



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL
EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TESIS DE GRADO

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA
APLICACIÓN DEL “GAS NATURAL
COMPRIMIDO GNC” VEHICULAR COMO
COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN MOTORES A
GASOLINA EN EL ECUADOR.**

Darío S. Molina P.
William R. Granja C.

LATACUNGA - ECUADOR
2006

CERTIFICACIÓN

Certifico que la presente tesis ha sido desarrollada en su totalidad por William R. Granja C. y Darío S. Molina P. egresados de la carrera de la ingeniería automotriz.

Ing. Oscar Arteaga
DIRECTOR DE TESIS

.....

Ing. Germán Erazo
CODIRECTOR DE TESIS

.....

INDICE

CARATULA	I
CERTIFICACION	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	V
INDICE	VII
INTRODUCCION	XI
I. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 La contaminación producida por vehículos livianos.....	3
1.3 El GNC (Gas natural comprimido).....	6
1.4 El gas natural comprimido en el mundo.....	7
1.5 Distribución de vehículos a GNC en el mundo.....	9
1.6 El GNC y el desarrollo de la motorización a gas en el transporte.....	12
1.7 Tendencias de consumo de GNC.....	12
1.8 Enfoques hacia el uso del GNC.....	14
II. CILINDRO DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE	15
2.1 El cilindro.....	15
2.2 Materiales de construcción.....	15
2.2.1 Cilindros tipo 1.....	15
2.2.2 Cilindros tipo 2.....	16
2.2.3 Cilindros tipo 3.....	16
2.2.4 Cilindros tipo 4.....	16
2.3 Proceso de fabricación.....	16
2.3.1 Etapas.....	16
2.3.2 Ensayos.....	18
2.4 Prueba hidrostática a cilindros de GNC.....	18
2.4.1 Importancia de la prueba hidrostática.....	19
2.4.2 Proceso de inspección.....	19
2.5 Sistema de medición ultrasónica de espesores.....	20

2.6 Presiones de funcionamiento.....	22
2.7 Cálculo del espesor.....	24

III. INSTALACION DE LOS COMPONENTES DEL GNC APLICADO EN AUTOMOVILES.....

3.1 Evaluación previa de los vehículos a GNC.....	26
3.2 Descripción de las partes del kit de adaptación.....	29
3.2.1 Válvula de llenado.....	30
3.2.2 Cilindro de almacenamiento.....	30
3.2.3 Válvula de cilindro.....	31
3.2.4 Tuberías y racores.....	32
3.2.5 Regulador de presión.....	33
3.2.6 Mezclador.....	34
3.2.7 Sistema de control: manómetro.....	34
3.2.8 Selector de combustible.....	35
3.2.9 Electro válvula de gas.....	36
3.2.10 Variador de avance.....	36
3.2.11 Emulador de inyectores.....	37
3.3 Funcionamiento general del sistema.....	38
3.4 Instalación del kit en el banco de pruebas.....	39
3.4.1 Regulador de presión.....	40
3.4.2 Válvula de carga.....	40
3.4.3 Válvula de cilindro o de servicio.....	41
3.4.4 Manómetro.....	42
3.4.5 Regulador de caudal de máxima.....	42
3.4.6 Mezclador.....	43
3.4.7 Cilindro.....	43
3.4.8 Llave conmutadora.....	45
3.4.9 Emulador de inyectores.....	45
3.4.10 Variador electrónico de avance.....	46
3.5 Calibración (Puesta a punto).....	48

3.5.1 Puesta a punto con variador electrónico de avance.....	48
3.5.2 Calibración del caudal máximo.....	49
3.5.3 Calibración del caudal mínimo.....	50
3.6 Consideración para la utilización del sistema.....	51
3.7 Diagramación.....	52
3.8 Funcionamiento con GNC.....	54
3.8.1 Paso automático al gas.....	54
3.8.2 Paso manual de gas a gasolina.....	55
IV. OBTENCION DE PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO.....	56
4.1 Medición de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor a inyección a gasolina.....	56
4.2 Procedimiento de medición de los diferentes parámetros de funcionamiento.....	56
4.2.1 Ejemplos de cálculos.....	61
4.3 Obtención de datos en el banco de pruebas con gasolina.....	66
4.3.1 Obtención de los gases de escape con gasolina.....	78
4.4 Obtención de datos en el banco de pruebas con GNC.....	82
4.4.1 Obtención de gases de escape con GNC.....	95
V. ANALISIS COMPARATIVO.....	99
5.1 Introducción.....	99
5.2 Comparación de los rendimientos (gasolina-GNC).....	99
5.3 Comparación de los gases de escape.....	106
5.3.1 Análisis del monóxido de carbono al 25, 50,100% (Gasolina- GNC).....	106
5.3.2 Análisis del dióxido de carbono al 25, 50,100% (Gasolina- GNC).....	108
5.3.3 Análisis del oxígeno al 25, 50, 100% (Gasolina- GNC).....	109

5.3.4 Análisis de hidrocarburos al 25, 50,100% (Gasolina-GNC).....	111
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
6.1 Conclusiones.....	113
6.2 Recomendaciones.....	115
BIBLIOGRAFIA.....	117
ANEXOS	118
ANEXO A Tabla de conversión de dureza.....	119
ANEXO B Propiedades de los aceros al carbón.....	120
ANEXO C Factores de conversión útiles.....	121

INTRODUCCIÓN

El presente estudio trata de la utilización del GNC “Gas natural comprimido” como combustible alternativo para determinar las ventajas de su uso en relación a la gasolina.

En el capítulo I trata de los combustibles alternativos, la contaminación producida por vehículos de combustión interna como también sobre las tendencias de consumo de GNC en el mundo..

En el capítulo II hace referencia sobre las características, tipos, materiales de construcción, proceso de fabricación, pruebas, presión de funcionamiento y el cálculo del espesor del cilindro de almacenamiento de combustible.

En el capítulo III explica las evaluaciones previas que se debe realizar antes de instalar los componentes del GNC; puesta a punto, consideraciones para la utilización del GNC.

En el capítulo IV realizamos mediciones de parámetros de funcionamiento en un banco de pruebas mediante procedimientos para la obtención de datos.

El capítulo V incluye comparaciones de los parámetros característicos de los combustibles utilizados en este estudio.

Finalmente expresamos nuestras conclusiones y recomendaciones para quienes utilicen esta investigación como una fuente de consulta.

I. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

1.1 INTRODUCCION

Durante el desarrollo del motor de combustión interna el combustible de gran disponibilidad era el alcohol. Con el paso del tiempo y a medida que el automóvil se volvió más popular, se comenzaron a utilizar como combustible los derivados del petróleo.

Los combustibles que utilizan la mayor parte de los automóviles son no renovables: el diesel, la gasolina; una vez que los quemamos no los podemos recuperar. Además, estos combustibles no renovables tienen una gran desventaja: al quemarse en los motores de combustión interna de los automóviles generan contaminantes y gases tóxicos.

Existe una búsqueda continua para obtener combustibles alternativos; combustibles renovables que contaminen menos y sean más baratos. Los vehículos con combustibles alternativos son equipos que utilizan combustibles distintos a los que provienen del petróleo. Han existido por más de cien años, pero últimamente cautivan la atención de gobiernos, productores de automóviles y consumidores. Entre los combustibles alternativos se destacan el gas natural, la electricidad y el hidrógeno.

El gas natural se obtiene directamente de los yacimientos y en Cuba existen reservas de alguna importancia. Está formado principalmente por metano, constituido por un átomo de carbono con cuatro hidrógenos. Esta estructura hace que sea más ligero que el aire, por lo que si hay una fuga inmediatamente se escapa haciendo más difícil su explosión.

El metano o gas natural puede utilizarse de dos formas, comprimido o licuado (líquido); las únicas diferencias son su estado físico y la manera en que son «empacados».

El gas natural no libera grandes emisiones a la atmósfera, por lo que constituye el combustible alternativo menos contaminante. Por lo que varios países están comenzando a tener autos en que utilizan gas natural como combustible, principalmente para disminuir la contaminación.

Existen vehículos que solamente tienen motor para gas natural; sin embargo, también hay motores capaces de utilizar dos combustibles: gasolina y gas natural. Así que cuando el conductor no tiene acceso a gas natural presiona un botón y su motor se alista para recibir gasolina.

Además de los motores, el gas natural tiene otras aplicaciones y en muchas regiones es utilizado como combustible en estufas y otros aditamentos de viviendas y fábricas que necesitan gas. Este gas se lo transporta por ductos.

El gas natural se transporta en ductos. El gas GLP (licuado de petróleo), es más pesado que el gas natural, así que puede resultar más peligroso en caso de una explosión, pues el gas natural se escapa, mientras que el GLP se acumula. Todas las funciones que realiza el gas GLP (en calderas, estufas, hornos y otros aparatos) puede realizarlas el gas natural.

Los productores de automóviles han perfeccionado sus equipos y los hacen cada vez menos contaminantes. Quince coches construidos hoy contaminan igual que diez fabricados hace algunos años. Además, las gasolinas se han ido modificando para ser menos contaminantes. Sin embargo, los coches eléctricos están ya regresando, porque aportan ventajas en costo y limpieza ambiental.

El hidrógeno es un elemento químico que está formado por un electrón y un protón. El protón se combina con el oxígeno del aire para producir vapor de agua. Así, un vehículo que contiene esta celda electroquímica (conocida como fuel cell) emite solamente vapor de agua. Esta nueva tecnología no contamina, puesto que la única emisión es el vapor de agua, y es muy eficiente. Sin embargo, el hidrógeno es difícil de obtener, y las fábricas que lo producen si contaminan. También el hidrógeno constituye un gas muy peligroso, ya que es inflamable, así que a pesar de que al coche se le puede suministrar hidrógeno líquido como

combustible, se prefiere utilizar combustibles ricos en hidrógeno, como el etanol o el metanol. Estos alcoholes deben ser degradados dentro del motor para poder usar el hidrógeno.

Los cohetes espaciales emplean como combustible hidrógeno líquido y oxígeno. La nube blanca que se forma cuando el cohete asciende es vapor de agua formado por la combinación del hidrógeno y el oxígeno, muy parecido esto al funcionamiento de las celdas electroquímicas.

1.2. LA CONTAMINACIÓN PRODUCIDA POR VEHÍCULOS LIVIANOS.

Es cada vez más extendida la concientización de la necesidad del uso de combustibles y sistemas alternativos (hidrógeno, GLP – gas licuado del petróleo-, híbrido, bio-diesel, metanol /etanol) en el transporte urbano y especialmente, en aquellos segmentos que son controlables por las autoridades, como es el caso del transporte público (autobuses, taxis y otros vehículos de servicio público) en los centros urbanos. Como en la tabla I.1 podemos ver los porcentajes de contaminación por los vehículos livianos.

Es cada vez más extendida la concientización de la necesidad del uso de combustibles y sistemas alternativos (hidrógeno, GLP – gas licuado del petróleo-, híbrido, bio-diesel, metanol /etanol) en el transporte urbano y especialmente, en aquellos segmentos que son controlables por las autoridades, como es el caso del transporte público (autobuses, taxis y otros vehículos de servicio público) en los centros urbanos.

Tabla I.1 Contaminación por vehículos livianos

SUSTANCIA	FUENTE	LIMITE "OMS"
Monóxido de Carbono (CO)	90% emitido por el sector transporte; 65% vehículos motorizados	100 mg/m ³ durante 15 minutos - 10 mg/m ³ durante 8 horas.
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	47% emitido por vehículos motorizados	400 ug/m ³ NO2 durante 1 hora
Ozono (O3)	Provocado por la interacción de HC y Nox	150-200 ug/m ³ durante 1 hora
Plomo (Pb)	Proviene del aditivo del petróleo	0,5-1,0 ug/m ³ durante 1 año
Hidrocarburos (HC)	50% emitidos por automóviles	No existe límite especificado
Benzeno (C6H6)	Vehículos y evaporación del petróleo	La OMS no acepta ningún nivel seguro.
Material Particulado	Vehículos, Industrias y Fuentes Domésticas	La OMS no acepta ningún nivel seguro.

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

La importancia del gas natural en el aspecto ecológico, está dada por la considerables emisiones contaminantes (tabla I.2), siendo el combustible fósil “derivados del petróleo” de menor impacto ambiental, tal como se muestra en el cuadro siguiente, donde se comparan promedio de emisiones de cada combustible respecto de la gasolina, a la que se toma como referencia.

Tabla I.2. Emisiones contaminantes promedio (*)

Combustible	CO	HC	Nox	PbO	C6H6	Particulado
Gasolina	100	100	100	100	100	100
Gasolina/plomo	28	10	25	No	50	No
Gas Oil	10	10	75	No	50	100
GLP	15	60	30	No	8	No
GNC	7	5	37	No	8	No

(*) Valores adimensionales por tratarse de índices relativos

Fuente: 20 th. World Gas Conference Proceedings, Copenhagen 1997.

En este tema de las emisiones contaminantes, es muy importante resaltar los efectos adversos del material particulado en la salud humana este material es el elemento mal combustionado, y que exige un urgente tratamiento si queremos conservar nuestro ya agredido medio ambiente.

Las partículas se pueden originar de diversas fuentes, ya sean naturales o como consecuencias de los procesos realizados por el hombre.

Las partículas generadas por las actividades del hombre, provienen principalmente de procesos de combustión, donde las fuentes más importantes son los motores diesel, que contribuyen con un 39% del total.

Según el "Second Report of Quality of Urban Air Review Group, 1993", los autos con motores diesel emiten alrededor de 0.4 gr/Km de material particulado, alcanzado valores de 1.2 gr/Km durante la marcha en frío.

Dentro de las motorizaciones Diesel, la fuente principal de material particulado son los vehículos de transporte pesado, cuyas emisiones constituyen el 72% de todo el material particulado diesel.

La emisión de partículas depende de las características del motor, y es independiente de la velocidad de circulación.

Este material, que no tiene composición química definida, penetra al organismo principalmente por la vía respiratoria. Las partículas más pequeñas, menores a 10 micrones, penetran profundamente en el aparato respiratorio.

Estas partículas disminuyen la capacidad de defensa y traen aparejado, entre otros efectos nocivos, tos crónica, ronquera, síndromes respiratorios nocturnos, neumopatías, bronquitis, asma bronquial, y cáncer pulmonar.

Para la reducción del humo negro y partículas sólidas en suspensión se utilizan filtros de partículas, cuya eficacia es elevada, pero cuyo costo es asimismo muy alto y su mantenimiento delicado. No existe actualmente ningún tipo de tratamiento para gases de motores diesel que sea capaz de reducir simultáneamente todos los contaminantes, tal como lo hacen los catalizadores para los motores de ciclo Otto.

1.3. EI GNC (GAS NATURAL COMPRIMIDO)

El gas natural es una mezcla combustible rica en gases de gran poder calorífico, formado en las entrañas de la tierra en el curso de un proceso evolutivo de centenares de miles de años. El principal componente de la mezcla que conforma el gas natural es un hidrocarburo llamado metano. Los demás componentes, en pequeñas cantidades, son otros gases como el etano, dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua, principalmente.

En la tabla I.3 encontramos los componentes con valores porcentuales de cómo esta formado el GNC:

Tabla I.3 Composición del GNC

Elementos	Composición 1	Composición 2
Metano (CH ₄)	95%	86%
Etano (C ₂ H ₆)	0,05%	5,2%
Propano, butano y superiores	0,50%	7,4%
N ₂	2,7%	0,7%
CO ₂	1,8%	0,5%
P.c.s.	8.950 Kcal/m ³	9.750 Kcal/m ³
P. específico (aire = 1)	0,572	0,650
Índice Wobbe (sin corregir)	11900	12110
Contenido máximo de agua =	113 mg/ m ³	
Contenido máximo de azufre libre =	50 mg/ m ³	
Contenido máximo de inertes =	(CO ₂ + N ₂) ≤ 4,5%	

Norma G.E.N 1-116

Fuente: Departamento de energía de Estados Unidos

El Gas Natural es un hidrocarburo de origen fósil, incoloro, inodoro.

El Gas Natural Comprimido es un combustible automotor sustituto de la gasolina en motores de combustión interna de encendido por chispa y en forma parcial del diesel en aquellos motores de encendido por compresión.

Los vehículos con carburador o inyección, monopunto o multipunto, que utilicen gasolina como combustible, pueden usar gas natural comprimido. Adicionalmente, el vehículo queda habilitado para utilizar gas y/o gasolina sin inconvenientes.

Entre las ventajas más importantes tenemos:

- El GNC, tiene una combustión muy limpia: no emite cenizas ni partículas sólidas a la atmósfera; genera una reducida emisión de óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e hidrocarburos reactivos, y virtualmente no genera dióxido de azufre (SO₂).
- Contribuye a abatir eficazmente el efecto invernadero y la lluvia ácida, es seguro de transportar
- Es más ligero que el aire: En la eventualidad de un escape, el gas se dispersa hacia arriba rápidamente en lugar de acumularse formando depósitos peligrosos en el suelo, no es corrosivo, ni es tóxico.
- Disminuye el grado de emisiones sonoras
- Menor contenido de carbono de todos los combustibles fósiles

1.4 EL GAS NATURAL COMPRIMIDO EN EL MUNDO

La necesidad de implementar mejoras medioambientales, china esta adoptando estándares con el fin de controlar las emisiones vehiculares, el manejo de los residuos industriales y la polución, situación que

Actualmente en Beijing circula una de las flotas más grandes de buses GNC, y se espera que para el año 2008, cerca del 90% de los buses utilicen este Gas.

Otro de los países en el que se está utilizando el GNC es Colombia, este país realizó esta propuesta por el aumento de la contaminación en sus ciudades principales como Bogotá y esto llevó a que los demás departamentos se vea obligados a tomar el GNC como una solución.

Actualmente existen 4600 conversiones realizadas y 22 estaciones de servicio y esto sigue aumentando cada año.

A Colombia se suman países como: México, Argentina, Brasil con el fin de controlar las emisiones contaminantes que cada vez aumentan por la cantidad de vehículos en carretera.

El gas natural vehicular se ha convertido en una opción muy rentable para el consumo de combustible, especialmente para los países que son productores de gas natural. Estas son cifras significativas de la evolución y uso de esta económica alternativa.

En el mediano plazo, el énfasis se dará sobre vehículos y motores específicamente diseñados para usar "GNC". Esto permitirá el uso de motores de alta compresión, aprovechando el mayor índice de octano de este combustible que supera en un 30% a la gasolina de mayor calidad, con lo que se logrará mayor potencia que el correspondiente vehículo a gasolina. Estos motores son y serán prácticamente inofensivos para nuestro medio ambiente.

Las actuales evaluaciones del "stock" del petróleo, dicen de 160.000 millones de Tpe (Toneladas Equivalentes de Petróleo), contra un consumo anual del orden de 4.000 millones de Tpe. Una reserva de más o menos 40 años.

En el campo del gas se estiman reservas de 140.000 millones de Tpe con un consumo de 2.000 millones de Tpe por año: lo que significa una reserva de más de 65 años.

Los incrementos de reservas y de consumo de gas aumentan en mayor proporción respecto a los valores relativos al petróleo.

En la tabla I.4 nos da una idea de las reservas comprobadas:

Tabla I.4 Reservas de Gas natural comprobadas

	1/1/1976	1/1/1986	1/1/1996	1/1/2001
	TcF	TcF	TcF	TcF
América Central y Sudamérica	85	112	214	310
Medio Oriente	736	855	1.612	2.100
África	250	198	348	420
Asia	116	201	363	515
Europa Occidental y Oriental	201	226	169	246
América del Norte	304	373	299	350
Rusia y ex- URSS	848	1.516	2.066	2.250
TOTAL	2.540	3.481	5.071	6196

TcF: Trillones de pies cúbicos

Fuente: Departamento de Energía de Estados Unidos.

Las reservas de 140.000×10^6 Tpe versus un consumo de 2.000×10^6 Tpe cada año, aseguran como indicado más de 65 años de reserva sobre la base del consumo actual.

1.5 DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS A GNC EN EL MUNDO.

El uso del gas natural como combustible vehicular, data de los comienzos de este siglo, y su crecimiento ha experimentado una cierta penetración en el mercado mundial, donde hoy existen más de un millón de vehículos distribuidos en más de cuarenta países.

El gas natural ofrece características químicas y físicas que permiten su utilización en el transporte, con emisiones mucho más bajas que cualquier otro combustible conocido que esté en el mercado mundial.

Es el combustible más económico del mercado, no importa el destino del consumo, con gas natural solo paga lo que consume.

Por ser un energético natural preserva el medio ambiente. La combustión de gas natural no produce residuos contaminantes.

En el mundo se percibe gran interés en la promoción del uso del GNC, como se observa en la figura 1.1 el número total de vehículos convertidos a GNC.

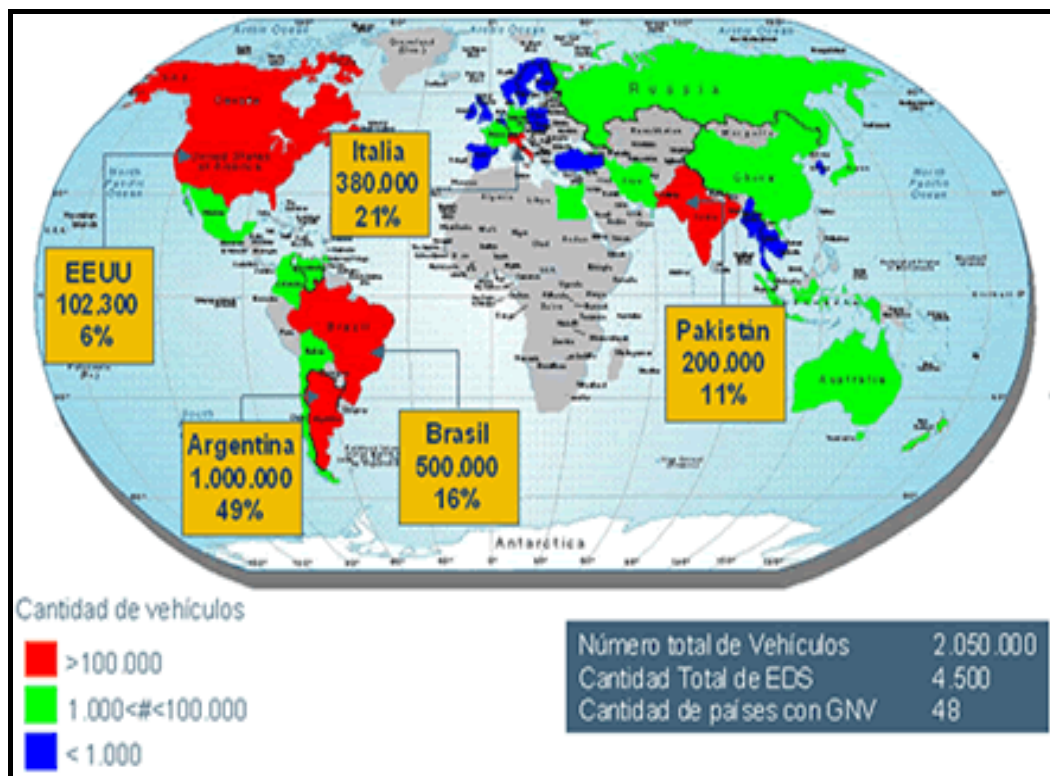


Figura 1.1 Evolución del GNC en el mundo

En la tabla 1.5 se observan países en los cuales ya existen estaciones de servicio, además de las conversiones realizadas en un gran porcentaje que cada vez va subiendo.

Tabla I.5 Distribución de vehículos a "GNC" en el mundo

País	Conversiones	Estaciones
Argentina	427.000	580
Italia	290.000	280
Rusia	205.000	187
USA	40.000	1.102
Nueva Zelanda	25.000	245
Canadá	17.200	120
Brasil	14.000	39
Colombia	4.600	22
Indonesia	3.000	12
India	2.500	6
Pakistán	2.500	12
Alemania	2.415	55
Chile	2.200	2
China	2.000	10
Venezuela	1.500	20
Australia	1.000	35
Ecuador	50	1
Otros 27 países	4.210	138
TOTAL	1.044.125	2.865

Fuente: 20 th. World Gas Conference Proceedings, Copenhagen 1997.

1.6 EL GNC Y EL DESARROLLO DE LA MOTORIZACIÓN A GAS EN EL TRANSPORTE

Las necesidades de colaborar con el medio ambiente llevaron a las empresas automotrices en un muy corto periodo de transición a dejar de lado los vehículos carburados e incorporar tecnologías de inyección de combustible y catalizadores. Estos cambios obligaron a los productores de equipos de GNC a desarrollar e importar tecnologías acordes con las exigencias de las nuevas “realidades” del mercado local. Así surgen los equipos con sistemas de controles de emisiones aptos para ser utilizados en las modernas motorizaciones actuales.

1.7 TENDENCIAS DEL CONSUMO DEL GNC

En la siguiente tabla I.6 podemos apreciar la tendencia de consumo en determinados sitios donde existe la cultura de la no contaminación, es decir, la utilización de combustibles alternativos “GNC” no nocivos para el ambiente.

Tabla I.6 Tendencia de la no contaminación en el mundo

	1996		2015	
	Miles de millones m ³	TcF	Miles de millones m ³	TcF
América del Norte				
Canadá	79	2,8	124	4,4
México	45	1,6	130	4,6
USA	617	21,6	938	33,1
Total	741	26,0	1.192	42,1
América Latina				
Brasil	6	0,2	58	2,1
Argentina	25	0,9	45	1,6
Bolivia	3	0,1	11	0,5
Venezuela	25	0,9	84	3,0
Trinidad	8	0,3	14	0,5
Colombia	6	0,2	23	0,8
Otros	12	0,4	73	2,6
Total	85	3,0	311	11,1
Europa Occidental	339	12,3	651	23,0
Países del Pacífico	227	8,0	623	22,1
Medio Oriente y África	170	6,0	480	17,0
Rusia, Europa Oriental y ex-URSS	623	22,0	907	32,0
TOTAL MUNDIAL	2.185	77,5	4.164	147,3

TcF: Trillones de pie cúbicos

Fuente: Oil & Gas Journal

1.8 ENFOQUES HACIA EL USO DEL GNC

El uso del GNC para nuestro estudio nos llevara a comprobar que la adaptación en vehículos a gasolina ya sean multipunto o monopunto se la puede realizar, siendo el GNC uno de los combustibles alternativos que esta ingresando en la industria automotriz con gran fuerza, este enfoque lo llevaremos a la practica con los diferentes componentes del equipo, realizando diferentes pruebas.

Adicionalmente, el vehículo queda habilitado para utilizar gas y/o gasolina sin inconvenientes, prolongando la vida del motor, disminuyendo la frecuencia el cambio de aceite, llevando a un mejor desempeño del motor.

Ningún país escapa la necesidad de movilidad, y al hecho que el sector transportes, después del sector industrial, sea el de mayor demanda de energía, donde más del 80% de ésta corresponda al transporte carretero, es decir, automóviles, camiones y autobuses: entonces los combustibles alternativos como el GNC es una de las soluciones más apropiadas para nuestra economía y para mantener nuestro medio ambiente apto para vivir.

II. CILINDRO DE ALMACENAMIENTO DEL GNC

2.1 EL CILINDRO

Es el recipiente para almacenar el gas natural a altas presiones para de esta forma utilizarlo como un contenedor de combustible gaseoso.

2.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Existen diversas generaciones de cilindro principalmente en cuanto a la capacidad de almacenamiento por unidad de peso del cilindro.

Hay 4 tipos de cilindros que son:

2.2.1 Cilindros tipo 1

Tienen una relación promedio peso/volumen de 1.15 kg/litro se fabrican usualmente en acero al cromo molibdeno.

Estos aceros especiales también contienen níquel y magnesio y son tratados térmicamente mediante procesos de templado para mejorar su resistencia mecánica (430 N/mm²) tanto que pueden soportar pruebas muy exigentes como impactos con armas de fuego, exposiciones a muy altas temperaturas y presiones. La pared interna de estos cilindros es de 8mm. Estos son los más utilizados en nuestro medio.

Para la selección de un cilindro se debe tomar en cuenta la relación peso/volumen que es el factor mas importante para seleccionar el cilindro adecuado. Esta relación representa el peso en kg del cilindro por cada litro de capacidad de almacenamiento y varia en funciona del diámetro y la longitud del cilindro, esto da la resistencia mecánica.

2.2.2 Cilindros tipo 2

Son de acero pero como están recubiertos exteriormente con fibra de resina especial, la pared interna metálica es de menor espesor haciendo que sean mas livianos pero son mas costosos.

2.2.3 Cilindros tipo 3

Son de aluminio y están recubiertos o reforzados en forma total con fibras de carbono impregnadas de una resina epóxica. Son muy usados en buses urbanos.

2.2.4 Cilindros tipo 4

Son de material totalmente compuesto: fibras plásticas aglutinadas por una resina epóxica. Es muy costosa su fabricación.

Pueden presentar deformaciones, aunque muy pequeñas, a muy altas temperaturas que pueden alterar su estructura.

