

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA



**“CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTION
INTERNA MARCA HYUNDAI MODELO G4FACU
DE GASOLINA A GNV”**

**INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL
PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR: Orlando Coronado Velarde

Junio – 2017

**ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL
MODALIDAD: INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL**

A los **DIECISIETE** días del mes de **ENERO** del dos mil dieciocho, siendo las 14:20 horas, se procedió a la instalación del Jurado de Exposición del Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional de la Facultad de Ingeniería Mecánica y de Energía (Resolución Decanal N° 008-2017-D-FIME-J-EXP-ITSF), conformado por los siguientes docentes:

- **PRESIDENTE** : Msc. **GUSTAVO ORDOÑEZ CARDENAS**
- **SECRETARIO** : Mg. **ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY**
- **VOCAL** : Ing. **ESTEBAN ANTONIO GUTIÉRREZ HERVÍAS**
- **ASESOR** : Ing. **JOSE LUIS HUMBERTO URRUTIA TICONA**

Con el fin de dar inicio a la **EXPOSICIÓN DEL INFORME DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL** presentado por el Sr. Bach. en Ing. Mecánica **ORLANDO CORONADO VELARDE**, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, expondrá el Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional, titulado: **“CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MARCA HYUNDAI MODELO G4FACU DE GASOLINA A GNV”**

Con el quórum reglamentario de Ley se dio inicio a la Exposición de Informe de Trabajo de Suficiencia Profesional de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, luego de las preguntas formuladas y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por aprobado con el calificativo de 15 al Sr. Bach. en Ing. Mecánica **ORLANDO CORONADO VELARDE**.

Con lo que se dio por cerrada la sesión a las 16:20 del día 17 de Enero del 2018.

Msc. **GUSTAVO ORDOÑEZ CARDENAS**
PRESIDENTE

Mg. **ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY**
SECRETARIO

Ing. **ESTEBAN ANTONIO GUTIÉRREZ HERVÍAS**
VOCAL

Ing. **JOSE LUIS HUMBERTO URRUTIA TICONA**
ASESOR

**“CONVERSIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTION
INTERNA MARCA HYUNDAI MODELO G4FACU
DE GASOLNA A GAS NATURAL VEHICULAR
(GNV)”**

DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes con su apoyo y aliento me permitieron llegar a culminar mis estudios universitarios. Una mención muy especial para mi padre quien me dio una luz para encaminarme por la tecnología mecánica.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
2-OBJETIVOS	3
2.1- Objetivo General	3
2-2 Objetivos Específicos	3
3- ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	4
3.1-Breve Reseña Histórica	4
3.2 Misión	5
3.3 Visión	5
3.4 Valores	5
3.5 Líneas Estratégicas	6
3.6 ORGANIGRAMA EMPRESARIAL	7
3.7 Sistema de Gestión de Calidad	9
4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA	11
4.1 Actividades desarrolladas por la empresa	11
4.2 Actividades desarrolladas en la sede Lince	12
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INFORME	13
5.1 Características del motor de combustión interna (MCI)	13
5.1-1 Ciclos Operativos de MCI Encendidos Por Chispa.	15

5.1-2 Inyección de Control Electrónico. _____	17
5.1-3 Ventajas de la Inyección Electrónica _____	19
5.1.4 Componentes del Sistema de Control Electrónico de Inyección _____	20
5.1-5 Descripción de la Tecnología de los Motores a Gas Natural_	30
5.2 ANTECEDENTE Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA _____	46
5.2-1 Tecnología usadas anteriormente para la conversión de vehículos a gas natural (tercera generación). _____	49
5.3 Planteamiento y Alcance del Problema _____	53
5.4 Análisis y Solución del Problema _____	55
5.4- 1 Funcionamiento Del Sistema de Quinta Generación (GNV)	57
5.4- 2 Análisis Térmico del Motor Gasolina /GNV) _____	72
5.4-3 PROCEDIMIENTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS_	83
Ingreso al Taller de Servicio. _____	86
5.4-4 Selección del kit de Instalación (Hyundai Accent 2,012) ____	117
5.4-5 Pruebas Realizadas al Vehículo Convertido después de 100,000 Km de uso (D6J-512), después de Realizada la conversión. _____	123
5.4-6 Procedimiento Para la Revisión del Motor del Vehículo. ____	128

5.4-7	Análisis de Gases efectuados después de la Reparación del Sistema de Válvulas.(25/01/2,015).	131
5.4 -8	Programa de Mantenimiento	136
6.	EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA	143
6.1	Evaluación Técnica	143
6.1-1	Desempeño del Vehículo en el Recorrido de la Evaluación	151
6.1-2	Evaluación del Nivel de Emisiones del Vehículo Convertido	155
6.1-3	Evaluación de parámetros de funcionamientos del motor en gasolina y gas natural vehicular (GNV)	159
6.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA	170
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
7.1	Conclusiones	174
7.2	Recomendaciones	180
8-	Bibliografía.	181

INTRODUCCIÓN

A partir del año 2,000 aproximadamente, en el Perú, existe una tendencia a utilizar fuentes de energía alternativas, a los combustibles tradicionales y se depende (Gasolina, Diésel). Estas fuentes de energía alternativas, que se empezaron a utilizar con gran aceptación y demanda, corresponden a los combustibles tales como el gas licuado de petróleo (GLP) y el gas natural vehicular (GNV).

El sector automotriz no podía quedarse de lado en esta nueva búsqueda y utilización de combustibles más económicos. La utilización de combustibles alternativos como el GLP o GNV es posible en los motores que utilizan gasolina, modificando de su sistema de combustión.

Estas conversiones se realizan en talleres autorizados por el ministerio de Transporte y Comunicaciones, quien también se encarga de fiscalizarlos, las variaciones en los precios dependen básicamente, de la calidad del kit utilizados de la clase y tamaño de los motores de los vehículos a convertir, pero siempre basados en leyes y normas técnicas aprobadas y publicadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

El presente informe se centrara en las características de la conversión de motores que usan gasolina para que usen Gas Natural Vehicular, por parte de los talleres dentro de la ciudad de Lima y Callao, lo que se busca es sintetizar y presentar la información sobre los procedimientos para la conversión a gas natural vehicular, que cumpla las expectativas de calidad en la utilización de los equipos, y en la instalación del sistema en vehículos ligeros con motores de gasolina inyectados.

Estas las conversiones deben ser tales que los motores tengan una combustión correcta, para ello se medirá el valor del coeficiente Lambda

(λ) que indica la relación entre el aire real frente al aire teórico necesarios. Para una combustión correcta, este valor debe ser cercano o igual a uno, esto se verifica al realizar la prueba de análisis de gases. Se hace énfasis en una combustión correcta porque esta reducirá los gases nocivos y contaminantes en las emisiones. Reconocer que parámetros hay que mejorar para una buena combustión con gas natural (sistema de ignición, mejora en el sistema de admisión de aire, una dosificación adecuada de gas de acuerdo a la cantidad de aire, elección adecuada del kit de conversión de acuerdo a la exigencia del motor).

Lo que se expone en este informe, es la forma como se está utilizando el Gas Natural Vehicular, en los vehículos en nuestro país, conocer las tecnologías y procedimientos empleados, lo que en el futuro significa disminuir la dependencia de los combustibles líquidos derivados del petróleo y la sensibilidad ante las variaciones de precios en el mercado internacional de los mismos, los efectos sean menores en nuestra economía y a la vez se desarrolla nuevas formas de energía. Desde el punto de vista económico en la operación de vehículos con grandes recorridos o transporte público, el motivo es porque la conversión a gas natural, tiene un precio que se encuentra alrededor de los \$/2,000.00 Dólares Americanos, los usuarios de transporte público notaran un ahorro considerable al usar en GNV, dependiendo del recorrido en 6 primeros meses podrían recuperar la inversión del costo de la conversión. El GNV tiene ventajas ecológicas y de seguridad con respecto a los combustibles líquidos, lo cual lo detallaremos en el presente informe.

2-OBJETIVOS

2.1- Objetivo General

Determinar un Procedimiento de Conversión del Sistema de Combustión del motor Hyundai, modelo G4FACU, de gasolina a Gas Natural Vehicular (GNV).

2-2 Objetivos Específicos

1. Determinar los procedimientos y parámetros de la conversión del sistema de combustión de gasolina a gas natural vehicular (GNV), en un motor marca Hyundai modelo G4FACU.
2. Reconocer los parámetros a controlar en el motor marca Hyundai modelo G4FCAU, para tener una buena combustión a gas natural vehicular en cualquier condición de trabajo.
3. Seleccionar el kit de conversión del equipo de conversión de acuerdo al tipo del motor y establecer los procedimientos de conversión del Sistema de Combustión del motor Hyundai modelo G4FACU, de gasolina a Gas Natural Vehicular (GNV).
4. Establecer un programa mantenimiento para motores Hyundai convertidos a gas natural vehicular (GNV). Con el fin de garantizar su operación rentable.

3- ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

3.1-Breve Reseña Histórica

El Touring y Automóvil Club Perú (TACP), se funda en la ciudad Lima con el nombre de Touring Club Peruano en el año 1,924, a iniciativa del Sr Gino Salocci, miembro del Rotary Club de Lima, quien sugirió la conveniencia de que en el Perú existiera una institución que se dedicara al fomento del automovilismo y promocionar rutas turísticas en el Perú.

El 20 de Mayo de 1,924, en el local de la Sociedad de Ingenieros, se procedió a firmar el acta de fundación , en presencia de los señores Marino Tabusso, José Antonio De La Valle, Juan Rospigliossi, Fernando Carbajal, Luis Macagño, José Calderón , Miguel Dasso, Leónidas Gonzales Honderman, Camilo Vallejo Z, Eduardo Dibos Dammert, Otto Wagner.



Figura 3.1 Fundación del Touring Automovil Club Perú, Fuente Memorial 2008

De acuerdo al documento de constitución, el Touring Automóvil Club Peruano se creó como una entidad de servicio sin fines de lucro, cuya finalidad es el fomento del automovilismo y servicios turísticos, actividades

conexas para el beneficio del país, de la colectividad y en particular de sus asociados.

Desde su fundación, el TACP se concentra en el cumplimiento de sus objetivos y realiza actividades basadas en lema: "Conocer y hacer conocer el Perú, es contribuir a su grandeza".

En la actualidad TACP cuenta con oficinas y cobertura en los ocho principales departamentos del Perú (Lima, Piura, Chiclayo, Trujillo, Ica, Junín, Cusco, Arequipa, y Tacna) brindando en todos ellos servicios integrales de Asistencia Mecánica y otras unidades de negocios.

3.2 Misión

Proporcionar servicios con los mejores estándares de seguridad, calidad, protección y cobertura a nuestros asociados y colectivos, así como ser la entidad guía en el Perú que marque la pauta y sea referente en los temas de educación y seguridad vial.

3.3 Visión

Ser la central líder en servicio en asistencia y en la movilidad de las personas.

3.4 Valores

-El TACP está por encima de cualquier interés particular.

-Excelencia en la calidad de servicio.

-Orientación hacia la optimización de los procesos.

-Pro actividad y eficiencia comercial.

-Trabajo en equipo.

-Creatividad.

3.5 Líneas Estratégicas

- Implementar servicios integrales de asistencia para incrementar los ingresos y rentabilidad.

-Ser líderes y referentes en la calidad de los servicios que prestamos a los asociados y colectivos en todas nuestras líneas de negocios.

-Incrementar las afiliaciones, mejorar la gestión de cobranzas y aumentar el ciclo de vida del asociado a través de un programa de fidelización.

- Desarrollar y liderar el mercado de colectivos, incrementando el volumen de vehículos y personas usuarias de nuestro servicio.

-Implementar la red integral de colaboradores a nivel nacional.

-Incrementar nuestra actividad en todos los ámbitos de la educación y seguridad vial, así como su repercusión social y mediática a fin de ser la entidad de referencia en el Perú en esos temas.

-Impulsar las actividades vinculadas al turismo.

-Implementar mejoras continuas en los procesos de las unidades funcionales, para potenciar el funcionamiento de las unidades de negocio.

3.6 ORGANIGRAMA EMPRESARIAL



ORGANIGRAMA MATRICIAL (GENERAL)

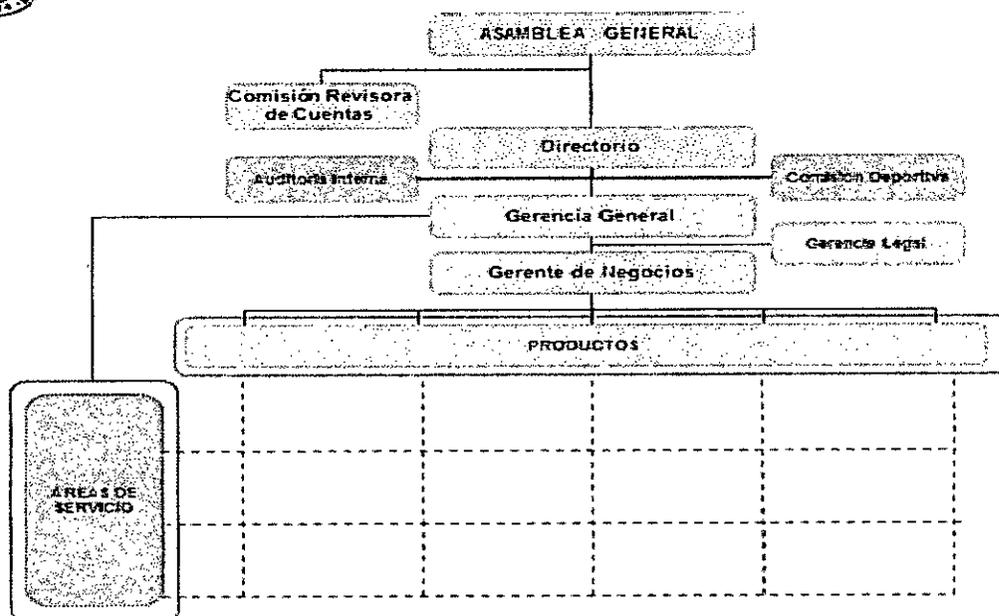


Figura 3.2 Organigrama Matricial Touring Automovil Club Perú, Fuente memorial 2,012.

