inyección de Gasolina
2. El valor medido en los distintos sensores
3. Los valores de ajuste establecidos por el instalador.

Ajuste Tiempo de Inyección en Ralentí: Se utiliza como ajuste fino del tiempo de inyección, de forma tal que el tiempo de inyección de gasolina en ralentí, sea igual funcionando a gasolina o a gas. Se expresa en mili-segundos.

El mapeo de corrección, funciona igual que el ajuste de corrección porcentual, pero solo se aplica en una cierta condición de carga y velocidad del motor con el cual, permite limitar el tiempo de inyección de gas de acuerdo al régimen de funcionamiento del motor. Figura 47.



Figura. 47.- Mapeo de corrección de inyección a GNC

Este ajuste del tiempo de inyección de gas, está en función de la aceleración y desaceleración con el cual el sistema pueda cambiar el valor final de corrección, logran que la mezcla resulte ideal en tales condiciones o personalizando el funcionamiento del motor.



## MATERIALES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

### 5.1 MOTORIZADO Y MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Para la evaluación del desempeño de la gasolina en comparación con el desempeño del combustible GNV del kit de conversión, mediante la inyección secuencial, es necesario disponer de un automotor de características básicas al que se le pueda implementar el sistema de conversión dual. En este caso se contó con el motorizado del Instituto de Investigaciones Mecánicas y Electromecánica Figura 48, cuyas especificaciones técnicas son mostradas en la (Tabla 07) a continuación:



Figura. 48.- Vehículo de prueba Suzuki con el motor G16A.

Suzuki Carry, modelo 2010	
Descripción	Característica
Longitud, Ancho, Alto	5155 x 1680 x 1895 mm
Distancia entre ejes	2625 mm
Altura libre del suelo	180 mm
Radio mínimo de giro	5000 mm
Peso listo para marcha	1045 Kg
Peso bruto del vehículo	1950 Kg
Transmisión	Manual de 5 velocidades sincronizadas, 1 reversa
Relación Marchas	3.652/1.947/1.423/1.000/0.795/3.466
Relación final de corona	5.125
Tracción	Trasera
Neumáticos	185/80 R14
Depósito de combustible	43 litros

Tabla 07.- Especificaciones técnicas Suzuki Carry

El motor de combustión interna de prueba es G16A, instalada en vehículo Suzuki Carry, Figura 49, mostrando las características en la (Tabla 08).



Figura 49.- Motor Suzuki G16 A

Suzuki Carry , modelo 2010	
Descripción	Característica
Diseño básico del motor	Motor alternativo en línea
Ciclo de trabajo	De cuatro tiempos de aspiración natural
Diseño y ubicación de válvulas	16 válvulas sobre cabeza (OHV).
Combustible	Gasolina
Método de preparación de la mezcla	Mediante la Inyección de combustible en el colector de admisión
Método de encendido	Encendido provocado con bujía de encendido.
Diseño de cámara de combustión	De cámara (corona del pistón)
Método de control de la carga	Mediante estrangulamiento del flujo de aire
Potencia Máxima	68 KW / 5750 rpm
Torque Máximo	127 Nm / 4500 rpm
Alimentación mezcla	Inyección secuencial

Tabla 08.- Especificaciones técnicas motor G16A

### 5.1.1 Sistema de alimentación del motor

El sistema de control del motor incluye cuatro subconjuntos mayores:

El sistema de aire de admisión incluye: el filtro de aire, cuerpo de mariposa, válvula de IAC y colector de admisión.

El sistema de descarga de combustible incluye: la bomba de combustible, tubo de descarga, regulador de presión de combustible.

El sistema de control electrónico incluye: el módulo de ECU, diversos sensores y dispositivos controlados.

El sistema de control de emisiones incluye: los sistemas de EGR, de EVAP y de PCV.

### 5.1.2 Sistema de encendido DIS

El sistema de encendido DIS (Direct Ignition System), Figura 50, también llamado sistema de encendido sin distribuidor <sup>[46]</sup>, se diferencia del sistema de encendido tradicional en suprimir el distribuidor, con esto se consigue eliminar los elementos mecánicos, siempre propensos a sufrir desgastes y averías.

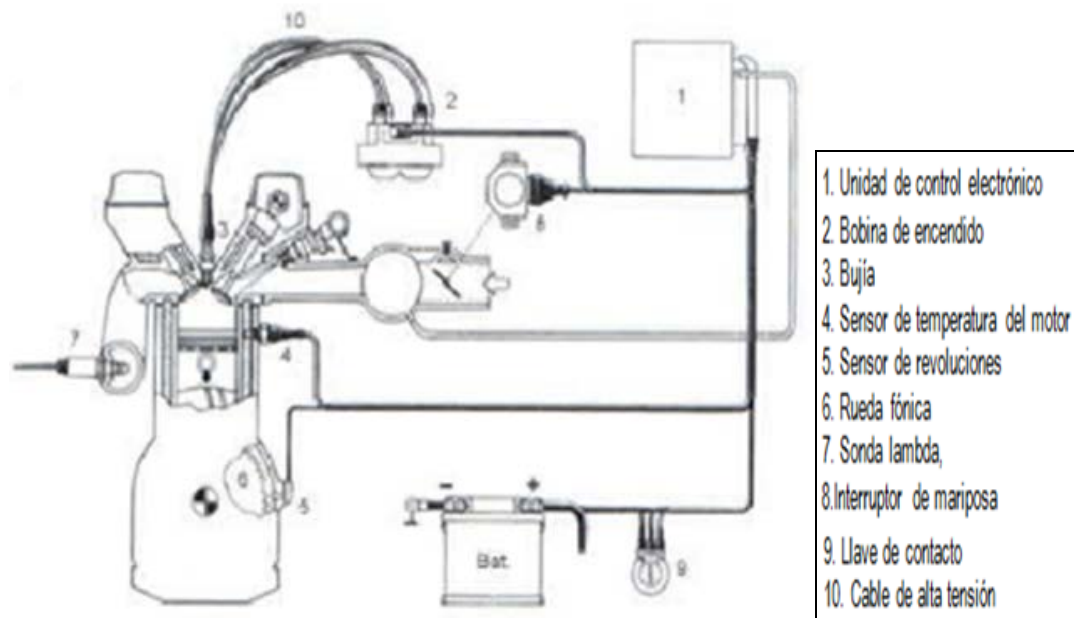


Figura. 50.- Esquema de un sistema de encendido estático DIS

Se utiliza bobinas dobles de encendido o también llamado encendido estático, se mantienen los cables de alta tensión. Figura 51. A este sistema de encendido también se le denomina de chispa perdida, debido a que salta la chispa en dos cilindros a la vez, cada

bobina se conecta a dos bujías (1-4 y 2-3), donde la chispa salta en el cilindro 1 en fase de compresión mientras que el cilindro 4 esta al final del escape.

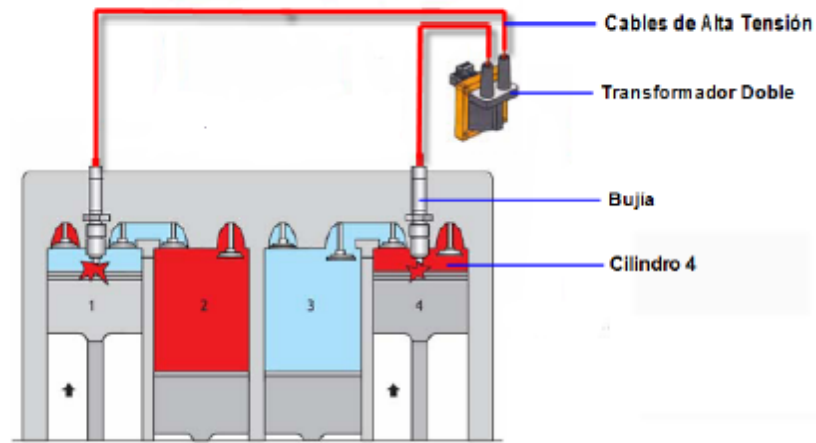


Figura. 51.- Detalle de salto de chispa en un sistema de encendido DIS

Al producirse la chispa en dos cilindros a la vez, solo una de las chispas será aprovechada para provocar la combustión de la mezcla, Figura 52, y será la que coincide con el cilindro que está en la carrera de final de compresión, mientras que la otra chispa, no se aprovecha debido a que se produce en el cilindro que se encuentra en la carrera de final de escape.

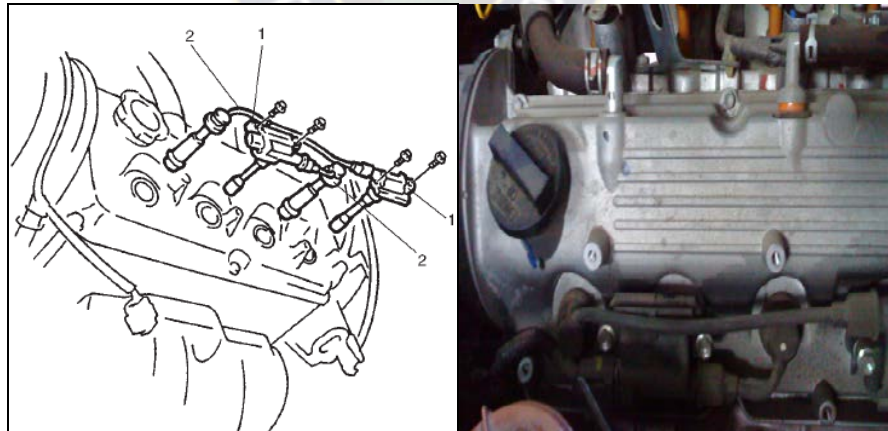


Figura. 52.- Bobinas dobles en sistema de encendido

Cabe acotar algunas ventajas de este sistema de encendido en nuestro motor, frente al sistema convencional:

46. MANUAL DE SUZUKI.2008.Implementación de sistemas de inyección. Sistema de encendido DIS. Japón. 118p.

- Mayor tiempo para que la bobina genere el suficiente campo magnético, para hacer saltar la chispa que inflame la mezcla, lo que reduce el número de fallos de encendido a altas revoluciones en los cilindros, por no ser suficiente la calidad de la chispa, que impide inflamar la mezcla.
- Menor interferencia eléctrica del distribuidor, por lo que se mejora la fiabilidad del funcionamiento del motor, las bobinas pueden ser colocadas cerca de las bujías con lo que se reduce la longitud de los cables de alta tensión.
- Mayor margen para el control del encendido, por lo que se puede jugar con el avance al encendido con mayor precisión.

## **5.2 MOTOR CONVERTIDO A SISTEMA DUAL DE COMBUSTIBLE**

Los motores modificados a gasolina y gas natural, modifican su proceso a uno más complejo, ya que la gasolina tiene sus propiedades fisicoquímicas muy diferente a las del gas natural en la combustión y las condiciones estequiométricas son diferentes, pero deben combustionar y reaccionar en una posición predominante para gasolina en la cual lo único que puede modificarse es el ángulo de avance de la chispa.

Esta investigación, se han centrado en comparar y diagnosticar variables de operación del motor en su desempeño como: la potencia, el consumo de combustible por recorrido y las emisiones contaminantes.

## **5.3 PROCESO EXPERIMENTAL**

Cuando se desea evaluar el comportamiento de un vehículo, son múltiples las variables que pueden considerarse entre ellas: potencia, torque, capacidad de aceleración, velocidad máxima, emisiones contaminantes, consumo de combustible, ruido, temperatura, vida de sus partes, y otras. Mientras que algunas de estas variables interesan tan solo al fabricante, otras son de gran interés para quien opera el vehículo o propietarios y para las autoridades ambientales.

Para entidades de evaluación y homologación automotor, talleres de reparación o talleres de conversión, entre otros, quienes no cuentan con dichos registros históricos y para quienes la disponibilidad y tiempo del vehículo son críticos, surgen alternativas diferentes de análisis, consistentes en pruebas de corta duración, basadas en procedimientos estándar con las que es posible caracterizar el desempeño del vehículo. Estas pruebas son procedimientos preestablecidos de operación, durante las cuales se monitorea las variables de interés, y posteriormente se reporta, el comportamiento del vehículo. Además de las pruebas en dinamómetros de rodillos que implica la instalación de complejos mecanismos de medición de potencia y emisiones, en tiempo real, se utilizan las pruebas de carretera, que se plantean como una alternativa adicional para verificar el desempeño de vehículo. Si bien, estas son las que pueden demostrar en forma más cercana a la realidad las condiciones de operación real del vehículo, tienen la dificultad de requerir, la instrumentación móvil y de establecer claramente las características ambientales y de ruta, para que las pruebas puedan ser repetibles.