2.3 PROCESO DE FABRICACION

Uno de los elementos importantes del sistema "GNC" son los cilindros, ya que están expuestos a altas presiones de trabajo, es por esto que son sometidos a diferentes pruebas las cuales van a decidir si los cilindros se encuentran en condiciones para el trabajo.

En el proceso de fabricación los cilindros pasan por diferentes etapas:

2.3.1 Etapas:

- Corte y reducción de las paredes del tubo.
- Conformación de fondo y cuello.

- Mecanizado, tratamiento térmico (figura 2.1), limpieza de superficie externa.
- Confección de rosca, limpieza interna y marcación.
- Colocación de collar y pintura.

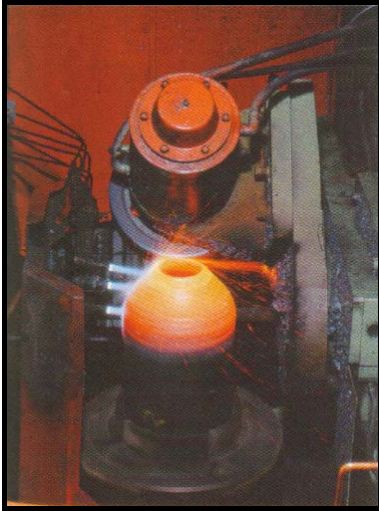


Figura 2.1 Rolado en caliente



Figura 2.2 Ciclado de rotura y de impacto



Figura 2.3 Ensayo de estanqueidad hidrostático

2.3.2 Ensayos:

- Ciclado de rotura y de impacto (figura 2.2), son obligatorios en el desenvolvimiento o en la modificación de un proyecto de cilindro.
- Análisis químicos y ensayos de tracción límites de fluencia, alzamiento, reducción de área, aplastamiento y doblado son siempre realizados para la aprobación de los lotes de fabricación.
- Todos los cilindros fabricados son individualmente sometidos a ensayos e inspecciones que incluyen:

Ensayo de estanqueidad hidrostático (figura 2.3) y de partículas magnéticas.

Medición del espesor de las paredes (ultra -sonido).

Inspección de rosca y acabado.

2.4 PRUEBA HIDROSTÁTICA A CILINDROS DE GNC

Los cilindros de gas natural comprimido vehicular deben ser sometidos cada 5 años a una prueba hidrostática (figura 2.4), en la medida que se van utilizando y están sometidos constantemente a focos de corrosión, especialmente en los vehículos donde estos están ubicados debajo del chasis, expuestos al barro, la humedad y diversas condiciones, adquieren un desgaste que debe ser inspeccionado, para garantizar el buen funcionamiento del sistema.



Figura 2.4 Prueba Hidrostática a Cilindros

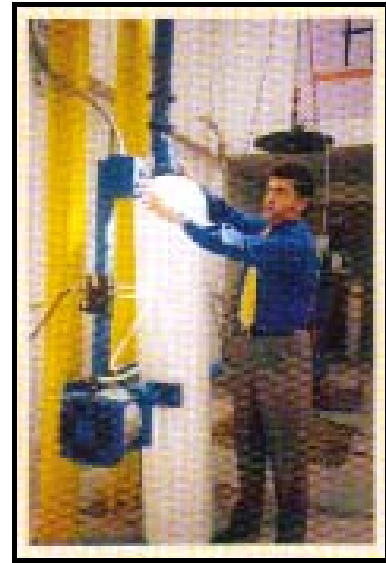


Figura 2.5 Inspección del cilindro

Este tipo de inspección (figura 2.5), más conocida como la prueba hidrostática, debe ser realizada en un laboratorio especializado, dotado de una tecnología de punta que garantice calidad, agilidad y por ende mayor confiabilidad.

2.4.1 Importancia de la prueba hidrostática

Los cilindros de gas natural comprimido, en la medida en que se van utilizando (se llenan y se desocupan), están expuestos a una fatiga del material, la cual debe ser controlada a través de esta prueba, que se hace a presiones definidas, por encima de la presión de servicio, la cual es definida por cada fabricante de cilindros.

2.4.2 Proceso de inspección

La prueba hidrostática inicia con una inspección visual interna y externa al cilindro para determinar muescas, grietas, golpes, e imperfectos en la rosca.

La inspección interna es visual y se hace a través de una fibra óptica, la cual permite detectar oxidación, grietas internas que generan

ruptura del cilindro o rasgamiento de la pared. A través de una valvuladora calibrada, se manipula la válvula en la rosca del cilindro.

Posteriormente, y cumpliendo con la norma, se hace la medición de la pared del cilindro, por medio ultrasónico, determinando en micras o milímetros el espesor para saber si el cilindro ha perdido cuerpo por desgaste o por problemas de oxidación, de golpes o por otras causas, disminuyendo su resistencia.

Después de revisar el espesor, el cilindro ha pasado previamente por una limpieza interna y está listo para la prueba hidrostática en una chaqueta de amplia capacidad.

La prueba consiste en presurizar al equipo sin estar en funcionamiento, desconectado en sus partes mecánicas y neumáticas a una temperatura no mayor de 40 grados centígrados, con manómetro calibrado conectando al equipo, hasta una presión de prueba que debe ser al menos 10% arriba de la presión de calibración del dispositivo de seguridad, con un fluido incompresible cuyo comportamiento al incremento de la presión no genere riesgos.

Posteriormente es sometido a un proceso de secado, pintura e identificación y está listo para ser entregado en el plazo de 24 horas hábiles.

2.5 SISTEMA DE MEDICIÓN ULTRASÓNICA DE ESPESORES

Una de las pruebas más relevantes en lo que se refiere al mantenimiento sistemático de cilindros para uso vehicular es “La medición de espesores”(figura 2.6) la cual garantiza la seguridad del usuario a través del tiempo, y consiste en medir el espesor de la pared de las partes más críticas de los cilindros, puesto que con el tiempo se van desgastando de acuerdo con sus ciclos de llenado y las

condiciones climáticas donde estén operando las cuales generan grados de corrosión elevados y por lo tanto, desgaste de los mismos.



Figura 2.6 Medición Ultrasónica de espesores

El sistema de medición como tal, utiliza el principio ultrasónico no destructivo del pulso-eco para medir el espesor de las paredes de los cilindros. Es ideal para control de calidad y para medir los efectos de corrosión, erosión y desgaste.

Está provisto de una sonda – (transductor) la cual transmite un pulso ultrasónico dentro de la pieza. Este pulso viaja a través del material del cilindro hasta el otro lado. Cuando se encuentra en una interfase tal como aire u otro material, el pulso se refleja de vuelta a la sonda.

Para determinar el espesor, el instrumento mide el tiempo que le toma al pulso hacer este viaje de ida y vuelta y lo divide por dos. El resultado se multiplica por la velocidad del sonido en el material del cilindro.

La velocidad del sonido se expresa en términos de pulgadas por microsegundo o metros por segundo. Por ejemplo el sonido viaja a través del acero más rápido (0.233 plg por microsegundo) de lo que viaja a través del plástico (0.086 plg por microsegundo).

La medición se lleva a cabo en una forma muy sencilla.

- Simplemente se aplica a la superficie que se va a medir del cilindro material acoplante, para así eliminar brechas de aire entre la cara de contacto y la superficie.
- Se coloca la sonda sobre la superficie del cilindro en el punto exacto de medición donde se colocó el material acoplante, y se presiona la sonda moderadamente.
- Cuando la sonda percibe el eco del ultrasonido, se puede leer el espesor en pantalla y tomar hasta seis mediciones por segundo.

2.6 PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO

Los cilindros son recipientes para almacenar el gas a alta presión, la presión máxima de operación de estos cilindros es de 205 bar (3.000 psi).

Los cilindros para GNC son básicamente cilíndricos con extremos curvos, son conformados en caliente por lo tanto no deben tener juntas, uniones o soldadura, en general deben ser una sola pieza.

En la tabla II.1 determinamos las presiones de funcionamiento de los diferentes tipos de cilindros existentes.

Tabla II.1 Presiones de funcionamiento de cilindro de GNC

Diámetro (mm)	Volumen (litros)	Presión de trabajo (bar)	Capacidad (m³)	Longitud (mm)	Peso nominal (Kg)	Capacidad equiv. En litros de gasolina
244.0	34.0	200	8.5	920	51.0	9.6
244.0	38.0	200	9.5	940	54.0	10.7
244.0	50.0	200	12.5	1305	70.0	14.1
244.0	60.0	200	15.0	1545	81.0	17.0
244.0	50.0	200	15.6	1365	94.0	17.7
244.0	60.0	200	18.7	1620	110.0	21.1
273.0	45.0	200	11.3	940	52.0	12.8
273.0	75.0	200	18.8	1400	72.0	21.2
323.0	50.0	200	12.5	770	58.0	14.1
323.0	54.0	200	13.5	830	63.0	15.3
323.0	58.0	200	14.5	880	66.0	16.4
323.0	65.0	200	16.3	980	70.0	18.4
323.0	80.0	200	20.0	1190	85.0	22.3
323.0	100.0	200	25.0	1480	102.0	28.3
355.0	65.0	200	16.3	850	80.0	18.4
355.0	75.0	200	18.8	956	84.0	21.2
355.0	80.0	200	20.0	1010	85.0	22.6
355.0	100.0	200	25.0	1220	93.0	28.3

Fuente: Energas

2.7 CÀLCULO DEL ESPESOR

Para el cálculo del espesor debemos tomar en cuenta el material que vamos a utilizar ya que este va a ser el que soportara el mayor trabajo del cilindro.

- Material: Fundición de acero aleada. 1

Tabla II.2 Características del acero GS-22 CrMo54

GS-22 CrMo54	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Alargamiento %
	530 – 700	20
	Carbono %	Materiales de aleación %
	0.22	1Cr; 0.4Mo

Fuente: DIN 1691

- Presión de trabajo máximo:

3000 psi

3000 psi	1 plg ²	1 Kg	= 211.36 Kg/cm ²
	(2.54 cm.) ²	2.2 lbs	

- Diámetro interno impuesto:

24.4 cm.

$$VT = 9.5 \text{ m}^3$$

VT Volumen total del cilindro

$$TB = 530 \text{ N/mm}^2 * 0.1 = 53000 \text{ Bar}$$

$$53000 \text{ Bar} * 14.7\text{psi}/1\text{Bar} = 77910 \text{ Lb/plg}^2$$

77910lb/plg ²	1 Kg	1 plg ²	= 5489.12
	2.2Lb	(2.54 cm.) ²	Kg/cm ²

$${}^1t = \frac{P * r}{N} = \frac{211.36 * 12.2}{5489.12} = 0.4698\text{cm} = 4.698\text{mm}$$

t = espesor

P = presión máxima

r = radio

N = esfuerzo a la tracción

Tomando en cuenta el ²factor de seguridad de 1.7 tendremos un espesor de:

$$4.698 \text{ mm} * 1.7 = 7.99 = 8 \text{ mm Espesor}$$

Nota: Teniendo en cuenta las altas presiones de trabajo ningún tipo de unión soportaría estas condiciones, por tal motivo el cilindro de almacenamiento debe ser manufacturado mediante fundición. (Un solo cuerpo)

¹ Timoshenko Teoría de placas planas y curvas Pág. 428

² Factor de seguridad Elementos de maquinas Robert Mott capitulo 5-8 Pág. 154

III. INSTALACIÓN DEL GNC APLICADO EN AUTOMÓVILES

3.1 EVALUACIÓN PREVIA DE LOS VEHÍCULOS A GNC

La preconversión surge porque el funcionamiento con gas requiere una condición óptima del motor, que siendo diseñado originalmente para operar con un combustible líquido como la gasolina, puede existir algún grado de desajuste con este combustible, pero no así con el gas que de alguna manera supone un régimen diferente en el cual el motor podrá operar solo si esta ajustado dentro de los parámetros óptimos.

La preconversión es un proceso de análisis que sirve para saber si el vehículo está apto para recibir el sistema bi-combustible.

Las inspecciones son las siguientes:

- Revisión del estado general de la estructura (chasis) y carrocería del vehículo (figura 3.1).
- Revisión del sistema de suspensión teniendo en cuenta el peso de los cilindros.
- Reconocimiento del compartimiento del motor para establecer la disponibilidad de espacio para la ubicación del kit.

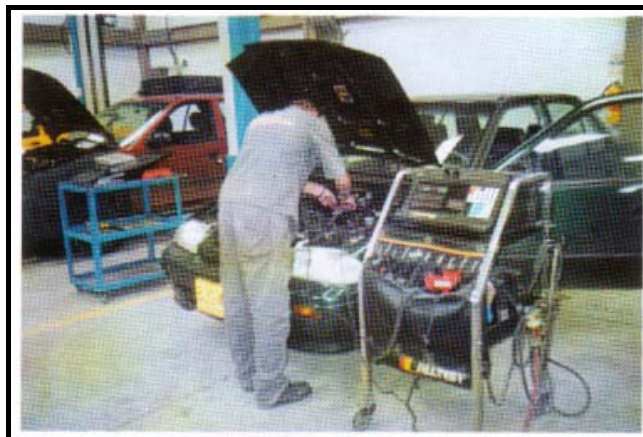


Figura 3.1 Revisión del estado del motor

- Evaluación de las condiciones mecánicas del motor mediante pruebas de compresión, de vacío y análisis de gases (figura 3.2).



Figura 3.2 Análisis de gases

- Verificación del sistema de refrigeración del motor (figura 3.3).

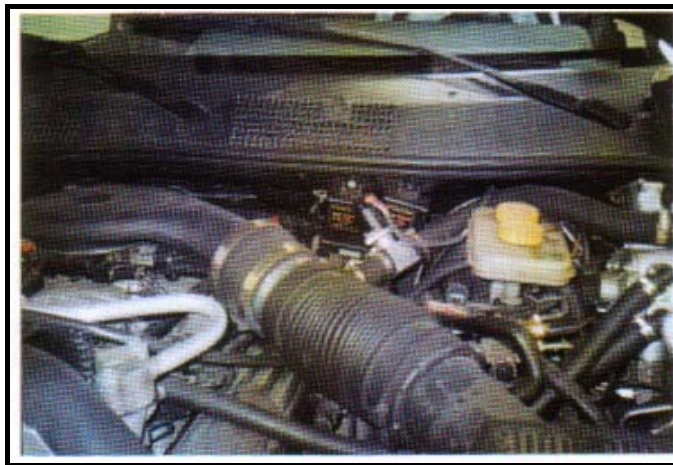


Figura 3.3 Verificación del estado de mangueras

- Comprobación del buen funcionamiento de los sistemas eléctricos (figura 3.4) tanto del vehículo en general como de aquellos relacionados directamente con el motor, tales como la batería, alternador, bobinas, distribuidor, bujías (figura 3.5), inyectores, sensor de oxígeno, sensor de flujo de aire, bomba de gasolina.

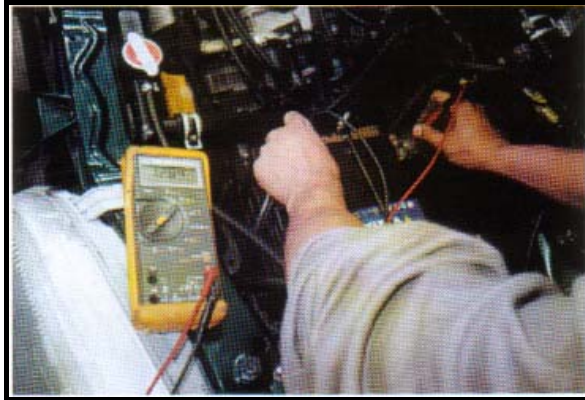


Figura 3.4 Comprobación de los sistemas eléctricos



Figura 3.5 Verificación del estado de las bujías

- Verificar el buen estado del módulo de control del motor.
- Verificación del estado del filtro de aire y gasolina.
- Verificar la compresión del motor (figura 3.6).



Figura 3.6 Medición de compresión del motor

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS PARTES DEL KIT DE GNC

El equipo de conversión de gas natural comprimido está compuesto por diferentes componentes, los cuales se encuentran predispuestos para realizar una determinada función.

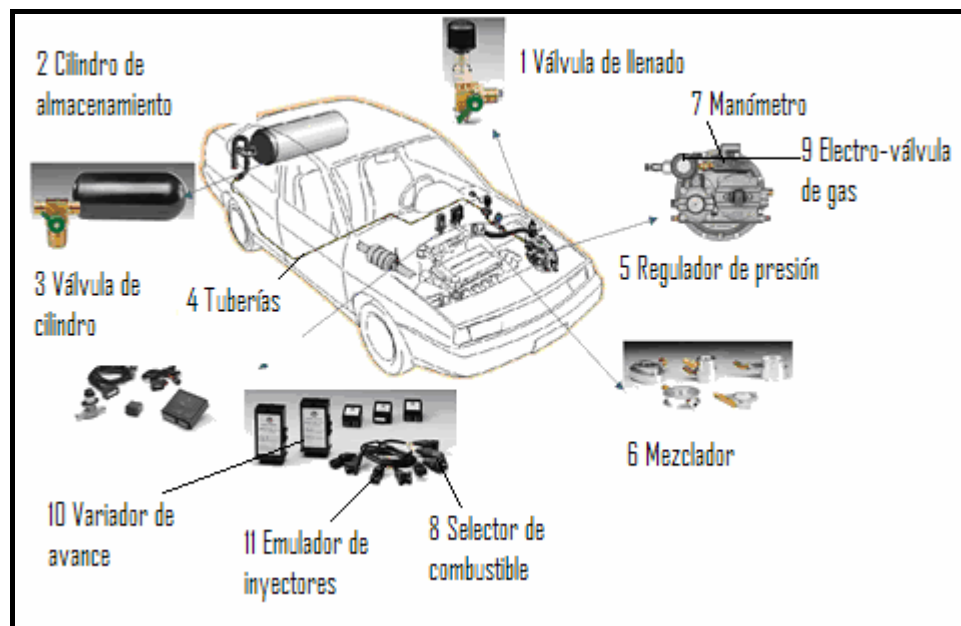


Figura 3.7 Componentes del GNC

- 1 Válvula de llenado
- 2 Cilindro de almacenamiento
- 3 Válvula de cilindro
- 4 Tuberías
- 5 Regulador de presión
- 6 Mezclador
- 7 Manómetro
- 8 Selector de combustible
- 9 Electro-válvula de gas
- 10 Variador de avance

11 Emulador de inyectores

3.2.1 Válvula de llenado

Es una válvula de retención que permite el paso del surtidor a los cilindros al momento del llenado (figura 3.8).

En los vehículos con longitud mayor de 6 m se puede ubicar la conexión en un costado del mismo. En este caso debe estar protegida de la intemperie o de daños físicos, bien por la estructura del vehículo o por un compartimiento construido para tal efecto.

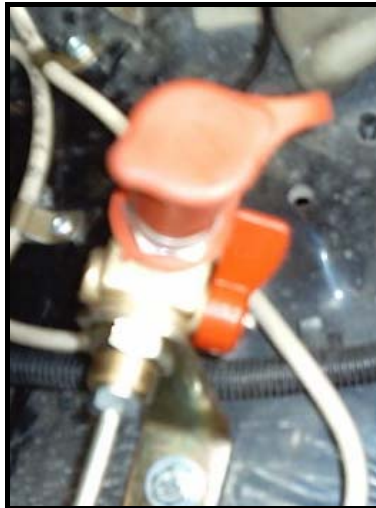


Figura 3.8 Válvula de llenado

3.2.2 Cilindro de almacenamiento

Los cilindros son recipientes para almacenar el gas a alta presión (figura 3.9). La presión máxima de operación de estos cilindros es de 205 bar (3.000psi).

Los cilindros para GNC son básicamente cilíndricos con extremos curvos que tiene como características especiales:

Los cilindros son conformados en caliente por lo tanto no deben tener juntas, uniones o soldadura, en general deben ser una sola pieza.

Independiente del color todo cilindro debe estar pintado.

Todo cilindro debe estar marcado con un serial, una capacidad hidráulica y una fecha de fabricación ya que cada 5 años a partir de su fecha de fabricación el cilindro deberá ser sometido a una prueba hidrostática con el fin de garantizar su seguridad.

Los cilindros deberán estar sujetos a la estructura o la carrocería del vehículo por medio de unos herrajes metálicos, separados del cilindro por un componente plástico para evitar contacto metal-metal.

La ubicación del cilindro puede definirse según el vehículo, cumpliendo ciertas normas básicas como: no sobresalir del perímetro del vehículo, no afectar la estabilidad del vehículo, cumplir unas distancias mínimas respecto al suelo 55cm y los extremos del vehículo 50cm dependiendo del vehículo.



Figura 3.9 Cilindros de almacenamiento del GNC

3.2.3 Válvula de cilindro

Están colocadas directamente en el cilindro (figura 3.10) y tienen como función aislar independientemente cada cilindro del sistema,

adicionalmente deben contar con elementos de seguridad como cierre manual, control de exceso de flujo y de exceso de temperatura.



Figura 3.10 Válvula del cilindro

3.2.4 Tuberías y racores

La tubería de alta presión (figura 3.11) deben ser fabricadas en acero y soportar una presión de operación de 205 bar. o 3000 psi. Y una presión de prueba de 965 bar.

La tubería en su recorrido deberá estar fijada a la estructura del vehículo y se le deberán formar rulos (Colas de marrano) de mínimo dos vueltas entre cada componente del sistema de alta presión.



Figura 3.11 Tubería de alta presión

3.2.5 Regulador de presión

El regulador cumple básicamente dos funciones la primera es disminuir, en varias etapas, la presión del gas desde la presión de almacenamiento en los cilindros, hasta una presión ligeramente similar a la presión atmosférica en sistemas de presión negativa.

En el caso de sistemas de presión positiva, los valores de presión pueden estar cercanos a 2,5 bar (36,25 psi). La segunda función de este dispositivo es regular el flujo de gas en la última etapa, es importante anotar que todas estas funciones pueden estar unidas en una o varios componentes separados según el fabricante del equipo.

De acuerdo a lo anterior la selección del regulador (figura 3.12) es muy importante ya que determina el flujo de gas disponible de acuerdo a la demanda del motor. Para su montaje deben tenerse en cuenta recomendaciones del fabricante para su óptima operación.



Figura 3.12 Regulador de presión

3.2.6 Mezclador

Es un dispositivo usado en los equipos de conversión bi-combustibles (figura 3.13), que se adapta al carburador o cuerpo de mariposas, en general en la succión del motor, con el fin de permitir la mezcla aire - gas adecuado, en todos los rangos de demanda del motor.

La selección del mezclador es un elemento clave en el desempeño del vehículo con GNC, ya que el aprovecha el flujo de aire que ingresa al motor para suministrar gas natural y crear la mezcla aire combustible para la operación del motor.

Para seleccionar el mezclador se debe atender a diversas variables como son: marca del vehiculo, cilindrada, tipo de sistema de carburación o de inyección, diámetro del ducto de admisión de motor.



Figura 3.13 Mezclador

3.2.7 Sistema de control: manómetro

El sistema debe contar con un manómetro (figura 3.14) montado en el sistema de alta presión con el fin de medir permanentemente la presión del gas almacenado y su disminución. En la mayoría de los casos este manómetro envía una señal al selector de combustible de manera que el

usuario desde el puesto del conductor tenga noción clara de que tanto gas tiene disponible, en otros casos esta función la cumple un potenciómetro.



Figura 3.14 Manómetro

3.2.8 Selector de combustible

Dispositivo que permite hacer la selección del combustible a utilizar (figura 3.15) por medio de control sobre electro-válvulas para gas y gasolina, adicionalmente permite mostrar el nivel de presión de gas natural y activar o desactivar otros componentes del sistema según el combustible que se este utilizando, este dispositivo deberá ser ubicado cerca al puesto del conductor que permita fácil acceso y operación.



Figura 3.15 Selector de combustible

3.2.9 Electro válvula de gas

Dispositivo montado en el regulador o en el sistema de alta presión (figura 3.16) que abre o cierra el flujo de gas según el combustible seleccionado.



Figura 3.16 Electro válvula de gas

3.2.10 Variador de avance

Son dispositivos para los sistemas bi-combustibles GNC - gasolina que modifica el comportamiento del sistema de encendido original del motor cuando pasa a trabajar con GNC (figura 3.17), este dispositivo solo se activa cuando el vehículo esta funcionando con GNC.

Estos sistemas bi-combustibles, corrigen principalmente dos problemas:

- La mezcla aire – gas se enciende más "lentamente" que la de aire - gasolina (tiene menor velocidad de llama).
- El gas natural como todos los combustibles secos, tiene mayor resistencia eléctrica que la gasolina.

Adicionalmente si su vehículo es inyectado y con sensores de oxígeno, se deberán montar emuladores de inyección y de sensor de oxígeno con el fin de retroalimentar el computador del vehículo,

finalmente se deberá complementar con un sistema de control de flujo para suministro de gas al motor.



Figura 3.17 Variador de avance

3.2.11 . Emulador de inyectores

El emulador corta la señal de activación que llega a los inyectores y envía al módulo de control electrónico una señal de funcionamiento positivo de los mismos (figura 3.18).

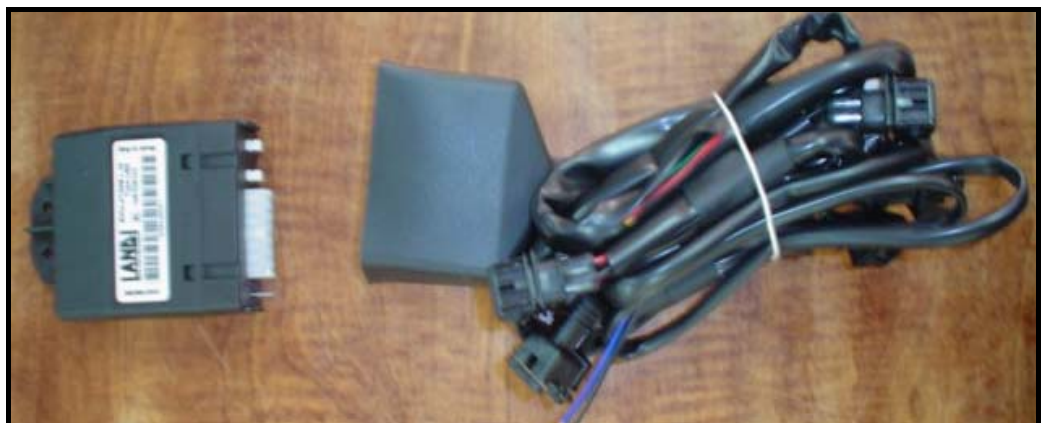


Figura 3.18 Emulador de inyectores

3.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA

El gas es introducido al circuito por medio del pico de carga interno a una presión de 200 bar, ésta se puede comprobar en el manómetro que se encuentra en el regulador de presión. Luego pasa por la válvula de carga la cual permite cortar la entrada de gas.

El gas es introducido por medio de cañerías de acero sin costura hasta el cilindro de almacenamiento. Los cilindros de distinto diámetro y largo según la cantidad de gas a almacenar cuentan en su entrada con una válvula de servicio que permite cerrar la entrada o salida de gas.

De la válvula de servicio el gas se dirige por la cañería a la válvula de carga nuevamente y de allí al regulador de presión.

El regulador de presión el gas pierde presión hasta alcanzar la presión de trabajo que es de entre 0.5 y 0.7 bar. Esta pérdida de presión hace que el gas pierda temperatura llegando hasta el congelamiento por lo cual se hace necesario calentarlo utilizando una derivación del sistema de refrigeración del motor.

Una manguera de goma recubierta por una malla de acero lleva el gas desde el regulador hasta el dosificador o hasta el mezclador pasando antes por una válvula limitadora de caudal o válvula de máxima.

El mezclador se instala en el conducto que va desde el filtro de aire hacia el múltiple de admisión. EL kit provee una llave conmutadora (Figura 3.19) que sirve para seleccionar el tipo de combustible y se encuentra al alcance del conductor, además cuenta con un indicador de nivel de carga de los cilindros de almacenamiento.



Figura 3.19 Llave conmutadora

Existe la posibilidad de corregir el avance al encendido (que para el GNC es mayor) con el agregado de un variador electrónico de avance que se desactiva cuando el vehículo funciona con gasolina.

3.4 INSTALACIÓN DEL KIT EN EL BANCO DE PRUEBAS

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de motores de la ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO MATRIZ. Se instaló un kit de adaptación electromecánico para gas natural de la casa LANDI sobre un motor chevrolet alto 2003, encendido electrónico convencional, 1000cc, 4 cilindros, sistema 16 válvulas de distribución, doble árbol de levas, montado en un banco de pruebas, calibrado según el procedimiento recomendado por el fabricante.

Para la instalación del kit en el banco de pruebas (figura 3.20) se debe seguir un procedimiento adecuado ya que son múltiples las conexiones eléctricas que se deben realizar, ubicándolos de manera que no exista ningún mal funcionamiento de los mismos.