El TACP a julio del 2,015 cuenta con 615 trabajadores a nivel nacional, de los cuales 453 están destacados en la sede de Lince.

Los trabajadores de la sede de Lince se clasifican en personal administrativo y personal operativo, el personal operativo de las áreas de Asistencia Mecánica (65 trabajadores), Asistencia Médica, Asistencia Legal, Chofer de Reemplazo, Sepelio, Asistencia Usuarios PC, Servicios Generales (Técnicos Operarios), Centro de Exámenes (evaluadores de

Campo), Procedería Vehicular, Taller de Mantenimiento Mecánico (15 trabajadores), con un capital humano de 114 trabajadores.

Me desempeñe en el área de Asistencia Mecánica , en la sección Certificación Vehicular a Gas , como Inspector de Vehicular GLP, GNV, función que desempeñe de Enero del 2,009 hasta Julio del 2,013, El TACP dejo de ser certificadora GNV el año 2012.

Actualmente los miembros del Consejo Directivo son:

Presidente: Iván Dibós Mier

Segundo Vicepresidente. Juan Luis Avendaño V

Director Secretario: Eduardo Zavala Barrios

Director Tesorero: Jorge Chocano Barreto

Directores. Luis Alaysa De Losada

Godfrey Hemmerde Castaños

Godfrey Hemmerde Clarke

Benjamin Otero Ramos

Gerente General : Roberto Gargurevich Timoteo

Comisión Revisora de Cuentas:

Presidente : Guillermo Van Oordt Parodi

Miembros : Juan Fernando Chavez Keller

José Félix Miranda Brambila

3.7 Sistema de Gestión de Calidad

Uno de los logros más importantes del TACP fue la obtención de la certificación de su sistema de gestión de la calidad conforme con la Norma UNE-EN ISO 9000:2000 en julio del 2,008, otorgada por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) y la Asociación IQNET(Red Internacional de Certificación) con sede en Suiza, por haber cumplido con requisitos y requerimientos que acreditan la calidad de los procesos operativos y atención al cliente, ubicándose entre las instituciones con los mejores estándares de calidad, seguridad, protección y cobertura para sus asociados y clientes.

Año a año (2,009 y 2,010), la identidad certificadora ha verificado la eficacia del Sistema de Gestión de la Calidad mediante Auditorias de Seguimiento, y es diciembre del 2,010, con la segunda auditoria de seguimiento que certifica la migración de nuestro Sistema hacia ISO 9001:2008.

La obtención de esta certificación y su mantenimiento se logra por el liderazgo de los miembros del Consejo Directivo, la capacitación,

motivación del personal , la creatividad y la búsqueda de la mejora continua , que son los elementos claves y permanentes en la institución.

En abril del 2,013, el TACP pasó con éxito la auditoría externa por la certificadora AENOR obteniendo la rectificación de la norma ISO 9001:2008 hasta el año 2,015.

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA

4.1 Actividades desarrolladas por la empresa

a) Servicio de Asistencia:

- i. Asistencia Mecánica
- ii. Certificadora Automotriz Gas Natural y Gas Licuado de Petróleo
- iii. Asistencia Médica.
- iv. Asistencia Legal.
- vi. Asistencia del Hogar
- vii. Procuraduría Vehicular
- viii. Asistencia a Usuarios de PC (Touring Tech)
- ix. Chofer de remplazo

b) Servicio de Contac Center:

- De trafico entrante (inbound)
- De trafico Saliente (outbound)

c) Tramite de Permisos Internacionales para conducir según convenios.

d) Venta de hoja de Ruta Turísticas del Norte, Centro, Sur, del Perú.

e) Centro de Exámenes

-Obtención de Licencia de conducir

-Revalidación de licencias de conducir, duplicados de licencias

-Centro Recreacional

f) Escuela de Conductores

4.2 Actividades desarrolladas en la sede Lince

En dicha sede se desarrollan gran parte de todas las actividades que realiza el TACP, con excepción de:

1-Centro de Exámenes

-Obtención de Licencias de conducir.

-Revalidación de Licencias de conducir.

-Duplicado de Licencias de conducir.

2-Centro Recreacional (TOURICAN)

3- Escuela de Conductores

5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL INFORME

Marco Teórico Referencial

Motor de Combustión Interna – Es una maquina térmica la cual transforma la energía química de un combustible en energía térmica, luego este calor o energía es cedida al fluido de trabajo para expandirse y realizar un trabajo, el cual es captado por un pistón, los motores de combustión interna (MCI), el MCI por su sistema de encendido se clasifican en:

Motores Encendidos por Chispa.

Motores Encendidos por Compresión.

Para este informe se trabaja con un MCI encendido por chispa a gasolina, este tipo de motor también pueden usar combustibles alternativos líquidos o gaseosos. A continuación se detalla su funcionamiento y características principales.

5.1 Características del motor de combustión interna (MCI)

El principio de funcionamiento consistía en un cilindro refrigerado por agua y en cuyo interior se comprimía una mezcla gasificada de aire y combustible, produciéndose durante la compresión y al encontrarse el émbolo en el punto muerto alto, una chispa eléctrica que originaba que la mezcla entrase en combustión de una manera instantánea a semejanza de una explosión.

Este ciclo de cuatro tiempos de explosión se denomina unas veces «ciclo de Beau de Rochas» y otras "ciclo Otto", por ser este ciclo primeramente imaginado por Beau de Rochas y poco después llevado a la práctica por Otto.

Las características fundamentales de estos motores de combustión interna, que permite diferenciarlos de los demás, son:

- Mezcla de aire y combustible en un ducto o múltiple de admisión exterior al cilindro, también de inyección en el múltiple de admisión con control electrónico, Inyección Directa.
- Compresión de la mezcla en el cilindro para conseguir la presión y temperatura, para combustión de la mezcla.
- Encendido de la mezcla con una chispa eléctrica en el instante preciso, que garantice la combustión completa de la mezcla aire/combustible.
- Combustión casi instantánea, es decir, a volumen constante.

Luego con las exigencias del control de emisiones por parte de los diversos países, la crisis del petróleo en la década de los setentas, los motores de combustión interna fueron evolucionando, se dejó de usar el carburador, para dar paso a la inyección de combustible con control electrónico, con este nuevo sistema la gasolina se mezcla con el aire en la apertura de la válvula de admisión, para lo cual el inyector se encuentra cerca de la válvula de admisión, es de esta manera como se consiguió disminuir la emisión de gases contaminantes, se eleva la eficiencia energética en los MCI a gasolina.

Para el presente se trabajó con un automóvil marca Hyundai modelo Accent año 2012, equipado con un motor Gamma 1.4 Litros con sistema de inyección de gasolina con control electrónico.

5.1-1 Ciclos Operativos de MCI Encendidos Por Chispa.

1-Primera Fase (Admisión).

El Pistón se encuentra en el PMS (punto muerto superior) y luego desciende hasta PMI (punto muerto inferior), mientras hace este recorrido la válvula de admisión está abierta, en esta primera fase el cigüeñal ha hecho un giro de 180 grados que sería un tiempo, y se ha producido la aspiración de una mezcla de oxígeno y combustible, el combustible es inyectado en su respectivo cilindro en el múltiple de admisión y controlado por una unidad de control electrónico (ECU).

2-Segunda Fase (Compresión).

Se cierra la válvula de admisión, y el pistón se encontraba en el PMI sube hasta el PMS, y como el cilindro es estanco comprime la mezcla, elevando su presión y temperatura a unos 13-15 bares y 200 °C, el cigüeñal ha recorrido 180°, y ya se completó una vuelta del cigüeñal, y todavía no se ha realizado trabajo.

3-Tercera Fase (Trabajo).

Las válvulas están cerradas y el pistón se encuentra en el PMS, entonces se origina una deflagración, gracias al salto de chispa ocasionado por la bujía. El aumento de presión es tal que llega a unos 23-25 bares y la temperatura en algunos puntos puede ascender a 2,000°C, de este modo el pistón se ve obligado por la expansión a deslizarse hasta el PMI, recorriendo el cigüeñal 180° más, y es la única fase que realiza trabajo.

4. Cuarta Fase (Escape)

Cuando el pistón llega al PMI, comienza la cuarta fase que consiste en abrir la válvula de escape, y con la inercia que el cigüeñal a acumulado sube hasta el PMS, empujando los gases viciados por la combustión a través de los conductos de escape, y con el recorrido de 180° grados más, ya se realizaron 2 vueltas del eje cigüeñal, en la que se ha producido trabajo en media vuelta. Con 02 vueltas del eje del cigüeñal y una vuelta del eje de levas se completa un ciclo de funcionamiento del motor a Explosión de 4 tiempos.

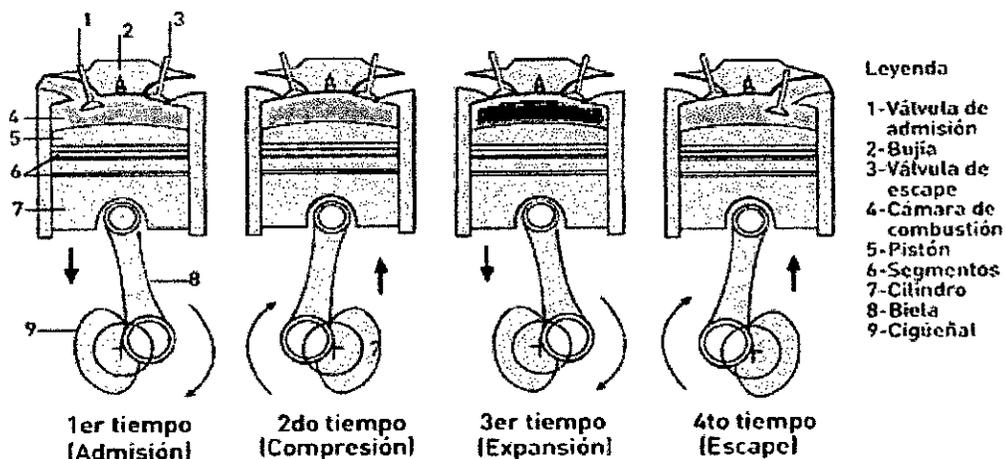


Figura 5.1-1 Ciclos Operativos de los Motores de Explosión (Ciclo de Funcionamiento MCI(Francisco Payri ,Motores de Combustión Interna Alternativo.)

En el año 1,973 estalló la crisis del petróleo, a raíz de la decisión de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPEX), esta institución redujo la producción de crudo y estableció un embargo petrolífero hacia Occidente, y la vez las normas ecológicas son más exigentes con respecto al nivel de emisiones, estos fueron los motivo originaron que la industria automotriz diseñe motores más eficiente, y se busquen combustibles alternativos para no depender del petróleo, los combustibles gaseoso son una alternativa viable, GNV, GLP. Sobre todo el gas natural por la gran disponibilidad de reservas, El Ministerio de Energía y Minas del Perú manifiesta que en Camisea en lotes 88 y 56 cuenta con una reserva comprobada de 17.4 Trillones de Pie Cúbicos (TCF) de gas natural, con estas reservas se tiene una proyección de atender una demanda para los próximos 15 años en el Perú.

5.1-2 Inyección de Control Electrónico.

Los sistemas de inyección surgieron previamente con la inyección mecánica. Luego de estos aparecieron los llamados sistemas electromecánicos basando su funcionamiento en una inyección mecánica asistida electrónicamente, pasando en una última etapa ha sido la aparición de los sistemas 100% electrónicos.

Inyección de Control Electrónico Funcionamiento.

El principio de funcionamiento de la inyección electrónica de combustible es muy sencillo. Los inyectores se abren no solo por la presión del combustible que está en las líneas de distribución, sino también por los solenoides accionados por una unidad electrónica de control, Puesto que el combustible no tiene que vencer una resistencia, que no sea las insignificantes pérdidas debidas a la fricción, la presión de la bomba puede fijarse en valores muy bajos, compatibles con los límites para obtener atomización completa con el tipo de inyectores utilizados.