Las pruebas de carretera surgen como una alternativa al alcance de muchos interesados para estudiar el desempeño de un vehículo. El potencial desarrollo de una metodología basada en pruebas de carretera, puede establecerse como parámetros requeridos en la evaluación de:

- Correctas conversiones de vehículos a gas natural.
- Adaptabilidad de automotores a diferentes combustibles a la altura.
- Efectividad de dispositivos que alegan, optimizar el consumo de combustible y disminuyen las emisiones contaminantes.
- Efectividad de programas de mantenimiento de vehículos.
- Efectividad de aditivos o tipo de gasolina en la correcta operación de vehículos.

Para comparar el desempeño mecánico y ambiental del kit de conversión, mediante la inyección secuencial de gasolina - GNC, se evaluará un motor G16A en un Suzuki Carry de 1950 cc, y se someterá a pruebas de circulación de carretera con la implementación de

un dinamómetro portátil, que permita realizar pruebas bajo condiciones de operación controlada y según un protocolo de ensayos.

### **5.3.1 Metodología de ensayo**

Con la norma DIN 70020 <sup>[47]</sup> y SAE J1349 <sup>[48]</sup> ha desarrollado protocolos para la evaluación de numerosos parámetros que definen el comportamiento de los vehículos, estos protocolos están aprobados internacionalmente, por lo tanto se adoptaron para la evaluación del vehículo. Los cuales permiten valorar los aspectos necesarios, para cuantificar cada tipo de desempeño de manera sencilla, precisa y confiable.

Es necesario emplear adicionalmente las normativas internacionales y los parámetros o protocolos que regulen ciertos parámetros de los vehículos en el país. En el caso de Bolivia las entidades reguladoras en el área ambiental, han emitido bajo el Instituto Boliviano de Normas y Calidad (IBNORCA) han emitido una serie de Normas de aplicación en el territorio nacional y homologable con estándares internacionales.

Desde no hace mucho a cobrado importancia las pruebas de carretera en vehículos, debido a la posibilidad de medir las variables de manera objetiva, otorgando confiabilidad a las lecturas y aplicaciones específicas.

Por ello y de la mano de la tecnología, se han venido desarrollando técnicas que innovan continuamente la forma y manera de realizar las medidas.

### **5.3.2. Protocolo de evaluación**

Para esta evaluación experimental se plantea realizar pruebas que permitan desarrollar tres de los alcances establecidos que son el desempeño mecánico, energético y ambiental, según las pruebas a desarrollarse en el (Cuadro 03).

Los ensayos a realizarse, tienen como objeto principal, la evaluación del desempeño del vehículo Suzuki Carry, con dos tipos de combustibles por comparación siguiendo el siguiente protocolo:

---

47. Guía de laboratorio para el uso de dinámetro, norma DIN 70020.Guatemala. 16 p.

48. SAE INTERNACIONAL. SAE J1349 Certificación de potencia. [Consulta: 3 abril 2013]. <[http://www.Certificado%20\(SAE%20J1349%20y%20J1995\)%20-%20SAE%20International.htni.com.mx](http://www.Certificado%20(SAE%20J1349%20y%20J1995)%20-%20SAE%20International.htni.com.mx)>

ALCANCE	PRUEBAS	NORMA	INSTRUMENTOS	SÍNTOMAS Y DIAGNOSTICO
Desempeño Mecánico	Prueba de aceleración en plano	SAE J1491	TM 900 DINAMÓMETRO PORTÁTIL	Determina los valores máximos de aceleración y tiempo
	Potencia máxima (kW)	DIN 70020 SAE J1349	TM 900 DINAMÓMETRO PORTÁTIL	Evaluación de la potencia efectiva obtenida en el volante de inercia, con cada uno de los combustibles gasolina y GNC
	Potencia en la rueda (kW)			Evaluación de la potencia obtenida en la rueda, con cada uno de los combustibles gasolina y GNC
	Torque máximo (Nm)			Evaluación del torque obtenida en el volante, con cada uno de los combustibles gasolina y GNC
	Velocidad (km/h)			Velocidad máxima alcanzada
Desempeño Energético por recorrido	Consumo de combustible	DIN 70030-1	ODÓMETRO (Km/h)	Consumo de combustible tanto en gasolina y GNC
	Ciclos de conducción	SAE J1082	ODÓMETRO (Km/h)	Recorrido en diferentes velocidades en autopista y ciudad y determinar su autonomía.
Desempeño Ambiental	Emisiones contaminantes	NB 62002	ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE BEER	Análisis de gases de escape y certificación
		NB 62003		Método de medición en ralentí y cruce

Cuadro 0.3.- Protocolo de evaluación del desempeño en el motor combustión interna.

### 5.3.2.1 Pruebas de desempeño mecánico

Las pruebas de desempeño <sup>[49]</sup> se entenderán a todo lo referente, a las partes que afectan el movimiento del vehículo evaluado. Las partes involucradas más importantes, que no son las únicas: el motor, el sistema de combustible y la transmisión.

49. DIEGO ALEJANDRO ARIAS J. 2002. Desarrollo de una metodología para evaluación de desempeño mecánico, energético y ambiental de vehículos automotores, mediante pruebas de carretera. Colombia.



- La realización de las pruebas, que consiste en elegir un punto de partida inicial y desplazar el vehículo en la segunda marcha a partir de 0 (Km/h) hasta la rotación del corte del motor.
- La prueba de aceleración en plano <sup>[50]</sup> consiste en llevar el vehículo desde el reposo hasta alcanzar una velocidad de 96 km/h a lo largo de un terreno plano. Como resultados se reportan los tiempos requeridos, junto con la velocidad desarrollada, 5 segundos luego del arranque.

Mediante las pruebas de desempeño mecánico en carretera, se conoce el comportamiento del vehículo en cuanto a su capacidad de aceleración, pérdidas de potencia en el motor, pérdida de potencia en la rueda, velocidad de la potencia máxima, torque máximo, al cumplir el ciclo de trabajo.

La prueba de potencia de motor, utiliza la medición de la potencia efectiva, resultante de los movimientos del vehículo y calcula la pérdida de potencia, basada en la medición de la resistencia al movimiento y los datos de entrada para estimar el valor de potencia del motor del vehículo, cuyo proceso consiste en:

- Seleccione el vehículo con los dispositivos y parámetros dimensionales (masa, diámetro de los neumáticos, la altura, anchura, altura desde el suelo al para choque, la potencia, el torque, tipo de transmisión, la RPM, y el coeficiente de resistencia aerodinámica del vehículo).
- Asegúrese de tener el espacio suficiente para la prueba de aceleración y frenado.
- Establecer un punto de partida, bien definido a una velocidad máxima requerida de potencia, como para la desaceleración.
- Cuando se desplaza el vehículo, se aprieta el disparador externo, para pasar por punto de partida, cuando el vehículo está en movimiento, en la segunda marcha de la caja de velocidades.
- La pantalla muestra el mensaje de acelere en segunda marcha. Con la cual barre toda la gama de rotación del motor de potencia y torque máximos.
- Acelere el vehículo a plena carga y espere la señal sonora para finalizar la prueba.

---

50. JUAN FORERO MARTÍNEZ. Evaluación de vehículos en carretera. Protocolo de evaluación SAE J1491 Medida de la aceleración del vehículo. Colombia .65 p.

- Cuando suene la alarma, suelte el acelerador y comience nuevamente el ciclo de prueba.
- Almacene la información de la prueba realizada, en tarjeta SD.

### 5.3.2.1.1 Equipo de evaluación de carretera

La prueba de carretera, se plantea como una alternativa para verificar el desempeño mecánico y energético del vehículo. Si bien, éstas son las que pueden demostrar en forma más cercana a la realidad las condiciones de operación real del vehículo, tienen la dificultad de requerir la instrumentación móvil y de establecer claramente las características ambientales y de ruta, para que las pruebas puedan ser repetibles.

Debido a la dificultad de contar con dinamómetros de chasis, o de desmontar el motor para pruebas en banco, las pruebas de carretera surge como una alternativa, con el nuevo dinamómetro portátil inductivo, para evaluar el desempeño del vehículo y comprobar la correcta conversión realizada a gas natural comprimido de inyección secuencial, que se adapta a la altura, en su efectividad, en la optimización del consumo del combustible y la disminución de las emisiones contaminantes, respecto al combustible diseñado a gasolina por la fábrica, como parte del mantenimiento.

### 5.3.2.1.2 Dinamómetro TM-900

El TM 900 es un dinamómetro portátil <sup>[51]</sup>, Figura 53, que mide diversos parámetros de rendimiento de un vehículo a través de su movimiento. Se utiliza pinzas inductivas, un acelerómetro interno y un sensor de velocidad externo para calcular el tiempo, aceleración, velocidad, distancia recorrida, potencia y torque.



Fig. 53. Dinamómetro portátil TM-900

51. MANUAL DE INSTRUCCIONES TM 900. 2011. Performance analyzer . Brasil.

Según se muestra en la Figura 54, el TM 900, también utiliza sensores de temperatura (interna y externa para el dispositivo en el colector de admisión) y un sensor de presión barométrica para ajustar la cantidad de potencia del motor sobre la base de las normas DIN70020 y SAEJ1349. Adicionalmente se cuenta con un software para ver los resultados detallados de la computadora. Este software también permite el registro del vehículo, permitiendo la comparación de las pruebas de forma simultánea. Obteniendo los siguientes resultados: Potencia del motor, Par motor o Torque, Potencia en la rueda, Aceleración (tiempo, distancia y velocidad).

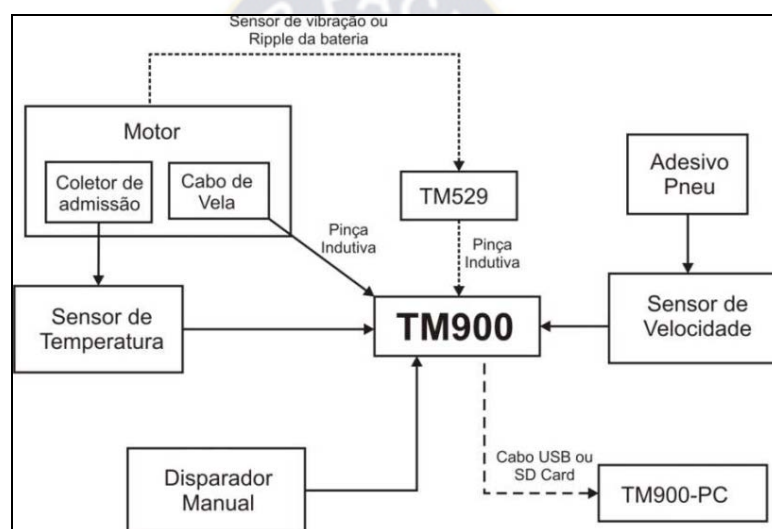


Figura.54.- Esquema de funcionamiento del dinamómetro portátil TM-900

### 5.3.2.2 Pruebas de desempeño energético

Las pruebas de consumo consiste en mantener el vehículo una velocidad de circulación por las normas establecidas en calles avenidas y autopista, hasta lograr estabilidad en el consumo en términos de cantidad de combustible por unidad de recorrido, completando un ciclo de conducción, aproximándose a los ciclos reales de operación.

Estos ciclos permiten estandarizar las condiciones de la prueba, además de facilitar la repetición de la prueba de una manera más precisa.

El consumo de combustible es afectado principalmente por las condiciones atmosféricas, las paradas, las aceleraciones y la velocidad promedio del vehículo. Como parámetro de evaluación del desempeño energético de los vehículos, se utiliza el consumo de

combustible, el cual permite establecer la eficiencia en términos de costos de operación del vehículo evaluado.

### 5.3.2.2.1 Ciclo de trabajo

El desempeño energético y ambiental de un vehículo, depende en gran manera de las características del ciclo de trabajo. Un ciclo de trabajo consiste en una secuencia de velocidades, como función del tiempo de prueba y la distancia recorrida, que debe seguir el vehículo y no es posible comparar directamente los resultados de evaluaciones realizados, con otras diferentes pruebas.

Por lo tanto se adopta los ciclos de prueba, figura 55, de la norma SAE J1082: Ciudad, Autopista y de Alta Velocidad <sup>[52]</sup>.

Para la realización de estas pruebas se necesita una carretera en buen estado, con un tramo recto en lo posible de la longitud deseada y sin cruces peligrosos, para permitir que se pueda realizar el ciclo de trabajo.