Figura 3.20 Banco de pruebas

El kit de adaptación esta compuesto por los siguientes componentes:

3.4.1 Regulador de presión.

El regulador de presión (figura 3.21) se instala en uno de los laterales del vano motor, a la mayor altura posible y en la posición más adecuada; entre los parámetros que se debe cumplir están:

- Ubicar por lo menos a 60mm del sistema de escape
- No estar a no menos de 40mm de la batería
- No ubicar a menos de 150mm de la línea frontal del automóvil
- Para su correcto funcionamiento se requiere que su plano frontal quede en posición vertical y paralelo al eje longitudinal del vehículo.



Figura 3.21 Posición del regulador en el banco de pruebas

3.4.2 Válvula de carga

La válvula de carga (figura 3.22) se debe instalar cercana al regulador de presión con un alejamiento no mayor a los 600mm y a la mayor altura posible.

Su ubicación debe permitir un fácil acceso para poder operar sobre ella con prontitud y efectividad.



Figura 3.22 Posición de la válvula de carga en el banco de pruebas

3.4.3 Válvula de cilindro o de servicio

La válvula de cilindro (figura 3.23) tiene por objeto el corte de suministro de gas a alta presión desde el cilindro de almacenamiento hacia el regulador en posición cerrada. Se la instala a la salida de los cilindros.

En los vehículos con válvula de carga externa, la tubería de alta presión se conecta a la segunda salida de presión que posee la válvula del cilindro.



Figura 3.23 Válvula de cilindro

3.4.4 Manómetro

Se instala normalmente junto con la válvula de de carga (figura 3.24). Se lo debe posicionar de modo que su lectura sea absolutamente fácil y cómoda, fundamentalmente durante la operación de carga.



Figura 3.24 Posición del manómetro

3.4.5 Regulador de Caudal de máxima

Este regulador va situado entre la salida del regulador de presión y el mezclador (figura 3.25). Está constituido por un cuerpo metálico y un tornillo de regulación el cual se debe calibrar para regular el caudal de máximo admisible ($9.6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$)



Figura 3.25 Posición del regulador de caudal

3.4.6 Mezclador

Este dispositivo consiste en un venturi que se instala en el conducto que va desde el filtro de aire a la boca del múltiple de admisión (figura 3.26).

En el caso de vehículos con inyección monopunto el mezclador puede ser instalado entre el cuerpo del inyector y el múltiple de admisión.

La función del mezclador es mezclar el aire con el gas.



Figura 3.26 Posición del mezclador

3.4.7 Cilindro

Los cilindros se pueden instalar en diferentes lugares dependiendo del tipo del vehículo.

Los lugares típicos de instalación son:

- En el baúl de vehículos tipo sedan (figura 3.27)
- En el balde de las camionetas (figura 3.28)
- En la caja de carga, o en el piso de vehículos comerciales.
- Instalación en caja (figura 3.29).

Los soportes que se utilizan en la instalación del cilindro deben ser reforzados en la zona de anclaje para que no sufran deformaciones en la estructura (piso, caja, etc.)

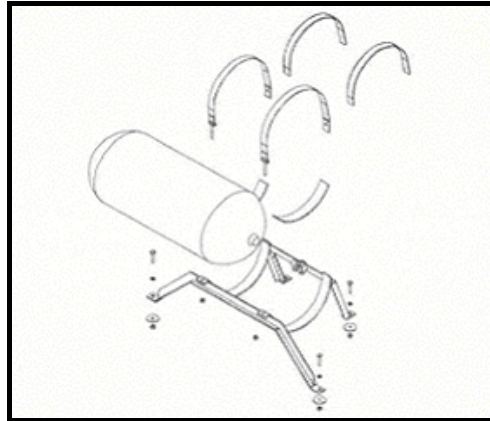


Figura 3.27 Instalación en baúl de vehículo

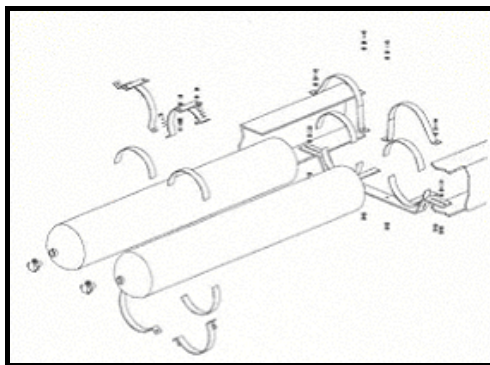


Figura 3.28 Instalación en chasis del vehículo

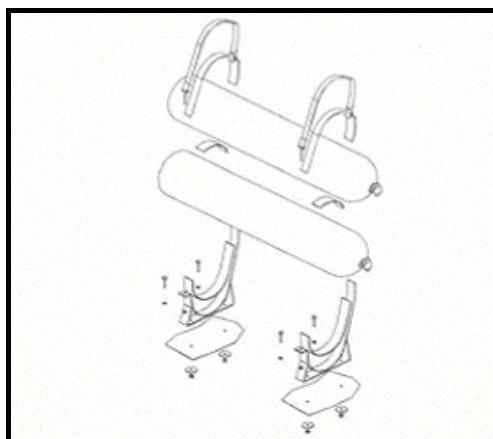


Figura 3.29 Instalación en caja

Los soportes están hechos de acero, soldado y pintado con antioxido negro mate y toda modificación como por ejemplo corte, limado, soldado debe ser tratado con antioxido negro mate.

3.4.8 Llave Conmutadora

La llave de conmutación se instala en el habitáculo, en la zona del panel de instrumentos, si es posible al lado opuesto al cilindro de la llave de contacto en la columna de la dirección.

Tiene por función pasar del sistema de gasolina al de GNC y viceversa. Además posee una serie de leds que indican la cantidad de gas contenida dentro del cilindro y cuando se esta usando la reserva del cilindro de gas.

La llave actúa sobre la electro-válvula que se encuentra en el regulador de presión, la cual deja o no pasar gas hacia el motor, de la misma forma controla al emulador de inyectores.

3.4.9 Emulador de Inyectores

El emulador con desactivación de inyectores es utilizado para cortar la señal de activación de los inyectores en vehículos con inyección multipunto (figura 3.30). Esto se produce cuando se cambia el combustible de gasolina a gas. Ya no es necesario controlar la polarización de los inyectores porque se corta y emula individualmente a cada inyector evitando que la señal de check engine se encienda. Al emular al inyector la señal que envía la computadora es recibida y no queda como error en el circuito.

Para su instalación y correcto funcionamiento debemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Fijar el simulador en posición vertical lejos de posibles filtraciones de agua y fuentes de calor excesivo, con el fin de evitar daños irreparables.



Figura 3.30 Posición del emulador de inyectores

- Pasar los cables del emulador lo más lejos posible de los cables de alta tensión.
- Realizar buenas conexiones eléctricas.

3.4.10 Variador Electrónico de avance

Por medio de este dispositivo se logra variar el avance del encendido. Mientras que los vehículos que funcionan con gasolina tienen un avance promedio de 12° estos mismos vehículos funcionando con GNC deben tener un avance de 22° para un correcto funcionamiento. Esto se logra intercalando el variador electrónico entre el encendido electrónico del vehículo y la bobina. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Fijar el variador en posición vertical lejos de posibles filtraciones de agua y fuentes de calor excesivo (figura 3.31). Colocar los cables del variador lo más lejos posible de los cables de alta tensión.
- Realizar buenas conexiones eléctricas
- No abrir nunca la caja del variador, sobre todo con el motor en marcha o con la llave de ignición en contacto.



Figura 3.31 Conexión del variador de Avance

Después de haber realizado las conexiones de todos los componentes tenemos el kit armado totalmente en el banco de pruebas (figura 3.32).

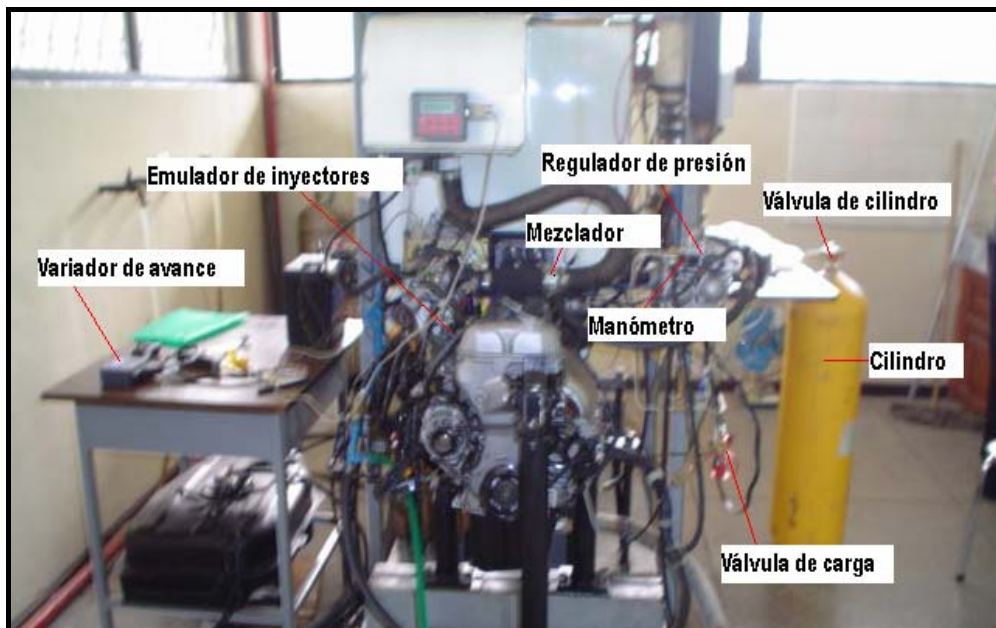


Figura 3.32 Conexión general del sistema en el banco de pruebas

3.5 CALIBRACIÓN “ PUESTA A PUNTO”

La puesta a punto se la realiza cuando los componentes se encuentran instalados, luego de revisar que sus conexiones estén correctas para que en el procedimiento no exista ningún problema.

Para la puesta a punto se debe tener en cuenta:

3.5.1 Puesta a punto con variador electrónico de avance

El avance inicial de encendido no será modificado ya que la corrección de avance con el motor funcionando con GNC la hará el variador de avance electrónico. Dicha variación de avance podrá ser configurada de acuerdo a las características del vehículo y a las que permita el variador.

La calibración del avance se efectúa mediante 6 micro interruptores (figura 3.33) situados a un lado del conector del variador.

Si los micro interruptores están situados en la posición ON dan el siguiente adelanto al encendido (tabla III.1):

Tabla III.1 Grados de avance

Nº de microinterruptor	Grados para motores de 4 cilindros	Grados para motores de 6 cilindros
3	3°	2°
4	6°	4°
5	12°	8°
6	24°	16°

Fuente: Distribuidora Landi

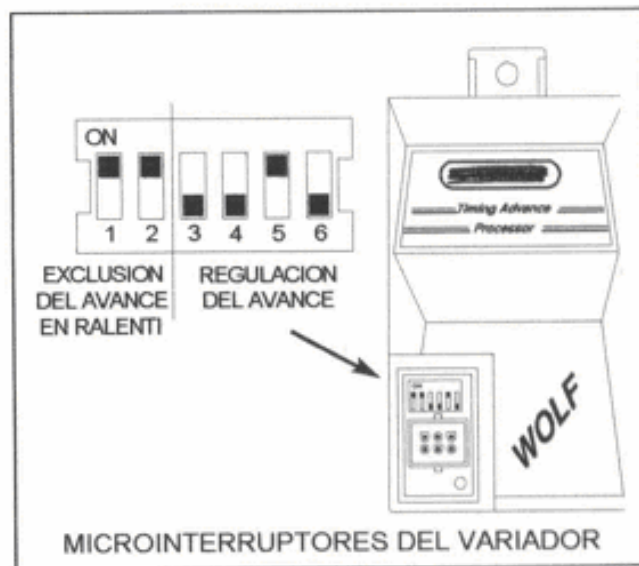


Figura 3.33 Micro interruptores del variador

3.5.2 Calibración de Caudal máximo

Para la regulación del equipo de GNC primero regularemos el máximo caudal admisible o regulación de máxima (figura 3.34). Esto consiste en:

- Llevar al motor a la temperatura normal de funcionamiento.
- Pasar a funcionamiento con GNC.
- Acelerar el motor hasta 2500 – 3000 RPM y mantener fija la posición de la mariposa durante todo el proceso de regulación.
- Girar el tornillo de regulación “A” de la válvula de máxima para lograr una aceleración del motor.
- Seguir girando el tornillo de regulación (las RPM se Irán incrementando) hasta notar que las RPM empiezan a descender, en ese punto se habrá logrado la calibración de máxima.
- Una vez hallado el punto fijar el tornillo por medio de la contratuerca.

3.5.3 Calibración de Caudal mínimo

Una vez que se ha regulado el caudal máximo, se procede con la calibración de caudal mínima (figura 3.34). Esto consiste en:

- Llevar el motor a la temperatura óptima de funcionamiento.
- Pasar a funcionamiento con GNC.
- Dejar la mariposa en posición de reposo y mantenerla así durante la calibración.
- Girar el tornillo de regulación de mínima "B" que esta en el regulador de presión hasta lograr un ralentí estabilizado.
- Una vez estabilizado fijar el tornillo de calibración.

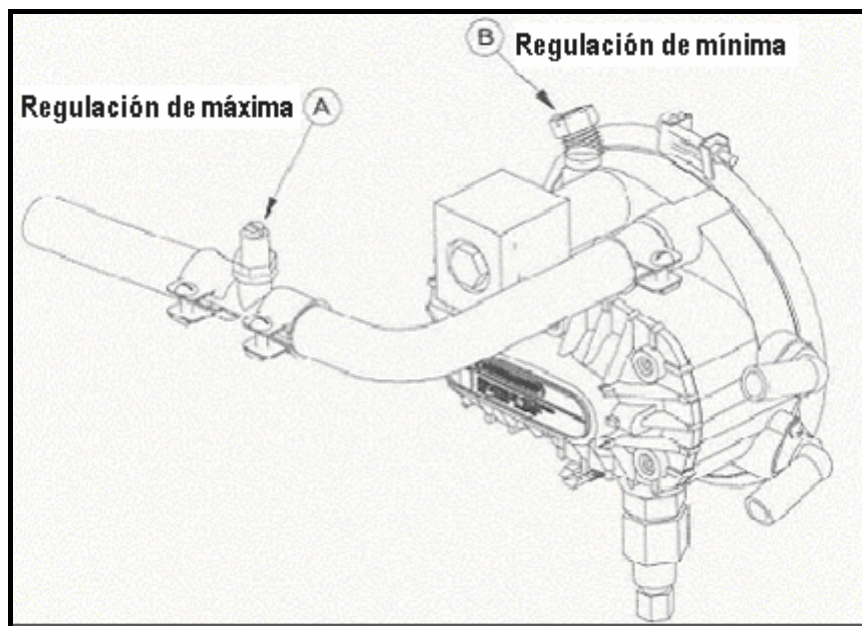


Figura 3.34 Regulación del caudal máximo y mínimo

3.6 CONSIDERACIÓN PARA LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA

- Se debe tener en cuenta mantener una reserva mínima de un cuarto del depósito de gasolina para poder llegar a la estación de servicio que tenga surtidor del sistema GNC, para el buen funcionamiento de la bomba de la gasolina, esto en el caso que exista estaciones de servicio en nuestro país.
- Se aconseja conducir el vehículo sin aceleraciones violentas que puedan comprometer el buen funcionamiento del mismo.
- Revisar que cada una de las conexiones eléctricas se encuentren aisladas para que no existan fugas de corrientes.
- Al realizar las conexiones del circuito de refrigeración debemos verificar que exista un flujo de agua constante para evitar un congelamiento del gas en el momento del cambio de gasolina/gas.
- Respecto a los cilindros es muy importante dar el par de apriete adecuado de la válvula en su conexión al cilindro, hermeticidad en las conexiones roscadas, compatibilidad entre los materiales es decir los roscados.
- Los reguladores de presión deben ser escogidos en función de la cilindrada del motor en el cual van a operar, porque dependiendo de este parámetro, se requerirá un regulador de mayor o menor capacidad para garantizar el caudal de gas que necesita el motor para su correcto funcionamiento.
- Cuando se contemple el uso de los reguladores de caudal de gas, estos deben seleccionarse de acuerdo con el grado de sofisticación que tenga el vehículo en la parte electrónica, cuando no existe tal sofisticación, simplemente se seleccionara un componente mecánico de regulación manual que tiene un costo menor que otros reguladores mas complejos.
- En el caso del mezclador este se debe seleccionar consultando los catálogos del fabricante y teniendo en cuenta la marca del vehículo, la cilindrada del motor, el tipo de sistema de alimentación para el combustible gasolina y los diámetros de ductos de admisión.
- Se debe tomar en cuenta de pasar lo cables del emulador lo mas lejos posible de los cables de alta tensión para que no existe una distorsión de la señal que envía el mismo.

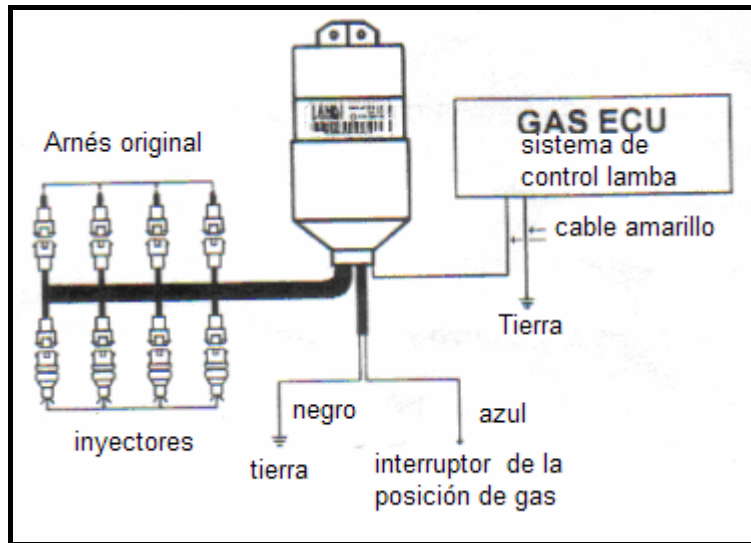


Figura 3.36 Emulador de inyectores

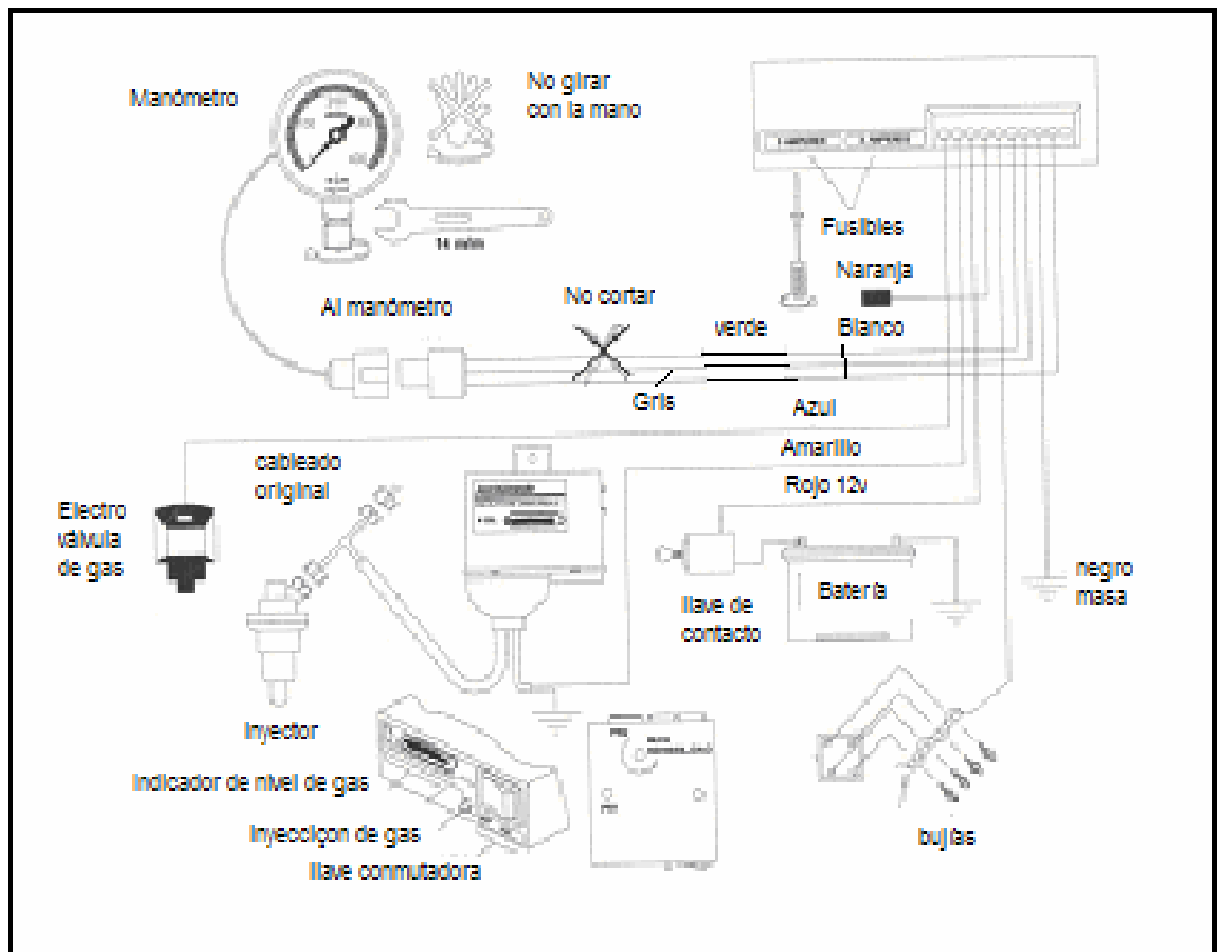


Figura 3.37 Diagrama general del sistema

3.8 FUNCIONAMIENTO CON GNC

El sistema instalado está equipado con arranque con gasolina a fin de salvaguardar la instalación original.



Figura 3.38 Conmutador en posición inicial

Con el conmutador (figura 3.38) en la posición gas gire la llave y poner en marcha el motor sin pisar el acelerador (el motor arranca y alcanza el régimen de revoluciones ideal para la temperatura en la cual se encuentra). En esta fase los 4 LED están intermitentes. El vehículo esta funcionando con gasolina y esta predispuesto para pasar al gas.

3.8.1 Paso automático al Gas

El paso puede en aceleración o en desaceleración cuando se alcanza el número de revoluciones configurado, es aconsejable efectuar el paso al gas en desaceleración con el coche en movimiento por ejemplo durante un cambio de marcha sin aceleraciones bruscas.

El paso al gas en aceleración debe ser efectuado con el vehículo parado, con una simple aceleración. El paso al gas en todo caso es automático y esta controlado por el microprocesador que controla el conmutador (figura 3.39).



Figura 3.39 Secuencia del paso automático de gas

3.8.2 Paso manual de Gas a Gasolina

La condición de depósito casi vacío es resaltada, además que por la intermitencia lenta del led indicador, también por la falta de alimentación para el motor seguidamente por la disminución de la velocidad del vehículo, entonces es necesario pasar a gasolina en manual.

IV. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 MEDICIÓN DE DIFERENTES PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL MOTOR A INYECCIÓN A GASOLINA

La prueba de potencia-torque a velocidad variable tiene la finalidad de conocer la diferencia de potencia en el motor para cada una de los dos combustibles bajo carga. De la misma forma conocer la diferencia de torque en el motor para cada una de los dos combustibles.

En el banco de pruebas existe el medidor de torque que es usado para las diferentes pruebas, este funciona con efecto hidráulico, el cual recibe el movimiento del volante.

4.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LOS DIFERENTES PARAMETROS DEL MOTOR DE INYECCION A GASOLINA

Para la ejecución de esta práctica se ha tomado en cuenta algunos parámetros, los cuales nos ayudaran en el desarrollo del mismo, estos son:

- Velocidad variable
- Aceleración al 25%, 50%, 100%
- Temperatura ambiente de 21 °C
- Combustible gasolina extra
- Poder calorífico del combustible 39874 KJ/Kg
- Presión barométrica de 74.5 Kpa
- Densidad especifica de 0,749 g/cc

Luego de tener estos parámetros es necesario que el motor se encuentre a temperatura óptima, para luego iniciar con la toma de datos en los cuales se encuentra:

- Torque
- Depresión del aire

- Temperatura de escape
- Temperatura de entrada y salida del sistema de refrigeración

Con estos datos que nos da el banco, se puede calcular los parámetros como son:

Torque:

Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo. El torque es igual a la fuerza multiplicada por el brazo de palanca.

$$Tq = F \times l \quad (1)$$

Donde:

Tq = Torque (N.m)

F = Fuerza (N)

l = Brazo de palanca (m)

Potencia al freno:

Es la potencia que se obtiene en el eje del motor, también es denominada potencia en la flecha. Es el trabajo desarrollado por la fuerza durante el número de revoluciones del motor en un tiempo dado.

$$P_f = \frac{Tq \times w}{1000} = \frac{\pi \times N \times Tq}{30000} \quad (2)$$

Donde:

P_f = Potencia al freno (Kw)

w = Velocidad angular (rad/s)

N = velocidad de rotación (rpm)

Consumo de combustible:

Este parámetro nos indica la cantidad de masa de combustible por unidad de tiempo.

$$m_c = \delta_c \times V_c \times 3600 \quad (3)$$

Donde:

m_c = Flujo másico de combustible (Kg/h)

V_c = Flujo volumétrico de combustible (m³/s)

δ_c = Densidad del combustible (Kg/m³)

Consumo específico de combustible:

Es la masa de combustible necesaria para generar una unidad de energía por unidad de tiempo:

$$C.E.C = \frac{m_c}{P_f} \quad (4)$$

Donde:

C.E.C. = Consumo específico de combustible (Kg/Kw-h)

m_c = Flujo másico de combustible (Kg/h)

P_f = Potencia al freno (Kw)

Consumo de aire:

Es la cantidad de aire suministrada al motor por unidad de tiempo:

$$V_a = \frac{C_d \times \pi \times D_o^2}{4} \sqrt{\frac{2C_1 \times h_o \times R \times T_a}{P_a}} \quad (5)$$

Donde:

V_a = Flujo de aire (m³/s)

C_d = Coeficiente de descarga (adimensional)

D_o = Diámetro del orificio (m)

C_1 = Constante de transformación de unidades de presión

R_a = Constante del aire

h_o = Presión manométrica (mmH₂O)

T_a = Temperatura del aire (°K)

P_a = Presión barométrica del aire (N/m²)

Relación aire – combustible:

Es la relación entre consumo de aire y el combustible en términos de volumen o masa.

$$A / C = \frac{m_a}{m_c} \quad (6)$$

Donde:

A/C = Relación aire – combustible

m_a = Flujo másico de aire (Kg/h)

m_c = Flujo másico de combustible (Kg/h)

Eficiencia térmica:

Se define el rendimiento térmico para un ciclo, con objeto de mostrar el rendimiento de conversión de calor en trabajo.

$$n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}} \times 3600 \quad (7)$$

Donde:

n_t = Eficiencia térmica

Q_{neto} = Poder inferior del combustible (KJ/Kg)

Eficiencia volumétrica:

Es la relación entre volumen aspirado y el volumen de barrido o cilindrada.

$$n_v = \frac{V_a}{V} \quad (9)$$

Donde:

n_v = Eficiencia volumétrica

V_a = Caudal de aire (m³/min)

VD = Volumen desplazado por unidad de tiempo (m³/min)

4.2.1 Ejemplos de cálculos

Para $N = 1100$ rpm y 25% de aceleración

- Cálculo de potencia al freno:

Datos:

$$Tq = 8.9 \text{ Nm (tabla VI.1)}$$

$$N = 1100 \text{ rpm}$$

$$\pi = 3.1416$$

$$P_f = \frac{Tq \times w}{1000} = \frac{\pi \times N \times Tq}{30000}$$

$$P_f = \frac{\pi \times 1100 \times 8.9}{30000}$$

$$P_f = 1.864 \text{ Kw}$$

- Cálculo del volumen desplazado

Datos:

$$N = 1100 \text{ rpm}$$

$$\text{Cilindrada} = 0.001 \text{ m}^3$$

$$Vd = \text{Cilindrada} \times \frac{N}{60 \times K2}$$

$$Vd = 0.001 \times \frac{1100}{120}$$

$$Vd = 32.87 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Cálculo de caudal de aire