La cantidad de combustible por inyectar, es determinada por la unidad de control electrónico (ECU), con la base de la información que se alimenta en relación con las condiciones de funcionamiento del motor. Esta información incluye la presión del múltiple de admisión, posición de la mariposa de aceleración, enriquecimiento para el arranque en frío, condiciones de funcionamiento en vacío, temperatura de funcionamiento y

presión barométrica. Los sistemas trabajan con presión constante e inyección variable sincronizada o flujo continuo.

Comparada con los sistemas de inyección mecánica, la inyección electrónica tiene una impresionante número de ventajas, tiene menos partes móviles, no necesita estándares ultra precisos de maquinado, funcionamiento más tranquilo, menos pérdida de potencia, baja demanda de electricidad, no necesita impulsores especiales para la bomba, no tiene requerimientos críticos de filtración de combustible, no tiene sobre voltajes o pulsaciones en la línea de combustible.

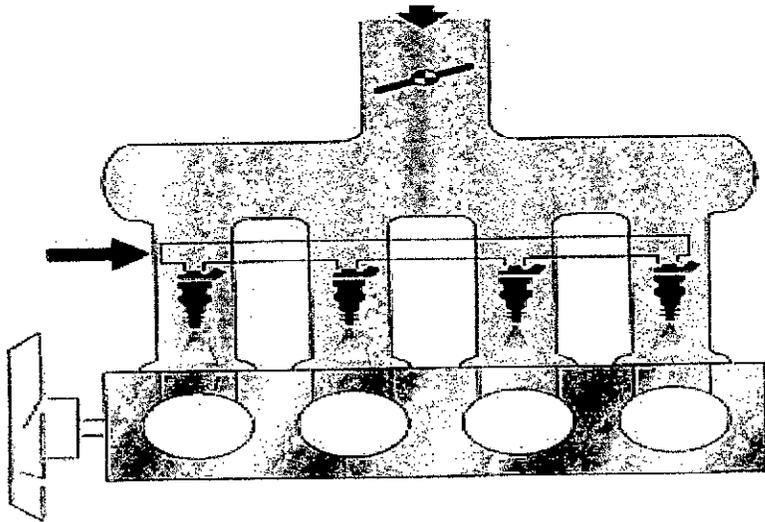


Figura 5.1-3 Sistema de inyección secuencial multipunto (JM Alonso, Técnicas del Automóvil, Editorial Paraninfo).

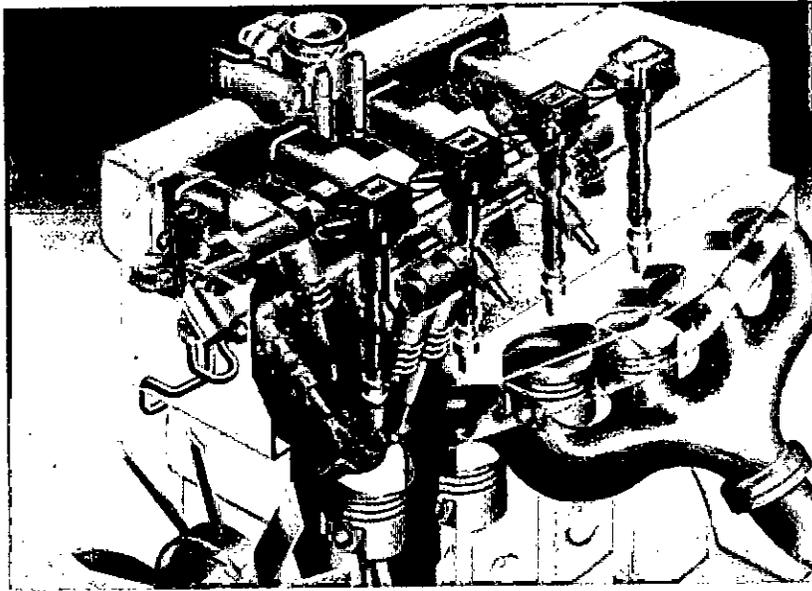


Figura 5.1-4 Posición de Válvulas e Inyectores, Bobinas, Bujías. (JM Alonso, Técnicas del Automóvil, Editorial Paraninfo).

5.1-3 Ventajas de la Inyección Electrónica

Menor Consumo (Mayor Eficiencia): Con el uso de carburadores, en el múltiple de admisión se produce una mezcla desigual de aire /gasolina en cada cilindro. La necesidad de formar una mezcla uniforme que alimente igual a todos los cilindros obliga, en general a dosificar una mayor cantidad de combustible. La consecuencia de esto es un mayor consumo de combustible y una carga desigual de los cilindros. Al instalar un inyector en cada cilindro se puede dosificar una cantidad precisa en cualquier estado de carga.

Mayor Potencia: La utilización de los sistemas de inyección permite optimizar la forma de los colectores de admisión, con un mejor llenado de

los cilindros, con lo cual aumenta la eficiencia volumétrica y se obtiene una mayor potencia específica y un aumento del par motor (torsión).

Gases de escape menos contaminantes: La contaminación de los elementos contaminantes en los gases de escape depende directamente de la proporción aire/gasolina. Para reducir la emisión de contaminantes es necesario preparar una mezcla de una determinada proporción. Los sistemas de inyección permiten ajustar en todo momento la cantidad necesaria de combustible respecto a la cantidad de aire que entra al motor.

5.1.4 Componentes del Sistema de Control Electrónico de Inyección

Unidad de Control Electrónica (ECU) –

Mediante la tecnología digital moderna se abre múltiples posibilidades en cuanto al control del automóvil,

Hay factores de medición influyentes que se pueden reunir para contrarlar a todo de modo simultáneo. La unidad de control recibe las señales de los sensores, las evalúa y calcula las señales de activación para los elementos actuadores. El programa de control está almacenado en la memoria, de la ejecución del programa se encarga un micro controlador.

La ECU utiliza unos microprocesadores para reunir información, procesarla y enviar señales para que activen los diferentes circuitos

actuadores. Los tres procesadores principales son la RAM (memoria temporal), ROM (programa básico de la computadora), PROM (programa de sintonía fina), estos tres microprocesadores son la parte central de la ECU.

Memoria ROM

Memoria solo para leer, es la sección de la ECU que contiene el conjunto principal de instrucciones que sigue la computadora, el microprocesador que contiene estas instrucciones de la ROM es un chip no volátil esto significa que el programa diseñado en él no se puede borrar al desconectar la energía.

Memoria RAM

Memoria de acceso aleatorio, es la sección que tiene tres funciones principales en la ECU, la primera función actúa como una libreta de apuntes de la ECU, es decir es guarda datos de manera temporal siempre que se necesite hacer un cálculo matemático, la ECU utiliza la RAM. La segunda función es almacenar información en el sistema multiplicador de aprendizaje de bloques (BLM) cuando el motor está apagado o funciona a lazo abierto. La tercera función es almacenar los códigos de diagnóstico cuando se ha detectado una falla en el sistema. Estos códigos son almacenados, hasta que la potencia de la batería se retire de la ECU, a diferencia del ROM y PROM, los chips del RAM son memorias volátiles.

Memoria PROM

Memoria programable solo para leer, es la sección de calibración del chip en la ECU, el PROM funciona junto con la ROM, para las funciones de ajuste fino del control de combustible y el tiempo de encendido para aplicaciones específicas, El PROM es también una memoria no volátil, contiene la información acerca del tamaño del motor, tipo de transmisión, tamaño y peso del auto, resistencia de rodamientos, coeficiente de arrastre y relación final de tracción.

Funciones de la Unidad de Control Electrónica ECU- que de controla con gran precisión las diversas funciones del motor, como son la dosificación del combustible, el avance del salto de chispa, según las condiciones de operación

Las funciones que pueden ser controladas por la ECU son las siguientes:

-Control de la Inyección de Combustible.

Para un motor con inyección de combustible, la ECU determina La cantidad de combustible que se inyecta basándose en un cierto número de parámetros .Si el acelerador esta pisado a fondo. La ECU inyectara más combustible según la cantidad de aire que esté pasando por el motor, Si el motor no ha alcanzado la temperatura suficiente, la cantidad de combustible inyectado será mayor (haciendo que la mezcla sea más rica hasta que el motor caliente). Sin embargo la ECU proporciona un control minucioso. Por ejemplo se utiliza un sistema de control de

aprendizaje para mantener en todo momento una porción óptima de ralentí.

-Control de la Ignición

Un motor de ciclo Otto necesita chispa eléctrica, para iniciar la combustión. Una ECU puede ajustar el tiempo exacto de la chispa (llamado tiempo de ignición), para proveer una mejor potencia y un menor gasto de combustible. Si la ECU detecta un cascabeleo y analiza que esto se debe a que el tiempo de ignición se está adelantando al momento de la compresión, la ECU retardara el tiempo que salta la chispa.

-Control de la Distribución de Válvulas

En este motor la ECU controla el tiempo en el ciclo del motor en el que las válvulas se deben abrir, las válvulas se abren normalmente más tarde a mayores velocidades que a menores velocidades. Esto puede optimizar el flujo de aire que entra al cilindro, incrementando la potencia y evitando la mala combustión del combustible.

-Control de la Bomba de Combustible

La ECU controla el voltaje aplicado a la bomba de combustible, este reduce el voltaje aplicado a la bomba de combustible para así reducir el ruido de la bomba, y el consumo de energía eléctrica en ralentí.

-Auto Diagnostico-

-Verifica si los sistemas de señales de entrada y de salida hacia y desde la unidad son normales.

-Control del Régimen en Vacío

Recibe señales de diversos sensores y regula el motor a régimen de marcha en vacío, óptimo de acuerdo a la carga del motor.

-Control de Ralentí

Aumenta el régimen de marcha en vacío cuando el voltaje de la batería es bajo, o cuando hay muchos interruptores de carga accionados.

-Control de Regulador de Presión

Aumenta temporalmente la presión del combustible, cuando se pone en marcha el motor con elevada temperatura de refrigerante.

Sensores:

Sensor MAP (Sensor de Presión Absoluta del Múltiple de Admisión)

Obtiene información sobre los cambios en la presión atmosférica, en el múltiple de admisión del motor y con frecuencia se le llama vacío debido a que es menor que la presión atmosférica enviando una señal a la ECU, para que pueda controlar el tiempo de ignición y ajustar la mezcla aire/combustible en las diferentes condiciones de carga del motor y altitud

sobre el nivel del mar. Se encuentra en la parte externa del motor después de la mariposa de aceleración.

El funcionamiento del sensor MAP por variación de presión está basado en una resistencia variable, accionada por el vacío creado por la admisión del cilindro, tiene tres conexiones, una de ella es la entrada de corriente que provee la alimentación al sistema, una conexión de masa y otra de salida. La conexión de masa se encuentra aproximadamente en el rango de 0 a 0.06 voltios, la tensión de entrada es generalmente 5 voltios, mientras que la señal de salida varía <0.6-4.6 voltios>, esta última señal es la encargada de enviar la señal a la unidad de mando.

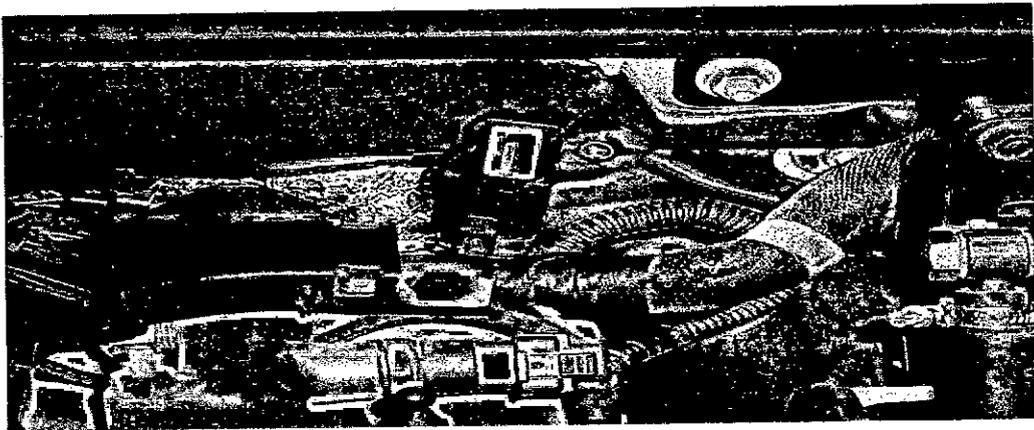


Figura 5.1-5 Ubicación del Sensor MAP en el motor.(fotos del autor)

SENSOR TPS (Throttle Position Sensor/Sensor Mariposa)

Informa la posición angular de la mariposa, la cual nos indica la posición del acelerador enviando la información hacia la unidad de control, en función de esta señal la ECU calcula el pulso del inyector, la curva de avance del encendido, y el funcionamiento del sistema de control de

emisiones, las señales que genera este sensor a la computadora las usa para modificar:

*Regulación del flujo de gases de emisiones de escape a través de la válvula EGR.

*La relación de la mezcla aire/combustible.

*Corte del aire acondicionado por máxima aceleración.

Normalmente se encuentra sobre la mariposa de aceleración, si no ejercemos ninguna acción sobre la mariposa entonces la señal será 0 voltios, y cuando se pisa a fondo el acelerador la tensión sería aproximadamente 4.6 voltios, este sensor cuenta con tres terminales eléctricos (masa, señal de salida, terminal de alimentación 5 voltios).