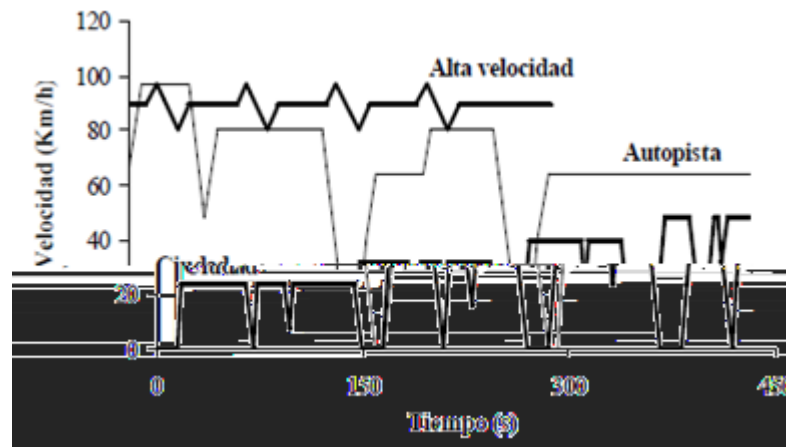


Figura 55.- Ciclos de prueba según la norma SAE J1082

### 5.3.2.2.2 Ciclo de prueba en la ciudad de La Paz y El Alto

Finalmente, la prueba de desempeño energético por recorrido de un vehículo consiste en reproducir uno o varios de los ciclos planteados y medir el combustible, que el vehículo consume bajo esta condición de operación tanto en gasolina y GNC.

---

52. JUAN FORERO MARTÍNEZ, Evaluación de vehículos en carretera. Protocolo de evaluación SAE J1082. Procedimiento de prueba para medir el consumo de combustible y autonomía. Colombia .66 p.

Para el ciclo de desempeño energético, Figura 56, se parte del Campus Universitario UMSA, conectando Av. Costanera, Parque las cholas, Av. Costanera, Av. Zavaleta, Estadio, Av. Camacho, Av. Montes, Autopista La Paz y El Alto, Av. 6 de Marzo, Molino andino, Laguna Achocalla.

Retornando a Molino andino, Av. 6 de Marzo, Av. Arica, Av. del Policía, Av. Mario Mercado, Av. Costanera, Parque las cholas, Mallasa, Palomar.

Retornando a Mallas, Parque las cholas, Av. Costanera, Av. Ballivian, Chasquipanpa y Campus Universitario UMSA.



Figura 56.- Ciclo de prueba en el desempeño energético del vehículo Suzuki Carry a gasolina y GNC

### 5.3.2.2.3 Medición de consumo de combustible

Existen dos métodos posibles para medir el consumo de combustible en vehículos a gasolina y GNC, mediante la determinación del cambio de peso en un tanque aforado, o mediante el uso de sensores de flujo de gasolina. Este método es adecuado para vehículos que cuentan con la bomba de gasolina dentro del tanque de combustible, usualmente con inyección de combustible.

Para esto se sigue el Consumo de combustible en carretera, según la norma DIN 70030-1<sup>[53]</sup> y se entiende, el producido en un tramo largo de carretera normal y circulación normal. Para la determinación del consumo de combustible en carretera, se

53. H. KINDER 1984. Matemática aplicada a la técnica del automóvil. Consumo de combustible en carretera, según DIN 70030 – 1. Alemania. 161 p.

mide la cantidad con el odómetro, siendo necesario medir con exactitud, la longitud del recorrido. Y se da para distancias de 100 km.

$$k_s = \frac{K \cdot 100}{s} \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right]$$

$$k_s = \text{Consumo en carretera} \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right]$$

$K$  = Cantidad de combustible consumido [l]

$s$  = Trayecto de medición [km]

### 5.3.2.3 Pruebas de desempeño ambiental

Las mediciones de emisiones gaseosas por parte del vehículo deben ser realizadas idealmente a lo largo de un ciclo de operación típico. Sin embargo esto es muy poco repetitivo debido a la variabilidad de las condiciones presentes en una ciudad durante el día.

El desempeño ambiental involucra todo lo relacionado con las emisiones contaminantes de un vehículo. Los motores de combustión interna se ven afectados por las condiciones ambientales, en especial la altitud, por lo tanto es importante medir las concentraciones de contaminantes como productos de la combustión.

El desempeño ambiental del vehículo permite evaluar la emisión de gases bajo diferentes condiciones de operación en ralentí y crucero.

Siguiendo las normas:

- NB 62002 Calidad de aire emisiones de fuentes móviles. Generalidades, clasificación y límites máximos permisibles (Tabla 09).
- NB 62003 Calidad del aire emisiones de fuentes móviles. Método de medición de emisiones de gases contaminantes de vehículos motorizados.

Año de fabricación	Gasolina			GNV		
	CO %	HC ppm		CO %	HC ppm	
		Mayor 1800 msnm	Menor 1800 msnm		Mayor 1800 msnm	Menor 1800 msnm
Hasta 1997	6	650	600	2.5	650	600
1998 a 2004	2.5	450	400	2.5	450	400
Desde 2005	0.5	125	125	0.5	125	125

Gasolina				GNV	
Carburador		Inyección			
CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %
> 10.5	< 6	> 12.5	< 6	> 8	< 6

Tabla. 09.- Limite máximos permisibles a Gasolina y GNV, NB 62002

### 5.3.2.3.1 Analizador de emisiones contaminantes para motores

El software de inspección para analizadores de emisiones contaminantes para motores a gasolina y diesel, ha sido adquirido para realizar pruebas de emisión en los tres principales combustibles que el mercado Boliviano proporciona al parque vehicular, de Gasolina, GNV y Diesel. Conectado a una computadora, quien procesa la información y valida la prueba, generando posteriormente en un reporte de certificado final, sigue la norma NB 62002.

Cuyas funciones son:

- Analizador de emisiones contaminantes para motores a gasolina y GNV.
- Analizador de emisiones contaminantes para motores diesel.
- Determinan las RPM y temperatura para una de las pruebas del vehículo.

### 5.3.2.3.2 Banco de análisis

El analizador de gases de escape Figura 57, simultáneamente mide CO, HC, O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> del tubo de escape del vehículo, usando la tecnología NDIR, el BEAR BE-140<sup>[54]</sup> está certificado por BAR-97.

54. MANUAL DE ANALIZADOR DE GASES BEAR. 2007. Analizador de emisiones contaminantes para motores gasolina, gnc y diesel, USA. pp. 25-27.



Figura 57.- Analizador de gases de escape BEAR BE-140 instalado en vehículo Suzuki Carry

Está diseñado con detectores infrarrojos de estado sólido, con un microprocesador y componentes mecánicos en miniatura. Una celda galvánica que mide el oxígeno y el microprocesador provee valores totalmente calibrados de la concentración de gas, con compensación, por presión atmosférica de los cambios concentrados.

Basado en el principio de No Dispersión Infrarrojo BEAR BE-140 está certificado para aplicaciones en BAR-97 incluye:

- Fuente de luz infrarroja de banda ancha
- Motor recíprocante
- Cuatro detectores, uno de referencia y cada uno para CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y HC.

La emisión de la fuente de luz infrarroja pasa a través de la celda de muestreo que contiene el gas a ser analizado. Cuando el haz de luz pasa a través de la celda de muestreo, el gas absorbe parte de esta intensidad. El rayo atenuado y modulado por el motor recíprocante secuencialmente, pasa a cada uno de los cuatro detectores.



### 5.3.2.3.3 Método de preparación del equipo y evaluación del vehículo

Este proceso consiste en:

- Encender el analizador de gases e inicializar el equipo, de acuerdo a las instrucciones contenidas en el manual de operación del instrumento, asegurándose del correcto estado de mantenimiento y calibración del mismo.
- Conectar el medidor de rpm de pinza inductiva en el motor.
- Verificar ausencia de fugas en sistema de escape.
- Introducir la sonda en tubo de escape.
- Conectar el sensor de temperatura de aceite de motor.
- Poner en marcha el motor del vehículo y esperar que este llegue a su temperatura normal de operación.
- Asegurar que accesorios como: aire acondicionado estén desconectados.
- Mantener motor en ralentí a 750 rpm durante 30 segundos.
- De ralentí acelerar para la prueba de cruce hasta  $2750 \pm 250$  rpm durante 30 segundos.
- Detener el motor, desconectar la pinza de rpm, y extraer la sonda del tubo de escape y apague el motor.

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la metodología adoptada para la realización de los ensayos, así como el protocolo de evaluación asumido, mostrado en el capítulo anterior, se han realizado pruebas donde la tabulación de registros es mostrada en los Anexos D. Sin embargo, y por las características del propósito del trabajo de investigación resulta más objetivo mostrar los resultados en comparación, donde el comportamiento del motor a gasolina es representada por los registros de color verde y del motor funcionando a GNC de color blanco.

### 6.1 RESULTADOS DEL DESEMPEÑO MECÁNICO

Al ser, una evaluación de la capacidad del vehículo, para atender solicitudes de aceleración en terreno plano, recuperación de velocidad y otros que evaluarán el desempeño del motor en condiciones de altitud de la ciudad de La Paz y bajo la operación de dos combustibles, a continuación se muestran de manera gráfica el promedio de los registros obtenidos para cada tipo de combustible, y que permiten apreciar mediante comparación visual la diferencia asociada con el desempeño mecánico del vehículo, en los parámetros: de capacidad de aceleración, recuperación de velocidad, rotaciones del motor, torque del motor, potencia en la rueda y potencia en el motor.

#### 6.1.1 Capacidad de aceleración

La prueba de aceleración del vehículo Suzuki con transmisión manual se consigue en el vehículo, Figura 58, partiendo de reposo, cuando se acopla la primera marcha y luego avanza a la segunda marcha, para el procedimiento de medición de potencia.

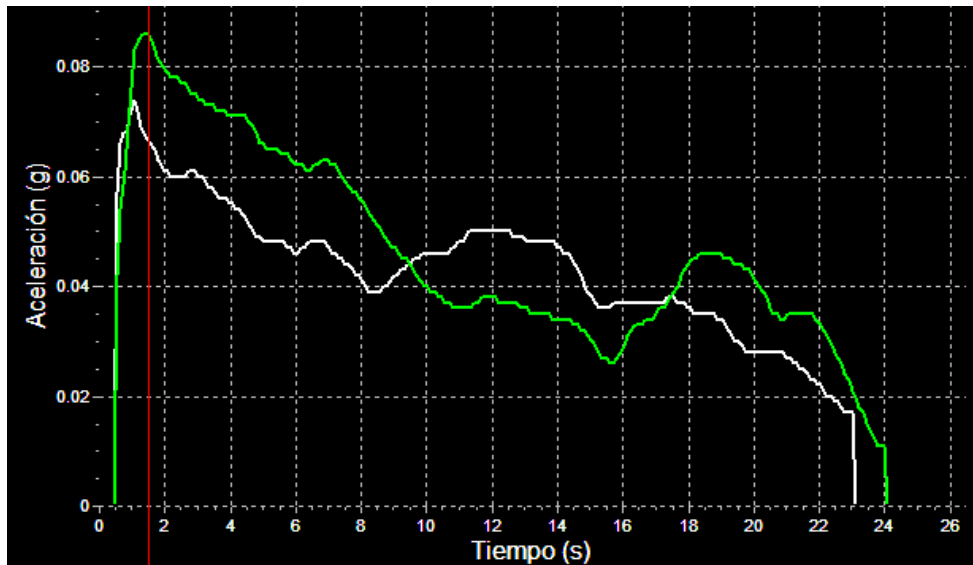


Figura 58.- Comparación de la capacidad de aceleración del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

Del análisis de la gráfica se puede establecer que:

- El pico de aceleración más alto, se logra en primera velocidad, para la gasolina a una aceleración de  $0.09 \text{ m/s}^2$  en un tiempo de 1.50 s., y para el GNC la máxima aceleración es de  $0.07 \text{ m/s}^2$  en un tiempo de 1.07 s.
- En la segunda marcha, el pico de aceleración es para el GNC con una aceleración  $0.05 \text{ m/s}^2$  en un tiempo de 12 s. y para la gasolina se tiene una aceleración de  $0.046 \text{ m/s}^2$  en un tiempo de 18.5 s.

Es importante establecer que en general la reacción de combustión es más rápida en el GNC como consecuencia de su condición de combustible gaseoso, que posibilita un frente y velocidad de combustión mayor. No obstante debe destacarse que los niveles de aceleración para el GNC son menores que la gasolina como consecuencia de una menor presión en el PMS, resultado de una Relación de Compresión en el cilindro del motor diferente a la demandada por condición estequiométrica del combustible gaseoso.

No debe confundirse la aparente aceleración en segunda como absoluta, sino más bien como una consecuencia producida por el impulso rápido de la buena combustión en primera marcha y el menor tiempo requerido para alcanzar la velocidad inercial del

vehículo para posibilitar el cambio a segunda marcha, esta aseveración es justificada por el punto de enganche y aceleración del vehículo, representada en la gráfica por el punto de inflexión entre la desaceleración de primera y aceleración en segunda, que para el GNC se da a  $0.04 \text{ m/s}^2$  en apenas 8 s, en comparación con los  $0.028 \text{ m/s}^2$  en casi 16 s.