Datos:

$$\pi = 3.1416$$

$$c = 0.613$$

$$D = 0.055 \text{ m}$$

$$C = 1 \text{ Kg/mmH}_2\text{O-m-s}^2$$

$$h_0 = 3.7 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$Pa = 0.8704 \text{ Kg/m}^3$$

$$Ra = \frac{287.08 \text{ N} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$Ta = 294^\circ\text{K}$$

$$Va = \frac{ma \cdot Ra \cdot Ta}{Pa}$$

$$ma = \frac{\pi \cdot c \cdot D^2}{4} \sqrt{\frac{2C_1 \cdot h_0 \cdot Pa}{Ra \cdot Ta}}$$

$$ma = \frac{3.1416 \cdot 0.613 \cdot (0.055)^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot (3.7 \text{ mmH}_2\text{O}) \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{100 \text{ Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9.8 \text{ m}}{\text{s}^2}}{\frac{0.98 \text{ Kg}_f}{\text{cm}^2} \cdot \frac{9.8 \text{ N} \cdot (100 \text{ m})^2}{\text{Kg}_f \cdot \text{m}^2}}}$$

$$ma = 0.01126 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$ma = 40528 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

$$Va = \frac{0.01126Kg * 287.08N * m * 294^{\circ}K}{h * Kg * ^{\circ}K * \left(\frac{0.98Kg_f * 9.8N * (100cm)^2}{cm^2 * Kg_f * m^2} \right)}$$

$$\dot{Va} = 0.012933 \frac{m^3}{s}$$

$$\dot{Va} = 46.56 \frac{m^3}{h}$$

- Calculo de eficiencia térmica

Datos:

$$P_f = 1.864 Kw$$

$$mc = 4.2362 \frac{Kg}{h} \text{ (tabla IV.1)}$$

$$Q_{neto} = 44673 KJ/Kg$$

$$Tq = 8.9 Nm$$

$$t = 48.5 \text{ seg}$$

$$\eta_t = \frac{P_f}{mc * Q_{neto}} = 0.01347 * Tq * t$$

$$mc = V_c * \rho_c =$$

$$V_c = \frac{V_{prueba}}{t}$$

$$mc = \frac{82cm^3}{48.5s} * \frac{696Kg}{m^3} * \frac{m^3}{(100cm)^3}$$

$$mc = 0.00117674 \frac{Kg}{s}$$

$$mc = 4.2362 \frac{Kg}{h}$$

$$\eta_t = 0.01347 * Tq * t$$

$$nt = 0.01347 * 8.9 * 48.5$$

$$nt = 5.81\%$$

- Cálculo de eficiencia volumétrica

Datos:

$$Va = \frac{0.0129335m^3}{s}$$

$$VD = \frac{0.0129335m^3}{s}$$

$$\eta v = \frac{Va}{VD} * 100$$

$$\eta v = \frac{\frac{0.0129335m^3}{s}}{\frac{0.0129335m^3}{s}} * 100\%$$

$$\eta v = 141.65\%$$

- Cálculo de consumo específico de combustible

Datos:

$$m_c = 4.2362 \frac{Kg}{h}$$

$$P_f = 1.864 Kw$$

$$C.E.C = \frac{m_c}{P_f}$$

$$C.E.C = \frac{4.23}{1.86}$$

$$C.E.C = 2.27 \left(\frac{Kg}{KW - h} \right)$$

- Cálculo de relación aire-combustible

Datos:

$$m_a = 40.588 \text{ Kg/h}$$

$$m_c = 4.23 \text{ Kg/h}$$

$$A/C = \frac{m_a}{m_c}$$

$$A/C = \frac{40.588}{4.23}$$

$$A/C = 9.6$$

4.3 OBTENCIÓN DE DATOS EN EL BANCO DE PRUEBAS A GASOLINA

Tabla IV.1. Obtención de datos "gasolina" al 25% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Velocidad	Variable
Aceleración	25%
Temp. Ambiente	22 °C

Pi = 3,141617

Combustible	Gasolina Extra
Poder calorífico	44673 KJ/Kg
Presión Barométrica	74,5 Kpa
Densidad específica	696 Kg/m ³

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF.VOL	EF. TERM	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pf	η_v	nt	CEC	mc	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m ³ /h	Kg/h	m ³ /h
1	1100	8,9	3,5	260	1,864016	141,67	5,81433	2,27	4,23	46,56	40,528	32,87
2	1200	10,1	3,8	268	2,115344	135,31	6,42142	2,05	4,35	48,52	42,229	35,86
3	1300	12	3,85	270	2,51328	125,72	7,48393	1,76	4,43	48,84	42,506	38,84
4	1400	10,5	3,9	270	2,19912	117,50	6,36458	2,07	4,56	49,15	42,782	41,83
5	1500	9,3	4,1	275	1,947792	112,44	5,61214	2,35	4,58	50,40	43,865	44,82
6	1800	8,2	4,15	280	1,717408	94,27	4,69430	2,81	4,83	50,70	44,131	53,78
7	2100	7,3	4,25	283	1,528912	81,77	4,04140	3,26	4,99	51,31	44,66	62,75
8	2400	6,7	5,9	285	1,403248	84,30	3,51971	3,75	5,26	60,45	52,62	71,71

Cilindrada	996cc	0,001	m ³
C1	9,807	Kg/mmH ₂ O-m-s ²	
C	0,613		
d	55mm	0,055	m
pa	0,8704	Kg/m ³	
Qneto	44673	KJ/Kg	
pc	696	Kg/m ³	

Tabla IV.2 Obtención de datos "gasolina" al 25% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Peso Kg 9,5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales				
		N	Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso Gasolina	Volumen	Pconsu
	RPM	°C	°C	seg.	Kg	Lts	Kg	Lts
1	1100	25	82	48,5	22,89144	32,89	0,05111	0,075
2	1200	25	83	47,2	22,83576	32,81	0,05568	0,08
3	1300	26	83	46,3	22,77312	32,72	0,06	0,09
4	1400	26	83	45	22,71048	32,63	0,06264	0,09
5	1500	28	84	44,8	22,66176	32,56	0,04872	0,07
6	1800	28	84	42,5	22,60608	32,48	0,05568	0,08
7	2100	30	86	41,1	22,5504	32,40	0,05568	0,08
8	2400	30	86	39	22,48776	32,31	0,06264	0,09

Vc m³ = 0,00008187

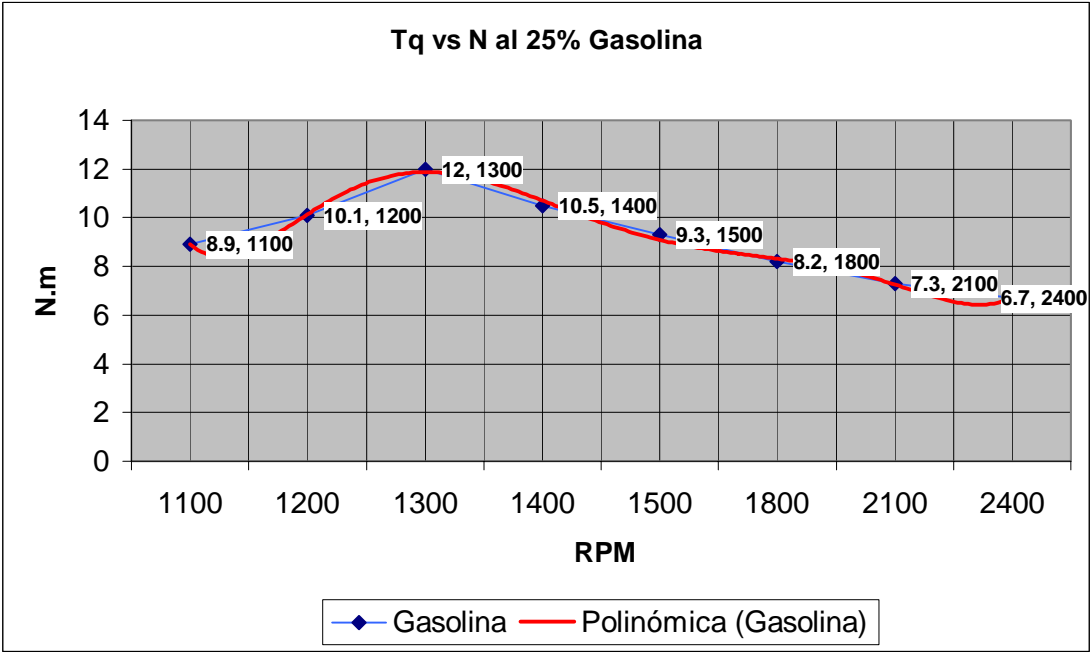


Figura 4.1 Torque vs revolución al 25%

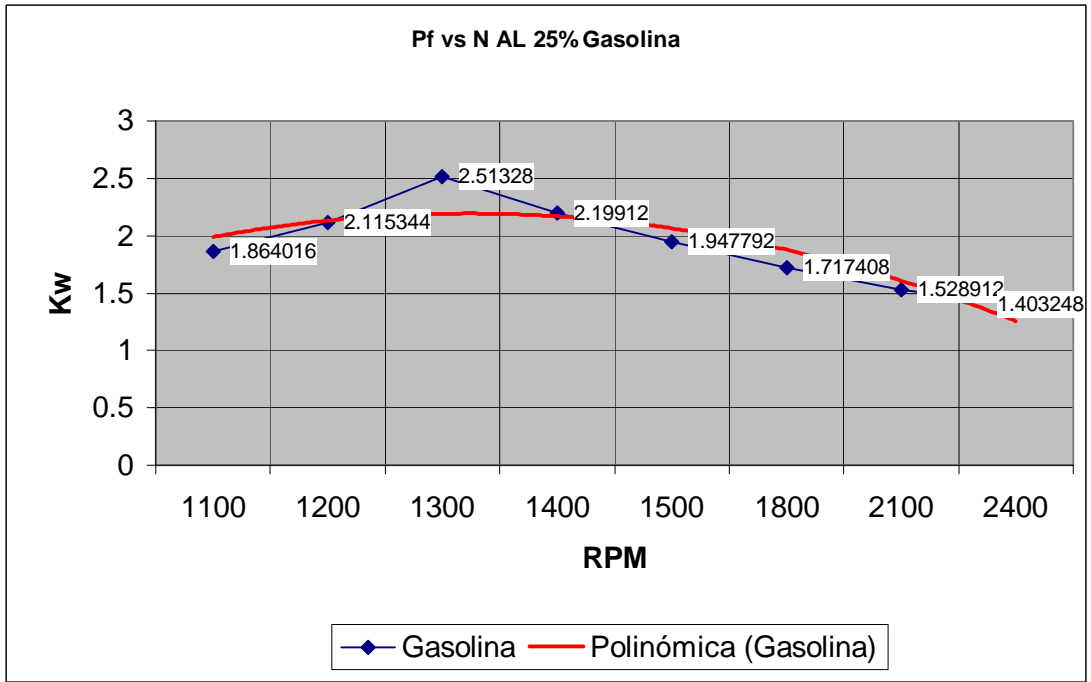


Figura 4.2 Potencia vs revolución al 25%

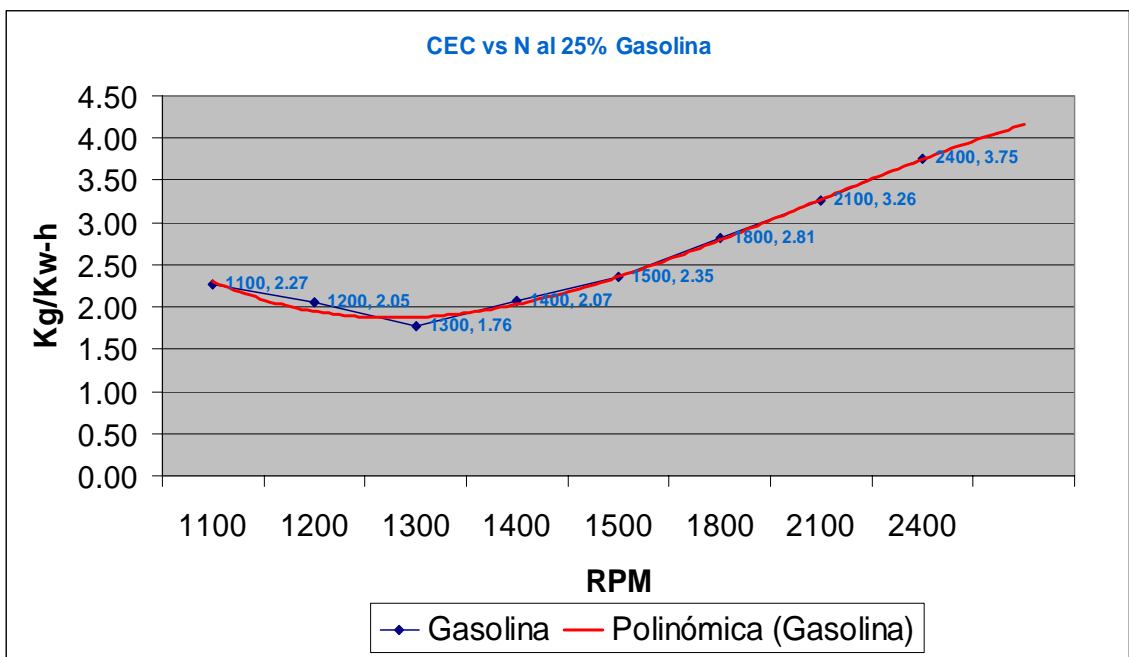


Figura 4.3 CEC vs revolución al 25%

Tabla IV.3 Obtención de datos "gasolina" al 50% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Velocidad	Variable
Aceleración	50%
Temp. Ambiente	22 °C

Pi = 3,141617

Combustible	Gasolina Extra
Poder calorífico	44673 KJ/Kg
Presión Barométrica	74,5 Kpa
Densidad específica	696 Kg/m ³

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF.VOL	EF. TERM	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pi	ηv	nt	CEC	mc	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m ³ /h	Kg/h	m ³ /h
1	1500	19	2	318	2,98453615	78,53	22,77777	0,67	2,00	35,20	30,636	44,82
2	1800	20,2	3	319	3,807639804	80,15	22,03961	0,58	2,20	43,11	37,522	53,78
3	2100	20	4	320	4,3982638	79,33	20,74380	0,53	2,31	49,78	43,327	62,75
4	2400	19,3	5	320	4,850656648	77,61	18,71791	0,51	2,47	55,65	48,441	71,71
5	2700	19	6,3	330	5,37216507	77,43	17,40324	0,49	2,62	62,47	54,374	80,68
6	3000	18,5	7,9	350	5,81199145	78,04	15,69929	0,49	2,83	69,96	60,889	89,64
7	3300	17,8	9,5	360	6,151286086	77,80	13,90643	0,50	3,07	76,71	66,771	98,60
8	3600	16	10,8	400	6,03190464	76,04	11,63808	0,55	3,30	81,79	71,193	107,57
9	3900	14,3	12	405	5,840266003	73,99	9,43843	0,62	3,64	86,22	75,044	116,53

Cilindrada	996cc	0,001	m ³
C1	9,807	Kg/mmH ₂ O-m-s ²	
C	0,613		
d	55mm	0,055	m
pa	0,8704	Kg/m ³	
Qneto	44673	KJ/Kg	
pc	696	Kg/m ³	

Tabla IV.4 Obtención de datos “gasolina” al 50% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Peso Kg 9,5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales				
		Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso Gasolina	Volumen	Pconsu	LtsC
	RPM	°C	°C	seg.	Kg	Lts	Kg	Lts
1	1500	27	74	89	22,41816	32,21	0,08	0,01
2	1800	30	72	81	22,3416	32,10	0,07656	0,11
3	2100	30	84	77	22,28244	32,02	0,06	0,09
4	2400	29	84	72	22,2372	31,95	0,04524	0,07
5	2700	29	84	68	22,18848	31,88	0,04872	0,07
6	3000	33	70	63	22,1328	31,80	0,05568	0,08
7	3300	35	72	58	22,0806	31,73	0,0522	0,07
8	3600	38	83	54	22,0284	31,65	0,0522	0,08
9	3900	38	78	49	21,97968	31,58	0,04872	0,07

Vc m³ = 0,00007111

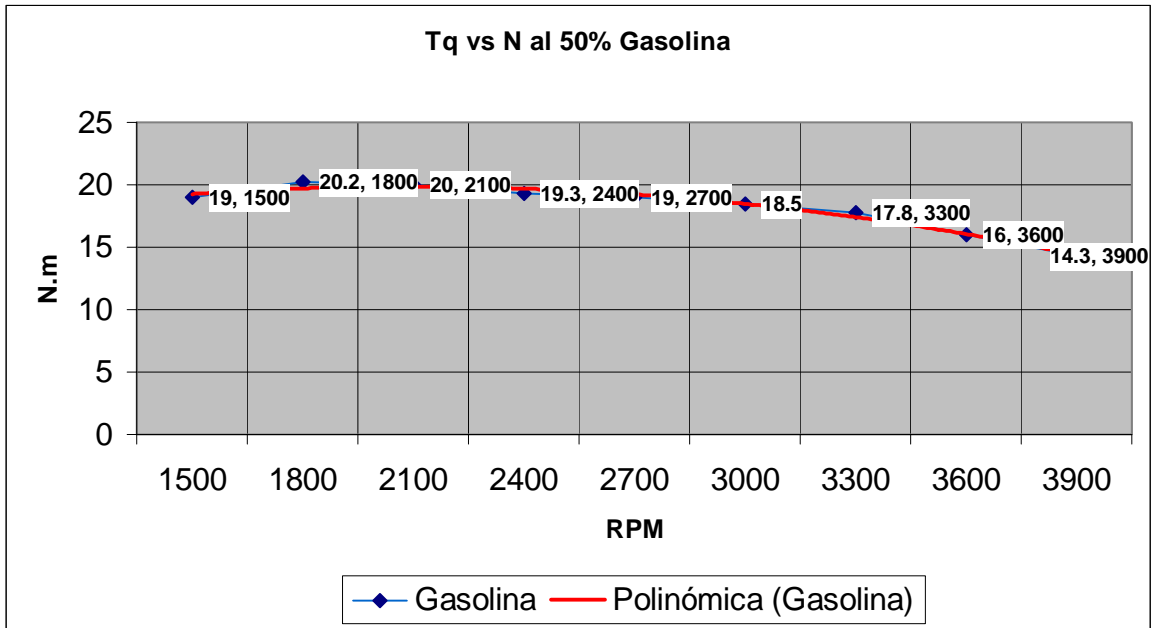


Figura 4.4 Torque vs revolución al 50%

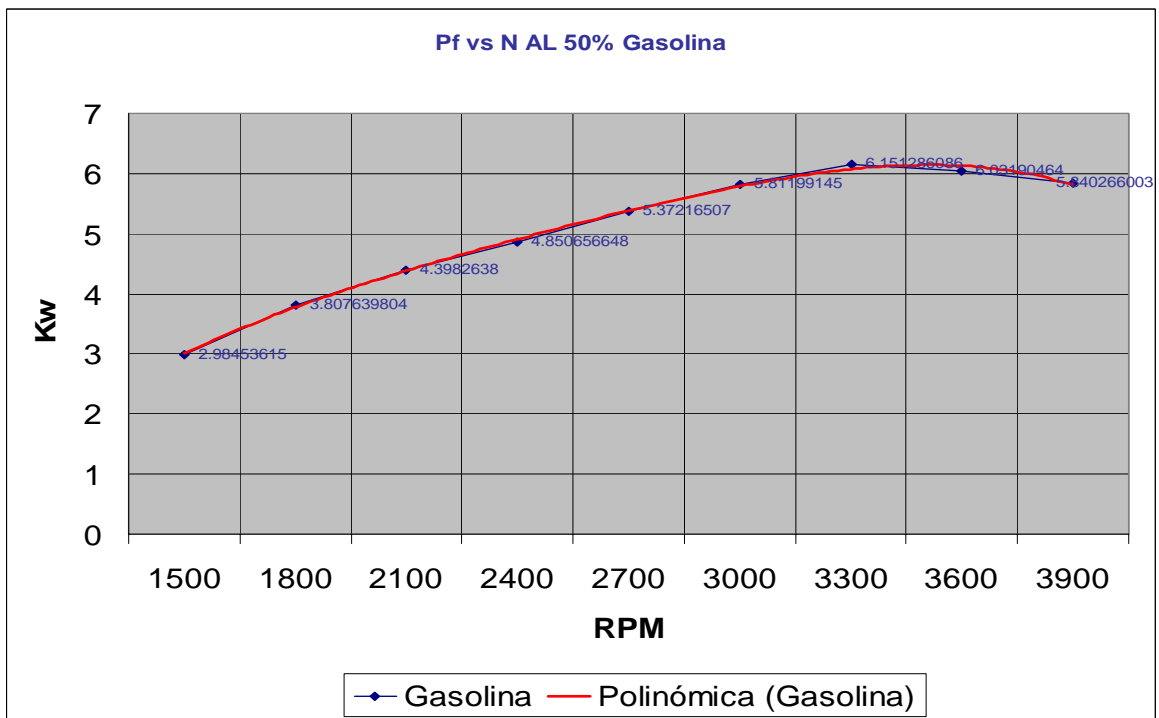


Figura 4.5 Potencia vs revolución al 50%

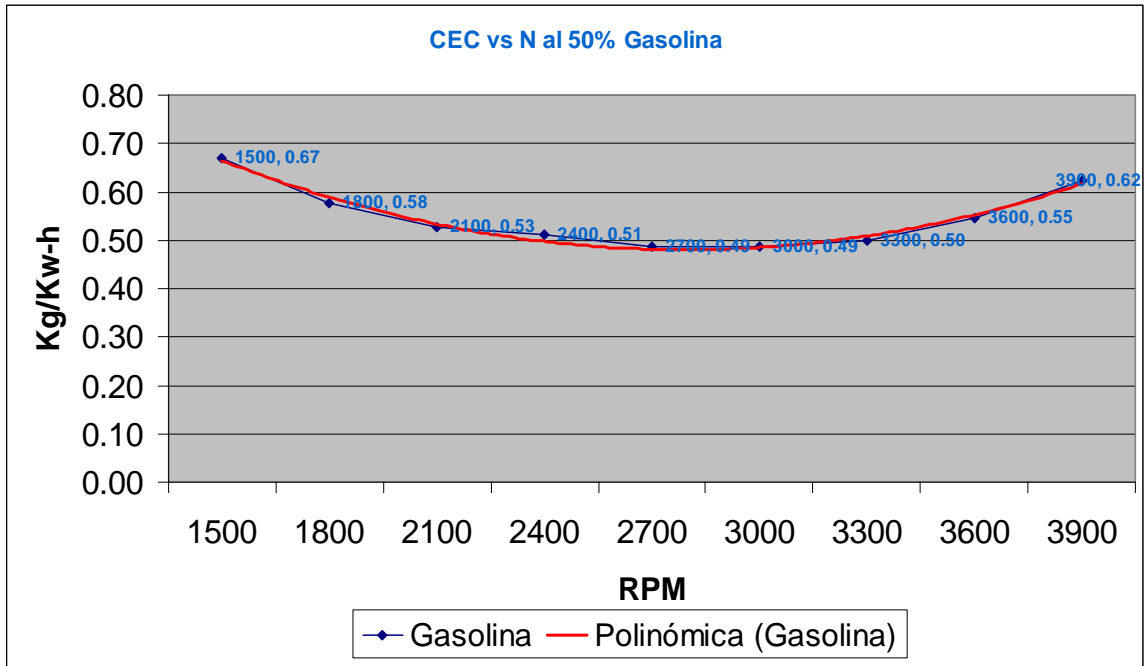


Figura 4.6 CEC vs revolución al 100%

Tabla IV.5 Obtención de datos "gasolina" al 100% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Velocidad	Variable
Aceleración	100%
Temp. Ambiente	22 °C

Pi = 3,141617

Combustible	Gasolina Extra
Poder calorífico	44673 KJ/Kg
Presión Barométrica	74,5 Kpa
Densidad específica	696 Kg/m ³

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF.VOL	EF. TERM	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pi	η_v	nt	CEC	mc	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m ³ /h	Kg/h	m ³ /h
1	1500	19,3	2,5	318	3,031660405	87,80	18,97788	0,90	2,71	39,35	34,253	44,82
2	1800	21	3,5	322	3,95843742	86,57	20,08377	0,71	2,79	46,56	40,528	53,78
3	2100	21,3	4,5	340	4,684150947	84,14	19,50995	0,62	2,91	52,80	45,955	62,75
4	2400	20,9	6	330	5,252783624	85,01	18,86204	0,56	2,96	60,97	53,064	71,71
5	2700	20,5	7,5	341	5,796283365	84,49	17,12037	0,55	3,20	68,16	59,327	80,68
6	3000	19,7	9,5	360	6,18898549	85,58	16,18690	0,52	3,25	76,71	66,771	89,64
7	3300	18,8	11,5	380	6,496863956	85,60	14,68769	0,53	3,42	84,40	73,464	98,60
8	3600	17	13,5	390	6,40889868	85,01	12,59445	0,56	3,60	91,45	79,596	107,57
9	3900	16,1	16	400	6,575404381	85,43	10,62648	0,62	4,04	99,56	86,653	116,53
10	4200	14	18,5	420	6,15756932	85,30	8,48610	0,72	4,40	107,05	93,177	125,50
11	4500	12,4	19,8	420	5,84340762	82,37	6,34706	0,89	5,22	110,75	96,395	134,46

Cilindrada	996cc	0,001	m ³
C1	9,807	Kg/mmH ₂ O-m-s ²	
C	0,613		
d	55mm	0,055	m
pa	0,8704	Kg/m ³	
Qneto	44673	KJ/Kg	
pc	696	Kg/m ³	

Tabla IV.6 Obtención de datos "gasolina" al 100% de aceleración

DATOS EXPERIMENTALES "GASOLINA"

Peso Kg 9,5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales				
		N	Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso Gasolina	Volumen	Pconsu
	RPM	°C	°C	seg.	Kg	Lts	Kg	Lts
1	1500	42	86	73	21,91704	31,49	0,08	0,01
2	1800	42	86	71	21,86136	31,41	0,05568	0,08
3	2100	42	85	68	21,81264	31,34	0,05	0,07
4	2400	41	84	67	21,74304	31,24	0,0696	0,10
5	2700	42	85	62	21,6804	31,15	0,06264	0,09
6	3000	43	86	61	21,63168	31,08	0,04872	0,07
7	3300	50	87	58	21,56208	30,98	0,0696	0,10
8	3600	50	88	55	21,50292	30,90	0,05916	0,09
9	3900	51	78	49	21,45072	30,82	0,0522	0,07
10	4200	52	77	45	21,39504	30,74	0,05568	0,08
11	4500	52	77	38	21,31848	30,63	0,07656	0,11