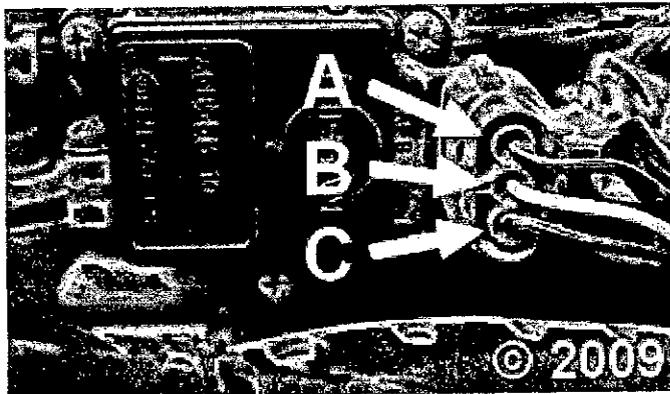


Figura N°5.1-6 (Accent Shop Manual V-2) Sensor TPS (Mariposa) cable A (Alimentación), cable B (terminal de salida, cable C (terminal de conexión a tierra).

Sensor CTS (Coolant Temperature Sensor)

Este es el sensor de temperatura de refrigerante del motor, a través de una resistencia que provoca la caída de voltaje de la ECU, para que este a su vez calcule la entrega de combustible, ajustando la mezcla aire/combustible, y la duración del pulso de los inyectores, así como la activación y la desactivación del ventilador del radiador. Se encuentra

Ubicado este sensor cerca de la conexión de la manguera superior, que lleva agua al radiador.

Este sensor envía información para la preparación de la mezcla aire/combustible, registrando las temperaturas del motor, la computadora adapta el pulso de inyección y el tiempo de encendido para las diferentes condiciones de trabajo, dependiendo de la información de este sensor, este sensor tiene un coeficiente negativo, el cual la resistencia interna aumenta cuando la temperatura disminuye, cuando el motor se encuentra frío se registra un voltaje de aproximadamente <4.5,4.8> Voltios, motor caliente el rango es <0.4, 0.8> voltios.

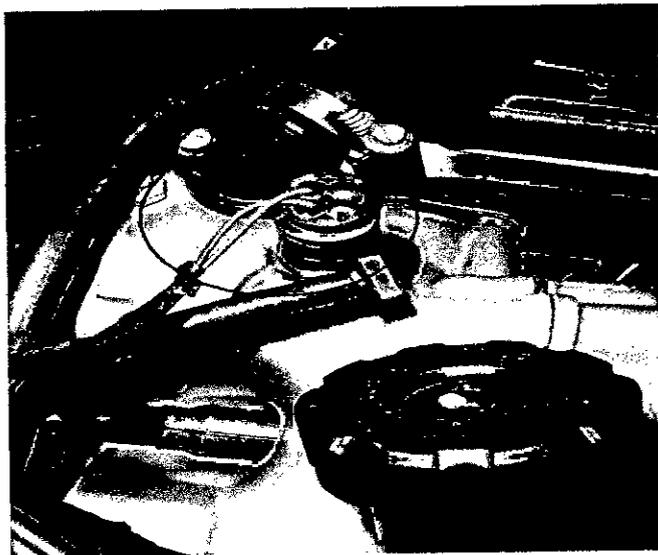


Figura 5.1-7 Sensor CTS (Temperatura de refrigerante).(Fotos del autor del informe).

Sensor de Oxígeno

Este captador mide la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape, en función de esto se emite una señal eléctrica para que la ECU pueda variar la cantidad de combustible inyectado, garantizando una

mezcla aire /combustible ideal, una sonda lambda en perfecta condiciones garantiza:

- Óptimo rendimiento del motor.
- Ahorro de combustible.
- Reducción de emisiones.
- Mejor rendimiento del motor.
- Mejor aprovechamiento del combustible.

Este sensor está constituido básicamente por un cuerpo cerámico compuesto fundamentalmente de dióxido de zirconio y una superficie interna y externa provisto de electrodos revestido de una capa de platino, permeable a los gases. La zona externa está recubierta a su vez de una capa cerámica porosa, que protege la superficie del electrodo contra el ensuciamiento por residuos de combustión. A partir de los 300° C la cerámica se vuelve conductora de los iones de oxígeno, estableciéndose una tensión eléctrica en los bornes de la sonda.

La sonda lambda debe ser capaz de captar la composición de la mezcla en todo momento, y en función de ello variar su señal enviada a la ECU, debe señalarse que, con la disposición actual de la sonda lambda en el catalizador, aún con elevada sensibilidad, existirá un retraso con respecto a la composición real de mezcla en la cámara de combustión en un instante determinado.

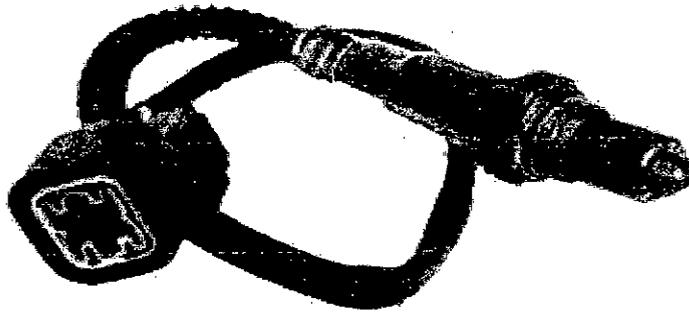


Figura 5.1- 8 (Sensor de Oxígeno)
Manual Hyundai

Sensor de Detonación (KS) (Knock Sensor)

El sistema del sensor de detonación (KS), le permite a la ECU controlar el tiempo de encendido para mejor rendimiento posible, mientras protege al motor de daños causados por detonación, cuando ciertas condiciones tales como la alta temperatura del motor, combustibles de mala calidad causan detonación, el sensor de detonación le envió señal a la ECU para que retrase el tiempo de encendido.

La vibración del motor, debido a una combustión anormal o detonación, causa que el sensor de detonación genere una señal de voltaje. Esta señal es enviada al módulo KS o al ECM. En algunos sistemas el módulo KS está separado del ECU. En el sistema de modelos más recientes, el módulo KS está integrado dentro del ECU. La ECU usa esta señal para retrasar el tiempo de encendido, a través del circuito de control de encendido, hasta que ya no se detecte detonación. La detonación ocurre dentro de un rango de frecuencia específica, el sensor Knock localizado

en el bloque del motor, o en la cabeza o sobre el múltiple de admisión está fabricado para detectar la frecuencia del ruido y vibración asociada a la detonación.

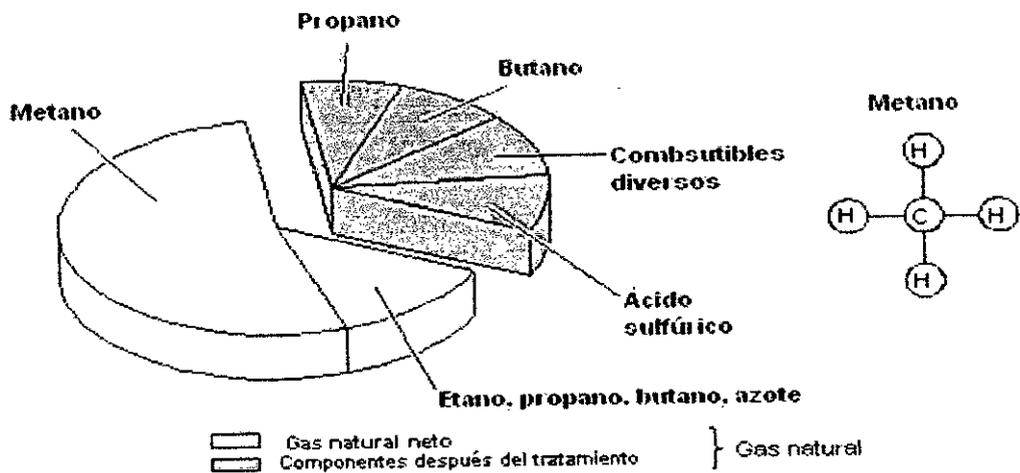
5.1-5 Descripción de la Tecnología de los Motores a Gas Natural

. El Gas Natural y el Gas Natural Vehicular

Se puede comenzar definiendo al gas natural como un combustible fósil compuesto por una mezcla de hidrocarburos livianos, los cuales se componen entre 60% a 90% por metano (CH₄). Este componente es el hidrocarburo más simple formado por un átomo de carbono, es el primer miembro de la familia de los alcanos que, en condiciones atmosféricas, se presenta en forma gaseosa y por lo general es hallado en depósitos subterráneos profundos.

El gas natural se formó hace millones de años cuando la flora y la fauna del mar fueron enterrados por arena y roca, los que se fueron acumulando hasta que la presión y el calor de la Tierra los convirtieron en gas natural que genera calor cuando las moléculas de hidrocarburo se queman.

A este gas se le denomina con el término 'natural' porque en su constitución química no interviene ningún proceso: es limpio y sin color: en la naturaleza tampoco tiene olor, sin embargo, se le agrega un olor (para la distribución) como medida de seguridad.



A diferencia del GLP, el gas natural tiene menor densidad que el aire, por lo que en la atmósfera se dispersa rápidamente, disminuyendo el riesgo en su uso: esto, debido a que el metano, principal componente del gas natural, tiene una gravedad específica menor con relación al aire.

El gas natural utilizado en los vehículos es lo que conocido como el Gas Natural Vehicular - GNV o Gas Natural Comprimido, traducción al español de NGV (Natural Gas for Vehicles). Siglas utilizadas para identificar al gas natural vehicular. En el Perú, el gas natural proviene de los pozos de Camisea, Cusco luego de ser comprimido en las estaciones de servicio, es transportado y suministrado en los cilindros de los vehículos, diseñados especialmente para tal fin.

El uso del gas natural vehicular presenta ventajas económicas, ambientales y de seguridad.

5.1-5A Ventajas Económicas.

Las reservas de petróleo crudo están disminuyendo, al no descubrirse nuevos yacimiento con valor comercial, mientras que las reservas de gas natural existen en abundancia y se espera que estas reservas se incrementen, especialmente de las zonas adyacentes a los lotes en etapa de explotación de Camisea: por tanto, es muy importante y beneficioso utilizar sistemas y combustibles, alternativos para la combustión. En países en los que el gas natural vehicular ha tenido un gran desarrollo, la diferencia de precios de este con los combustibles líquidos ha sido significativa. Para los precios actuales de los combustibles líquidos, la Cámara de Gas Natural Vehicular ha estimado que costarían un 65% menos que la gasolina de 90 octanos. 50% menos que el diesel y 48 % menos que el gas licuado de petróleo GLP. Además el usuario ahorraría mucho más ya que el motor extenderá su vida útil requiriendo menos gastos de mantenimiento por un alargamiento del periodo de cambio de aceite lubricante, de las bujías de encendido y de la necesidad de afinamiento., pero si no se siguen los procedimientos correctos de selección e instalación de los Kit conversión se pueden ocasionar defectos prematuros a las válvulas.

A continuación se presenta una tabla comparativa de precios entre los diversos tipos de combustible.

SECTOR ECONÓMICO	Combustible Alternativo	Precio Comb. Alternat.	Precio Gas Natural	Precio GN / Comb. Altern. (%)	Ahorro (%)
Usuario Gener. Eléct.	Diesel 2	11.41	2.42	21%	79%
Residencial / Pequeño Comercio	GLP	22.25	8.98	40%	60%
	Kerosene	18.88	8.98	48%	52%
Comerc. / Pequeña Ind.	GLP	22.25	6.37	29%	71%
Mediana Industria	Residual 6	6.82	4.63	68%	32%
Gran Industria	Residual 6	6.82	4.33	64%	36%
Estaciones GNV (Vehículos)	Gasolina 84	23.68	7.33	31%	69%
	GLP Vehic.	18.97	7.33	39%	61%
	Diesel 2 Vehic.	18.07	7.33	41%	59%

Tabla 5.1-5A Cuadro comparativo de costo combustibles en \$/MMBTU (Cámara Peruana de Gas Vehicular Agosto 2007) "MMBTU=1Millón BTU".

5.1-5B Ventajas Ambientales.

Las altas emisiones de gases de escape de origen vehicular, ha inducido a la búsqueda de combustibles menos contaminantes y más aún en un país como el nuestro, en el que la calidad del combustible es una de las peores de América del Sur; es por ello, que el gas natural se convierte en una alternativa atractiva debido a que no posee aditivos en su composición, como el azufre y el plomo.

El contenido de azufre, es la masa de este cuerpo presente como mineral (o en los compuestos orgánicos) por unidad de combustible que se quema. Se expresa en mg/m³, o en mg/KWh. y depende de la naturaleza del gas. El tratamiento de odorización puede traer cantidades muy

pequeñas de azufre pero poco nocivas. En el gas natural vehicular, los efectos del azufre están muy por debajo de los valores admisibles por los organismos reguladores de emisiones (10 mg/m³ de azufre total, en lugar de 150 mg/m³ del máximo admisible).