### 6.1.2 Recuperación de velocidad

Bajo las mismas características de ensayo de la prueba anterior se procede a graficar la velocidad del vehículo en función del tiempo transcurrido en el ensayo, Figura 59, bajo el criterio que cualquier variación en el proceso térmico se reflejara en diferencias de velocidad y alteraciones en la continuidad de aceleración (variaciones de velocidad).

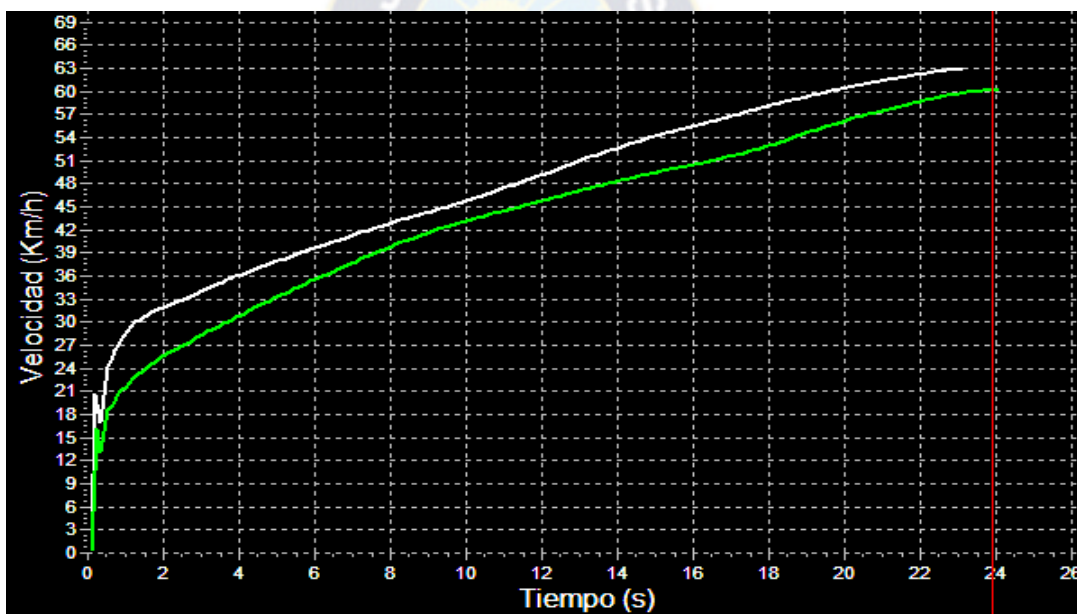


Figura 59.- Comparación de la recuperación de velocidad del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

Del análisis de la gráfica se puede establecer que:

- El desarrollo de ambas curvas es similar en forma y comportamiento, lo que establece una respuesta similar para ambos combustibles.
- La verdadera diferencia se aprecia en la magnitud de alcance en comparación para cada caso, siendo mayor para el combustible gaseoso mostrando tener mayores

prestaciones cinemáticas, que muestran una velocidad de 60.14 Km/h en un tiempo de 23.88 s para la gasolina y 62.87 Km/h en un tiempo de 23.02 s para el GNC.

Como consecuencia de la reacción de combustión rápida del GNC, desarrollada anteriormente, se justifica por qué el vehículo adquiere mayores y más rápido las velocidades, aspecto beneficioso y favorablemente cualitativo al diagnosticar o evaluar vehículos con funcionamiento a GNV. Sin embargo no debe dejarse de lado el hecho que está siendo evaluado el vehículo sin carga y el motor a cargas parciales, por lo que el resultado es parcialmente favorable y bajo esas condiciones; es de esperarse que bajo condiciones de carga total (en motor y vehículo) la respuesta del GNC será diferente y probablemente la curva de velocidad del combustible gaseoso se aleje desfavorablemente de la gasolina, una apreciación objetiva de esta situación se la verá en el análisis del torque.

### 6.1.3 Rotación del motor

Bajo las mismas características de ensayo de la prueba anterior se procede a graficar la relación de velocidades entre la rotación del cigüeñal del motor y la velocidad del vehículo, durante el tiempo transcurrido en el ensayo, bajo el criterio que cualquier variación en el proceso térmico será reflejada en distorsiones y variaciones de continuidad de las curvas. Figura 60.

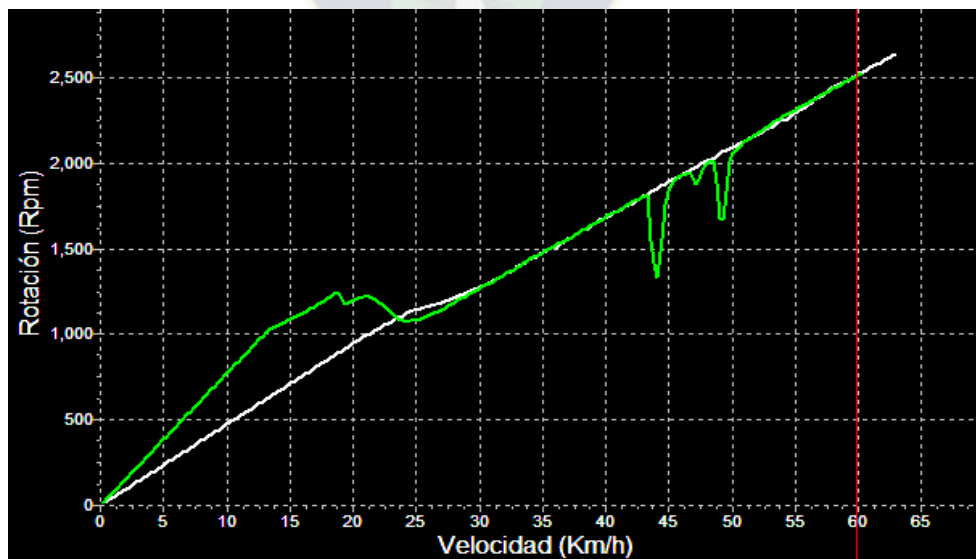


Figura 60.- Comparación de revoluciones de rotación del motor Suzuki Carry funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

Del análisis de la gráfica se puede establecer que:

- En el desarrollo de ambas curvas se observa de manera general, un diferente ángulo de inclinación entre las pendientes de primera y segunda marcha.
- La curva generada y correspondiente a la gasolina en primera marcha obtiene mayores revoluciones del motor que le permiten impulsar mejor el vehículo. Lo destacable de la forma de la curva son las variaciones de pendiente presente en la aceleración de la primera marcha y los saltos de velocidad que se dan en las revoluciones del motor.
- El desarrollo de la curva del combustible gaseoso muestra continuidad con diferencias de revoluciones de poca magnitud que establecen impulsos en el cambio muy pequeños.
- Un comportamiento destacable es el que se presenta en la segunda marcha, que evidencia una acción en las rotaciones del cigüeñal correspondida con una idéntica respuesta para ambos combustibles en la velocidad del vehículo.

La condición de evaluación establecida en el ensayo y demandada por el equipo de medida utilizado establece el registro de datos y la obtención de las firmas de diagnóstico, bajo la operación del vehículo en vacío y el motor funcionando a cargas parciales. Esta situación hace que los registros de rotación estén por debajo de los definidos por la Zona Eficaz del motor (5750 rpm a 4500 rpm) que son los comúnmente definidos para condiciones de evaluación límite de MCIA. Es por esta razón que son similares en comportamiento para ambos combustibles, aunque como en el caso de la primera marcha para la gasolina el trabajo mecánico obtenido es mayor y se manifiesta como mejores revoluciones en el cigüeñal y mejor impulso del vehículo.

Lo particularmente observable y destacable es el comportamiento errático disfuncional del motor cuando opera con gasolina, aspecto repetido en diferentes magnitudes en todos los ensayos realizados, por tanto, descartan cualquier posibilidad de mala operación o instalación y funcionamiento deficiente de los sensores. Recayendo el comportamiento en

el funcionamiento del motor una vez convertido a GNC, puesto que los registros previos del vehículo a la instalación del kit de conversión muestran un funcionamiento continuó y funcional de las revoluciones del motor respecto a la velocidad del vehículo.

Consultado al Sr. Luis Medrano Valencia, chofer del vehículo y operador del mismo durante y después de los ensayos, manifiesta un “funcionamiento diferente desde que se ha instalado el kit”, “como si algo ronroneara en el motor”, Si bien puede justificarse la “aparición” de estas disfuncionalidades como producto de la inserción de componentes como los inyectores de GNC que han modificado las características preliminares del motor, como es el múltiple de admisión. Figura 61.



Figura 61.- Reducción del área de circulación en el colector de admisión por la influencia de los dos inyectores, de gasolina y de GNC.

#### **6.1.4 Torque del motor**

Bajo las mismas características de ensayo y el precepto de que el cambio de primera a segunda marcha, es realizado bajo las máximas condiciones de torque demandadas por la metodología, se procede a graficar el torque demandado en el motor por la marcha en función de la velocidad del vehículo. Figura 62.

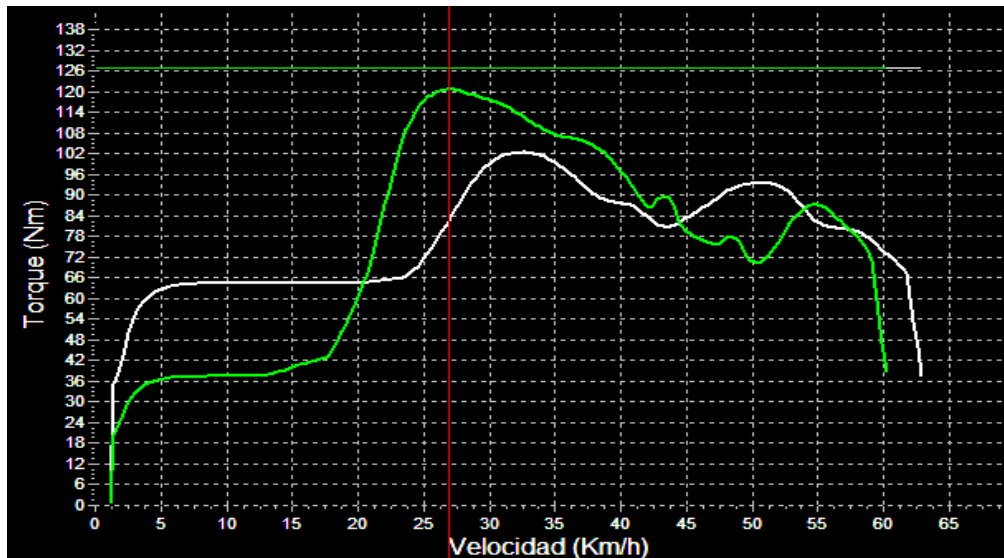


Figura 62.- Comparación del torque generado en el motor en correspondencia con la velocidad del vehículo funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

Del análisis de la gráfica se puede establecer que:

- El torque se interpreta como el trabajo que puede realizar el motor, su representación debería ser lo más uniforme posible y a lo largo de todo los regímenes de giro de motor, y en el presente caso respecto a la velocidad del vehículo, situación contraria a la mostrada en el gráfico, principalmente en la parte descendente de ambas curvas y que representa la aceleración en segunda marcha.
- La curva generada y correspondiente a la gasolina muestra un torque máximo de 120.58 Nm a 26.69 Km/h, correspondiente a la máxima velocidad que puede conseguirse en la primera marcha.
- La curva generada y correspondiente al GNC muestra un torque máximo de 102.33 Nm a 32.71 Km/h, correspondiente a la máxima velocidad que puede conseguirse en la primera marcha.

La primera parte de evaluación corresponde a la ascendente, es decir desde la partida hasta el final de primera marcha antes del cambio, que representa el torque máximo en el motor; correspondiente a una representación característica cuando se gráfica el torque en función de la velocidad del vehículo, en esta se puede reconocer inicialmente un incremento del



torque sin velocidad del vehículo hasta que el torque se mantiene constante mientras el vehículo incrementa su velocidad, parte característica del vencimiento de las resistencias internas y de rodadura en el automotor (esta zona es representada por incremento de revoluciones en el motor). Queda también establecido la mayor presión de combustión reflejada en un menor torque resistivo en magnitud y duración como es el caso de la gasolina, en cambio, en el GNC al tener menor presión de combustión demanda mayor torque y durante más tiempo.

Una vez superadas estas etapas de resistencias el torque incrementa sustancialmente al igual que la aceleración del vehículo (las fuerzas resistentes pasan de rozamientos estáticos a rozamientos dinámicos, menores en magnitud), es por estos motivos que el motor funcionando a gasolina alcanza más prontamente el máximo torque.