Vc m³ = 0,00007909

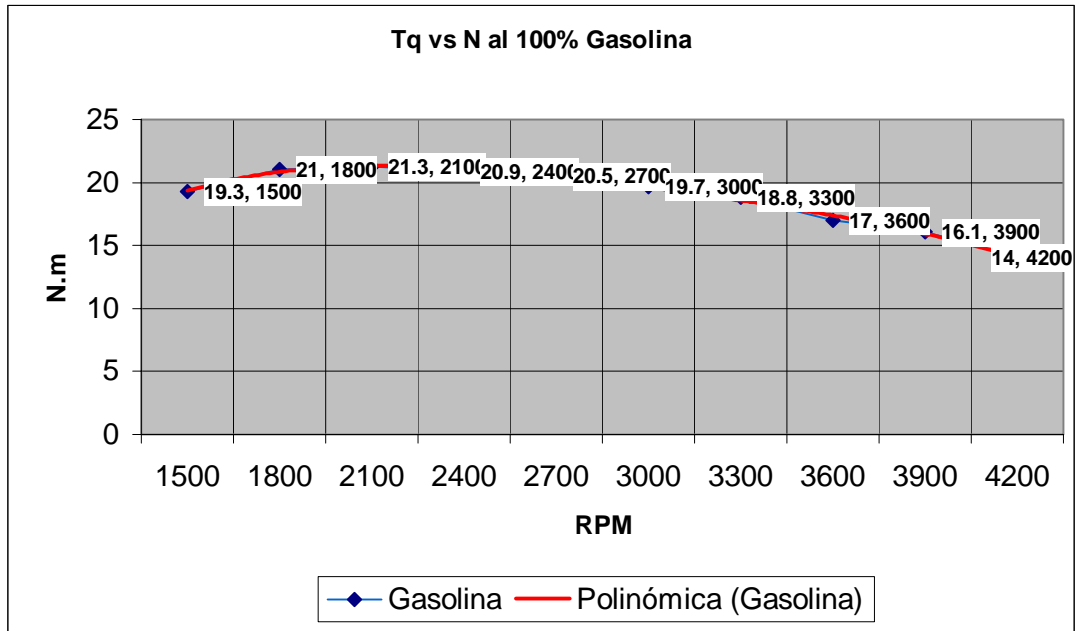


Figura 4.7 Torque vs revolución al 100%

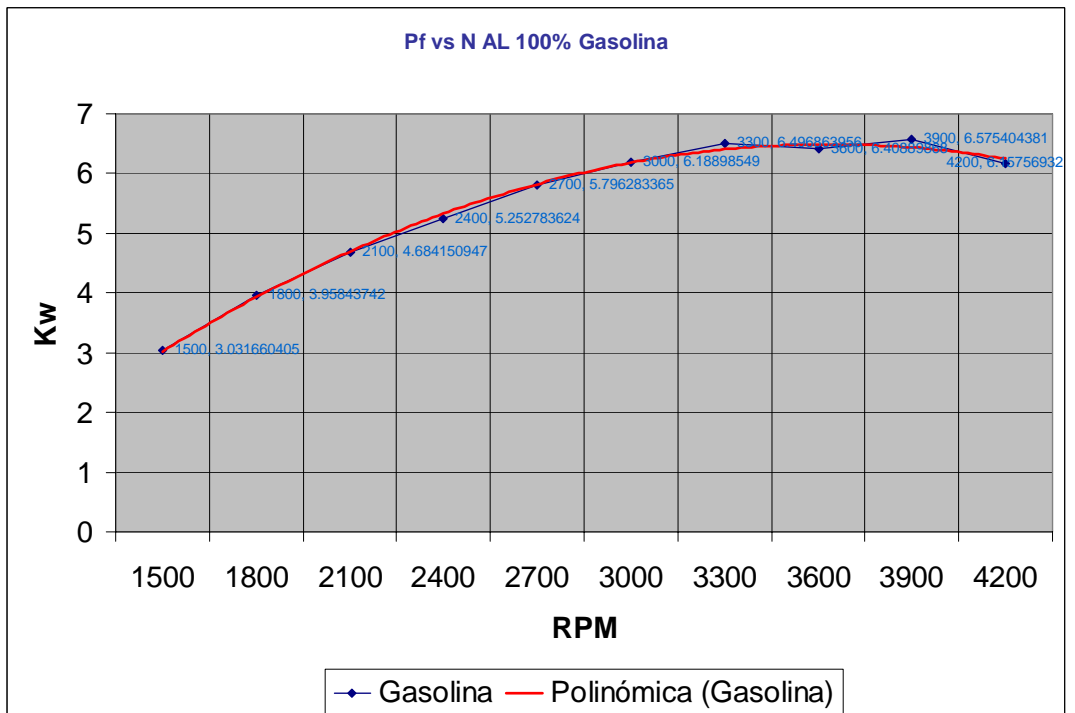


Figura 4.8 Potencia vs revolución al 100%

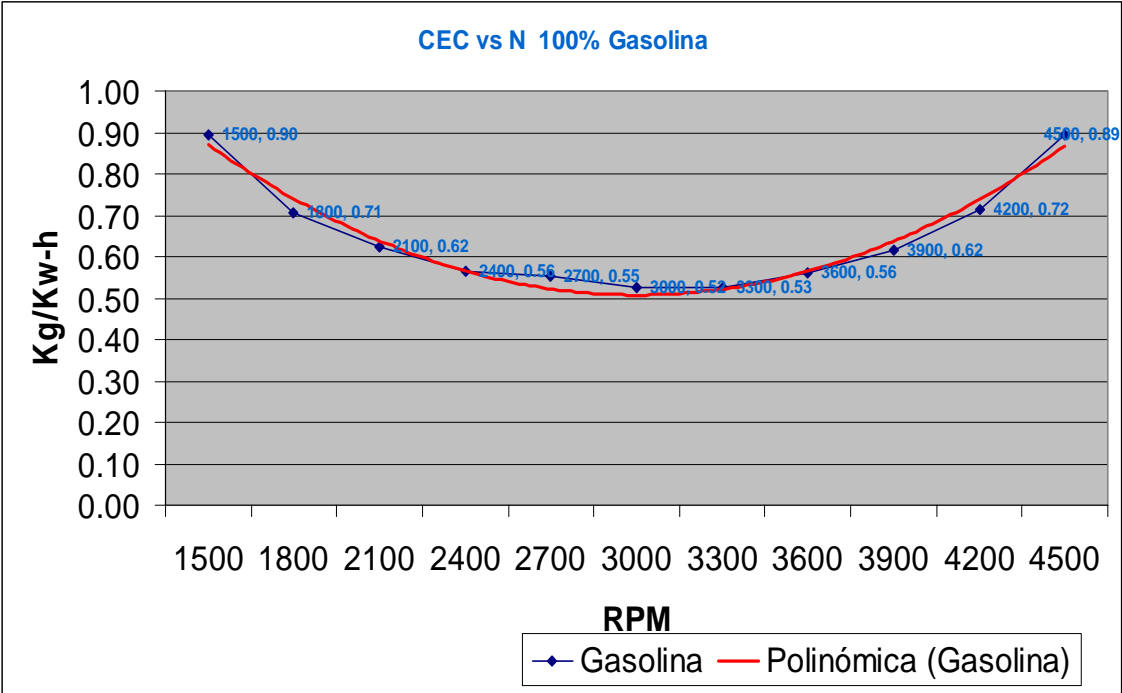


Figura 4.9 CEC vs revolución al 100%

4.3.1 Obtención de los gases de escape con gasolina

El analizador mide los siguientes gases:

Dióxido de carbono (CO₂)

El Dióxido de carbono es medido en porcentaje de volumen. Este gas, es un compuesto que se forma cuando un átomo del carbono del combustible o hidrocarburos se combina con dos átomos de oxígeno del aire durante el ciclo de combustión de un motor.

El Dióxido de carbono no es tóxico y es respirado por las plantas que lo convierten en sus componentes básicos de carbono y oxígeno. Aunque no es tóxico, es uno de los gases responsables del efecto invernadero. Cuando el volumen de CO₂ en los gases de escape está en el nivel más alto está operando al grado más alto de eficacia de la combustión.

Monóxido de carbono (CO)

El Monóxido de carbono es incoloro, inodoro e insípido. La inhalación de 0.3% de volumen de CO puede causar la muerte en 30 minutos.

Nunca haga funcionar motores en áreas sin ventilación. El CO es medido en porcentaje de concentración. Este gas es el derivado de la combustión incompleta de hidrocarburos con oxígeno. Se forma cuando se intenta quemar el combustible pero no hay oxígeno suficiente para quemarlo completamente. En otras palabras tenemos mezcla rica.

Hidrocarburos (HC)

Hidrocarburo (HC) es combustible sin quemar y es el derivado de una combustión pobre o incompleta. Los HC son medidos en partes por millón (ppm). Todos los motores producen algún exceso de HC cuando parte del combustible permanece sin quemar al haber sido enfriado por la pared del cilindro, relativamente fría, en la cámara de combustión.

Los hidrocarburos son un indicador excelente de problemas de ignición y/o mecánicos

Oxigeno (O2)

El oxigeno es medido en porcentaje de volumen de la muestra. El oxigeno no se produce por el proceso de combustión de motor, viene directamente de la atmósfera. Es casi totalmente consumido por el proceso de la combustión. Algunos vehículos usan aire adicional que se inyecta o se bombea al sistema de escape después del proceso de la combustión para diluir emisiones.

En las siguientes tablas de gases de escape se encuentran los datos obtenidos con las diferentes aceleraciones de prueba.

Tabla IV.7 Gases de escape al 25% con gasolina

ACELERACION = 25%	GASOLINA			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	1.3	9.1	7.1	233
1800	1	8.7	6.2	206
2100	1.16	11.2	4.6	230
2400	1.1	10.7	5.3	230
2550	1.12	10.5	5	232

Tabla IV.8 Gases de escape al 50% con gasolina

ACELERACION=50%	GASOLINA			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	3.2	8.5	6.3	398
1800	2.6	9.4	5.4	311
2100	2.55	9.8	5.1	285
2400	2.2	11.2	3.9	270
2700	2.6	11.1	4.3	259
3000	2.16	9.5	6.1	215
3300	2.27	9.3	5.9	190
3600	1.85	10.5	5.1	173
3900	1.78	10	5,2	170

Tabla IV. 9 Análisis de gases al 100% con gasolina

ACELERACION = 100%	GASOLINA			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	3.9	8.5	5.5	440
1800	4	8.3	4.9	415
2100	3.94	9.2	5	353
2400	3.25	10.1	4.6	311
2700	2.84	9.9	7.9	239
3000	2.54	9.6	8.3	217
3300	2.34	9.3	9.4	179
3600	2.15	9.1	9.1	143
3900	2.85	10.3	8.3	118
4200	3.5	11.6	6.1	136

Luego de haber realizado las pruebas con el analizador, y haber obtenido los resultados a las diferentes revoluciones de prueba, se procede a realizar las curvas correspondientes para tener una visión mas clara de las pruebas.

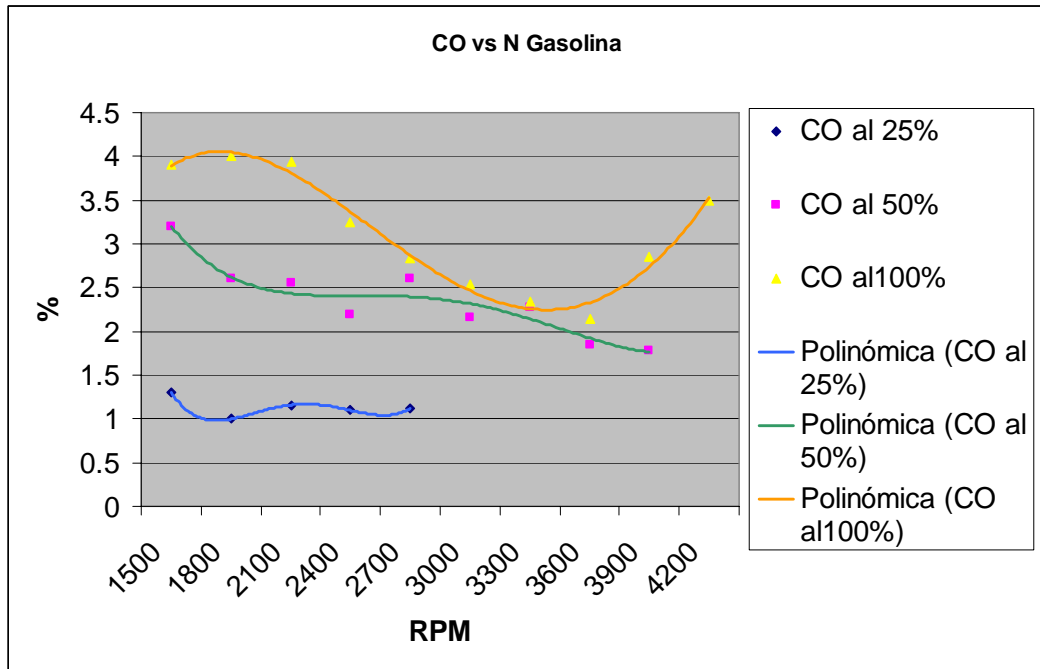


Figura 4.10 CO vs N al 25, 50 y 100%

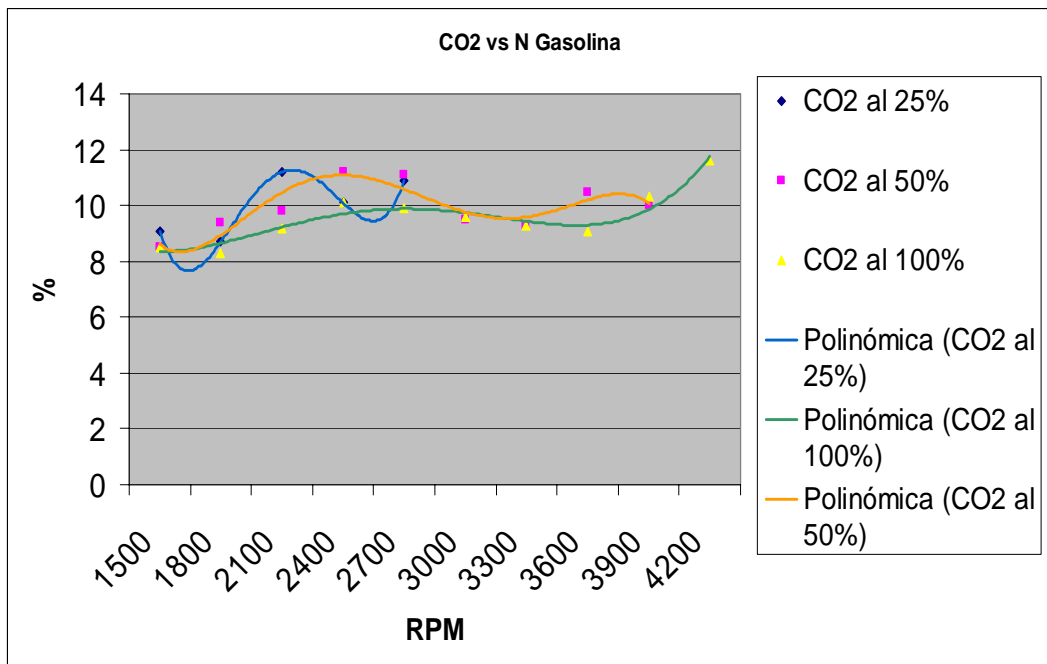


Figura 4.11 CO2 vs N al 25, 50 y 100%

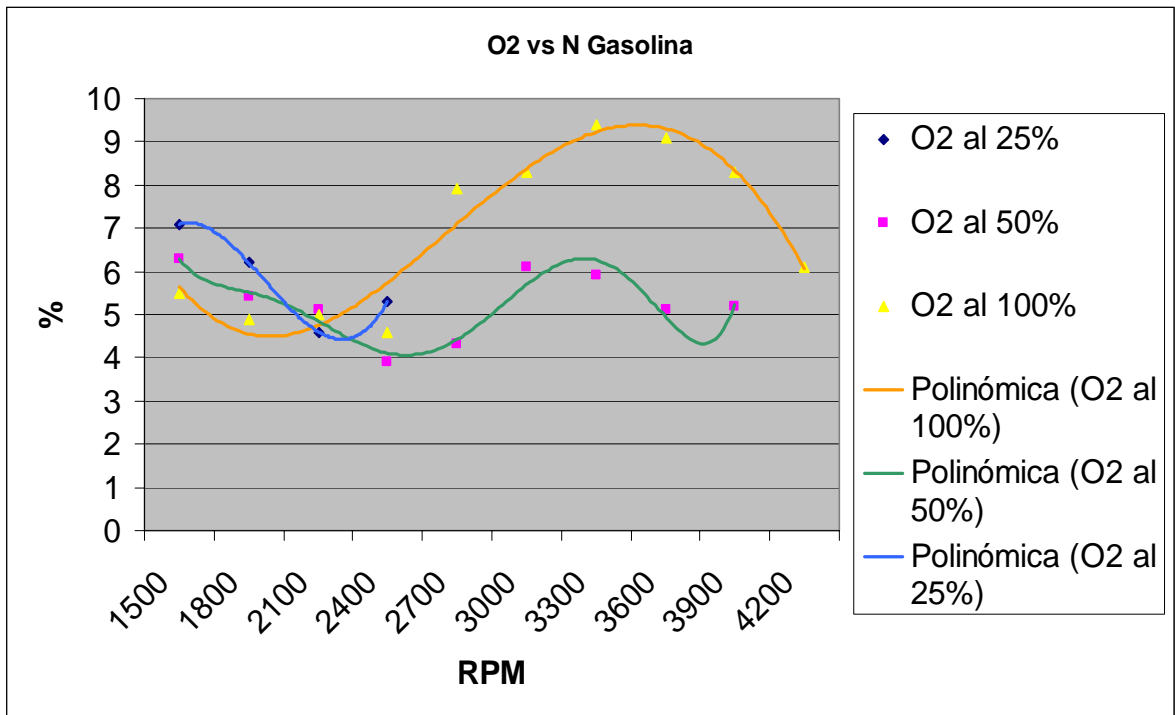


Figura 4.12 O2 vs N al 25, 50 y 100%

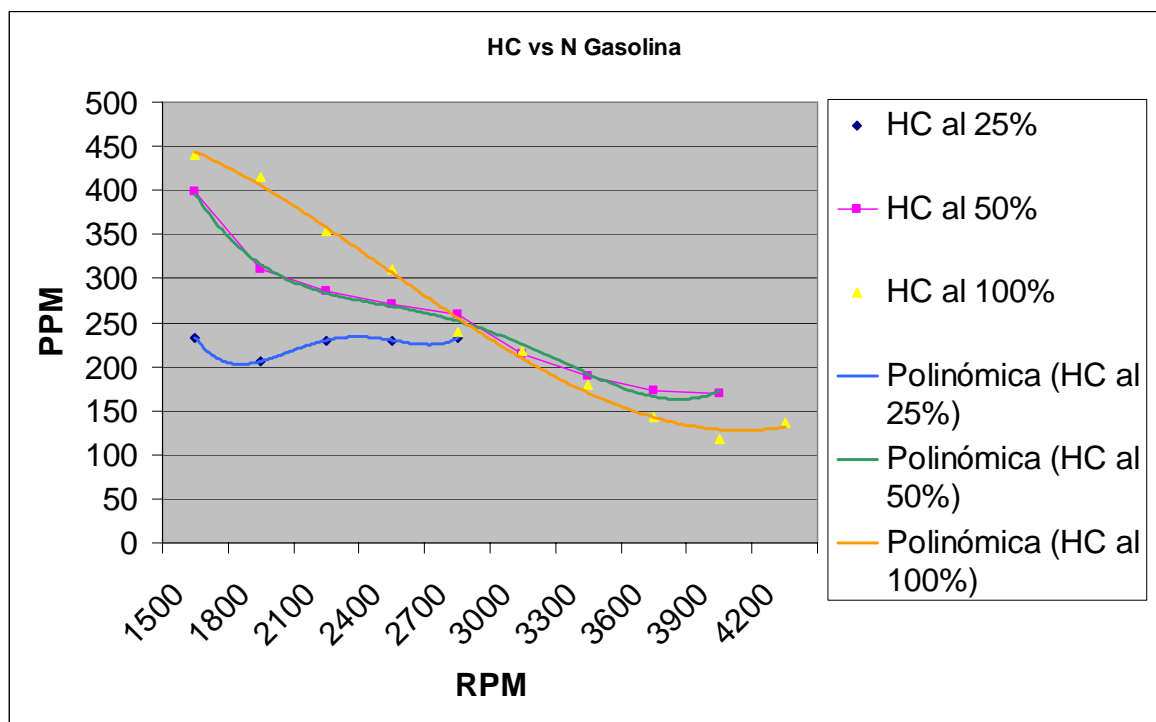


Figura 4.13 HC vs N al 25, 50 y 100%

4.4 OBTENCIÓN DE DATOS EN EL BANCO DE PRUEBAS CON GNC: En las siguientes tablas se encuentran los datos que se obtuvieron con el GNC a diferentes rangos de operación.

Tabla IV.10 Obtención de datos con GNC al 25%

DATOS EXPERIMENTALES "GNC"

Velocidad	Variable
Aceleración	25%
Temp. Ambiente	21°C

Pi = 3.141617

Combustible	GNCV
Poder calorífico	10408 KJ/Kg
Presión Barométrica	549 mmHg
Densidad específica	0,68x10 ⁻³ g/cc

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF.VOL	EF. TERM	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pi	ηv	nt	CEC	mc	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m³/h	Kg/h	m³/h
1	1500	3.5	3.8	211	0.549782975	108.2493	2.498685	3.224617251	3.355471698	48.5173	42.2295	44.82
2	1800	5	4	240	0.9424851	92.55122	3.5022	2.300640385	3.42	49.7777	43.32655	53.784
3	2100	7	4.5	265	1.53939233	84.14176	4.52592	1.78025744	3.705	52.7973	45.95475	62.748
4	2400	7.3	6.4	280	1.834704328	87.8018	4.228233	1.905595731	4.135813953	62.9644	54.80423	71.712
MAX	2550	6.2	6.6	290	1.655632159	83.91825	3.257046	2.473806865	4.56	63.9407	55.65396	76.194

Cilindrada	996cc	0.001	m³
C1	9.807	Kg/mmH2O-m-	s²
C	0.613		
d	55mm	0.055	m
pa	0.8704	Kg/m³	
Qneto	10408	KJ/Kg	
pc	650	Kg/m³	

Tabla IV.11 Obtención de datos con GNC al 25%

DATOS EXPERIMENTALES "GNC"

Peso Kg 9.5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales					
		N	Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso GNC	Presión	Volumen	Pconsu
	RPM	°C	°C	seg.	Kg	Kg/cm ²	Lts	Kg	Lts
1	1500	21	56	53	8.1	102.53	32.40	0.04	0.04
2	1800	21	60	52	8.085	98.52	32.34	0.015	0.06
3	2100	21	64	48	8.062	95.25	32.25	0.023	0.09
4	2400	21	64	43	8.038	91.23	32.15	0.024	0.10
MAX	2550	21	63	39	8.015	88.23	32.06	0.023	0.09

V_c m³ = 0.00008

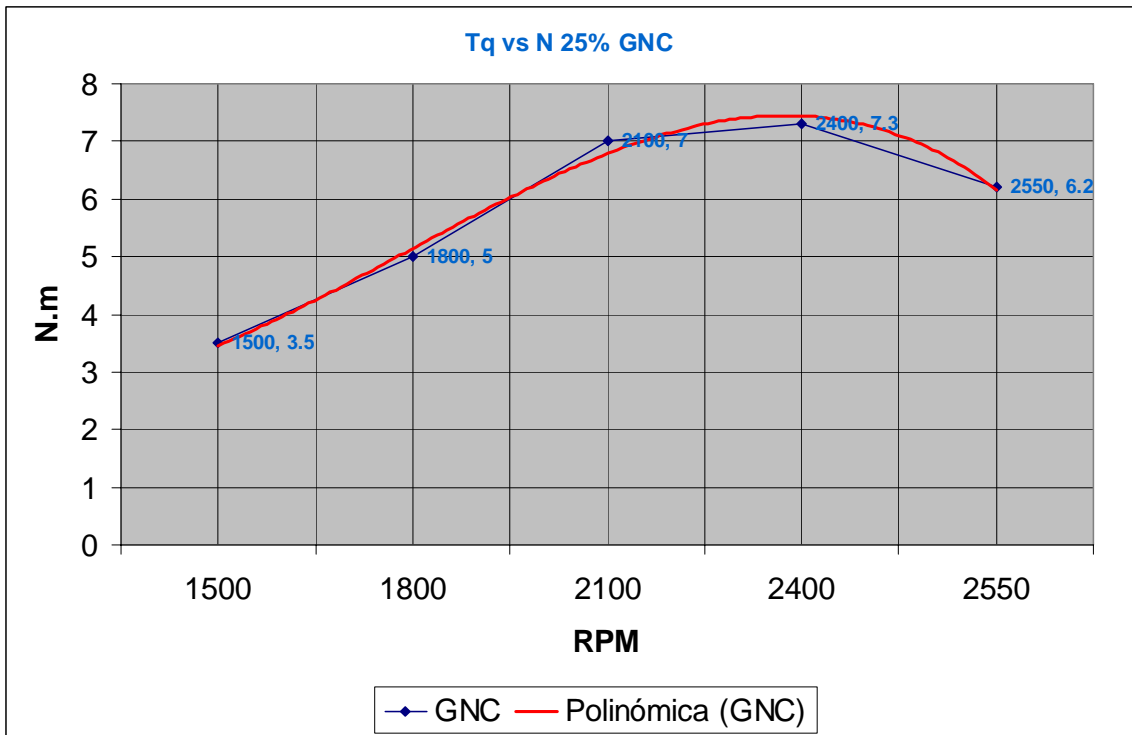


Figura 4.14 Tq vs N al 25%

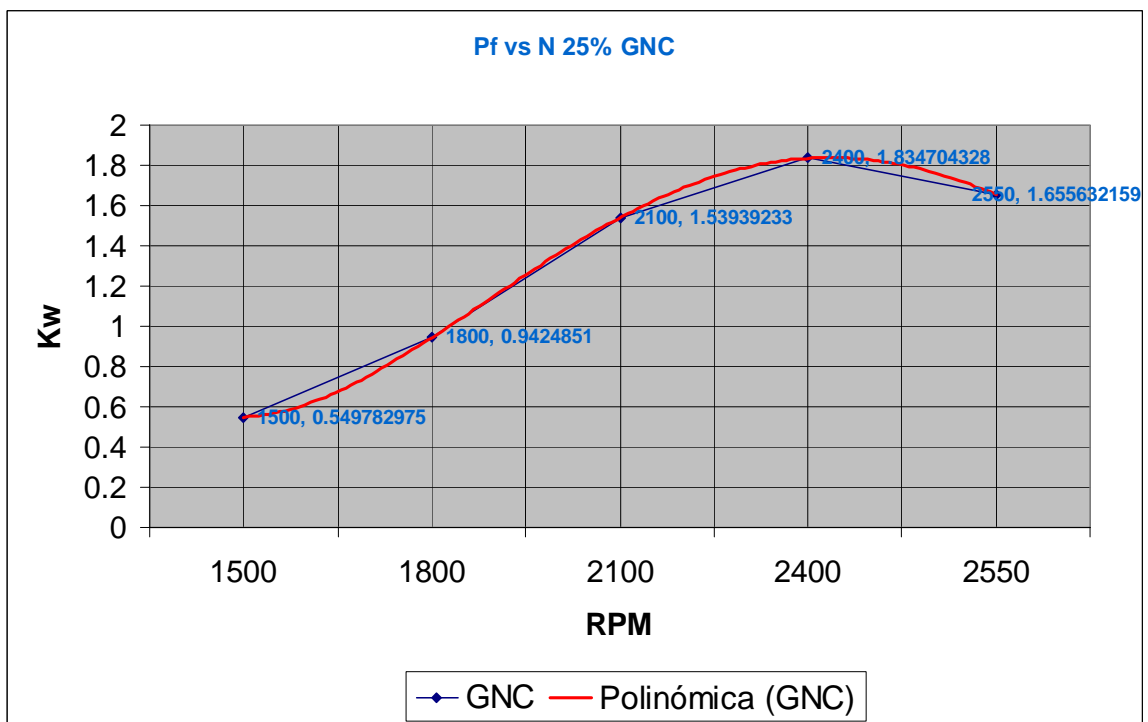


Figura 4.15 Pf vs N al 25%

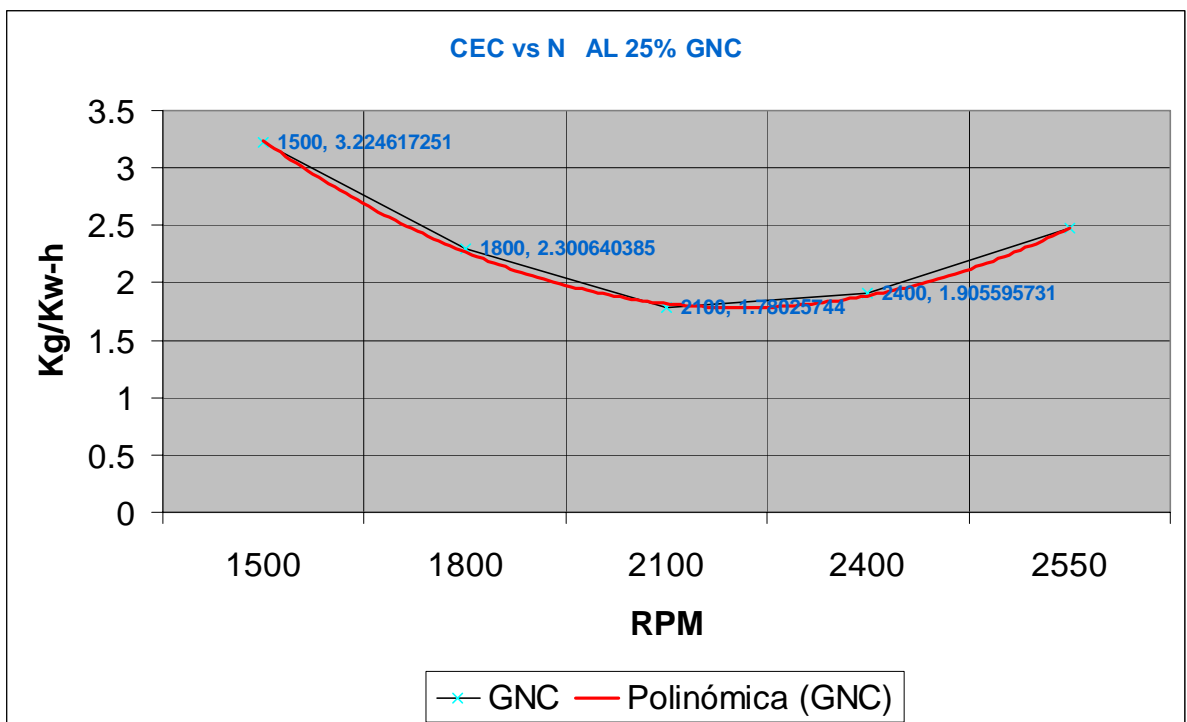


Figura 4.16 CEC vs N al 25%

Tabla IV.12 Obtención de datos con GNC al 50%

DATOS EXPERIMENTALES "GNCV"

Velocidad	Variable
Aceleración	50%
Temp. Ambiente	21°C

Pi = 3,141617

Combustible	GNCV
Poder calorífico	10408 KJ/Kg
Presión Barométrica	549 mmHg
Densidad específica	$0,68 \times 10^{-3}$ g/cc