Seguridad. Es importante tener presentes dos conceptos para tratar los problemas de ventilación en los lugares donde se instalan los elementos que operan con gas. Uno, es la densidad; la masa de 1m³ de gas bajo una presión atmosférica de 1,013 bar y a una temperatura de 0°C. Se expresa en kg/m³. Otro, es la densidad respecto del aire; la relación entre la densidad de gas considerada sobre la del aire, a la misma temperatura y la misma presión. Esta relación se expresa sin unidades.

En la operación del gas natural, para el caso de las fugas, al ser más ligero que el aire cuya densidad a condiciones de ambiente es ($\delta=0.65$ kg/m³), se disipa rápidamente en la atmósfera; únicamente se requiere tener una buena ventilación. Así mismo, el gas natural no es tóxico ni corrosivo.

5.1-5-C Propiedades Del Gas Natural

Para evaluar y analizar las consecuencias del uso del gas natural en el desempeño de los motores de gasolina convertidos a gas natural, es preciso entender la influencia de las características físico químicas del gas natural sobre los procesos de combustión que se producen en el interior del motor.

A continuación se explican las características principales del gas natural, y se hace un paralelo con la gasolina, de modo que se puedan establecer las diferencias, ventajas y desventajas que implican el uso del gas natural con respecto a la gasolina.

La gasolina es una mezcla complicada de hidrocarburos, incluyendo componentes aromáticos, nafténicos y parafinados, la gasolina contiene hidrocarburos con moléculas de 5 a 8 átomos de carbono, como resultado de una combustión incompleta pueden formarse compuestos parcialmente oxidados de alta complejidad y muy contaminantes.

El gas natural se adapta muy bien a la combustión de motores de alta relación de compresión, tiene muy buena resistencia a la detonación, se mezcla de forma homogénea con el aire, por su composición molecular de un solo átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógenos, se produce una combustión más completa, libre de hollín y con menos producción de contaminantes como monóxido de carbono (CO), Hidrocarburos (HC), y CO₂ generador del efecto invernadero. Si por alguna razón se presenta una combustión incompleta, los hidrocarburos hallados en el escape serán en su mayoría metano.

Estado en la Naturaleza

El gas natural existe en forma gaseosa a presión atmosférica debido a su punto ebullición sumamente bajo de alrededor de -161°C, es un gas incoloro e inodoro al que se le agrega olor para facilitar la detención de

fugas. El olor deberá ser evidente en cualquier momento en que la proporción de gas alcance 0.5% en el aire.

Poder Calorífico

Corresponde a la cantidad de calor que disipa la combustión de una cierta cantidad de combustible, la combustión completa de un metro cubico de gas natural genera 9,300 Kcalorias o 38,874 Kjoule, para el gas natural extraído de Camisea el valor del Poder calorífico varía entre 8,300 Kcalorias/M³ y 10,000 Kcalorias/M³, para los motores de combustión interna es muy importante saber la cantidad de energía que entrega un combustible por unidad de volumen, en ese aspecto la gasolina es el combustible que entrega más energía por unidad de volumen. No olvidemos que los motores de combustión interna son máquinas volumétricas.

Densidad de Vapor

La densidad del vapor es un tipo de medida del peso específico en que un volumen de gas se compara con una cantidad igual de aire. El aire se dice que tiene una densidad de vapor de 1.0. Cualquier número inferior a 1 es más liviano que el aire y cualquier número más alto que 1 es más pesado que el aire. El gas natural tiene una densidad de vapor de 0.68.

Ya que el gas natural es más liviano que el aire, subirá si se descarga en la atmósfera. Esto hace que el gas natural un combustible motor seguro.

En un accidente en que un componente de gas natural se rompa, el gas subirá rápidamente y se dispersará, más bien que acumularse, evitando así un peligro de incendio.

En un caso similar el propano, más pesado que el aire, y también la gasolina o el diésel se acumulan a nivel del piso representando un peligro mucho mayor.

Límites de Inflamabilidad en el Aire

Para que un combustible queme, debe tener oxígeno presente en una relación apropiada. Una combinación de demasiado combustible y muy poco aire no quemará; así mismo, demasiado aire y muy poco combustible no lo harán. Podemos mostrar estos límites como un porcentaje de combustible que debe estar presente en un volumen de aire para que la combustión ocurra.

El límite inferior de inflamabilidad para el gas natural es 5%. Si hay menos de 5% de gas natural presente en un volumen de aire, no quemará.

El límite superior de inflamabilidad es 15%; cualquier cantidad mayor no quemará.

Temperatura de Encendido

Para que la combustión ocurra deben estar presentes tres elementos: combustible, oxígeno y una fuente de encendido. Para encender el gas natural la fuente de encendido debe ser de por lo menos 1200°F (649°C).

La temperatura de inflamación de la gasolina está alrededor de 600°F (315°C), alrededor de 50% de la del gas natural.

Velocidad de la Llama

La velocidad de la llama se mide en pies por segundo (fps) o metros por segundos (m/s) y es una medida de cuán rápido quemará un combustible.

La velocidad de llama del gas natural está alrededor de 0.67 m/seg; comparada a la velocidad de la llama de la gasolina de 0.85 m/seg, el gas natural quema más lento.

Cuando se determina el avance de encendido para un motor, es importante que se ajuste para que el combustible sea completamente quemado y las máximas presiones finales de la compresión sean alcanzadas alrededor de 10° - 15° DPMS. Esto aplica a cualquier motor de combustión interna.

Un combustible que quema más lento, debe encenderse antes de forma que termine de quemarse al mismo tiempo sin considerar el combustible usado.

Relación Estequiométrica de aire / combustible

La relación estequiométrica es la relación ideal de mezcla de aire / combustible para la cual todo el oxígeno y todo el combustible se utilizan en el proceso de combustión. Las relaciones estequiométricas de algunos combustibles son las siguientes:

- Gasolina 15.1:1
- Propano (GLP) 16.2:1
- GNV aproximadamente 17.1:1

El que la relación ideal del aire / combustible para el gas natural (17.1:1) sea superior a la de la gasolina (15.1:1) significa que se requiere más aire para quemar 1 lb. de gas natural que para quemar 1 lb de gasolina.

La cantidad de aire requerida para quemar un volumen de combustible es crítica para la operación del motor.

La cantidad del aire que un cilindro del motor puede admitir está limitada por el desplazamiento y el rendimiento volumétrico del cilindro. En un motor, se puede limitar la cantidad de aire que ingresa en un cilindro cerrando la válvula estranguladora del acelerador, pero no se puede aumentar la cantidad de aire tomada más allá de los límites físicos del cilindro. Además, a medida que se requiere más aire para quemar un combustible, la cantidad de combustible posible de introducir en el cilindro será proporcional a la masa de aire.

De acuerdo con lo anterior, físicamente el volumen de gas natural que se podrá introducir en un cilindro será menor que el de la gasolina y

teniendo en cuenta que el gas natural tiene un contenido de energía inferior, la potencia del motor obtenida con gas natural será menor.

A pesar de sus diferencias, la cantidad de pérdida de potencia por el uso de gas natural en reemplazo de la gasolina está entre el 10 y el 20%, rango en el cual no debería percibirse por el conductor, excepto en operación con carga muy alta y/o en operación con el acelerador

Resistencia a la Detonación por Compresión

La resistencia a la detonación del gas natural es un 25% aproximadamente mayor que la gasolina, para cuantificar la resistencia a detonación del Gas Natural se usa como medida el Numero de Metano (NM), el NM es el numero normalizado para caracterizar la capacidad del gas natural para no llegar a producir detonación en los motores, se mide como la detonación que produce el combustible comparada con los patrones de referencias conocidos. El Numero de Metano (NM) es conceptualmente igual que el Numero de Octano (NO), es decir NO es :

$$NO = 0.67 * NM + 73.2 \quad (\beta)$$

El número de metano del Gas natural de Camisea es de 75, según la expresión (β), el gas natural tiene una resistencia a la detonación de 123.45 Octanos, tal como en la expresión (α).

$$NO = 0.67 * (75) + 73.2 = 123.45 \quad (\alpha)$$

Requerimiento de Encendido.

En un motor de encendido por chispa el sistema de encendido debe ser capaz de producir una chispa en la cámara de combustión y mantener la chispa hasta encender completamente la mezcla aire/ combustible.

Cada combustible tiene sus propios requerimientos de encendido. Es más difícil hacer saltar una chispa eléctrica entre separación de los electrodos de una bujía cuando la mezcla aire/combustible es pobre que cuando es rica, porque el aire tiene más resistencia eléctrica que el combustible. De igual manera es más difícil hacer saltar una chispa en una mezcla de aire / combustible donde se usa un combustible gaseoso, debido a que los gases no se ionizan tan fácilmente como lo hace la gasolina.

El calentamiento de la fuente de encendido también es muy importante la temperatura de Ignición del combustible. La gasolina requiere alrededor de 600°F (315°C), y el GNV alrededor de 1,200°F (649°C), aproximadamente dos veces la temperatura requerida por la gasolina.

Por los anteriores factores, los requisitos de encendido de los motores son más exigentes cuando se operan con gas natural. Los sistemas de encendido de alta energía que actualmente se utilizan en los motores de gasolina (encendidos electrónicos integrados) pueden manejar estos requerimientos, pero deben mantenerse en sus condiciones ideales de operación.

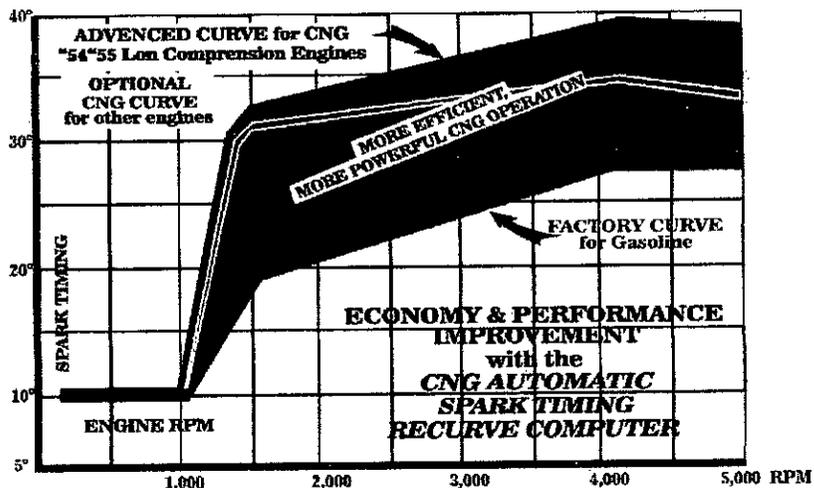
Requerimiento del Ajuste del Encendido

El avance inicial del encendido y la totalidad de la curva de avance tendrá que modificarse cuando se utiliza gas natural o cualquier otro combustible alternativo, esto se debe a que cada uno tiene una determinada velocidad de propagación de la llama, la propagación de la llama del gas natural es más lenta que la de la gasolina, esto quiere decir que el GNV toma más tiempo para encender, entonces se debe comenzar a quemarla antes de la mezcla aire /GNV, la cantidad de aumento de avance de tiempo será diferente con respecto a la gasolina.

En el Gráfico GNV, se muestra el avance del encendido con respecto al régimen de giro cuando el motor funciona a gasolina y gas natural, lo que se nota en este gráfico es que cuando el motor se encuentra girando por debajo de las 1,000 RPM el avance del encendido en Gasolina y GNV no hay mucha variación, la diferencia no es muy significativa.

Cuando la velocidad del motor supera los 1,000 RPM y está operando a GNV, la curva de avance de encendido se incrementa para compensar la menor velocidad de combustión, este mismo factor hará cada vez más necesario que los fabricantes de motores a gasolina desarrollen motores que funcionen a gasolina y gas natural, ya que los motores modernos para alcanzar menores niveles de emisiones, operan con sistemas de encendido y alimentación de circuito cerrado controlados por computadora, de este modo los cambios de avance serán realizados por

controles electrónicos fabricados para cada combustible y vehículo en particular.



(Figura 5.1-5C). La cual se muestra la variación del grado de avance de la chispa en función de las RPM para el motor funcionando a gasolina y gas natural (Estudio de Consultoría en Gas Natural Vehicular Ministerio del Ambiente Republica de Colombia).

De acuerdo a la figura 5.1-5C nos muestra que después de las 1,000 RPM, el avance del encendido aumenta, cuando llega a 1,500 RPM el avance del encendido funcionando en GNV es de 12° más con respecto al avance funcionando el motor a gasolina y se mantiene en ese mismo intervalo hasta las 5,000 RPM.