Si bien es cierto después de alcanzado el máximo torque la demanda de éste es menor por las marchas superiores (segunda marcha en el caso), (Tabla 10), que para alcanzar velocidades mayores requieren mayor potencia y no torque, el interés de diagnóstico tanto en mantenimiento como en evaluación, es de menor alcance y generalmente se deja de lado la segunda parte de la curva. Sin embargo y por la forma errática y fluctuante de representarse el de la gasolina, es necesario hacer referencia al mayor impulso que genera el combustible en el vehículo pero además la consecuencia de lo intrusivo del inyector a GNC en el múltiple de admisión. Situación ausente en la curva de GNC ya que puede reconocerse fácilmente la zona de impulsión de primera y la de enganche de la segunda marcha.

En la interpretación de los valores máximos obtenidos puede construirse la siguiente tabla:

Descripción	Nominal	Gasolina	GNC
Torque máximo Nm	127.00	120.58	102.33
Velocidad del vehículo Km/h	- - -	26.69	32.71
Rotación del motor rpm	4500	- - -	- - -
Rendimiento absoluto	100%	94.94%	80.57%

Tabla 10.- Valores máximos de torque en el motor Suzuki G16A

Que muestra la diferencia de torque, interpretada como pérdida de torque por la altura, respecto a la nominal proporcionada por el fabricante, en la que el funcionamiento con GNC se ve disminuido en 19.43% y con respecto al torque real obtenido con el motor funcionando con gasolina de 5.06%, aspecto todavía inferior en la comparación de ambos tipos de combustible para el mismo motor.

### **6.1.5 Potencia del motor**

La potencia desarrollada por el motor en el volante de inercia, se constituye en el parámetro más característico de evaluación de un motor, ya que representa la capacidad de proveer energía específica por cada unidad térmica, y en el caso de comparación únicamente tiene importancia la diferencia relativa de valores de potencia. Para el caso presente y con el atenuante que se está evaluando en el mismo motor, bajo las mismas condiciones las características de Poder Calorífico tienen influencia pero mayor determinación tiene la eficiencia volumétrica del llenado del cilindro.

Para las mismas características de ensayo establecidas en la metodología de evaluación, se procede a graficar la potencia del motor y la velocidad del vehículo, durante el tiempo transcurrido en el ensayo. Figura 63. Bajo el criterio de obtención de valores máximos y continuidad en las curvas, ya que es normal fluctuaciones de valor producto de inercias, variaciones de combustión, resistencias de rodadura y otros que finalmente se expresan como variaciones de potencia.

Previo al análisis de la gráfica es necesario reiterar que la metodología de experimentación son efectuadas a cargas parciales y no a máxima potencia del motor, más bien en el punto correspondiente al cambio de primera a segunda marcha bajo las máximas condiciones de torque demandadas por la metodología.

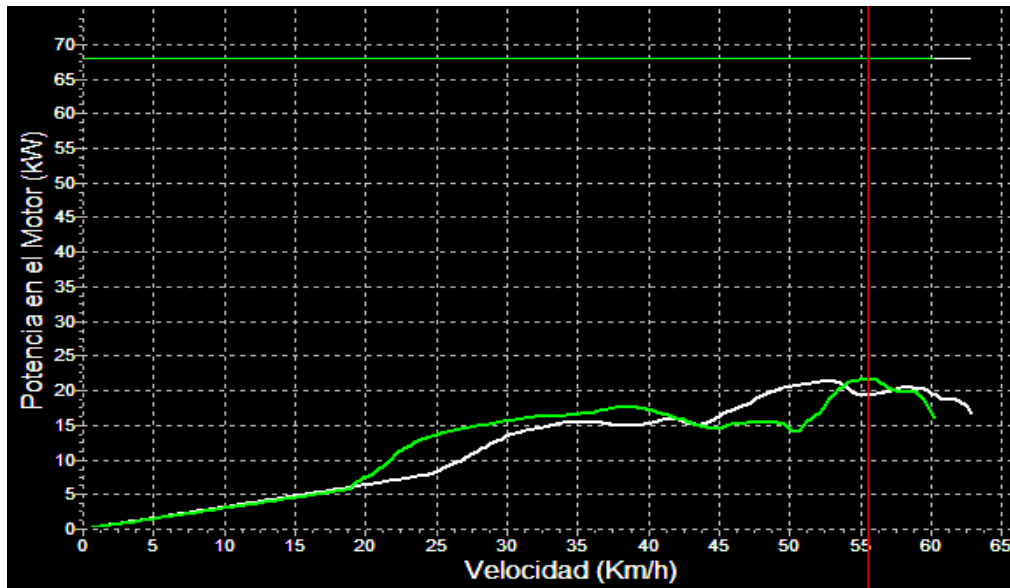


Figura 63.- Comparación de la Potencia en el motor vs. Velocidad del vehículo funcionando con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

Bajo estas condiciones y de forma máxima debería esperarse una potencia correspondiente al máximo torque de 127 Nm a 4500 rpm y recurriendo a la fórmula de potencia efectiva, en el volante de inercia se tiene:

$$P_e = \frac{M_M \cdot n}{9550} \text{ [ kW ]}$$

$$P_e = \frac{127 \cdot 4500}{9550} = 59.84 \text{ [ kW ]}$$

Puede establecer entonces, que:

- Para el combustible evaluado de la gasolina se obtiene una potencia máxima a carga parcial adoptada, de 21.61 kW a 2323 rpm.
- Para el combustible evaluado de el GNC se obtiene una potencia máxima a carga parcial adoptada, de 21.36 kW a 2196 rpm.
- Considerando los valores comparativos y el máximo nominal, puede establecerse que se está efectuando las pruebas a una carga parcial equivalente al 36%.

Puesto que la forma desarrollada en cada curva, ni el valor de rotación, en el que se obtiene el valor de potencia del motor tienen importancia comparativa, debido a ser consecuencia de todos los efectos cinemáticos y dinámicos, internos y externos, pierden objetividad comparativa, puede entonces hacerse referencia a la diferencia de valores máximos obtenidos, que es de 0.25 kW, o porcentualmente de que la potencia en el motor obtenida por el GNC es 1.16% menor a la potencia de motor obtenida con gasolina.

### 6.1.6 Potencia efectiva del motor

La curva de potencia efectiva desarrollada por un motor, es una curva característica de cada motor de combustión interna y tiene importancia en la investigación y el desarrollo de motores, con la condicionante que sea efectuada a plena carga, situación no efectuada por los ensayos hechos bajo la metodología adoptada. Por ello la representación gráfica de la Potencia Efectiva del motor en función de las revoluciones del motor tiene básicamente condición de ejemplo que muestra la generación de las curvas de carga parcial. Figura 64.

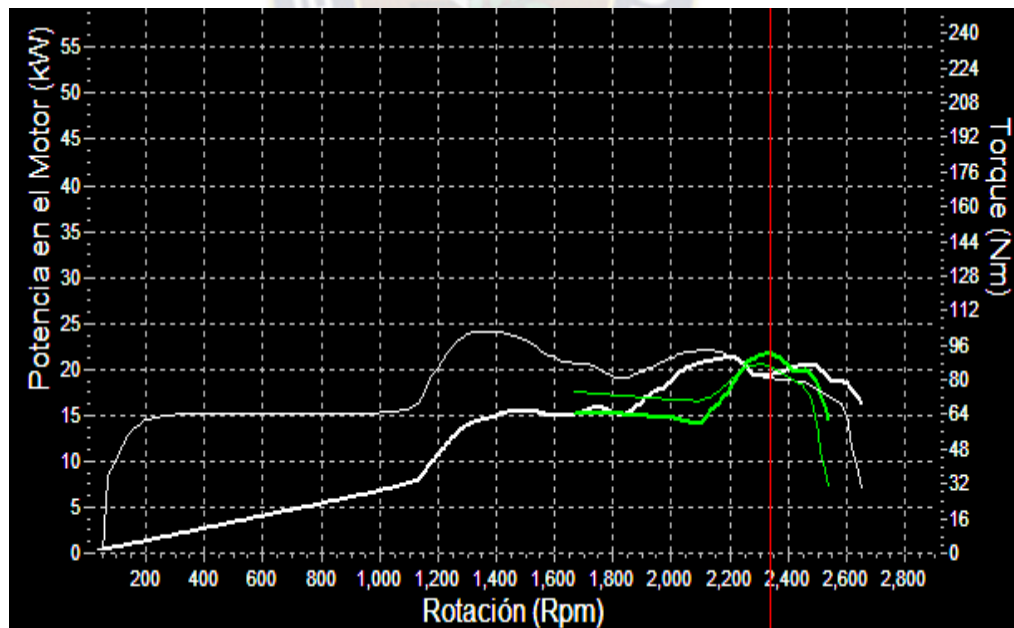


Figura 64.- Comparación de curvas características del vehículo funcionando a carga parcial del 36% con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

### 6.1.7 Potencia en la rueda

Al igual que el caso anterior la potencia obtenida en la rueda, Figura 65, también conocida como Potencia Disponible es importante que sea efectuada a plena carga, y es utilizada en el diseño de automóviles para especificar condiciones y características de explotación. Por ello la representación gráfica de la Potencia en la rueda del vehículo en función de la velocidad del automotor para una carga parcial del 36%, y que establece una potencia en la rueda de 8.56 kW a 55.10 km/h para la gasolina y para el GNC 8.69 kW a 52.49 km/h.

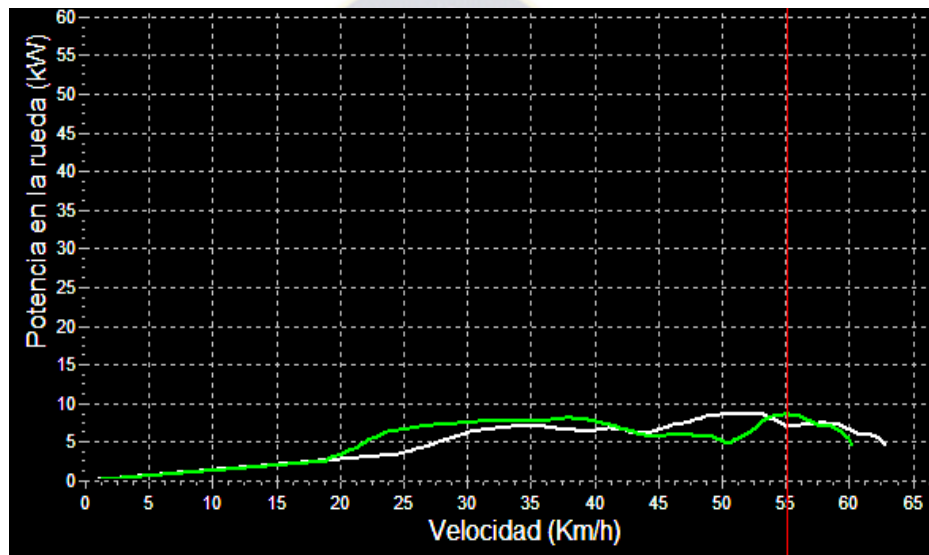


Figura 65.- Comparación de la potencia en la rueda vs la velocidad del vehículo funcionando a carga parcial del 36% con gasolina (color verde) y convertido a GNC (color blanco)

## 6.2 Resultados del desempeño energético

Al ser una evaluación de la capacidad del vehículo para atender solicitudes de aceleración en terreno plano, recuperación de velocidad y otros que evaluarán el desempeño del motor en condiciones de altitud de la ciudad de La Paz y bajo la operación de dos combustibles, en la que se muestran de manera gráfica el promedio de los registros obtenidos para cada tipo de combustible, y que permiten apreciar mediante la diferencia asociada con el desempeño mecánico del vehículo, en los parámetros: de capacidad de aceleración, recuperación de velocidad, rotaciones del motor, torque del motor, potencia en la rueda y potencia en el motor.

Dado que el desempeño energético por consumo de un vehículo, depende en gran manera de las características del ciclo de trabajo, que se presenta en ciudad, en autopista y alta velocidad, para la evaluación del consumo de combustible se asume como absoluta el recorrido adoptado.

### **6.2.1 Rendimientos energéticos**

Si bien las unidades de volumen no son comparables, la gasolina bajo todo punto de vista aporta mayor energía calorífica que el GNC, si efectuamos la comparación en kg.