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF. VOL	EF. TERMICA	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pi	η_v	nt	CEC	mc	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m³/h	Kg/h	m³/h
1	1500	9,5	4,5	230	1,492268075	117,7985	8,061795	1,418741641	2,117142857	52,80	45,95475	44,82
2	2100	10	4,9	24	2,1991319	87,8018	7,9473	1,027986528	2,260677966	55,09	47,95371	62,75
3	2400	11	5,3	280	2,76462296	79,90084	8,14935	0,877186851	2,425090909	57,30	49,87261	71,71
4	2700	14	5,9	340	3,95843742	74,93538	9,99474	0,635756867	2,516603774	60,45	52,61991	80,68
5	3000	18,2	6,8	360	5,71774294	72,40322	12,502854	0,457399737	2,615294118	64,90	56,49091	89,64
6	3300	17,5	6,95	380	6,047612725	66,54311	11,3148	0,459478827	2,77875	65,61	57,11057	98,60
7	3600	15	7,8	390	5,6549106	64,62037	8,68815	0,548525111	3,101860465	69,51	60,50224	107,57

Cilindrada	996cc	0,0010	m³
C1	9,807	Kg/mmH2O-m-	
C	0,613	s²	
d	55mm	0,055	m
pa	0,8704	Kg/m³	
Qneto	10408	KJ/Kg	
pc	650	Kg/m³	

Tabla IV.13 Obtención de datos con GNC al 50%

DATOS EXPERIMENTALES "GNC"

Peso Kg 9.5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales						
		N	Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso GNC	Presión	Volumen	Pconsu	LtsC
		RPM	°C	°C	seg.	Kg	Kg/cm ²	Lts	Kg	Lts
1	1500	21	70	63	8	85.26	32.00	0.015	0.06	
2	2100	21	70	59	7.97	81.47	31.88	0.030	0.120	
3	2400	21	72	55	7.95	78.26	31.78	0.025	0.100	
4	2700	21	74	53	7.91	75.25	31.65	0.033	0.132	
5	3000	21	78.5	51	7.88	73.12	31.52	0.031	0.124	
6	3300	21	81	48	7.85	70.25	31.38	0.035	0.140	
7	3600	21	82	43	7.81	67.12	31.24	0.036	0.144	

Vc m³ = 0.00006

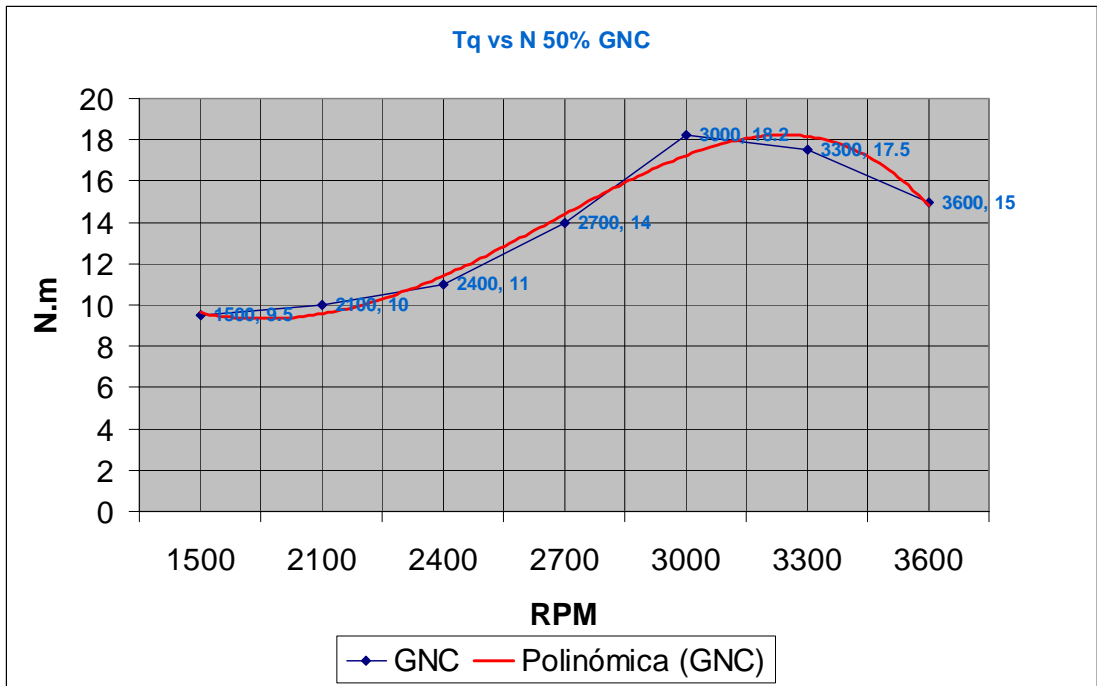


Figura 4.17 Tq vs N al 25%

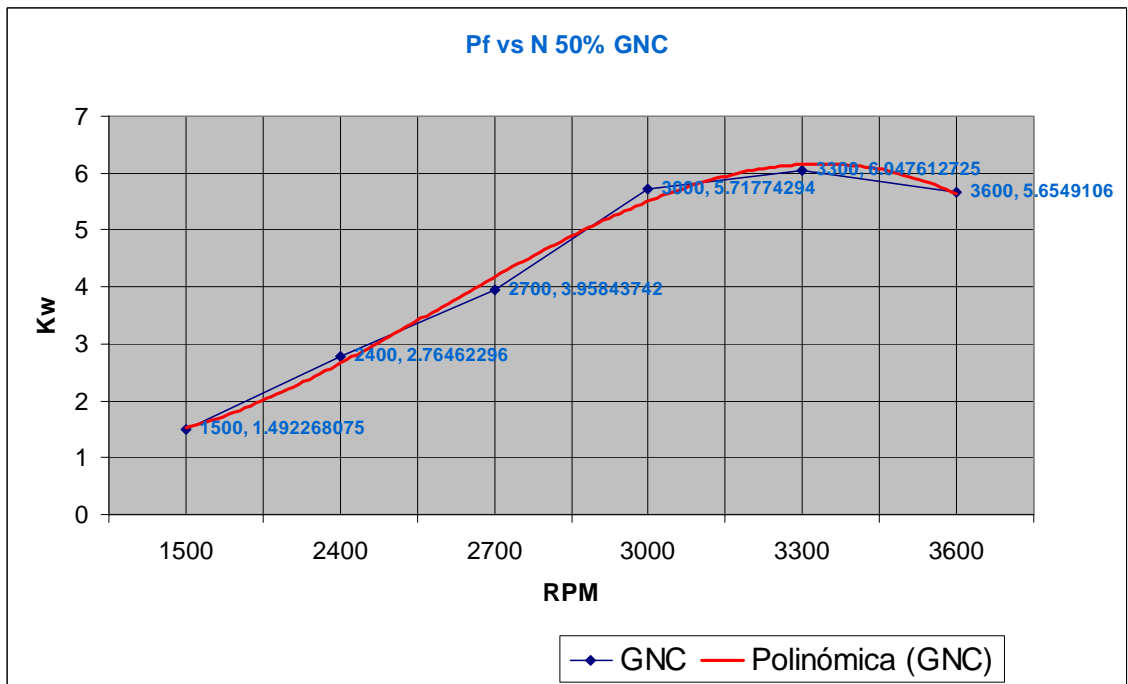


Figura IV.18 Pf vs N al 50%

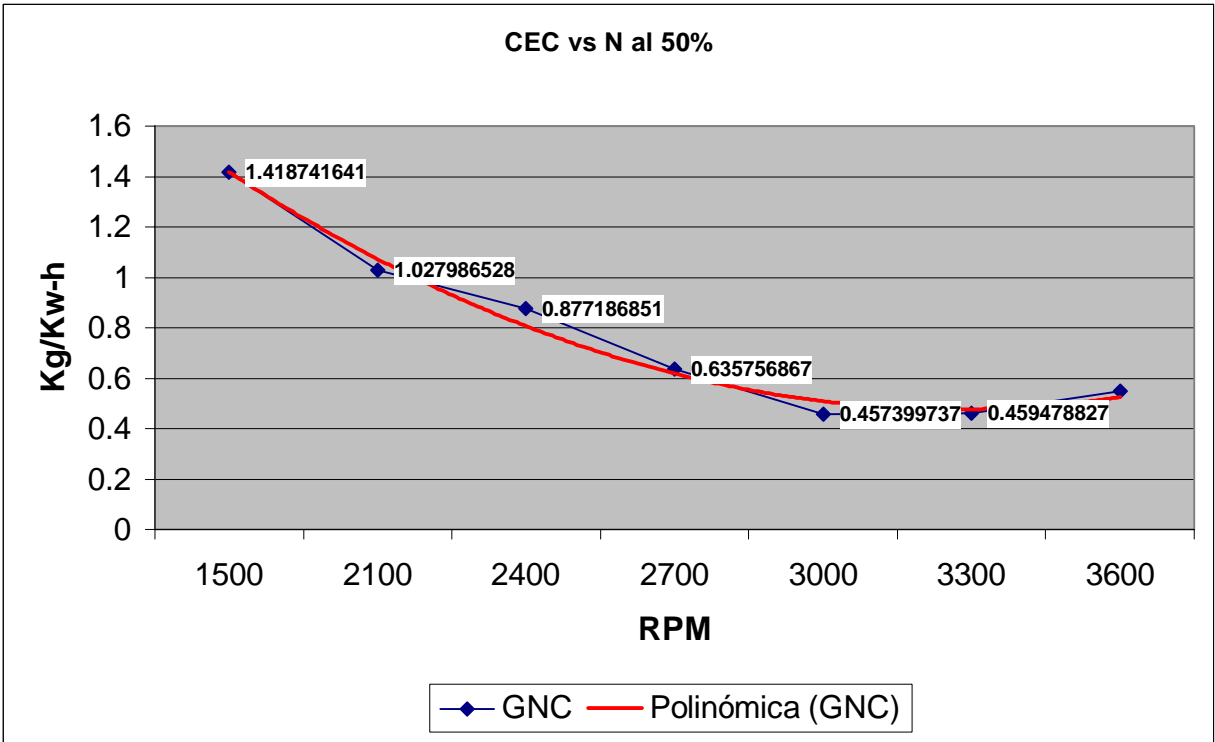


Figura 4.19 CEC vs N al 50%

Tabla IV.14 Obtención de datos con GNC al 100%

DATOS EXPERIMENTALES "GNCV"

Velocidad	Variable
Aceleración	100%
Temp. Ambiente	21°C

Pi = 3,141617

Combustible	GNCV
Poder calorífico	10408 KJ/Kg
Presión Barométrica	
Densidad específica	0,68x10 ⁻³ g/cc

TEST	VELOC	TORQUE	AIRE	ESCAPE	POTENCIA	EF. VOL	EF. TERMI	C.ESPEC	CONS.MAS	Vaire	Maire	Vdesplaz
	N	Tq	ho	Te	Pi	η_v	η_t	CEC	$^{\circ}m_c$	Va	ma	Vd
	RPM	Nm	mmH	°C	Kw	%	%	Kg/Kw-h	Kg/h	m³/h	Kg/h	m³/h
1	1500	12,5	2,1	280	1,963510625	80,47167	11,4495	1,226794242	2,408823529	36,07	31,39307	44,82
2	1800	14,4	2,8	280	2,714357088	77,43391	12,219984	0,957869549	2,6	41,65	36,24959	53,78
3	2100	17	3,9	295	3,73852423	78,33172	13,96839	0,718263608	2,685245902	49,15	42,78154	62,75
4	2400	19	4,5	340	4,77525784	73,62404	14,84394	0,591410564	2,824137931	52,80	45,95475	71,71
5	2700	20,8	4,9	345	5,881107024	68,29029	15,40968	0,506398167	2,978181818	55,09	47,95371	80,68
6	3000	21,3	5,2	345	6,69164421	63,31478	15,206283	0,461854507	3,090566038	56,76	49,39987	89,64
7	3300	20,8	6,5	348	7,188019696	64,35279	14,288976	0,446821912	3,211764706	63,45	55,23073	98,60
8	3600	19,3	7,2	360	7,275984972	62,08525	12,738579	0,45943706	3,342857143	66,78	58,12867	107,57
9	3900	17	7,9	365	6,94297357	60,03073	10,30455	0,524271044	3,64	69,96	60,88884	116,53

Cilindrada	996cc	0,001	m³
C1	9,807	Kg/mmH2O-m-	
C	0,613	s²	
d	55mm	0,055	m
pa	0,8704	Kg/m³	
Qneto	10408	KJ/Kg	
pc	650	Kg/m³	

Tabla IV.15 Obtención de datos con GNC al 100%

DATOS EXPERIMENTALES "GNC"

Peso Kg 9.5
 Volumen Lt 38

TEST	VELOC	SISTEMA REFRIGERACION		Tabla de Datos Experimentales					
		N	Tentrada	Tsalida	Tiempo	Peso GNC	Presión	Volumen	Pconsu
	RPM	°C	°C	seg.	Kg	Kg/cm ²	Lts	Kg	Lts
1	1500	23	71	68.00	7.78	65.23	31.11	0.04	0.09
2	1800	23	71	63.00	7.75	63.89	30.98	0.033	0.132
3	2100	23	72	61.00	7.73	60.12	30.90	0.020	0.080
4	2400	23	72.5	58.00	7.69	57.68	30.76	0.035	0.140
5	2700	23	72	55.00	7.67	52.89	30.67	0.023	0.092
6	3000	23	74	53.00	7.65	49.45	30.58	0.022	0.088
7	3300	23	74	51.00	7.61	45.89	30.44	0.035	0.140
8	3600	23	76	49.00	7.58	41.25	30.34	0.026	0.104
9	3900	24	76	45.00	7.55	37.25	30.20	0.033	0.132

Vc m³ = 0.00007

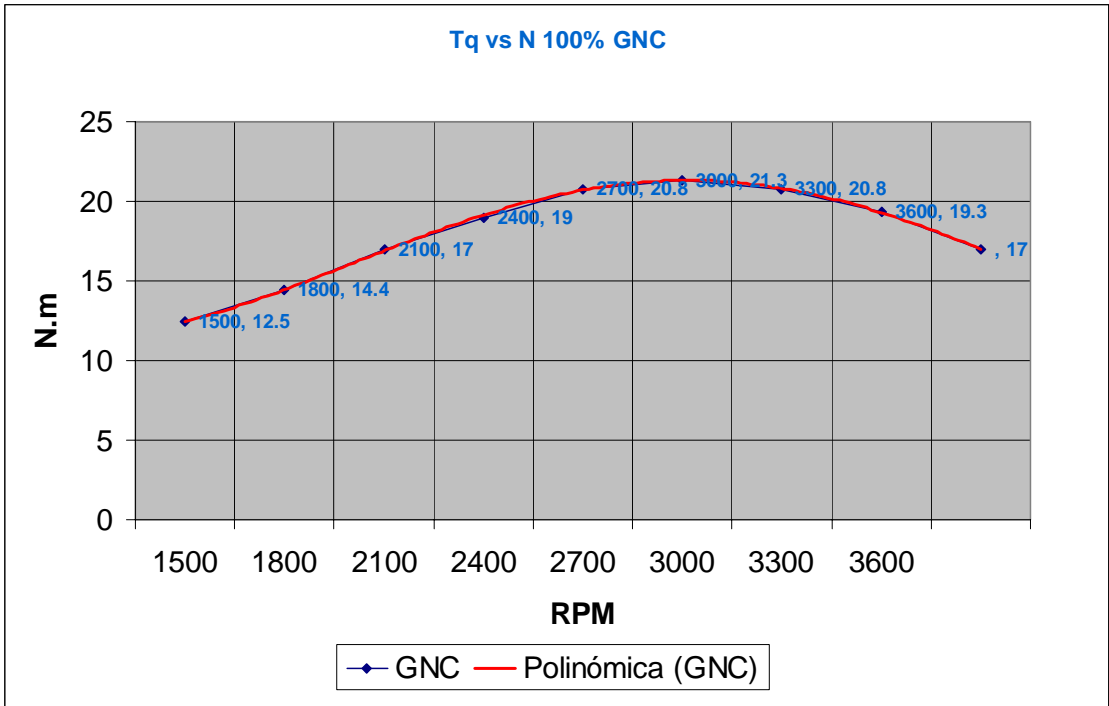


Figura IV.20 Tq vs N al 100%

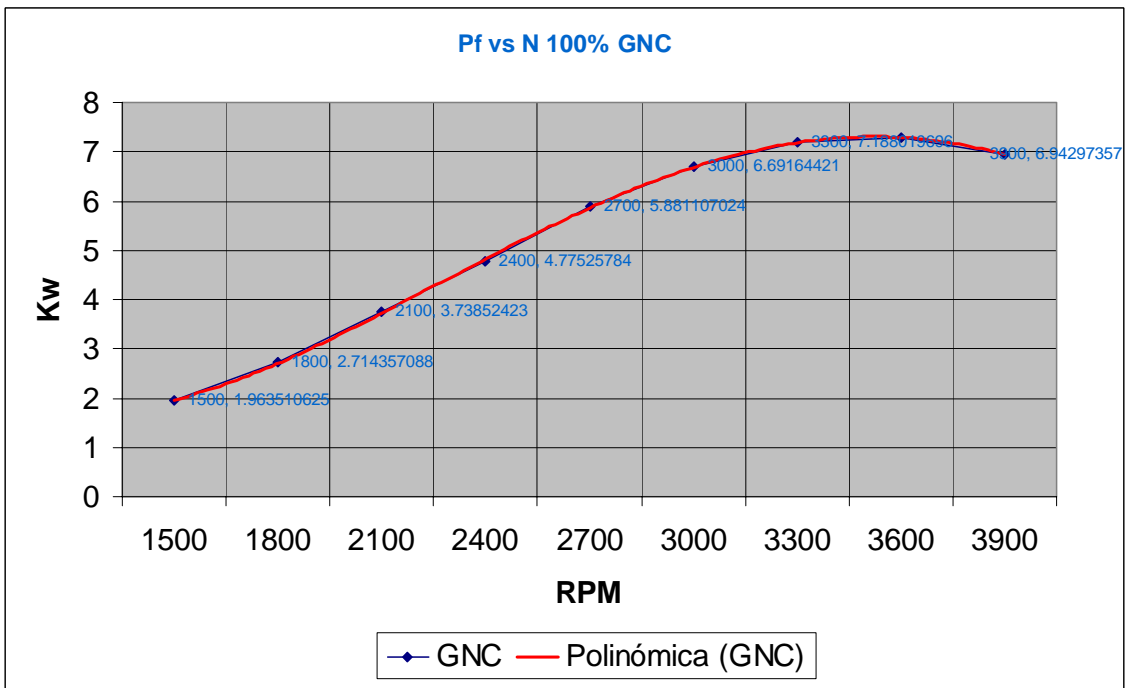


Figura 4.21 Pf vs N al 100%

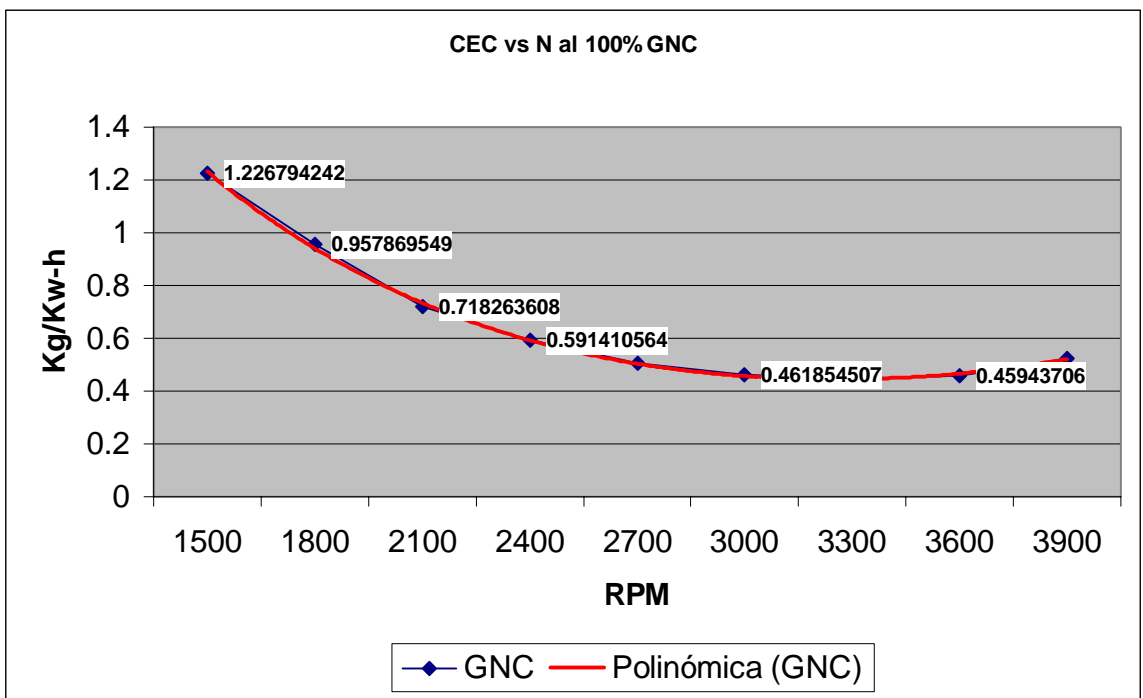


Figura 4.22 CEC vs N al 100%

4.4.1 Obtención de gases de escape con GNC

Para realizar la obtención de los gases de escape, el procedimiento es el mismo con el que se hizo la obtención a gasolina, pero en este caso se utiliza como combustible alternativo el GNC.

Tabla IV.10 Análisis de gases al 25% con GNC

ACELERACION = 25%	GNC			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	1.5	8.5	5.5	213
1800	0.76	8.3	4.9	195
2100	0.68	9.2	5	170
2400	0.55	10.1	4.6	159
2550	0.59	11.6	6.1	143

Tabla IV.11 Análisis de gases al 50% con GNC

ACELERACION = 50%	GNC			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	2.50	7.5	6.0	428
1800	1.05	9.7	4.1	331
2100	1.10	10.5	4.0	304
2400	0.43	11.1	3.7	219
2700	0.22	10.8	4.2	227
3000	0.11	9.2	6.1	134
3300	0.1	8.5	6.2	101
3600	0.08	8.4	6.0	82
3900	0.11	9.0	6.1	67

Tabla IV.12 Análisis de gases al 100% con GNC

ACELERACION = 100	GNC			
VELOCIDAD	GASES DE ESCAPE			
	CO	CO2	O2	HC
RPM	%	%	%	PPM
1500	2.64	8.4	7.4	459
1800	1.59	9.1	9.1	388
2100	1.73	9.2	7.6	324
2400	1.58	10.2	5.1	312
2700	1.20	9.6	7.7	285
3000	0.61	9.6	7.2	182
3300	0.30	9.4	6.5	112
3600	0.17	9.2	7.8	85
3900	0.16	9.7	7.6	83
4200	0.24	10.5	7.7	82

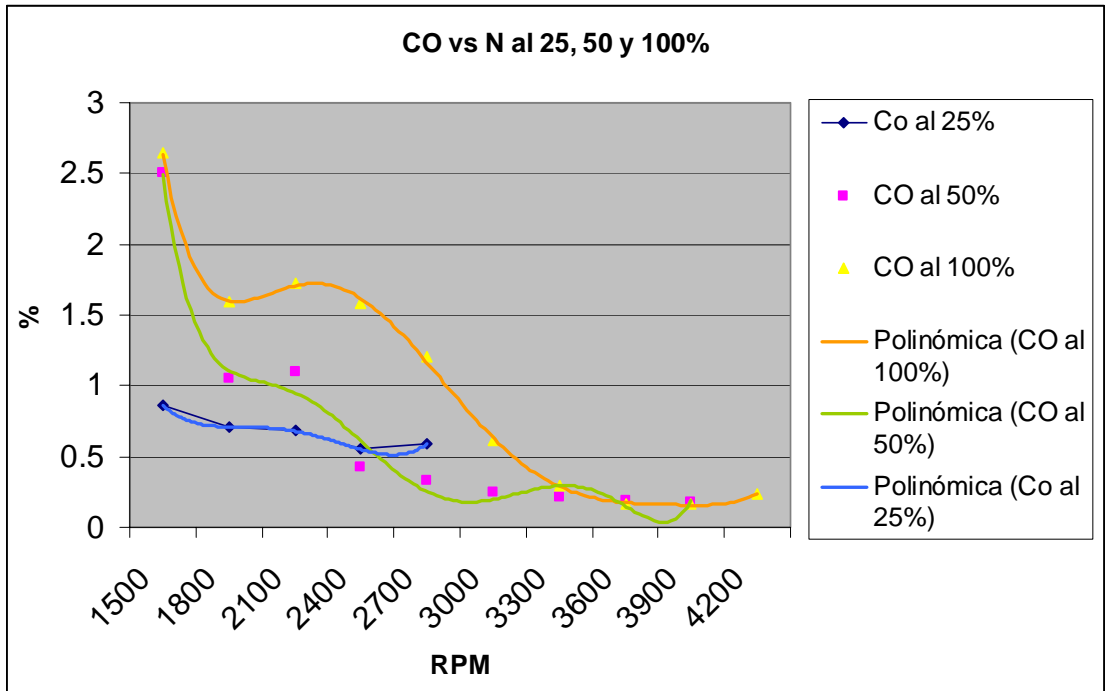


Figura 4.23 CO vs N al 25, 50 y 100%

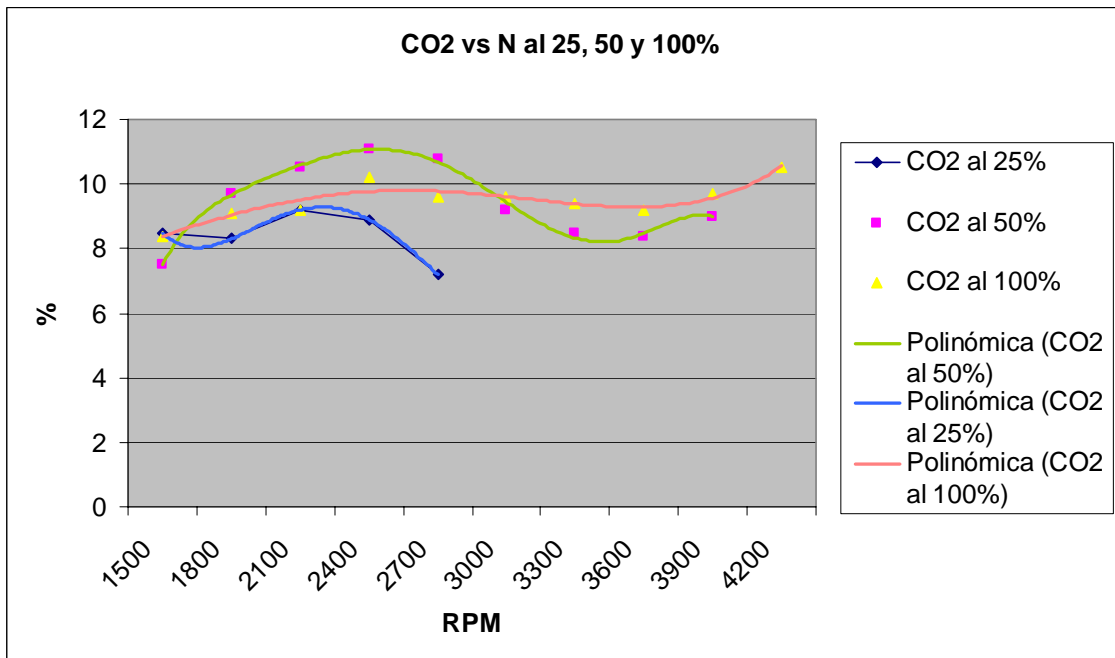


Figura 4.24 CO2 vs N al 25, 50 y 100%

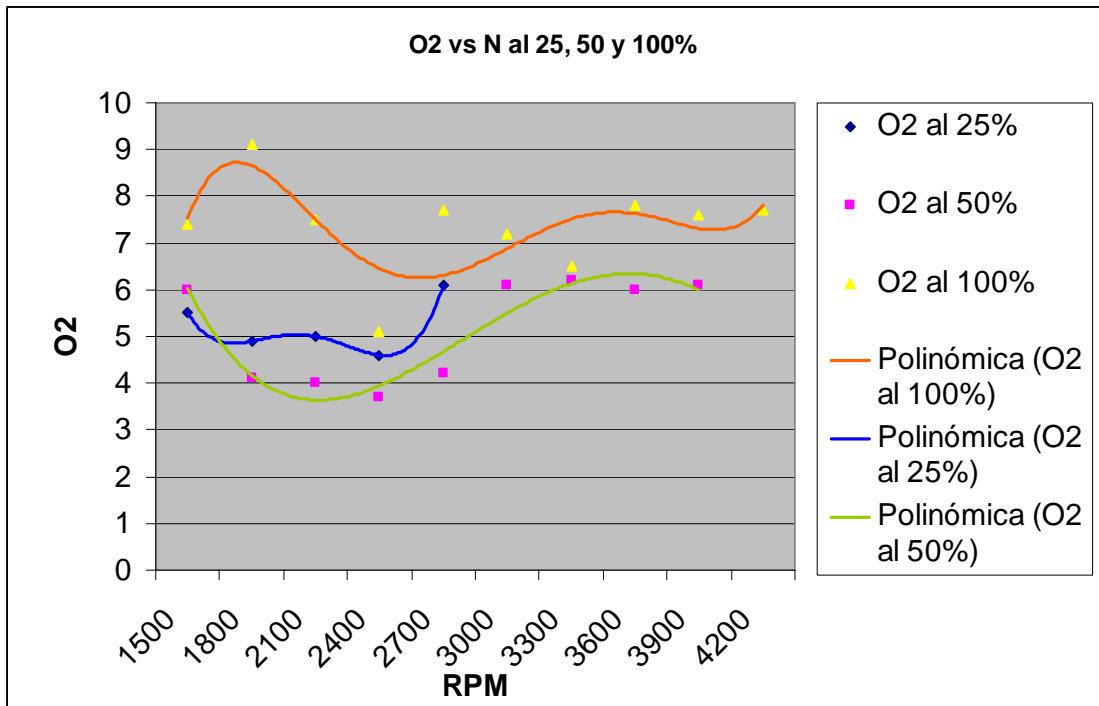


Figura 4.25 O2 vs N al 25, 50 y 100%

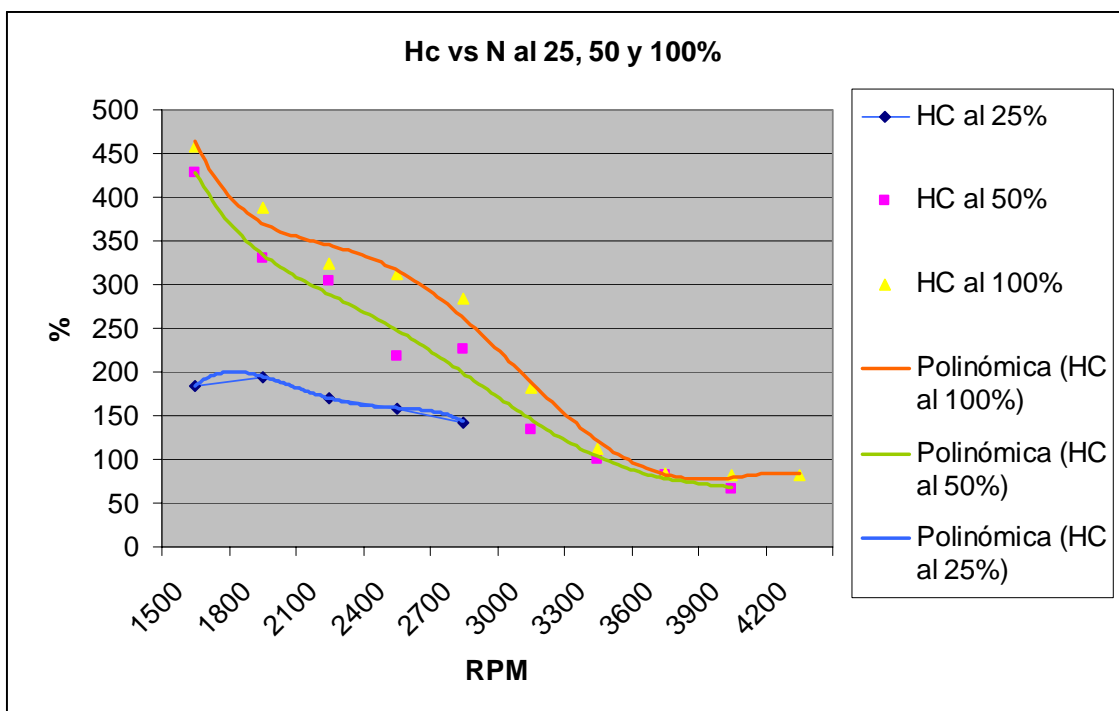


Figura 4.26 HC vs N al 25, 50 y 100%

V. ANALISIS COMPARATIVO

5.1 INTRODUCCION

Esta investigación se realizó con el fin de comparar los diferentes rendimientos que se obtienen con los dos combustibles a prueba que son: el GNC y la gasolina. Para lograrlo se instaló un Kit de conversión electromecánico con mezclador en el ducto de aire de admisión montado en un banco de pruebas, con la intervención de un freno hidráulico nos permitió obtener las curvas de torque y potencia a plena carga.