PARAMETROS	COMBUSTIBLE	
	GASOLINA OCTANOS 95	GNV (75 METANOS)
(PODER CALORIFICO) _m	41 $\frac{\text{Mjoule}}{\text{Kg}}$	49.83 $\frac{\text{Mjoule}}{\text{Kg}}$
(PODER CALORIFICO) _v	28,700 $\frac{\text{Mjoule}}{\text{M}^3}$	38.87 $\frac{\text{Mjoule}}{\text{M}^3}$
Densidad Relativa	0.7	0.65
Densidad a 15°C , 1 Bar	700 $\frac{\text{Kg}}{\text{M}^3}$	0.78 $\frac{\text{Kg}}{\text{M}^3}$
RESISTENCIA A LA DETONACION	95 OCTANOS	75 METANOS (Equivalente a 123.45 Octanos)
LIMITE DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN	11 : 1	13.5 : 1
RELACIÓN ESTEQUIOMETRICA	15 a 1	17.1 a 1
TEMPERATURA DE ENCENDIDO	315°C	649°C
VELOCIDAD DE LA LLAMA	0.85 $\frac{\text{Metros}}{\text{Segundo}}$	0.67 $\frac{\text{Metros}}{\text{Segundo}}$
Limite de Inflamabilidad (% Volumen de Aire)	1.4 a 7.6 %	5 a 15 %

Tabla 5.1-5C (Donde se muestra las propiedades del gas natural y la gasolina, parámetros para tener presente cuando el motor funcione a GNV).

Por lo observado en la tabla 5.1-5C en la cual se muestran las propiedades del GNV y la gasolina, como se mencionó anteriormente el motor de combustión interna es una maquina volumétrica, es muy importante el contenido energético de la mezcla aire/combustible por unidad de volumen que ingresa a la cámara de combustión, vemos que la gasolina tiene un poder calorífico por unidad de volumen de 28,700 MJoule/M³, en desventaja con el GNV que tiene un poder calorífico por unidad de volumen de 38.37 MJ/M³, notamos que la velocidad de propagación de la llama en el GNV es también menor, la temperatura de encendido del GNV es el doble que el de la gasolina, estos son los principales factores porque disminuye la potencia en motores de gasolina

convertidos a gas natural, las condiciones para el encendido de Aire/GNV son más difíciles es por ese motivo el adelanto del encendido, y para estas condiciones se requiere de mayor de temperatura en la carrera de compresión del motor.

Detonación.

En un motor operando con gas, la combustión no se presenta inmediatamente en toda la mezcla aire/gas, como en un motor diesel, por ejemplo, en el que todas las gotas de combustible encienden debido a la presión y la temperatura de la cámara de combustión. La combustión de la mezcla aire/gas empieza por una chispa, y la llama toma un cierto tiempo para cruzar la cámara de combustión, encendiendo la mezcla, y aumentando la presión en la parte no alcanzada por el frente de llama.

Durante la detonación, una parte de la mezcla ya quemó, y una parte espera ser quemada. La parte no quemada, llamada "gas muerto", es calentada por la compresión debida a la expansión de la parte de la mezcla que se quema, y por las radiaciones de calor del propio frente de llama. Si la temperatura y la presión exceden algunos valores críticos, la parte no quemada se enciende espontáneamente antes de que el frente de llama la alcance. Esta pre-ignición provoca ondas de presiones elevadas, que rebotan sobre las paredes, y dando el ruido característico de la detonación, golpeteo o picado. Este fenómeno trae consigo un rendimiento malo del motor, una pérdida de potencia y dificultades

térmicas y mecánicas anormales y peligrosas para el mantenimiento del motor.

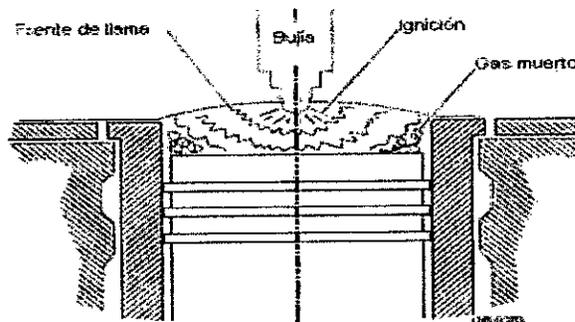


Figura 5.1—10 Representación del Fenómeno de Detonación.

5.2 ANTECEDENTE Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Perú el año 2,008, se comenzó con la conversión del sistema de combustión motores a gasolina para que usen GNV, se hacía mediante kit de tercera generación, este kit presentaba algunas deficiencias al instalarse en vehículos con motores de inyección con control electrónico, como es el caso del presente motor en estudio, a continuación detallo los problemas que presentaba los vehículos convertidos con kit de tercera generación en motores de control de inyección electrónica.

-No hay un control preciso de la dosificación del gas con respecto al aire, muchas veces el lazo cerrado no funcionaba bien y no había un control del motor paso a paso, y este mecanismo era él quien controlaba la entrada de gas hacia el mezclador.

-Se producían contra explosiones en el múltiple de admisión, llegando a dañar la base de filtro de aire, en los vehículos modernos que estaban equipado con múltiples de admisión de bakelita.

-Se debe regular con frecuencia, cada vez que se cambiaba filtro de aire.

-Control del tiempo de encendido no es preciso con el emulador.

-Los motores con equipos de conversión de tercera generación no tienen un sistema de electrónico de control permanente y los emuladores no siempre se adecuan a la electrónica del motor por lo que originaba el encendido del check engine en el tablero del vehículo, se tenía que reiniciar la computadora del motor del vehículo.

Es decir un sistema de combustión usando GNV de tercera generación, no tiene un sistema de control de combustible preciso, de acuerdo a la carga del motor, las rpm, cantidad de aire que se aspirado y demás parámetros de control del motor. La dosificación no era la correcta al no variar de acuerdo a los cambios de operación o cambios en el filtro de aire.

-También hay que tener en cuenta que el motor del vehículos a gasolina no han sido diseñado para usar como combustible gas natural, como se sabe el gas natural tiene propiedades térmicas y físicas diferentes a gasolina, el gas natural tiene mayor resistencia a la detonación, la velocidad de propagación de la flama es mucho menor que el de la

gasolina, por este motivo se tiene que ajustar el sistema de encendido para funcionar con este combustible alternativo.

-La gasolina ingresa a la cámara de combustión como micro gotas, no está totalmente vaporizada , al evaporarse enfría las partes que toca, como las válvulas y la cabeza del pistón, además cuando esta líquida actúa de alguna manera como lubricante, el gas carece del efecto enfriador , ingresa como gas seco y ocupa mayor volumen relativo, entonces entrara menor cantidad de aire a los cilindros, es decir el motor tiene menor eficiencia volumétrica , por este motivo el motor convertido a GNV tiene un 13% menos de potencia a comparación con su uso a gasolina.

- Relaciones de compresión inapropiadas. Cada combustible cuenta con una relación de compresión con la cual este no experimenta auto ignición o detonación y alcanza su desempeño óptimo. Los motores a gasolina se fabrican para trabajar con relaciones de compresión aproximadamente hasta de 11 a 1 mientras que la ideal para trabajar con gas natural es de 13 a 1.

Los motores de combustión interna a gasolina equipados con sistemas electrónicos de inyección de combustible, cuentan con instrumentos que censan la cantidad de oxígeno presente en los gases de escape y partir de dicha cantidad regulan el flujo de gasolina con el cual se está alimentando el motor, para mantener las emisiones contaminantes en

niveles permisibles. También cuentan con instrumentos que censan la presión absoluta existente en el múltiple de admisión y partir de dicha presión regulan el flujo de gasolina con el cual se está alimentando el motor, para lograr un buen desempeño del mismo a la carga a la que esté sometido. Estos sistemas no funcionan cuando el motor convertido a GNV con Kit de Tercera Generación.

5.2-1 Tecnología usadas anteriormente para la conversión de vehículos a gas natural (tercera generación).

En el Perú los vehículos automotrices vienen utilizando como combustible gas natural del año 2,005 , en aquel entonces se disponía de 02 Kit de instalación uno para vehículos con carburador (tercera generación) y vehículos con inyección electrónica (quinta generación), estos kit de instalación aspiraban el gas natural a través de un mezclador de aire/combustible tipo Venturi.

En nuestro país existen actualmente 03 tecnologías aplicadas para la conversión de vehículos a gas natural, aprobadas por el Ministerio de Producción:

- Equipos Aspirados (vehículos carburados sin catalizador)
- Equipos Aspirados con Control Sonda Lambda (vehículos inyectados)
- Equipos de Inyección Secuencial Multipunto. (Vehículos inyectados con control electrónico en el múltiple de admisión.).

Equipos Aspirados (Para Motores con Carburador) o Tercera Generación

En estos equipos el gas es dosificado en función a la depresión que genera en el motor, esta depresión es captada en el ducto de admisión o en la toma de aire del carburador, en esta toma de aire del carburador se le instala un mezclador, el gas llega desde el reductor, el reductor tiene como función reducir la presión de almacenamiento del gas de 200 bares a 1 bar aproximadamente, y con esta presión el gas llega al mezclador, donde el aire y gas se juntan antes de la mariposa de aceleración. Este equipo tiene un regulador de tornillo para el control del flujo de gas y tratar de obtener una mezcla estequiometría

Además este equipo tiene un variador de avance del tiempo de encendido, que es un dispositivo electrónico que permite variar el punto de encendido original del motor cuando funciona a gasolina y lo adelanta cuando se utiliza GNV, optimizando el funcionamiento del motor sin modificar el encendido original.

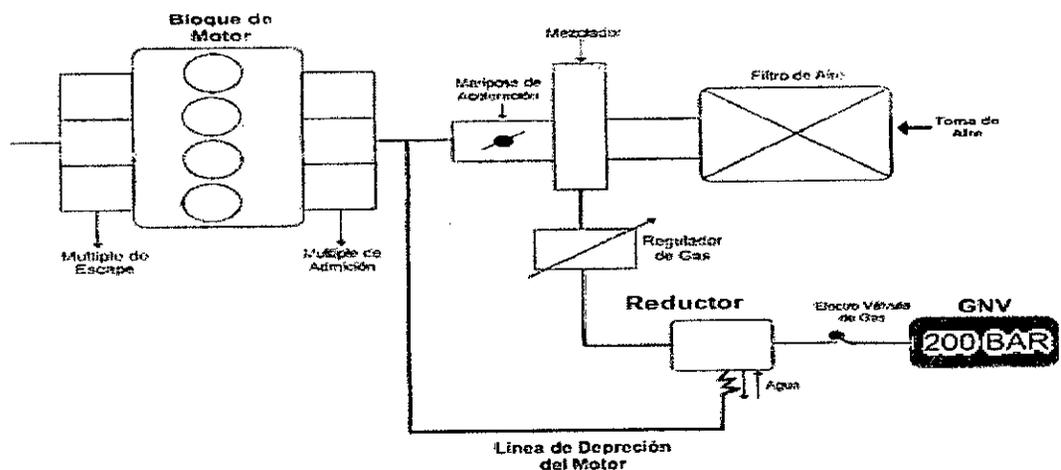


Figura 5.2 -1 Diagrama de Flujo Equipos de Conversión Aspirados (Tercera generación)

De acuerdo a la figura 5.2-1, la línea azul representa el flujo de gas natural, desde el cilindro de almacenamiento pasa por el reductor de presión, llega hasta mezclador, la línea roja del diagrama representa la presión de vacío del motor, esta presión de vacío es necesario para el funcionamiento del reductor, el cual por diferencia de presión del vacío del motor y la presión atmosférica activan el diafragma del reductor para la expansión del gas.

Equipos Aspirados (Para Motores con Control Electrónico de Inyección)

Estos kit de instalación siguen usando mezclador, la ruta del flujo del gas es la misma que en los equipos anteriores, si no que estos kit de instalación tienen accesorios electrónicos que son los siguientes:

-Emulador de Inyectores (dispositivos que se encargan de cortar la señal de los inyectores de combustible, cuando el motor funciona a gas).

- Emulador Sonda Lambda (Emula la señal del sensor de oxígeno, impidiendo que se encienda la luz de fallas (check engine) debido a problemas en la mezcla.

Variador de Avance de Encendido- es un dispositivo electrónico que permite variar el punto de encendido original del motor cuando se utiliza GNV.

Equipos de Inyección Secuencial de Gas (Quinta Generación).

Este kit de instalación ya no trae mezclador, no depende de la depresión del motor para la dosificación de gas, este tipo de kit de instalación tiene electroválvulas por cada cilindro, instaladas cerca de la válvula de admisión en el ducto de admisión, estas electroválvulas son controladas por una unidad de control electrónica, la cual procesa los pulsos de los inyectores a gasolina teniendo en cuenta la condición del gas, la cantidad de gas que se inyecta está en función de la carga del motor, RPM, y las condiciones de funcionamiento del motor, con este sistema lo que se busca es tener mezclas estequimétricas, reducir el nivel de emisiones, el motor tiene un funcionamiento en gas natural algo similar funcionando a gasolina. Este el kit de instalación que se utilizó en el presente trabajo para la conversión motor Hyundai a GNV. Se dará más detalle de este kit de instalación más adelante.

5.3 Planteamiento y Alcance del Problema

Como se menciona en el texto anterior la deficiencia que presentaba los kits de tercera generación, en vehículos con motores control electrónico de la inyección, no tiene un control preciso del gas en función de la cantidad de aire que ingresa al motor y la carga del motor, con estos equipos la eficiencia volumétrica disminuye, especialmente a alta velocidad, debido porque el múltiple de admisión se diseñan solo para que ingrese aire y al instarle este kit, el múltiple de admisión transporta aire y gas es por este motivo que ingresa menos aire a la cámara de combustión, además el GNV ocupa un volumen relativo mucho mayor, es por este motivo la pérdida de potencia, y un alto contenido de emisiones, en los motores convertidos a gas natural. El vehículo en el cual se realizó la conversión es un auto Hyundai del año 2012 con motor a gasolina, con sistema de distribución variable de válvulas, encendido COP (coil on plug), Inyección Electrónica.