En esta prueba de evaluación para el consumo de combustible en un ciclo de conducción y recorrido, se utiliza un cilindro de acero, cromo-molibdeno, con una presión de trabajo de 200 bares, con una capacidad de 60 litros que equivales a 15 metros cúbicos de gas según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

En el ciclo de conducción diseñado para ver su consumo total del cilindro y el kit de inyección secuencial, se tiene una autonomía de suministro de gas, de cuanto se puede recorrer con este cilindro, se establece un recorrido de 145 km, consumiendo 12.18 m<sup>3</sup> en el que, el sistema de 5ta generación va cambiando automáticamente a gasolina, quedando en el cilindro 2.82 m<sup>3</sup> de gas en el cilindro de los 15 m<sup>3</sup> de su capacidad, respondiendo el sistema adecuadamente en su funcionamiento a diferentes velocidades y alturas como en la ciudad de La Paz y El Alto.

### **6.2.2 Medición del combustible**

Para esto se sigue el consumo de combustible en carretera, según la norma DIN 70030-1 y se entiende, el producido en un tramo largo de carretera normal ciudad, autopista y alta velocidad. Para la determinación del consumo de combustible en carretera, se mide la cantidad de éste, con aparatos volumétricos de medida en el vehículo conjuntamente con el odómetro del vehículo, midiendo con exactitud la longitud del recorrido. Y se lo expresa en distancias de 100 km.

$$k_s = \frac{K \cdot 100}{s} \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right]$$

$$k_{sgasolina} = \frac{8.2 \cdot 100}{100} = 8.2 \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right]$$

Aplicando la formula, se tiene para la gasolina, un consumo de recorrido de 8.2 litros para 100 Km recorrido.

Para el GNC se tiene un consumo de 8.4 m<sup>3</sup> para un recorrido de 100 Km.

Aplicando la equivalencia que según estudios encargados por Swisscontact al GNC 8.4 m<sup>3</sup> x 1.25 litros con la gasolina, se tiene 10.5 litros, para un recorrido de 100 Km.

$$k_{sgnc} = \frac{10.5 \cdot 100}{100} = 10.5 \left[ \frac{l}{100 \text{ km}} \right]$$

### 6.2.3 Costo por recorrido

Considerando la información proporcionada por la ANH, el costo de la gasolina especial el litro es de 3.74 Bs., multiplicado este consumo del vehículo Suzuki de 8.2 litros para 100 Km de recorrido, se tiene un costo de 30.66 Bs.

Siguiendo la información proporcionada por la ANH, el costo del GNV es de 1.66 Bs/m<sup>3</sup>, multiplicado el consumo del vehículo de 8.4 m<sup>3</sup> para 100 Km de recorrido se tiene, un costo de 13.94 Bs.

A manera de establecer un criterio comparable en función del tiempo, (Tabla 11), se supone que el vehículo circula treinta días al mes y recorre cada día 100 Km, alcanza un costo mensual de:

Combustible	Unidad	Precio Unitario	Consumo de 100 Km	Costo total	Gasto mensual
Gasolina	Litro	3.74 Bs/l	8.2 litros	30.66 Bs	919.8 Bs
GNC	m <sup>3</sup>	1.66 Bs/m <sup>3</sup>	8.4 m <sup>3</sup>	13.94 Bs	418.2 Bs

Tabla 11.- Costos básicos de operación en el motor Suzuki G16A

### 6.3 DESEMPEÑO AMBIENTAL

Como los vehículos automotores son reconocidos, como la mayor fuente de contaminación del aire dentro de todas las actividades humanas principalmente en el transporte. Por tal razón las entidades gubernamentales e instituciones como IBNORCA se han preocupado por emitir normativas, que regulen los niveles de emisión de los vehículos, tanto nuevos como usados, el cual se debe cumplir para no contaminar en medio ambiente del país.

#### 6.3.1 Emisiones contaminantes

Los principales contaminantes emitidos por el tubo de escape del vehículo Suzuki evaluado, tanto para el consumo de combustible, a gasolina, como para el GNC, se tienen los siguientes resultados aprobados. (Tabla 12).

DATOS DE LA PRUEBA				DISPOSITIVO DE MEDICION COD001			
RALENTI		COMBUSTIBLE: GASOLINA		CRUCERO			
RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS		NORMA	
HC:	1.00	HC LIMITE:	125.00 ppm	HC:	0.00	HC LIMITE:	125.00 ppm
CO:	0.00	CO LIMITE:	0.50 %	CO:	0.00	CO LIMITE:	0.50 %
CO2:	14.29	CO2 MINIMO:	7.00 %	CO2:	14.36	CO2 MINIMO:	7.00 %
O2:	0.00	O2 MAXIMO:	5.00 %	O2:	0.00	O2 MAXIMO:	5.00 %
RPM:	715	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,479	RPM MIN:	2,250 rpm
TEMP:	76	TEMP MIN:	30.00 °	TEMP:	75	TEMP MIN:	30.00 °
RESULTADO: APROBADA				RESULTADO: APROBADA			
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA:		FECHA VALIDEZ:		<b>RESULTADO GENERAL: APROBADA</b>			
12/14/2012 11:01:41		06/14/2013					

DATOS DE LA PRUEBA				DISPOSITIVO DE MEDICION COD001			
RALENTI		GAS NATURAL		CRUCERO			
RESULTADOS		NORMA		RESULTADOS		NORMA	
HC:	2.00	HC LIMITE:	125.00 ppm	HC:	20.00	HC LIMITE:	125.00 ppm
CO:	0.02	CO LIMITE:	0.50 %	CO:	0.05	CO LIMITE:	0.50 %
CO2:	11.55	CO2 MINIMO:	%	CO2:	11.55	CO2 MINIMO:	%
O2:	0.00	O2 MAXIMO:	%	O2:	0.00	O2 MAXIMO:	%
RPM:	715	RPM MIN:	500 rpm	RPM:	2,626	RPM MIN:	2,250 rpm
TEMP:	76	TEMP MIN:	30.00 °	TEMP:	76	TEMP MIN:	30.00 °
RESULTADO: APROBADA				RESULTADO: APROBADA			
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA:		FECHA VALIDEZ:		<b>RESULTADO GENERAL: APROBADA</b>			
12/14/2012 11:07:12		06/14/2013					

Tabla 12.- Resultados del analizador de gases BEAR en ralentí y crucero en el motor Suzuki G16A.



En cuanto al desempeño ambiental en condiciones de pruebas de ralentí y cruce, se evaluó que el vehículo en ambas situaciones, cumple con la reglamentación de emisiones (para el vehículo modelo 2010).

En la prueba de ralentí se observa que producto de la combustión incompleta por el GNC y la mala pulverización pobre en oxígeno se tiene un incremento CO en un 0.02 %, Figura 66, como para el HC de 2.00 ppm por el ingreso de aire frío en la cámara de combustión. Figura 67.

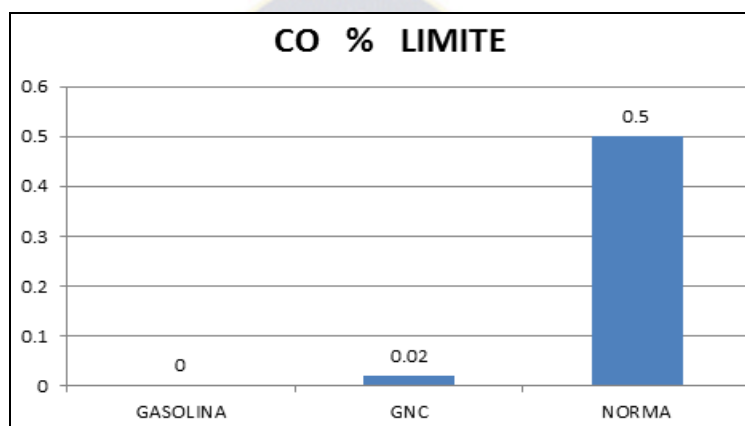


Figura 66.- Comparación de la emisión de CO para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente en ralentí.

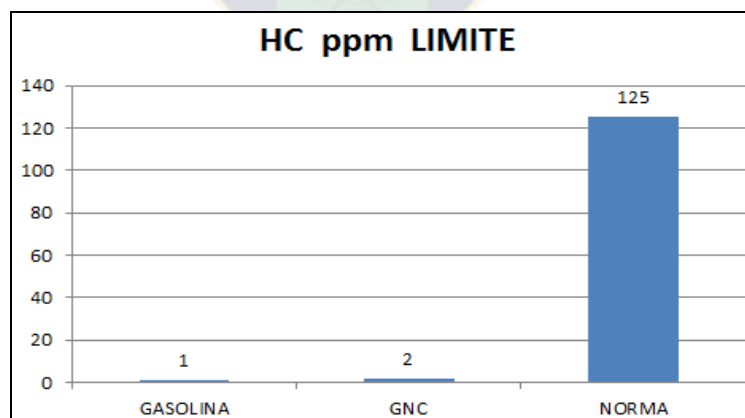


Figura 67.- Comparación de la emisión de HC para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente en ralentí.

En cuanto al desempeño ambiental en condiciones de crucero, se evaluó que la conversión de kit de 5ta generación de GNC ha incrementado las emisiones de CO en un 0.05% , Figura 68, y con los HC se ha incrementado en 20 ppm en relación a la gasolina, Figura 69.

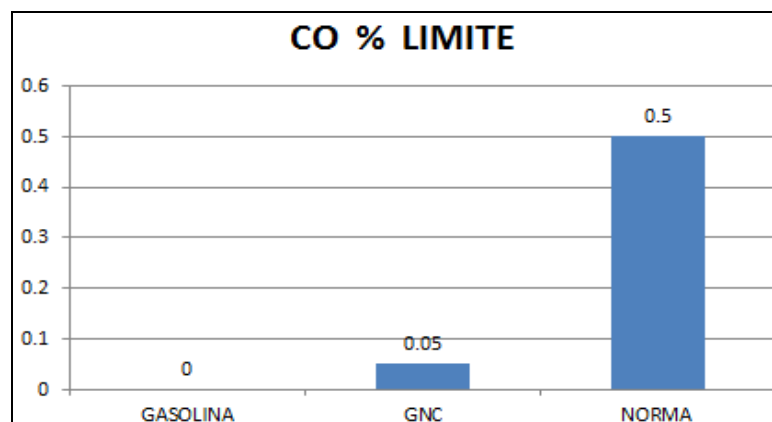


Figura 68.- Comparación de la emisión de CO a velocidad de crucero para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente

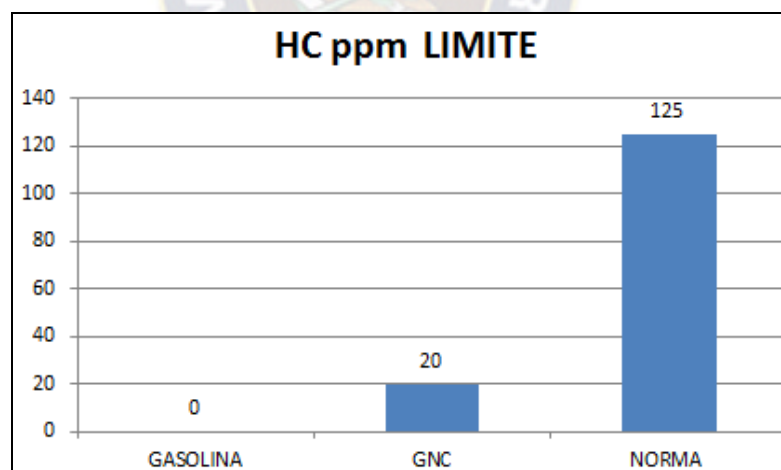


Figura 69.- Comparación de la emisión de HC a velocidad de crucero para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente

Para el caso en ralentí, Figura 70, y crucero, Figura 71, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es un producto normal de la combustión de cualquier combustible que contenga carbón, pero se

debe considerar contaminante al superar los índices actuales de la gasolina, superando la concentración de la norma de IBNORCA. Y el oxígeno no se manifiesta en ninguna de las dos pruebas.