Con este procedimiento se obtuvieron las curvas características del motor cuando opera con gasolina, y una vez que se instala el kit de GNC, se desarrollo nuevamente las curvas con el ánimo de observar la influencia del kit en el motor. Las pruebas se realizaron fueron con aceleraciones al 25, 50 y 100%.

5.2 COMPARACION DE LOS RENDIMIENTOS (GASOLINA-GNC)

Después de haber obtenido los parámetros de funcionamiento y de realizar las gráficas de cada prueba, cálculos de rendimientos se procede al análisis de resultados:

Se analizara el torque, potencia al freno, consumo de combustible por medio de las curvas obtenidas, en los diferentes rangos de operación: 25, 50, 100% de aceleración.

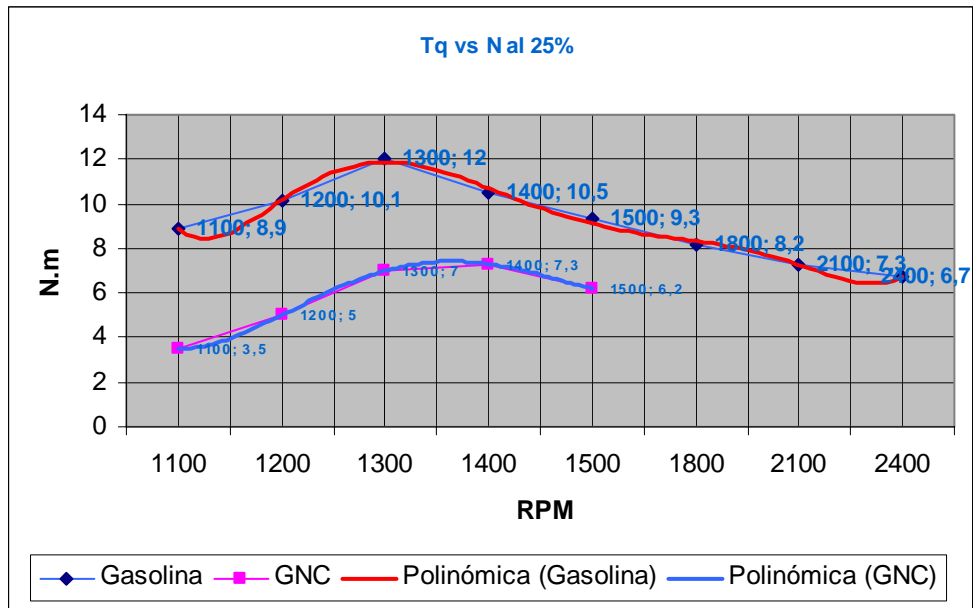


Figura 5.1 Tq vs N al 25%

La potencia nominal de este motor es de 4200 rpm, no obstante, en nuestros ensayos solo llegó hasta 2550 rpm en las condiciones del ensayo No. 1. Como se puede observar en la figura 5.1, al 25% de aceleración, el torque máximo con gasolina llega los 12 Nm a las 1300 rpm, en cambio con el kit a GNC el torque llega a los 7.5 Nm a las 1360 rpm. La fuerza torsional que entra al motor cuando funciona con gasolina es mayor desde el inicio hasta el final del ensayo.

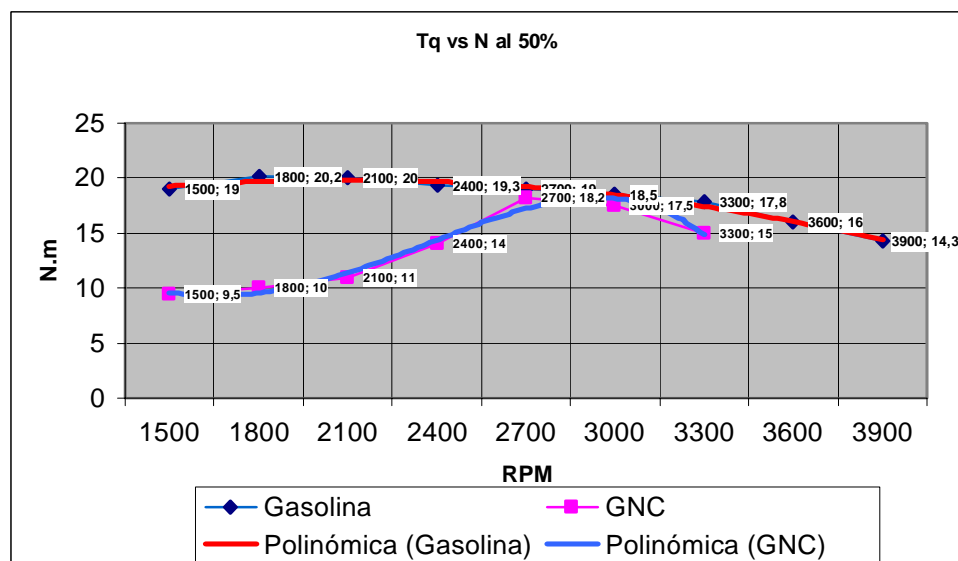


Figura 5.2 Tq vs N al 50%

En el ensayo No 2, con una aceleración al 50%, el torque se mantiene constante al inicio del ensayo cuando se utiliza gasolina, siendo el torque inicial de 19Nm a las 1550 rpm, el máximo de 20Nm a las 2110 rpm, y el final de 14.3Nm a las 4000 rpm, al realizar el cambio a GNC el torque inicial es de 9.6Nm, el máximo de 18.2NM a las 2850 rpm, y el final de 15Nm a las 3450 rpm, este torque es mayor que en gasolina.

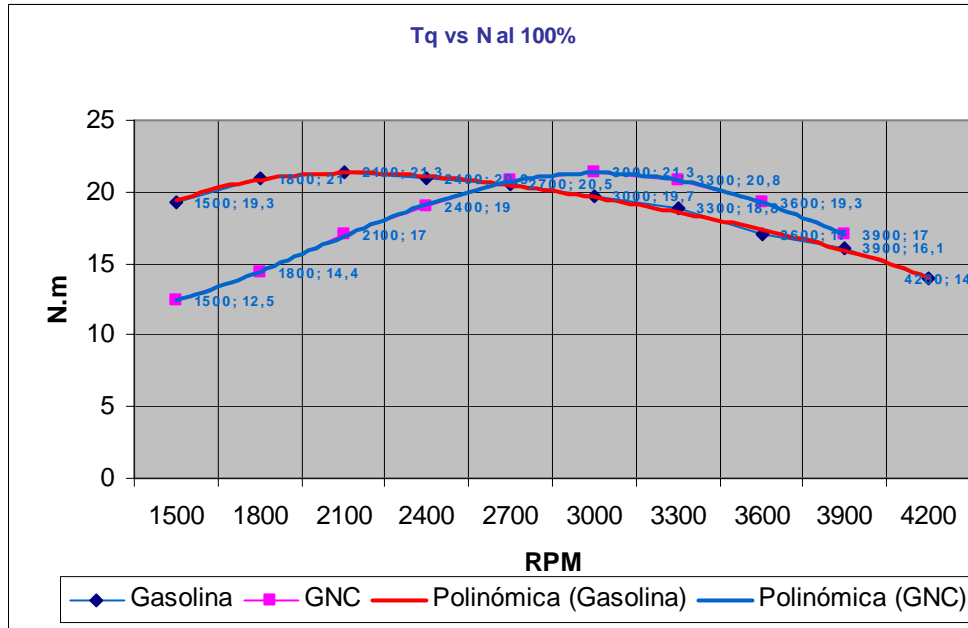


Figura 5.3 Tq vs N al 100%

En el ensayo No 3, con una aceleración al 100%, el torque inicial en gasolina es de 19.3Nm a las 1650 rpm, el máximo es de 21.3Nm a las 2250 rpm, el final es de 14Nm a las 4350 rpm, en cambio con el GNC el torque inicial va ser menor, a medida que suben las rpm el torque también sube, lo que no sucede con gasolina. El torque máximo es de 21.3Nm a las 3150 rpm y el final es de 17Nm a las 4050 rpm, vemos que a mayor rpm el torque en el motor es mayor en GNC.

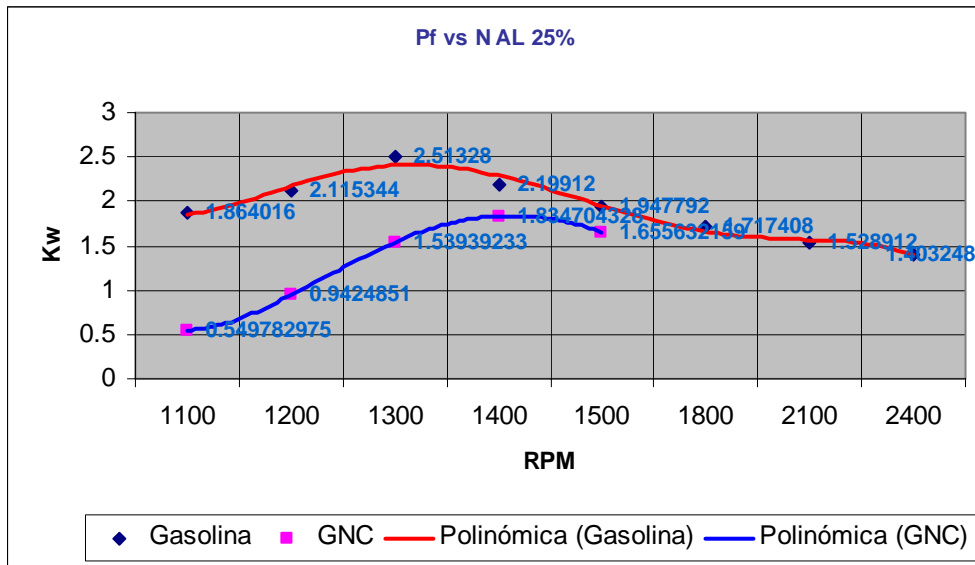


Figura 5.4 Pf vs N al 25%

En el ensayo de potencia al freno, con 25% de aceleración, el trabajo desarrollado por la fuerza durante el numero de revoluciones del motor es mayor en gasolina, con una potencia de 2.51Kw a las 1450 rpm lo que hace que el motor realice un mejor trabajo. La mayor potencia con GNC es de 1.83Kw a las 1550 rpm.

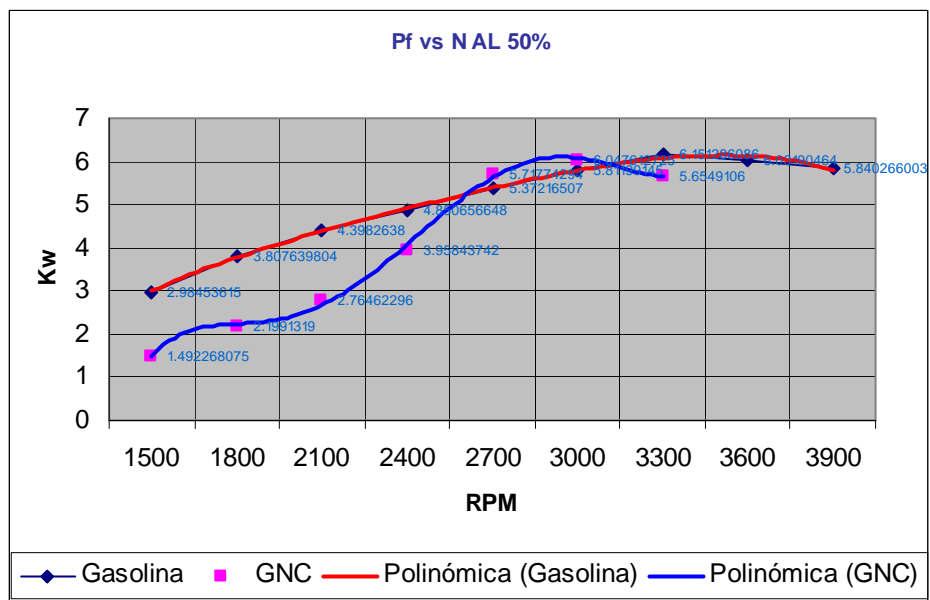


Figura 5.5 Pf vs N al 50%

La potencia al 50% de aceleración, la curva en gasolina es más uniforme, donde su potencia máxima es de 6.15Kw a las 3450 rpm, en cambio con GNC es un poco irregular, donde su potencia máxima es de 6.05Kw a las 3150 rpm. La potencia que ingresa al eje del motor es mayor en gasolina.

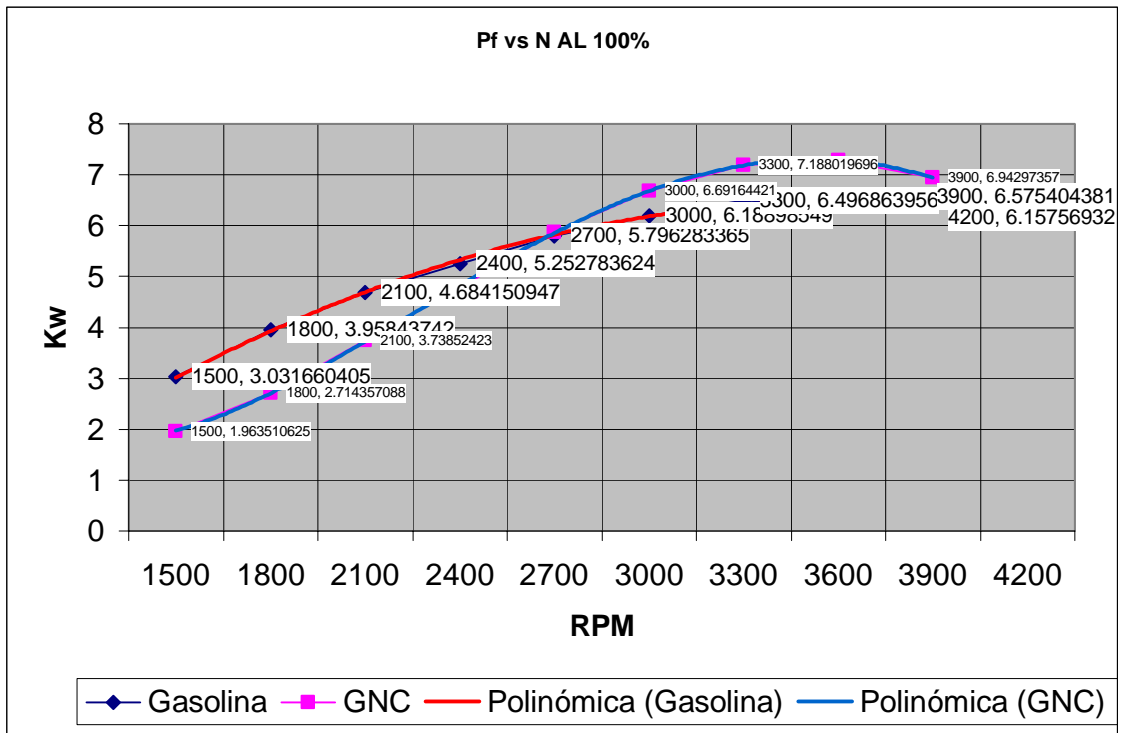


Figura 5.6 Pf vs N al 100%

La potencia al 100% de aceleración, en esta grafica se ve que mejora la potencia con el kit de GNC, su curva es uniforme, la potencia máxima es de 7.18Nm a las 3450 rpm y es mayor hasta el final de la prueba. Con gasolina la potencia máxima es de 6.57Kw a las 4050 rpm. El motor en este ensayo obtuvo un aumento de fuerza cuando trabajo con GNC.

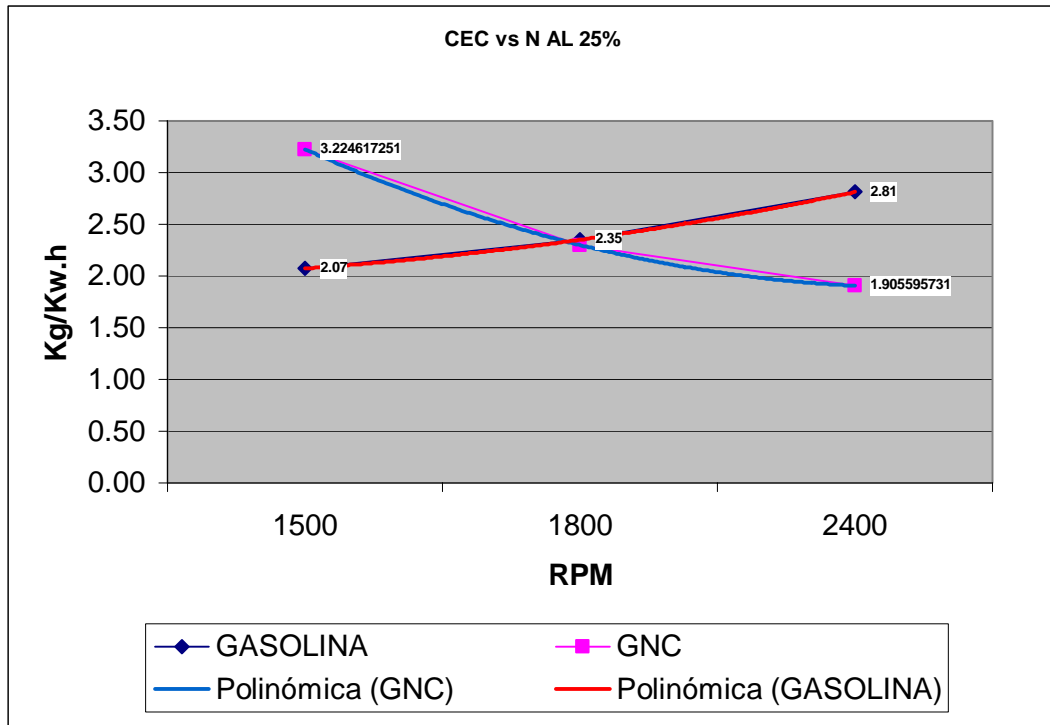


Figura 5.7 CCE vs N al 25%

En el ensayo de consumo específico de combustible, con 25% de aceleración, el GNC al inicio tiene un mayor consumo de combustible, pero a medida que aumentan las revoluciones el consumo de combustible disminuye, teniendo como mayor consumo inicial de 3.22 Kg/Kw-h a las 1650 rpm, y un consumo final de 1.9Kg/Kw-h a las 2550 rpm, al realizar la prueba con gasolina, al inicio tuvo un consumo de 2.07Kg/Kw-h a las 1650 rpm, y un consumo final de 2.81Kg/Kw-h a las 2550 rpm

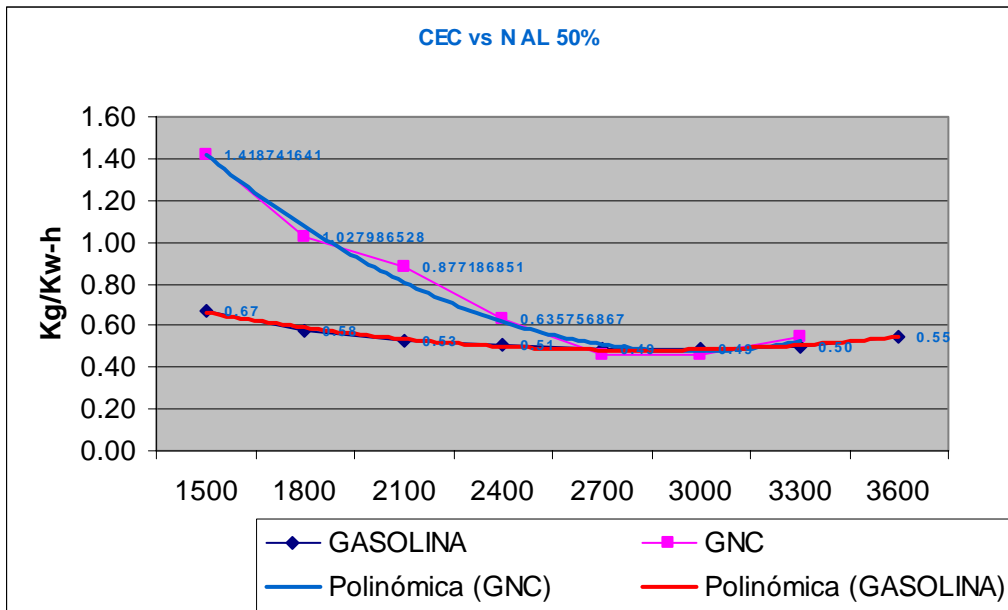


Figura 5.8 CCE vs N al 50%

El consumo específico de combustible al 50% de aceleración, con el GNC tuvo un consumo inicial de 1.4Kg/Kw-h a las 1650 rpm, y un consumo final de 0.50Kg/Kw-h a las 3450 rpm menor que con gasolina, en cambio el consumo en gasolina se mantuvo bajo, 0.57Kg/Kw-h inicial y un consumo final de 0.55Kg/Kw-h a las 3800 rpm, es decir que en gasolina en estas condiciones de trabajo el consumo es menor.

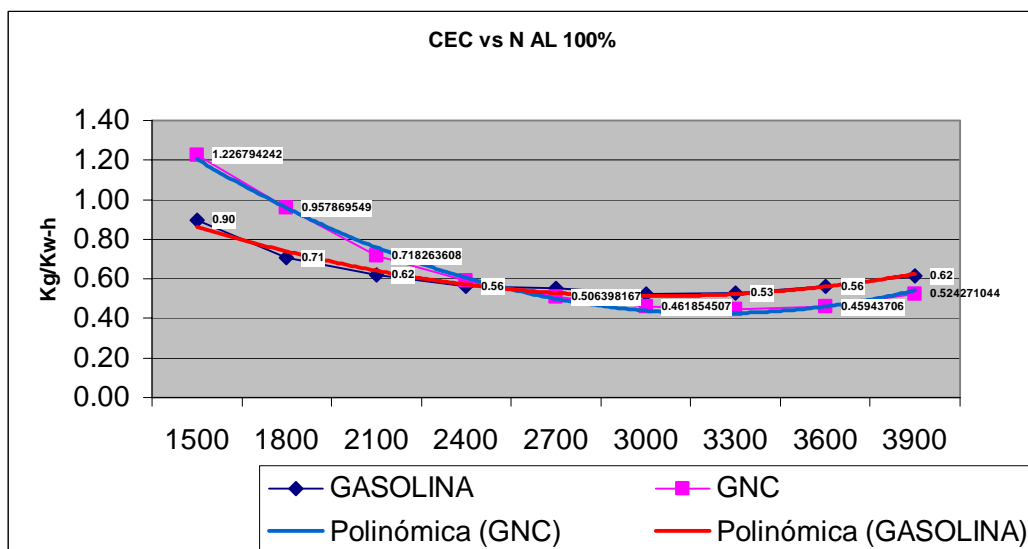


Figura 5.9 CCE vs N al 100%

El consumo específico de combustible al 100% de aceleración, fue mas bajo con el kit de GNC a altas revoluciones, en estas condiciones de trabajo tuvo un consumo final de 0.52Kg/Kw-h a las 4100 rpm teniendo una entrada de gas menor, y con gasolina tuvo un consumo de 0.62Kg/Kw-h a las 4100 rpm

5.3 COMPARACION DE LOS GASES DE ESCAPE (GASOLINA-GNC)

Después de haber obtenido los datos del analizador y de realizar las gráficas de cada prueba, se procede al análisis de resultados:

5.3.1 Análisis del monóxido de carbono al 25, 50,100% (Gasolina-GNC)

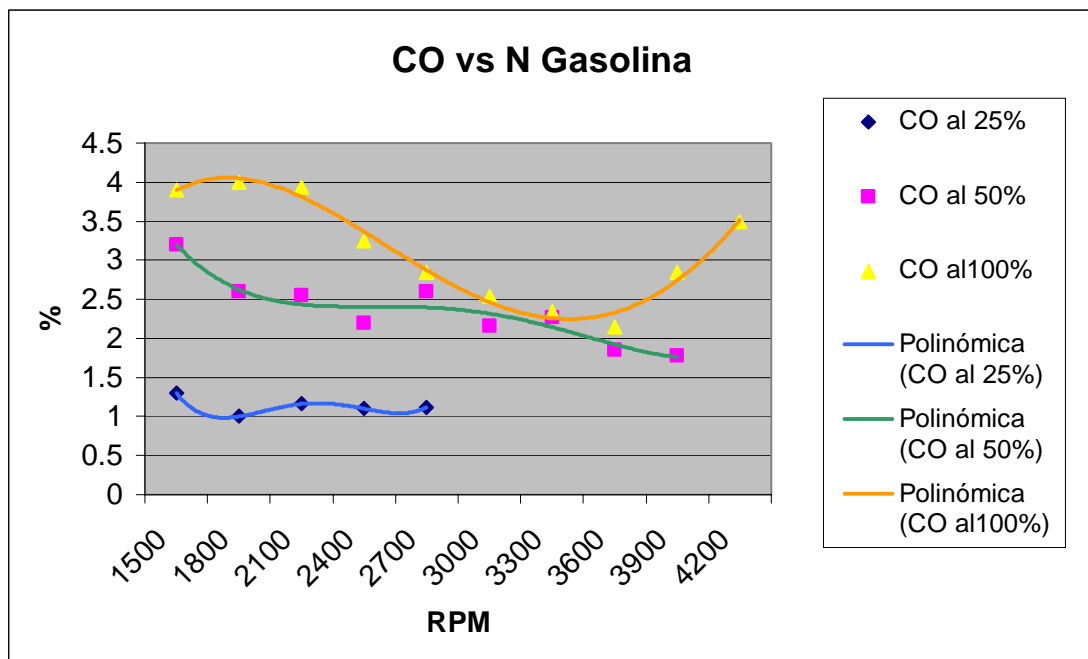


Figura 5.10 CO vs N Gasolina

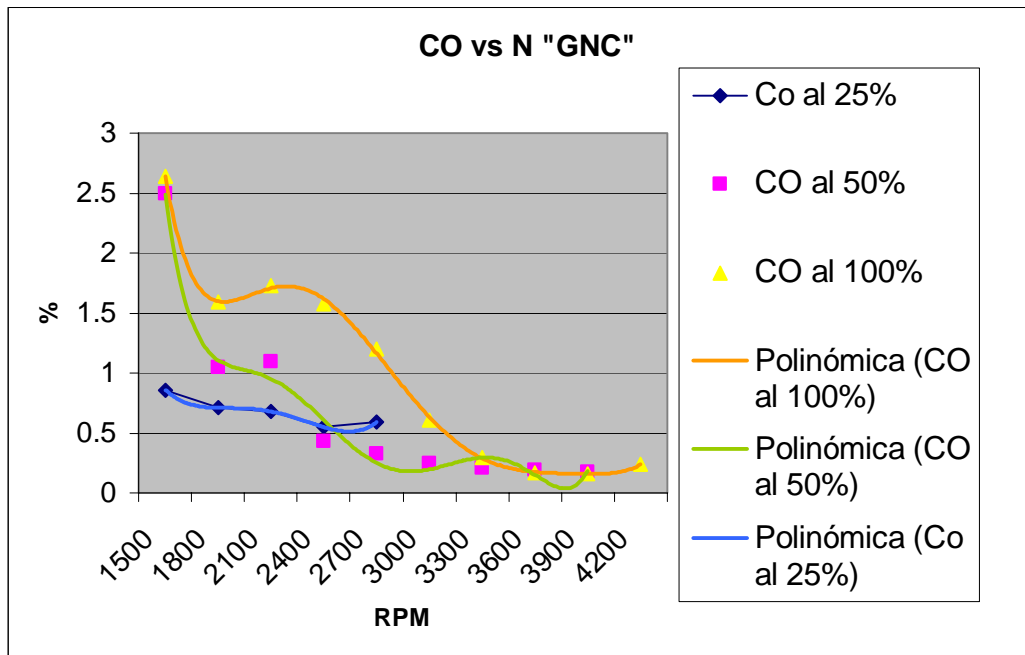


Figura 5.11 CO vs N "GNC"

Al realizar las curvas, nos damos cuenta que al 25% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO es menor 0.8 a 0.6% cuando se utiliza GNC, esto nos quiere decir que existe menor cantidad de combustible parcialmente quemado, en cambio en gasolina el porcentaje de concentración es de 1.3 a 1.1%, esto es de 1500 a 2850 rpm.