Como se mencionó en subcapítulo 5.2, los equipos con control sonda lambda, no son lo más apropiados para ser instalados en los vehículos con motor con control electrónico de la inyección.

Los motores con control electrónico de la inyección desarrollados, para reducir los niveles de emisión, una computadora (ECU) es la encargada, por medio de un software cartográfico y de las informaciones de varios sensores, de comandar la dosificación de combustible y otros parámetros,

a fin de optimizar el rendimiento y reducir las emisiones. El control de emisiones surge de un lazo de retroalimentación negativo que permite según una medición permanente del oxígeno presente en los gases de escape (sonda lambda o sensor de oxígeno), ajustar la inyección de la gasolina. Se busca así que los gases de escape, sean mantenidos en un orden de magnitudes admisibles. También para que el catalizador pueda llevar a cabo su función en forma eficiente (completar los procesos de oxidación y reducción), para que la mezcla se mantenga estequiometría.

Cuando un auto de esta tecnología se convierte a gas con el sistema de sistema de equipos de tercera generación o equipos aspirados, el lazo cerrado de control deja de usarse, dado que la dosificación de combustible solo depende del flujo de aire de la admisión, esto genera en las conversiones:

- Altos Niveles de Emisión (hidrocarburos altos, mezclas ricas)
- Detonación.
- Explosiones en los Múltiples de Admisión y cajas de filtros aire.
- Constantemente tiene que estar regulando el equipo de gas.

5.4 Análisis y Solución del Problema

Lo que se busca es mantener inalterable las funciones básicas del motor , que la inyección del combustible alternativo este función de la carga , las rpm, la posición de la mariposa de aceleración , temperatura del motor , todas estas funciones se registran en la ECU- gasolina, en el kit de instalación la computadora del motor a gasolina se complementa con la ECU- GNV, para la activación de los inyectores de gas y el control del sistema de encendido, este kit de instalación se le conoce en el mercado nacional como "Equipo de Inyección Secuencial de Gas" , o Sistema de Quinta Generación, a continuación detallo el funcionamiento del kit de instalación de Quinta Generación a GNV.

Sistema Quinta Generación

La inyección de gasolina en un motor es dosificada por la ECU(unidad de control electrónico), a través de pulsos eléctricos que controlan el tiempo de inyección en la cámara de admisión en cada ciclo, la ECU genera un pulso de inyección, cuya duración depende del requerimiento de carga y condiciones de funcionamiento del motor. Es la ECU del motor quien decide cuanto combustible debe usarse en cada ciclo. Cuando se realiza la conmutación a gas , se anula la inyección de gasolina , la sustituye por la inyección de gnv, utilizando el mismo principio que el instalado en el vehículo esto es controlando un juego completo de electroválvulas inyectoras a gnv, una por cada cilindro, cada uno de estos inyectores es

controlado por la ECU de gas, las cuales son activados en sincronización con los pulsos de inyección a gasolina y el tiempo de apertura de cada inyector a gas es función del tiempo de inyección de gasolina generada por la ECU del motor, pero no igual. La diferencia entre el tiempo de inyección a gas y el de gasolina es justamente la corrección calculada por la ECU del Kit de conversión GNV en cada ciclo, dependiendo del estado del gas en ese instante.

Uno de los factores más importante en la decisión de la cantidad de combustible a inyectar es la lectura de la sonda lambda o sensor de oxígeno. La información proporcionada por el sensor de oxígeno ayuda a la ECU del vehículo a controlar la mezcla en su punto estequiométrico, si la mezcla resulta pobre la ECU incrementa más combustible, por el contrario si la mezcla resulta rica en el próximo ciclo se disminuye el incremento de combustible a través del pulso de inyección.

El objetivo de este sistema (quinta generación), es lograr que el funcionamiento en gas del motor del vehículo sea lo más parecido al funcionamiento en gasolina. Si el sistema está bien regulado, los tiempos de inyección a gasolina generados por la ECU del vehículo deberán ser relativamente iguales a la inyección de gas, para la mayoría de condiciones de funcionamiento del motor, este ajuste se logra mediante un programa de interface.

5.4- 1 Funcionamiento Del Sistema de Quinta Generación (GNV)

Este sistema dispone de una unidad electrónica (ECU-Gas), que se pone en serie al sistema de gasolina (ECU-Gasolina), es decir permite que también durante el funcionamiento a gas, sea todavía la ECU a gasolina a determinar la cantidad de carburante que hay que enviar al motor. También se puede decir que es un sistema pasivo o "Slave", la ECU de Gas actúa como interprete, entre el sistema de gasolina y la gestión del carburante gaseoso. El funcionamiento de este sistema se basa que estas computadoras se encuentran en serie para controlar el sistema de inyección de combustible.

De esta manera, está reconoce el tiempo de inyección a gasolina (T_i). Durante el funcionamiento a gas, la señal de los inyectores será reconocida gracias a la presencia de la emulación de inyectores al sistema mismo. Gracias al " T_i ", y la señal de revoluciones del motor, la Ecu de Gas calcula el caudal de gasolina que la centralita originaria quiere suministrar al motor, la convierte en caudal de gas y la realiza piloteando apropiadamente los inyectores de gas.

Esta elección es muy importante, porque, como la centralita a gasolina está siempre constantemente operativa y pilotea ella misma la dosificación del gas, el sistema puede realizar en manera clara y transparente funciones como el control estequiométrico, el enriquecimiento a plena carga y el corte durante la deceleración (cut-off)

según los criterios previstos por la casa fabricante, la limitación del régimen máximo de rotación, la gestión coherente de la purga de vapores de gasolina, la correcta comunicación con el equipo de climatización, todo esto sin que se puedan manifestarse código de error aparece durante el funcionamiento a gasolina o gas.

Además, si el motor presenta problemas durante el funcionamiento a gasolina, estos los tendrán a gas también. Los inyectores de gas de baja impedancia están controlados por la ECU de Gas, considerando los parámetros físicos del gas (temperatura y presión absoluta), leído por la computadora en tiempo real.

Es importante subrayar que el tiempo de inyección a gasolina "Ti", es un parámetro preciso y precioso, ya que es fruto de cálculo efectuadas por el ECU de Gasolina sobre la base de una serie completa de específica de señales procedentes de varios sensores.

Puesto que las condiciones de temperatura y de presión del gas pueden variar según las condiciones de utilización del vehículo, el sistema está equipado con sensores de temperatura y con apropiados sensores de presión absoluta situados sobre la alimentación gaseosa de los inyectores y sobre el colector de aspiración. ECU de Gas de esta manera, puede adaptar en tiempo real sus cálculos y, sobre todo, puede operar correctamente también en presencia de grandes variaciones de estos parámetros.

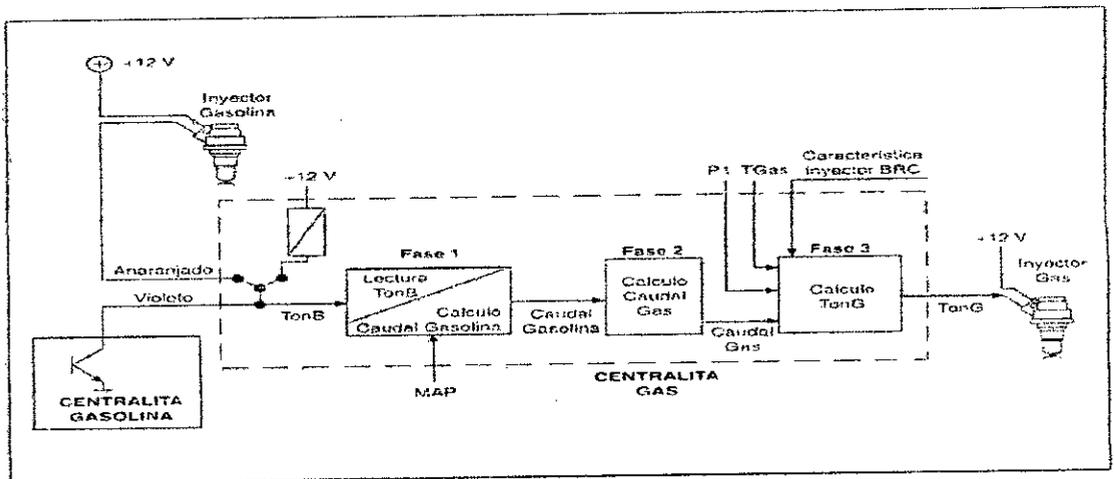


FIGURA 5.4-1 Se muestra como trabajan en serie la ECU de gasolina y la ECU de Gas(Manual del Instalador Sequence BRC 1/3)

El reductor utilizado tiende a mantener un diferencial de presión prácticamente constante entre la presión de salida del gas y el colector de admisión, exactamente como ocurre en la mayoría de los equipos a gasolina. Esto contribuye a optimizar el funcionamiento del sistema pero no es indispensable, dado que la electrónica de control actúa de manera mucho más rápida que lo que concierne la puesta en régimen de las presiones. Por ejemplo, luego de una brusca aceleración, la presión del reductor sube con un retraso de una fracción de segundos. Durante este tiempo, la Ecu de gas hace numerosos ciclos de cálculo y provee obviamente compensar cada retraso. La Ecu de gas además del programa general de funcionamiento del sistema, debe contener los datos específicos del modelo del vehículo sobre el cual se instala (se trata de un conjunto bastante complejo de mapas y de otros parámetros de calibración), el mecánico instalador puede obtener los datos de calibración por sí mismo, a través de un apropiado procedimiento de auto mapeado, conducido paso tras paso por el programa sobre el ordenador o por mapas desarrollados directamente por los técnicos. El ordenador sirve también como instrumento de diagnóstico para verificar el

correcto funcionamiento del sistema o para detectar eventuales anomalías.