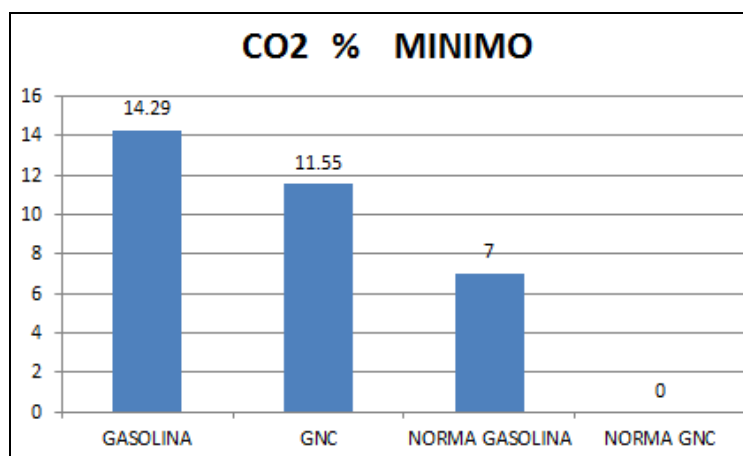


Figura 70.- Comparación de la emisión de CO<sub>2</sub> a velocidad de ralentí para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente

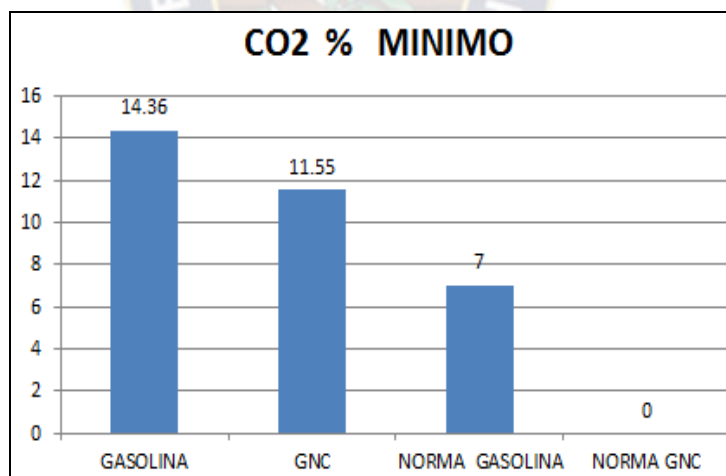


Figura 71.- Comparación de la emisión de CO<sub>2</sub> a velocidad de crucero para el motor Suzuki G16A para solamente gasolina, solamente GNC y la representación de la Norma vigente

Finalmente se muestra una (Tabla 13) resumen de los resultados, que sirve como parámetro base comparativos del desempeño mecánico y ambiental, con consumo por recorrido en ciclo de vía exclusivo para el modelo Suzuki Carry.

<b>Descripción</b>	<b>Nominal A nivel del mar</b>	<b>Gasolina en La Paz</b>	<b>GNC con kit 5ta generación en La Paz</b>
Potencia indicada KW	68	-----	-----
Rotación rpm	5750	-----	-----
Torque Nm	127		
Rotación rpm	4500	-----	-----
Potencia efectiva en volante de inercia KW	59.84	-----	-----
Carga total y parcial %	100	36	36
Potencia efectiva en volante en La Paz KW	-----	21.61	21.36
Potencia en la rueda KW	-----	8.56	8.69
Rotación rpm	-----	2323	2196
Velocidad Km/h	-----	55.28	52.33
Torque máx. Nm	-----	120.58	102.33
Rotación rpm	-----	1134	1377
Velocidad máx. Km/h	-----	26.69	32.71
Rendimiento absoluto al torque %	100	94.94	80.57
Rendimiento mecánico total y parcial %	88	31	31
Consumo para 100 Km de recorrido	-----	8.2 Lt.	8.4 m <sup>3</sup>
Costo por recorrido para 100 Km	-----	30.66 Bs.	13.94 Bs.
Ralentí HC ppm	-----	1.00	2.00
Ralentí CO %	-----	0.00	0.02
Ralentí CO <sub>2</sub> %	-----	14.29	11.55
Ralentí O %	-----	0.00	0.00
Crucero HC ppm	-----	0.00	20.00
Crucero CO %	-----	0.00	0.05
Crucero CO <sub>2</sub> %	-----	14.36	11.55
Crucero O %	-----	0.00	0.00

Tabla 13.- Resumen de Desempeño, Mecánico, Energético y Ambiental del vehículo Suzuki Carry

## CONCLUSIONES

En conclusión la tecnología utilizada para la conversión vehicular a GNC, en nuestro parque vehicular, no responde eficientemente por los mezcladores convencionales instalados, sin embargo en ensayos de pruebas piloto de mezcladores de Diafragma tipo turbina, si han mejorado la potencia con variaciones en el ángulo de adelanto del distribuidor.

Que convencionalmente se miden rendimientos y comportamientos de motores en salas de ensayo donde el motor se instala en un banco de pruebas, mientras que para el mantenimiento predictivo se utiliza parámetros proporcionales al síntoma deseado, de manera que su lectura sea lo más cercana a la realizada y sin necesidad de ser intrusiva ni invasiva. Es por ello que el presente trabajo de investigación, utiliza las pruebas de carretera, para evaluar el desempeño mecánico y ambiental del kit de conversión, mediante la inyección secuencial de gasolina GNC, por comparación de sus síntomas de comportamiento, de manera de establecer su confiabilidad para el motor de combustión interna en la altura de la ciudad de La Paz.

### 7.1 CONCLUSIONES GENERALES

Se establecen las siguientes:

- Es altamente beneficioso en términos de costo y tiempo utilizar técnicas y metodologías del mantenimiento predictivo, para evaluar por comparación, el funcionamiento de dos condiciones diferentes de operación en un mismo medio.
- El empleo de las pruebas de carretera en automotores, ha demostrado posibilidad y fiabilidad al interpretar anomalías y malos funcionamientos en el motor de combustión, siendo importante como en todo proceso de mantenimiento, una correcta interpretación de los síntomas.

- La metodología propuesta de evaluar un motor de combustión, no necesariamente en sus condiciones extremas y puntos característicos ha resultado efectiva, ya que es posible definir comportamientos fluido dinámicos de combustión, en zonas establecidas, como cargas parciales.
- La importancia de efectuar investigación aplicada, ha permitido el desarrollo de la temática como una Línea de Investigación en la carrera de Mecánica Automotriz y la generación de trabajos futuros vinculados, que no solo permitirán presentarse a Fondos Concursables sino a su ejecución con fondos propios de la carrera.

## **7.2 CONCLUSIONES PARTICULARES**

Se pueden establecer las siguientes:

- La evaluación del kit de conversión de inyección secuencial, es posible mediante pruebas de carretera.
- Si bien es posible obtener valores de medida de los parámetros evaluados y estimar el nivel de carga parcial al que se está trabajando, no es posible referirlos en términos absolutos a la curva de potencia máxima, por cuanto deben ser considerados como relativos.
- Las pruebas de desempeño mecánico para el motor Suzuki G16 A, han establecido una respuesta eficiente del equipo de inyección secuencial para la potencia, puesto que los valores obtenidos son muy similares, con pequeñas diferencias del orden de 1.16% menor en el caso del GNC con respecto a la gasolina.
- Las pruebas de desempeño mecánico para el motor Suzuki G16 A han establecido una respuesta todavía ineficiente del equipo de inyección secuencial para el torque generado por el motor, puesto que los valores obtenidos difieren en 14.37% menor en el caso del GNC con respecto a la gasolina.
- En las pruebas de velocidad y aceleración, es evidente la falta de presión en el cilindro durante la combustión, y se observa que no tiene la misma reacción que el motor funcionando a gasolina, que a GNC aspecto que se ha comprobado en el

incremento de Hidrocarburos no quemados en la evaluación del desempeño medioambiental.

- Otro aspecto destacable, es la nueva condición de funcionamiento errático que adquiere el motor cuando funciona con gasolina, merced a la variación de sus condiciones de operación, debido a la intrusión de los inyectores de GNC, que limitan su operación.
- En las pruebas de desempeño energético, las mismas confirman que el consumo entre funcionamiento a gasolina y GNC se consideran compatibles, ya que son similares, en cuanto a generación energética demandada, la verdadera diferencia la establece el costo unitario de cada combustible, que determinan un costo operativo por concepto de combustible de menos del 50%.
- En cuanto al desempeño ambiental las pruebas de ralentí y crucero, en el vehículo en ambas situaciones, cumplen con la reglamentación de emisiones según IBNORCA.
- El incremento del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), es producto de la mala combustión y se la debe considerar contaminante, al superar los índices de la norma, ayudándonos a diagnosticar que la entrada de aire es restringida.

### **7.3 RECOMENDACIONES**

Se puede establecer los siguientes:

- Se recomienda tener cuidado en la manipulación del dinamómetro portátil, en las pruebas de carretera, en la que se debe buscar caminos con línea recta y con poca pendiente, no más de 5% y no realizar pruebas en bajadas, ni en subidas, siguiendo el protocolo del instrumento y el código de tránsito.

## 7.4 TRABAJOS FUTUROS

Se pueden establecer las siguientes:

- Efectuar ensayos controlados con el software de control de la centralita de GNV del kit de 5ta generación, que permitiría efectuar pruebas de eficiencia y personalización de la combustión, en altura de la ciudad de La Paz.
- Formalizar ensayos de caracterización y validación de la metodología adoptada en diferentes líneas conversión vehicular, permitiendo consolidar el uso de equipo Performance Analyzer como herramienta del mantenimiento predictivo.
- La variabilidad de la composición del GNC podría, producir cambios en el poder calorífico y emisiones, que alteran el rendimiento del motor y aún más en la altura, como se encuentra en la Ciudad de La Paz

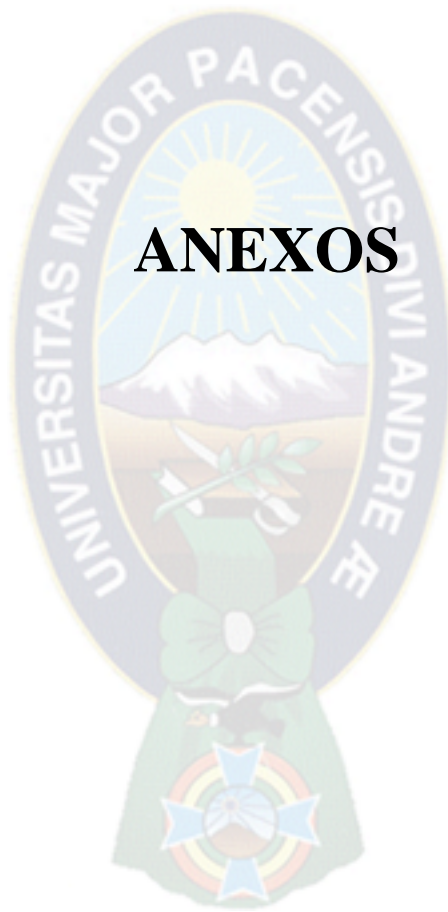




## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. 2010. Seguridad en la instalación y uso correcto del gas natural vehicular. Bolivia. 13(3) p.
2. AGUDELO S. y JOHN R. 2004. Ciclos de conducción, Pruebas cortas en ruta en un vehículo. Colombia. 168 p.
3. BEAR. 2007. Funcionamiento de módulos. Analizador de emisiones contaminantes para motores gasolina, gnc y diesel, USA. 27 p.
4. EDUARDO MANUEL CRUZ RABELO. 1997. Fiabilidad de las Maquinas e Instalaciones. En: Ingeniería de mantenimiento formación en mantenimiento para ingenieros mecánico, Argentina. 112 p.
5. F. PAIRY. 2011. Técnicas experimentales y Curvas Características y Aplicaciones, Motores de combustión interna alternativo. Barcelona. 997p.
6. H. KINDLER y H. KYNAST. 1986. Calculo del Motor. Matemática aplicada para la tecnología del automóvil. Barcelona. 109.
7. HENRY ESPINOZA y LUIS PATINO. 2007. Modelo predictivo de combustión de mezclas de gas natural en motores de encendido por chispa. Colombia. 17 p.
8. HERNANDEZ SAMPIERI ROBERTO. 1991. Formulación de Hipótesis. Metodología de investigación, México. 73p.
9. IBNORCA, 2004. Límites permisibles para vehículos usados sujeto a importación y vehículos en circulación. Calidad del aire, Emisiones de fuentes móviles, NB 62002 Generalidades clasificación y límites máximos permisibles, Bolivia. 6p.
10. ICONTEC. 2001. Condiciones de ensayo, Vehículos automotores, motores de combustión interna, potencia neta, Bogotá, 35p.
11. JOVAJ M. S. 1982. Factores que influyen sobre parámetros indicados y efectivos del motor y sobre toxicidad, Motores de combustión interna, Moscú. 180p.