Al 50% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO con el GNC es menor, va desde 2.5 a 0.2%, de 1500 a 4000 rpm, esta combustión es mas limpia es por eso que genera una reducida emisión de gases comparado con la gasolina. Con gasolina el porcentaje es mayor va desde 3.2 a 1.7%, y a medida que las revoluciones aumentan, los porcentajes se incrementan.

Al 100% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO con el GNC es de 2.5 a 0.2%, de 1500 a 4200 rpm, y con gasolina va desde 3.8 a 3.5%, esto es con carga aplicada al banco de pruebas.

5.3.2 Análisis del dióxido de carbono al 25, 50,100% (Gasolina-GNC)

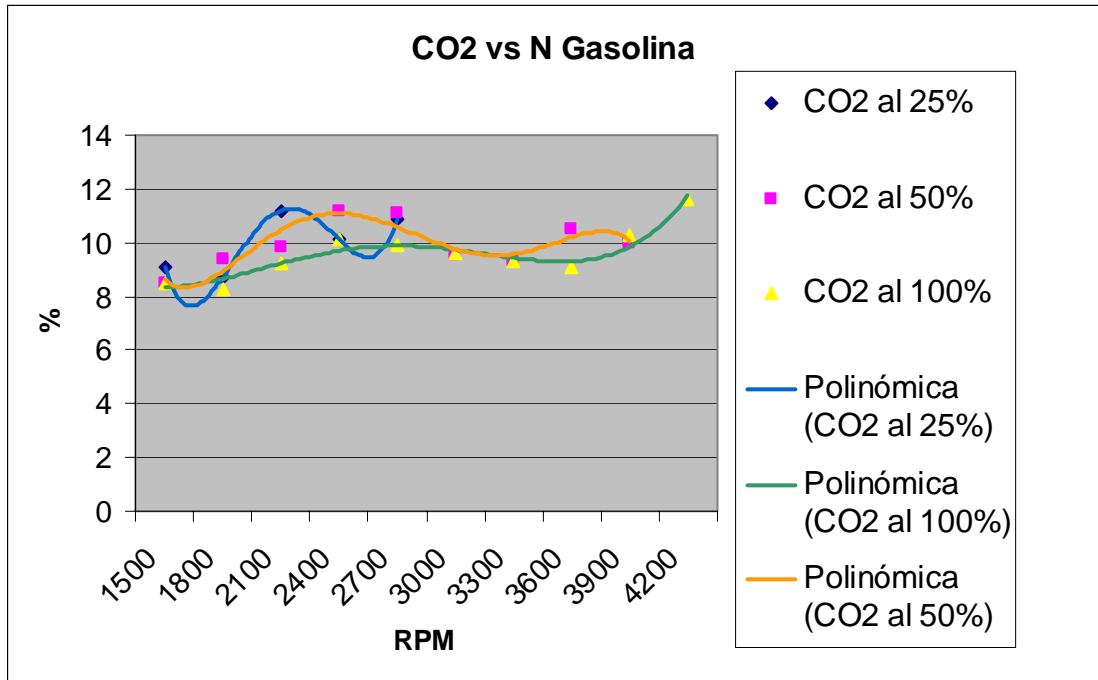


Figura 5.12 CO2 vs N Gasolina

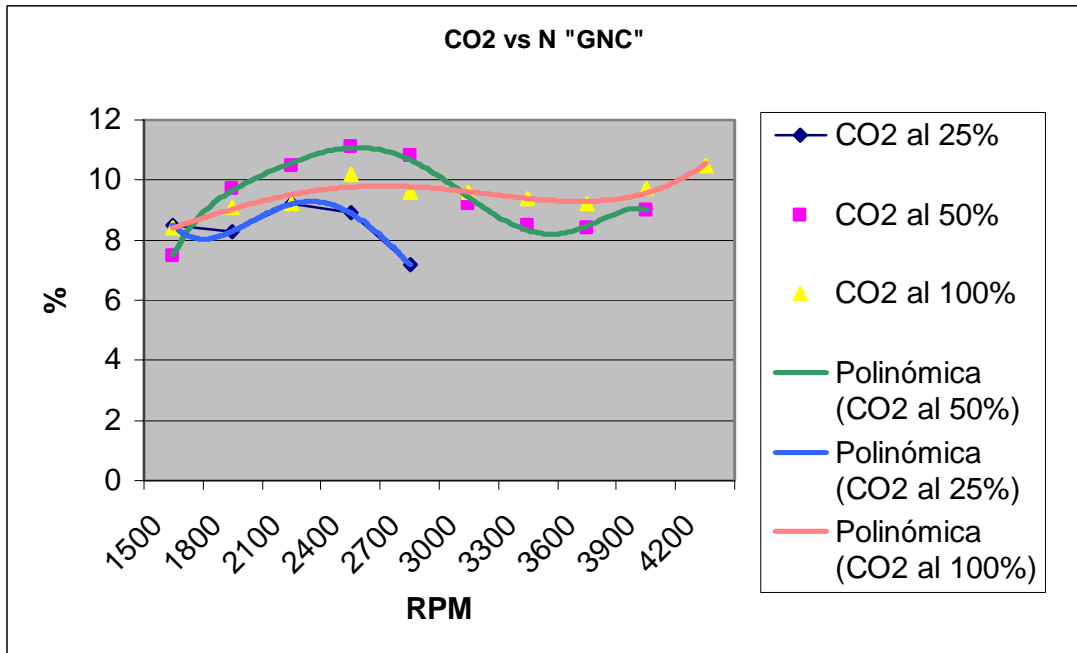


Figura 5.13 CO2 vs N "GNC"

Al 25% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO₂ cuando se utiliza GNC es de 8.4 a 7, de 1500 a 2800 rpm, y con gasolina va desde 9.1 a 11%, el CO₂ aumenta.

Al 50% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO₂ con el GNC va desde 7.2 a 9%, de 1500 a 4000 rpm, y con gasolina va desde 8.4 a 10%

Al 100% de aceleración, el porcentaje de concentración de CO₂ cuando se utiliza GNC va desde 8 a 10.1%, de 1500 a 4500 rpm, y con gasolina va desde 8.2 a 11.4%. La combustión que va a realizar el motor cuando se utiliza como combustible el GNC es más pura que con la gasolina trabajando en las mismas condiciones. El kit esta realizando un buen trabajo y esto va a la par con la pureza del gas.

5.3.3 Análisis del Oxígeno al 25, 50,100% (Gasolina-GNC)

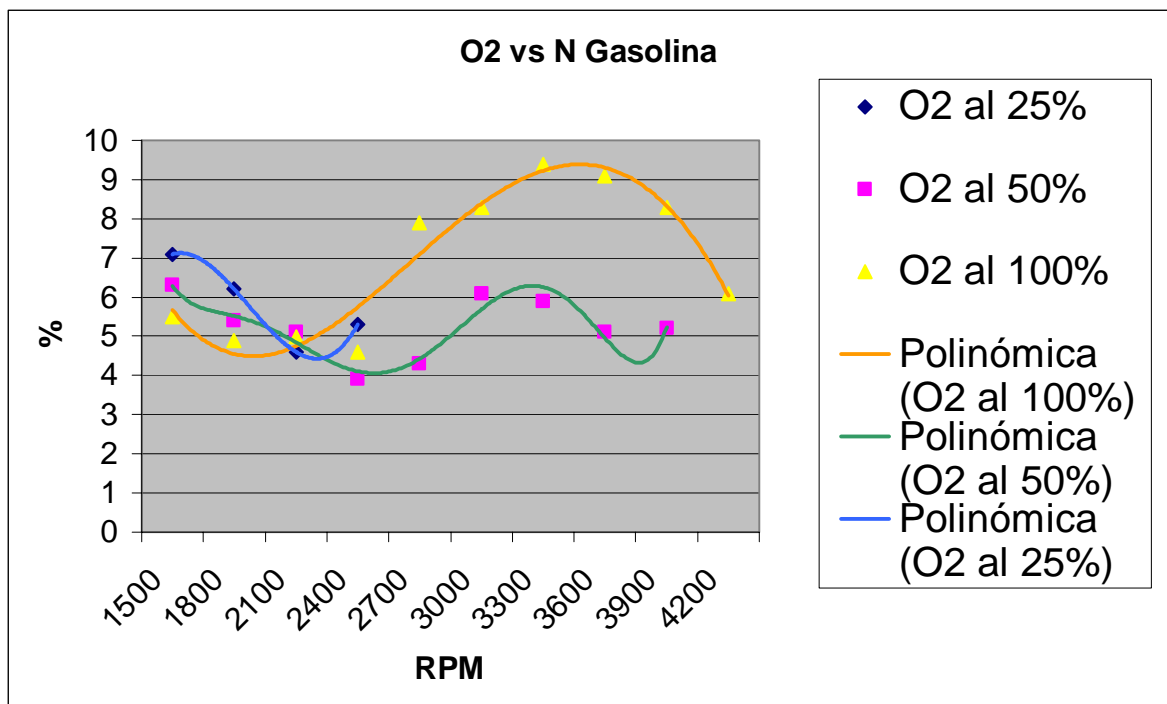


Figura 5.14 O2 vs N Gasolina

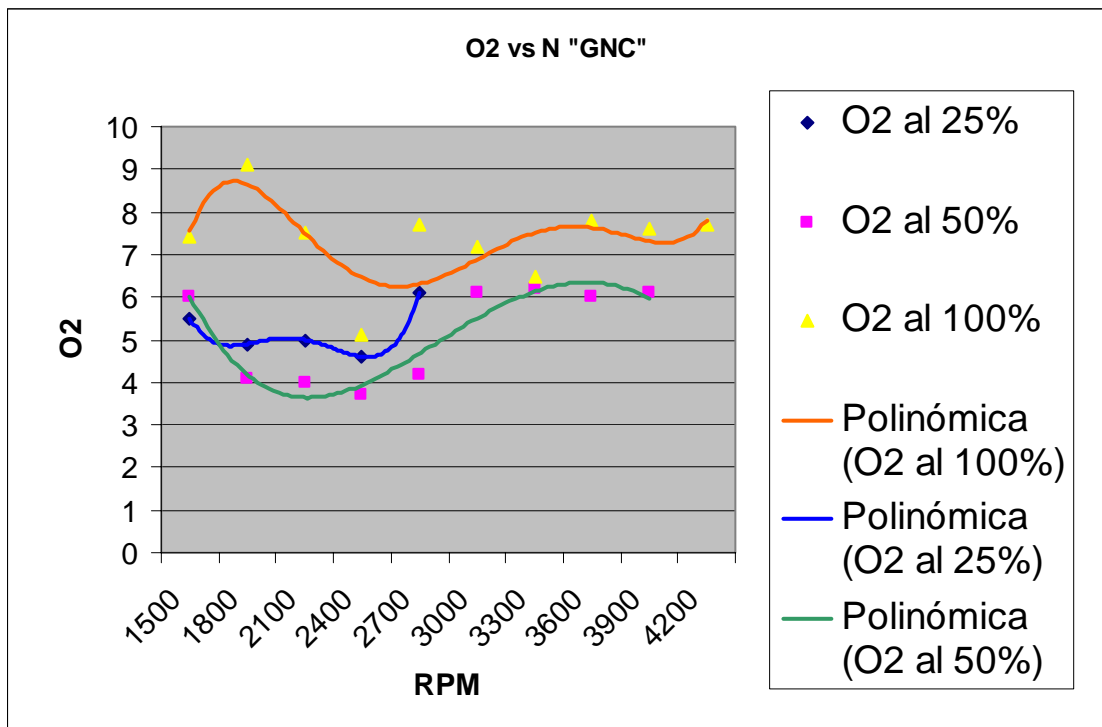


Figura 5.15 O2 vs N "GNC"

Al 25% de aceleración, el porcentaje de concentración de O2 cuando se utiliza el GNC va desde 5.5 a 6.2%, de 1500 a 2800 rpm, con gasolina va desde 7 a 5.3%.

Al 50% de aceleración, el porcentaje de concertación de O2 con el GNC es de 6%, de 1500 a 4000 rpm, y con gasolina va desde 6.1 a 5%.

Al 100% de aceleración, el porcentaje con GNC es de 7.3 a 7.5%, de 1500 a 4500 rpm, en cambio con gasolina va desde 5.5 a 6%.

Según las curvas obtenidas podemos ver que existe una constante de 17% entre disminuciones y aumentos de los valores de oxígeno obtenidos en los diferentes rangos de operación del motor chevrolet alto.

5.3.4 Análisis de hidrocarburos al 25, 50,100% (Gasolina-GNC)

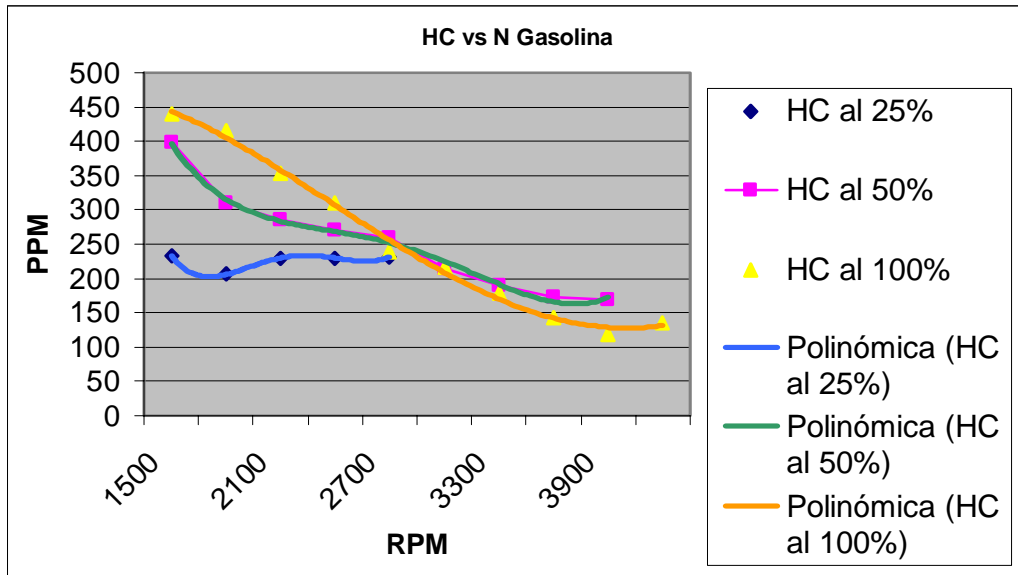


Figura 5.16 HC vs N Gasolina

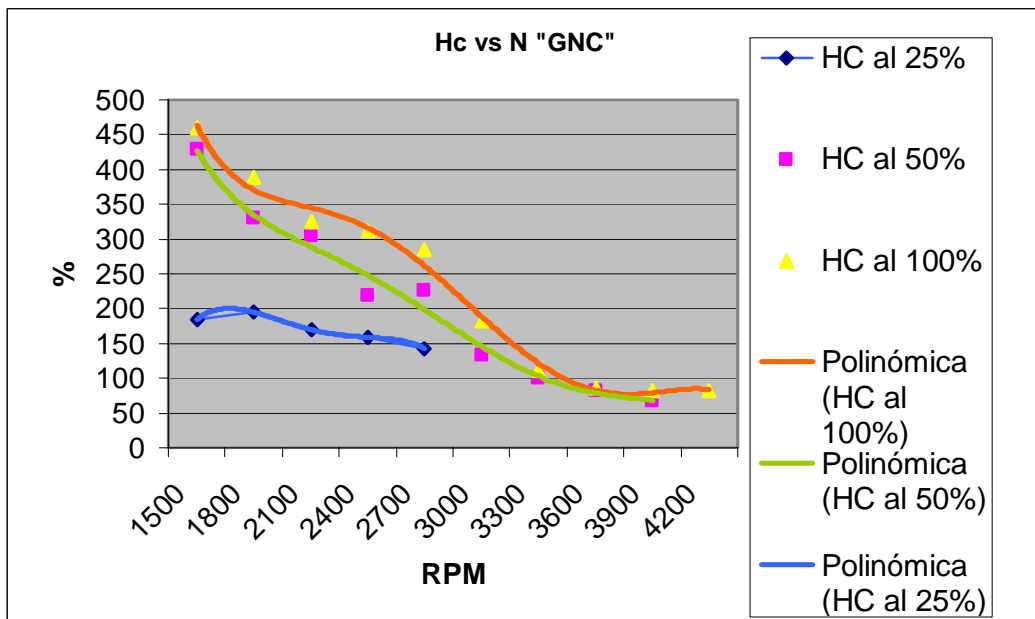


Figura 5.17 HC vs N "GNC"

Al 25% de aceleración, el porcentaje de concentración de hidrocarburos, utilizando como combustible el GNC va desde 170 a 140 ppm, de 1500 a 2800 rpm y con gasolina va desde 240 a 230 ppm.

Al 50% de aceleración, el porcentaje de concentración con el GNC va desde 420 a 70 ppm, de 1500 a 4000 rpm, con gasolina va desde 400 a 160 ppm.

Al 100% de aceleración, el porcentaje de concentración con el GNC va desde 480 a 60 ppm, de 1500 a 4500 rpm, y con gasolina va desde 440 a 125 ppm.

Los hidrocarburos medidos en partículas por millón disminuyen en GNC en un promedio 54% con respecto a las emisiones utilizando como combustible gasolina.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES:

- El GNC utilizado como combustible para motores de combustión interna presenta algunas ventajas sobre la gasolina, sobre todo en lo que refiere al consumo específico de combustible, a las emisiones tóxicas de los gases de escape.
- Después de haber realizado las conexiones y las pruebas correspondientes, el sistema queda habilitado para funcionar independientemente con cualquiera de los dos combustibles.
- Se observó una disminución promedio de la potencia al usar gas natural de 13% aunque para bajas revoluciones se nota una pérdida promedio de potencia de 32%.
- En la prueba realizada cuando se usa gas natural las emisiones disminuyen en promedio en un 57% de hidrocarburos, un 49% de oxígeno, un 11% de CO₂, y un 80% de CO respecto de la gasolina.
- El consumo específico de combustible al utilizar GNC disminuye al aumentar la carga al freno, es decir, se consume menos combustible por cada unidad de potencia al freno incrementada.
- En todas las pruebas realizadas, al utilizar GNC como combustible notamos que las temperaturas de funcionamiento del motor son aceptables ya que al tener un poder calorífico mayor que la gasolina debería existir un recalentamiento pero no es así, ya que la temperatura adiabática de llama según las relaciones de aire combustible es mayor para la gasolina que para el gas natural.

- Se ha comprobado que una de las características del GNC que lo diferencian del resto de combustibles fósiles existentes, es que su densidad específica es menor que la del aire, por lo que ante cualquier pérdida o derrame del mismo, este tiende a elevarse rápidamente hacia la atmósfera evitando cualquier tipo de peligro de explosión o de asfixia por la acumulación del combustible.
- Después de haber realizado este proyecto, podemos concluir que la adaptación de este kit no es muy complicada solo debemos tener en cuenta que todas las conexiones que se realicen sean bien ejecutadas para no tener ningún problema el momento que se encienda el motor.
- En un vehículo a carburador este sistema también es utilizado ya que fueron los primeros que utilizaron este Kit, tienen los mismos componentes solo que no viene con emulador de inyectores, su mezclador es mas grade porque va directo en el carburador y cumple la misma función, y tiene un interruptor para corta el paso de la gasolina.
- Luego de haber realizado los cálculos, las curvas, y analizado las mismas se puede concluir que el GNC es una buena opción como combustible alternativo “factible su uso” ya que es menos contaminante y su consumo es menor que la gasolina.
- Se puede utilizar este kit de adaptación, como hemos visto tiene buenas ventajas como las que se ha escrito en este proyecto, pero también tiene la desventaja de no ser industrializado en nuestro país, y la única que existe que es en la provincia del Guayas no abastece.

6.2 RECOMENDACIONES:

- En el proceso de instilación del kit de adaptación del GNC, se recomienda realizar cada una de las conexiones como indica el fabricante ya que una mala conexión puede llevar al fracaso de la práctica o en el campo laboral culminar con un trabajo mal realizado.
- Verificar periódicamente que el nivel de agua de reserva con su refrigerante sean óptimos, que no existan fugas y el sistema de refrigeración en general este en buen estado.
- Dar conocer a los diferentes organismos y entidades interesadas los resultados obtenidos en el presente estudio.
- Incentivar la realización de este tipo de proyectos ya que se carece de respaldo técnico y experimental de instituciones con credibilidad.
- Realizar la calibración del sistema de suministro de GNC con un equipo analizador de gases, para evitar mezclas demasiado ricas que producirán niveles de contaminación parecidos a los de gasolina.
- Para un mejor funcionamiento del sistema se recomienda que el motor se lo lleve a la temperatura óptima de operación para hacer el cambio de gasolina a GNC.
- Las tuberías de alta presión deben ir instaladas en el exterior del vehículo y deben fijarse de tal forma que queden protegidas de golpes y deformaciones las cuales pueden llevar a que exista fugas y pérdida de presión el en sistema.
- Nosotros recomendamos que se analice otros combustibles alternativos así como el GNC, no se debe dejar de lado la opción de mejorar el

medio ambiente o por lo menos conservarlo, este proyecto es una buena alternativa, y a los compañeros que vienen darles la pauta para seguir impulsando este combustible.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla de conversión de dureza

<i>Brinell</i>		<i>Rockwell</i>		<i>Resistencia a la tracción</i>	<i>Brinell</i>		<i>Rockwell</i>		<i>Resistencia a la tracción</i>
<i>Diám. indent (mm)</i>	<i>No.*</i>	<i>B</i>	<i>C (1 000 psi aprox.)</i>		<i>Diám. indent (mm)</i>	<i>No.*</i>	<i>B</i>	<i>C (1 000 psi aprox.)</i>	
2.25	745		65.3		3.75	262	(103.0)	26.6	127
2.30	712		—		3.80	255	(102.0)	25.4	123
2.35	682		61.7		3.85	248	(101.0)	24.2	120
2.40	653		60.0		3.90	241	100.0	22.8	116
2.45	627		58.7		3.95	235	99.0	21.7	114
2.50	601		57.3		4.00	229	98.2	20.5	111
2.55	578		56.0		4.05	223	97.3	(18.8)	—
2.60	555		54.7	298	4.10	217	96.4	(17.5)	105
2.65	534		53.5	288	4.15	212	95.5	(16.0)	102
2.70	514		52.1	274	4.20	207	94.6	(15.2)	100
2.75	495		51.6	269	4.25	201	93.8	(13.8)	98
2.80	477		50.3	258	4.30	197	92.8	(12.7)	95
2.85	461		48.8	244	4.35	192	91.9	(11.5)	93
2.90	444		47.2	231	4.40	187	90.7	(10.0)	90
2.95	429		45.7	219	4.45	183	90.0	(9.0)	89
3.00	415		44.5	212	4.50	179	89.0	(8.0)	87
3.05	401		43.1	202	4.55	174	87.8	(6.4)	85
3.10	388		41.8	193	4.60	170	86.8	(5.4)	83
3.15	375		40.4	184	4.65	167	86.0	(4.4)	81
3.20	363		39.1	177	4.70	163	85.0	(3.3)	79
3.25	352	(110.0)	37.9	171	4.80	156	82.9	(0.9)	76
3.30	341	(109.0)	36.6	164	4.90	149	80.8		73
3.35	331	(108.5)	35.5	159	5.00	143	78.7		71
3.40	321	(108.0)	34.3	154	5.10	137	76.4		67
3.45	311	(107.5)	33.1	149	5.20	131	74.0		65
3.50	302	(107.0)	32.1	146	5.30	126	72.0		63
3.55	293	(106.0)	30.9	141	5.40	121	69.8		60
3.60	285	(105.5)	29.9	138	5.50	116	67.6		58
3.65	277	(104.5)	28.8	134	5.60	111	65.7		56
3.70	269	(104.0)	27.6	130					

ANEXO B

PROPIEDADES DE LOS ACEROS AL CARBON Y CON ALEACIONES

Número de designación del material (número AISI)	Condición	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Dureza Brinell (HB)
		Ksi	MPa	Ksi	MPa		
1020	Rolado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Extruido en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Rolado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Extruido en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Rolado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Extruido en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Rolado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Extruido en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Rolado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Extruido en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Rolado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Extruido en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Rolado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Extruido en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Rolado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Extruido en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235

ANEXO C

factores de conversión útiles

Longitud

1 pie = 0.3048 m
 1 pulg = 25.4 mm
 1 mi = 5280 pies
 1 mi = 1.609 km

1 km = 1000 m
 1 cm = 10 mm
 1 m = 1000 mm

Area

1 pie² = 0.0929 m²
 1 pulg² = 645.2 mm²

1 m² = 10.76 pie²
 1 m² = 10⁶ mm²

Volumen

1 pie³ = 7.48 gal
 1 pie³ = 1728 pulg³
 1 pie³ = 0.0283 m³

1 gal = 0.00379 m³
 1 gal = 3.785 L
 1 m³ = 1000 L

Volumen de cantidad de flujo

1 pie³/s = 449 gal/min
 1 pie³/s = 0.0283 m³/s
 1 gal/min = 6.309 × 10⁻⁵ m³/s

1 gal/min = 3.785 L/min
 1 L/min = 16.67 × 10⁻⁶ m³/s

Temperatura

$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32] \frac{5}{9}$
 $T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5}[T(^{\circ}\text{C})] + 32$

Potencia

1 hp = 550 pie · lb/s
 1 hp = 745.7 W

1 pie · lb/s = 1.356 W
 1 Btu/h = 0.293 W

Densidad

1 slug/pie³ = 515.4 kg/m³

Peso específico

1 lb/pie³ = 157.1 N/m³

Energía

1 pie · lb = 1.356 J
 1 Btu = 1.055 kJ
 1 W · h = 3.600 kJ

Tensión, presión o carga por unidad

1 lb/pulg² = 6.895 kPa
 1 lb/pie² = 0.0479 kPa
 1 kip/pulg² = 6.895 MPa

Módulo de sección

1 pulg³ = 1.639 × 10⁴ mm³

Torque o momento

1 lb · pulg = 0.1130 N · m

Momento de inercia

1 pulg⁴ = 4.162 × 10⁵ mm⁴