12. LOURIVAL TAVARES.1999. El sistema de información y el mantenimiento, Administración moderna de mantenimiento. Brasil. 44 p.
13. MINISTERIO DE HIDROCARBUROS Y ENERGÍA. 2013. Informe de gestión La Paz – Bolivia,
14. NICOLAI PATRAKHALTSEV. 1994. Ciclos de ensayo y banco de pruebas para mediciones de toxicidad de los gases de escape de los MCI, Toxicidad motores de combustión interna. Perú. 73 p.
15. ORLANDO VÁSQUEZ. 2010. Afinado de motor a GNC, Mantenimiento preventivo y afinado de motores COSUDE. Bolivia. 40 p.
16. PAULO GAZZINELLI. 2010. Normas de corrección, SAE J 1349, CUNA, DIN 70020, Motores de combustión interna. Brasil. 332 p.
17. RAMIRO W. PERALTA URÍA. 2011. Planificación del mantenimiento. Principio y fundamentos de la ingeniería de mantenimiento. Bolivia. 235 p.
18. RED MÓNICA. 2005. Resultados de la Red Mónica Bolivia, Niveles de contaminación. Bolivia. 15 p.
19. ROMANO AUTOGAS. 2012. Manual de instalación y asistencia técnica, Italia.
20. SWISSCONTACT. 2006. Combustibles, Semana aire limpio en Bolivia, La Paz. 12 p.
21. SWISSCONTACT. 2011. El auto nuestro de cada día, Bolivia. 1 p.
22. TECNOMOTOR. 2012. Performance Analyzer TM 900, Manual de instrucción, Brasil.46 p.
23. VICEMINISTERIO DE DESARROLLO ENERGÉTICO. 2008. Estrategia Boliviana de hidrocarburos, Bolivia. 123 p.



# ANEXOS

## Anexo A

### MANTENIMIENTO DEL GNV

Ficha técnica de mantenimiento del sistema GNV

<b>OPERACIÓN DE MANTENIMIENTO (en miles de kilómetros)</b>	<b>19</b>	<b>38</b>	<b>57</b>	<b>76</b>	<b>95</b>	<b>114</b>	<b>133</b>	<b>152</b>	<b>171</b>	<b>190</b>	<b>209</b>	<b>228</b>
Verificación de las emisiones contaminantes gasolina/GNV		X		X		X		X		X		X
Verificación del estado de la carrocería en la zona de fijación de los elementos del sistema GNV.	X		X		X		X		X		X	
Verificación de la fijación y de la integridad del depósito del GNV, válvula de cilindro y tubería (alta presión) y mangueras (baja presión) de GNV.	X		X		X		X		X		X	
Verificar la estanqueidad de los empalme del sistema GNV (agua, gas).	X		X		X		X		X		X	
Verificar la instalación eléctrica del sistema GNV (cables, conexiones, estanqueidades).		X		X		X		X		X		X
Verificación del sistema de encendido (bobina de encendido, cables de alta tensión y bujías).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificar y puesta a cero de los errores acumulados en la computadora ECU y la centralita		X		X		X		X		X		X
Sustitución filtro GNV, bujías y filtro de aire	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenimiento del regulador de presión (limpieza del filtro de alta presión)			X			X			X			X

## Anexo B

### FICHA DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DE GNV

Mantenimiento 19.000 KM	Mantenimiento 38.000 KM	Mantenimiento 57.000 KM	Mantenimiento 76.000 KM	Mantenimiento 95.000 KM	Mantenimiento 114.000 KM
Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:	Fecha:
Kilometraje:	Kilometraje:	Kilometraje:	Kilometraje:	Kilometraje:	Kilometraje:
Concesionario:	Concesionario:	Concesionario:	Concesionario:	Concesionario:	Concesionario:
No de Orden:	No de Orden:	No de Orden:	No de Orden:	No de Orden:	No de Orden:
Sello:	Sello:	Sello:	Sello:	Sello:	Sello:
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:



## Anexo C

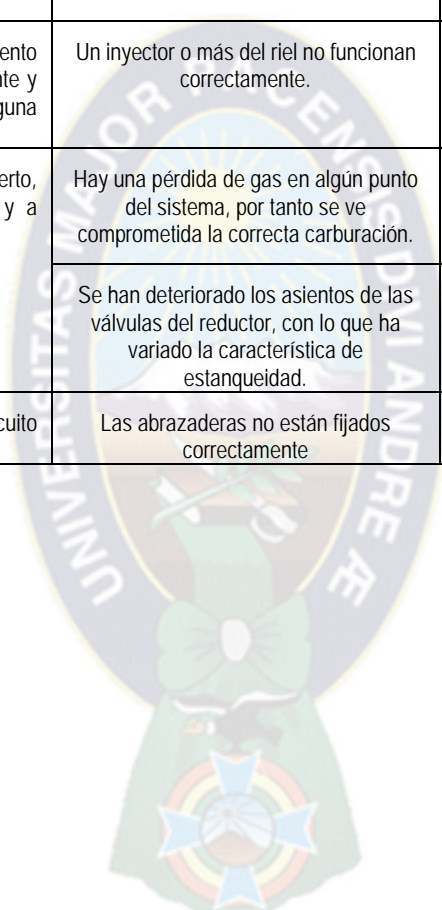
### DIAGNÓSTICO DEL GNV

#### Manual de propietarios de vehículos equipados con GNV.

SÍNTOMA DE INCIDENCIA	CAUSA	SOLUCIÓN
<b>Guía de fallas del sistema GNV funcionamiento del motor en marcha mínima (ralentí)</b>		
El número de revoluciones con régimen mínimo es demasiado alto o demasiado bajo	Hay infiltración de aire procedente del circuito de compensación	Sustituir el tubo estropeado Regular el mínimo del vehículo con gasolina
	El régimen mínimo del vehículo con gasolina no está bien regulado	Regular el mínimo del vehículo con gasolina
El mínimo es inestable (el motor borbotea) pero la sonda lambda trabaja	La sonda lambda tiene una señal lenta o incorrecta	Comprobar que el vehículo funcione con gasolina, en el caso de verificar defectos, sustituir la sonda.
La mezcla es tan rica o pobre que el coche no logra estar encendido al mínimo	Se ha roto el controlador de pilotaje de uno de los inyectores	Sustituir la unidad de control electrónico.
El régimen del motor al mínimo no es regular, el motor presenta una inestabilidad de varios cientos de revoluciones	El mínimo no está bien calibrado	Llevar a cabo la calibración del mínimo, recordando diferenciar las zonas de mínimo, con compensador del climatizador activado y desactivado.
El analizador de gas de escape indica una mezcla rica o pobre con motor al mínimo	El emulador de inyectores de gasolina presente en la unidad de control electrónico deja pasar gasolina	Sustituir la unidad de control electrónico.
<b>Salida de marcha mínima con aceleración lenta</b>		
El motor es inestable y se apaga inesperadamente	De vez en cuando, la sonda lambda deja de funcionar y el sistema enriquece o empobrece la mezcla con gasolina más de la cuenta antes de entrar en recuperación	Controlar la eficiencia de la sonda lambda y si es el caso, sustituirla.
<b>Salida de marcha mínima con aceleración rápida</b>		
El motor se apaga o tiende a apagarse	La carburación durante la aceleración es excesivamente pobre.	Solución de carburación el caso análogo pobre.
	La carburación durante la aceleración es excesivamente rica.	Solución de carburación el caso análogo pobre.
<b>Paso de gasolina a gas</b>		
El vehículo no pasa al funcionamiento con gas	Los inyectores no se abren.	Verificar en el diagnóstico de funcionamiento posibles errores, en caso de presentarse defectos, sustituir el inyector o la centralita.
	La unidad de control electrónico es defectuosa.	Sustituir la unidad de control electrónico.
	Es imposible leer el valor de la	Controlar la conexión eléctrica, si es

	temperatura del agua del motor.	correcta, sustituir el sensor de temperatura.
Durante algunos segundos, tras el paso, la carburación no es óptima	En invierno puede verse carburaciones equivocadas, si el valor de temperatura del agua para el cambio ha sido configurado demasiado baja	Modificar la temperatura del agua para el cambio con un valor mas alto.
El vehículo empieza a trabajar con gas y se apaga	Las electroválvulas del depósito y /o del reductor no se abren.	Verificar en el diagnostico la presencia de posibles errores, en consecuencia, reparar la conexión eléctrica o sustituir la electroválvula defectuosa.
	Uno o más inyectores no funcionan correctamente.	Verificar en el diagnóstico de funcionamiento posibles errores, en caso de defectos, sustituir el riel de los inyectores.
	La presión desciende rápidamente	Verificar el reductor de presión, la eficiencia del filtro de gas, posible estrangulamiento en el circuito de alta baja presión.
El vehículo regresa a funcionar con gasolina	La presión es baja.	Filtro sucio.
	Es imposible leer la presión del gas.	Verificar la conexión eléctrica y la eficiencia del sensor de presión.
	Los tiempos de inyección de gas son demasiado altos y superiores con respecto al periodo entre dos inyectores de gasolina.	Remitirse al manual verificando valores de asistencia técnica.
<b>Regreso al régimen mínimo del motor</b>		
Apagado del motor volviendo de una marcha que funciona con regímenes	El reductor se enfría mucho durante la marcha en potencia, aumenta la densidad del gas y carburación es excesivamente rica en régimen mínimo	Verificar el circuito hidráulico.
El motor no logra estabilizar la velocidad de rotación y el régimen oscila varios cientos de revoluciones.	Verificar si también se verifica durante el funcionamiento con gasolina, aunque de forma menos acentuada	Eliminar el defecto también durante el funcionamiento con gasolina.
<b>Funcionamiento del motor bajo carga</b>		
El vehículo pierde fuerza porque la carburación es pobre	Se lee una variación de presión elevada y esta se mantiene por debajo del valor nominal durante largo tiempo	El reductor está dañado.
		La multiválvulas del depósito no suministra suficiente gas.
		Sustituir el filtro de gas
Tras un cierto periodo de funcionamiento a plena potencia, el vehículo pasa a funcionar con gasolina.	La temperatura del reductor desciende a valores demasiado bajo y en consecuencia, la unidad de control electrónico detecta el error en diagnóstico	El circuito hidráulico no proporciona una potencia térmica suficiente para mantener a la temperatura el reductor durante la distribución de cantidades elevadas de metano, verificar el circuito hidráulico y la instalación.
	La presión ha descendido por debajo del valor 0.5 bar bajo la presión de ejercicio..	Controlar el filtro de gas, controlar posibles estrangulamientos en las tuberías de alta y baja presión.

Durante aceleraciones violentas con marcha cortas, al llegar a revoluciones muy altas, el vehículo va a tirones violentamente.	Interviene la sobre revoluciones de gasolina y el vehículo pasa a funcionar con gasolina.	Viajar a un régimen de revoluciones más contenido.
	La sonda lambda deja de funcionar y no da valores reales	Al regresar a gasolina, controlar que la sonda vuelva a funcionar correctamente, en caso contrario sustituirla.
El conmutador no se ilumina	El fusible del cable rojo y negro esta quemado.	Sustituir el fusible con uno de la misma capacidad.
	El cable del conductor está dañado.	Sustituir el cableado o repararlo.
	El conmutador esta averiado	Sustituir el conmutador
El vehículo se mantiene en movimiento difícilmente, se apaga ocasionalmente y la manejabilidad no es buena en ninguna condición.	Un inyector o más del riel no funcionan correctamente.	Verificar el funcionamiento y eventualmente sustituirlos
El funcionamiento es incierto, especialmente a régimen mínimo, y a menudo se nota olor a gas	Hay una pérdida de gas en algún punto del sistema, por tanto se ve comprometida la correcta carburación.	Verificar la estanqueidad de la instalación y la presión de trabajo del reductor
	Se han deteriorado los asientos de las válvulas del reductor, con lo que ha variado la característica de estanqueidad.	Verificar la presión de trabajo, revisar eventualmente el reductor o sustituirlo.
Perdida de agua desde el circuito hidráulico	Las abrazaderas no están fijados correctamente	Revisar la instalación.





## Anexo D

### RESULTADOS DE PRUEBA SUZUKI G 16A GNC (BLANCO) Y GASOLINA (VERDE)

<b>Resultados: Potencia Rapida del Motor</b>			
Placa:	GAS8	GASOLI	
Fecha de la Prueba:	11/12/2012	11/12/2012	
Hora de la Prueba:	15:43:37	15:39:56	
Resultados			
Potencia Máxima (kW):	21.36	21.61	
Potencia en la rueda (kW):	8.69	8.56	
Rotación Pmax (Rpm):	2196.035	2323.166	
Velocidad Pmax (Km/h):	52.63	55.28	
Torque Máximo (Nm):	102.33	120.58	
Rotación Tmax (Rpm):	1377.206	1134.88	
Velocidad Tmax (Km/h):	32.71	26.69	
Condiciones Atmosféricas			
Presión Atmosf. (mBar):	676.00	676.00	
Temperatura (oC):	39.00	39.00	
Norma de corrección:	DIN70020	DIN70020	
Factor de corrección:	1.546	1.546	
Valores Nominais/ (Desviación%)			
Potência Nominal (kW):	68.00 (-68.60)	68.00 (-68.22)	
RPM Pot. Nominal (Rpm):	2271 (-3.30)	2236 (3.90)	
Torque Nominal (Nm):	127.00 (-19.43)	127.00 (-5.06)	