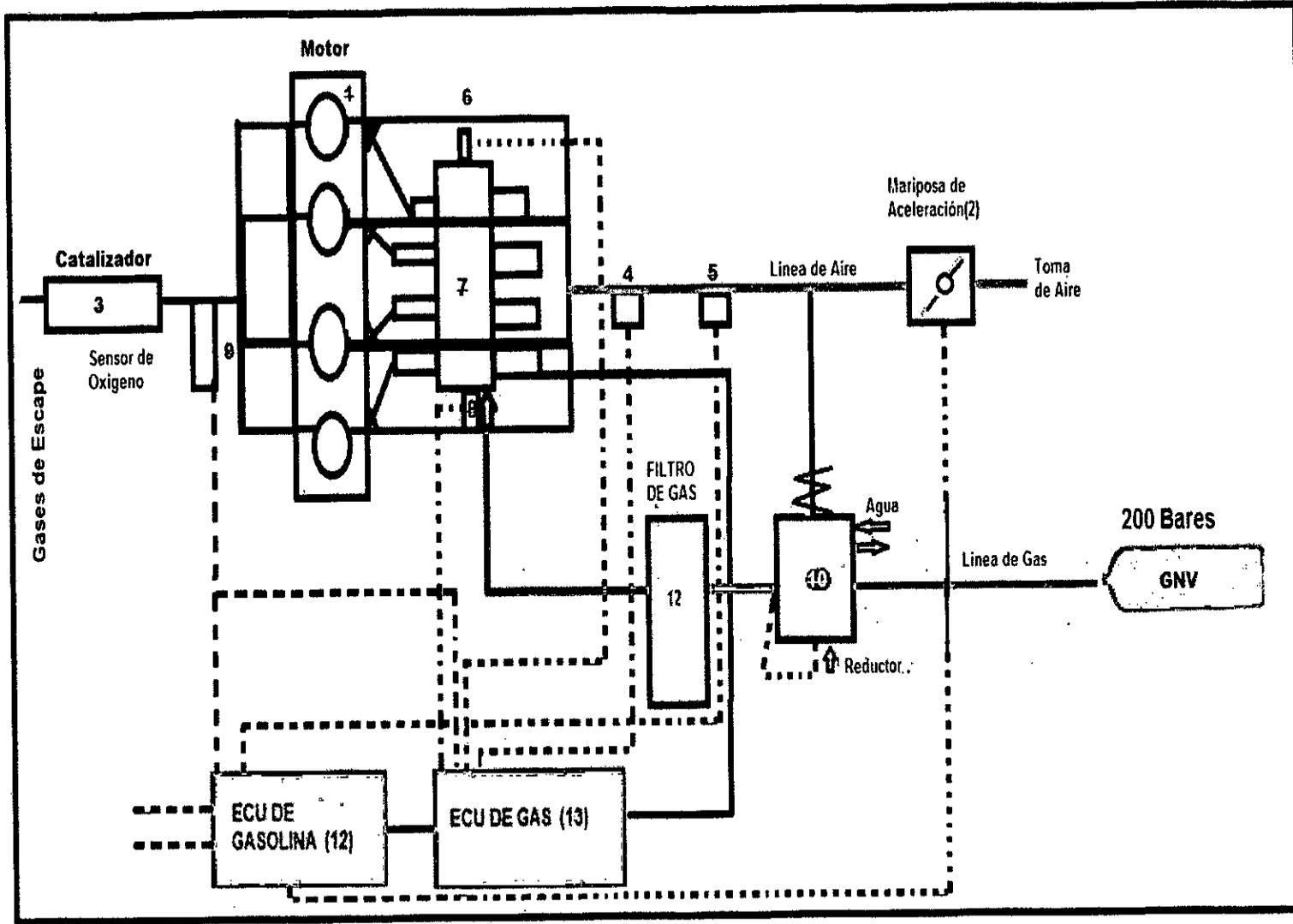


Figura 5.4-2 Diagrama de Flujo del KIT Secuencial GNV Instalado en el motor

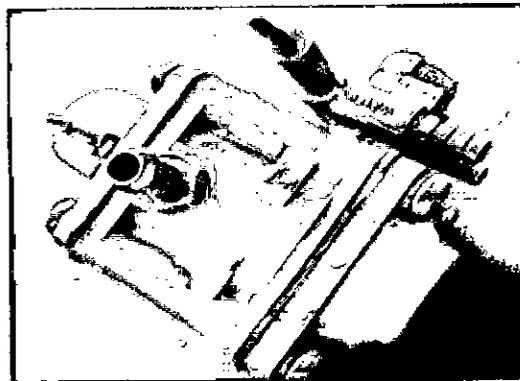
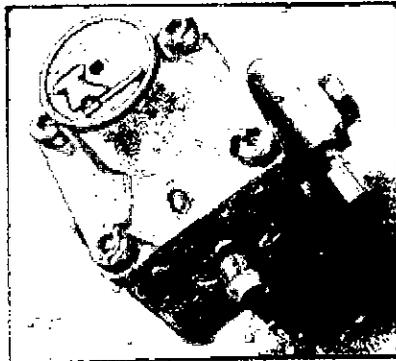
Leyenda del Grafico 5.4-2

1	Motor	8	Sensor Presión Gas
2	Mariposa (TPS)	9	Sensor de Oxigeno
3	Catalizador	10	Reductor
4	Sensor MAP (kit)	11	Filtro GNV
5	Sensor MAP (motor)	12	ECU GASOLINA
6	Sensor temperatura Gas	13	ECU GNV
7	Rampa Inyectores	-	-----

Reductor de Presión-Este componente reduce la presión de 200 bares, que el gas tiene en el cilindro de almacenamiento a 1.8 bares aproximadamente, con esta presión llega el gas al riel de inyectores, este componente se encuentra calefaccionado por el líquido refrigerante del sistema de refrigeración del motor, con el fin de suministrar calor que el salto de presión requiere y evitar el congelamiento.

Reduce la presión en dos etapas, la primera, de regulación fija, baja la presión de 200 bares a 4 bar, la segunda regulación es variable de 4 a 1.8 Bar .Ambas etapas trabajan mediante un diafragma de goma y sus respectivos resortes antagónicos .El reductor se encuentra realimentado mediante la presión de la admisión del motor, que actúa sobre el diafragma de su segunda etapa, en forma antagónica al resorte. Esta realimentación hace variar la presión del regulador o reductor disminuyéndola para regímenes estables, y aumentadoras ante las

variaciones de presión de presión en la admisión del motor (aceleraciones).



5.4-3 Reductor de Presión del Kit de Quinta Categorical (Secuencial).

Fotografías del autor.

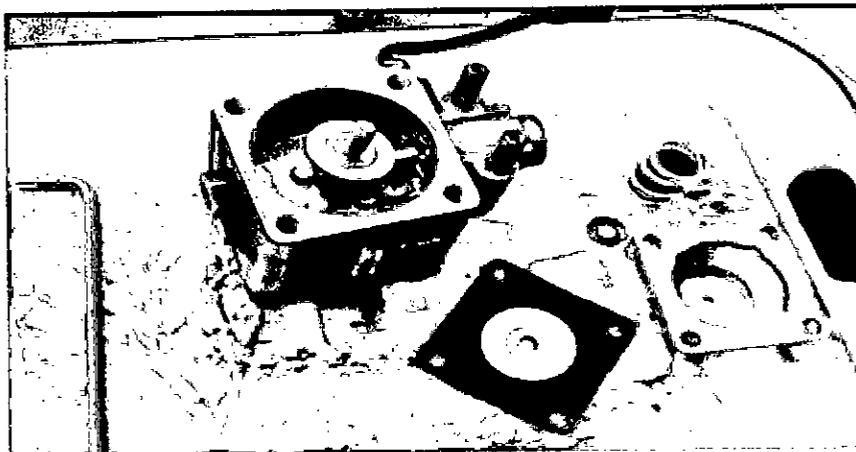


Figura 5.4-5 Reductor desarmado con sus partes internas. Fotografías del autor.

En la figura 5.4-5 se muestra el reductor desarmado en la cual se nota el diafragma con su resorte, se nota en el cuerpo de reductor 02 entradas de agua, el cable es el sensor de temperatura de gas.

Rampa de Inyectores de Gas , Contiene los inyectores de gas en grupo de 04, cada inyector cuenta con un paso calibrado en su interior que permite regular el caudal de gas, el inyector funciona como una electroválvula, mediante una manguera y un pico fijado al múltiple de admisión del motor cerca a la admisión, suministra el gas abriendo y cerrando según los pulsos eléctricos que recibe de la ECU de gas

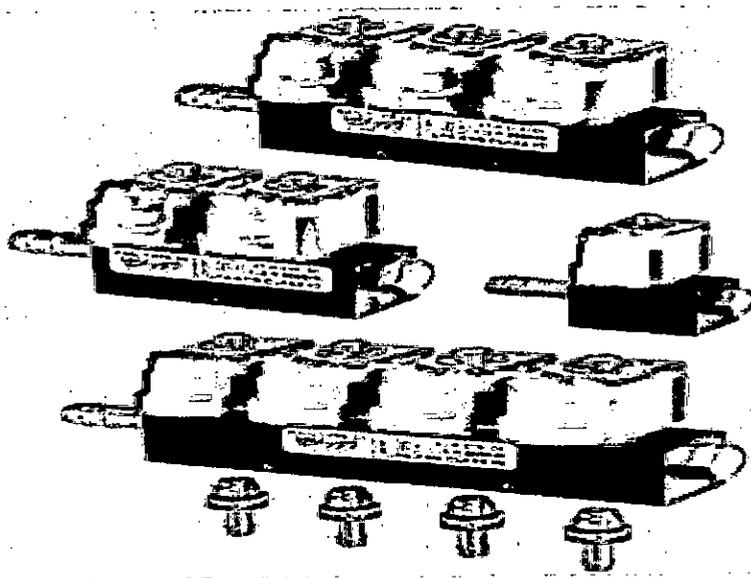


Figura 5.4-6 Riel de Inyectores de Equipos Secuenciales (Quinta Generacion).Manual de Partes BRC.

ECU de Gas (Computadora de GNV)

El principio con el que esta computadora determina los tiempos de inyección, de los inyectores de gas se basa en la obtención de la señal de

los inyectores a gasolina, durante la operación a gas, el cual tiene incorporado los emuladores de los inyectores de gasolina.

Por lo tanto, el control del motor se realiza por la ECU de gasolina, mientras que la ECU de gas debe ocuparse de transformar las señales de la ECU de gasolina, para ser luego usada por la ECU de Gas, desde el punto de vista para mantener una perfecta coherencia con el sistema de gasolina, La ECU De Gas realiza la inyección de gas en el propio cilindro sobre el cual se obtuvo el tiempo de inyección relativo a la gasolina.

Podemos decir que la ECU de gas convierte una determinada cantidad de energía, que debería ser liberada por medio de la gasolina, en una cantidad correspondiente de energía que será efectivamente liberada por gas.

La conversión de los tiempos de inyección de gasolina, para los tiempos de inyección a gas se elaboran en una serie de parámetros, obtenidos por la ECU de gas, más allá de los tiempos de inyección de la gasolina, como por ejemplo la presión de gas en rail de inyectores, la temperatura del gas, la temperatura del agua del motor, y el voltaje de la batería

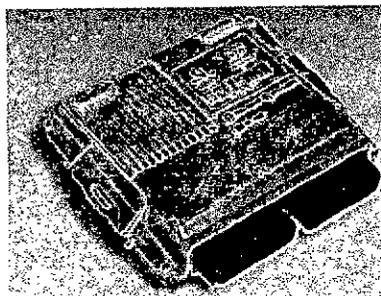


Figura 5.4-7 Se muestra la ECU de Gas, para un motor de 04 cilindros. Manual de Partes BRC.

El Conmutador

Selecciona el combustible a usar, puede ser gasolina o GNV, es dimensiones reducidas, se instala cerca del tablero de instrumentos y el timón del vehículo, en una zona visible para el conductor, es suficiente efectuar un agujero para permitir el pasaje de los hilos eléctricos, y el encaje del mismo conmutador, tiene un indicador de nivel de carburante(GNV)

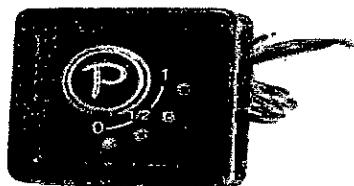


Figura 5.4-8 Conmutador. Manual de Partes BRC

Pico de Carga Interno

El pico de carga interno es la pieza donde se introduce el gas, en la estación de servicio, pose un soporte específico y debe quedar montado en forma segura, pues es la parte del sistema sometida a mayor maltrato. Dispone de una válvula de retención para evitar el retorno del gas al exterior una vez realizada la carga del mismo al vehículo. Se localiza sobre una de los laterales del compartimiento del motor, lo más cercano al reductor de presión, y a la mayor altura, para un fácil acceso de necesitar ser manipularla, alejado de la batería y terminales que pueden producir corto circuito. El pico de carga interno está unido a la válvula de carga. Las cañerías de gas

que vinculan la válvula de carga con los demás elementos deben estar dotadas de sus respectivos rulos anti-vibratorios.

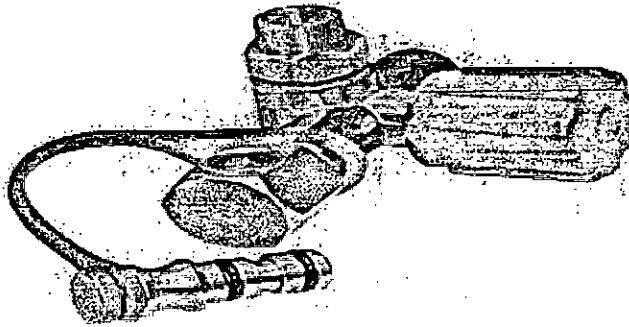


Figura 5.4-9 Pico de carga interno, con válvula de servicio. Manual de Partes BRC

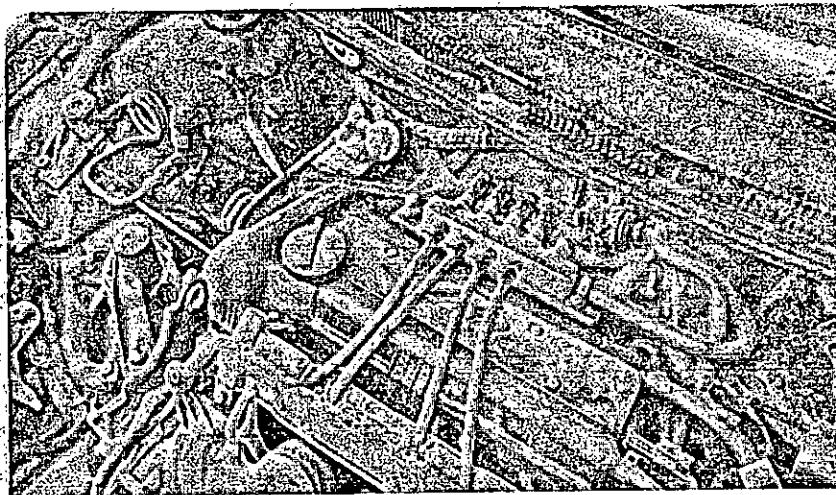


Figura 5.4-10 Válvula Pico de carga instalada en el habitáculo del motor, con sus respectivo rulo anti-vibratorio, junto al reductor de presión. Fotografía del Autor

Válvula de Carga

La válvula de carga tiene como función la restricción total, en forma manual, del paso de gas desde los cilindros al reductor y al pico de carga (circuito de alta presión). Se usa en forma manual en caso de pérdidas por falla de la válvula de retención del pico de carga o la zona del reductor.

Posee dos salidas donde se conectan dichos circuitos que terminan en los picos de carga interno y externo. Está válvula consta de un sistema de seguridad el cual se activa cuando hay un aumento de presión en el cilindro, o cuando se produce un aumento considerable de la temperatura. El sistema consiste en un disco de estallido que opera a 340 bares, con una tolerancia de +0 a -34 bares, y un fusible de temperatura que opera a 100°C. También cuenta con un dispositivo que, ante el caso de pérdida o rotura de la cañería de alta presión, limita la salida del gas del cilindro aun 10 %.

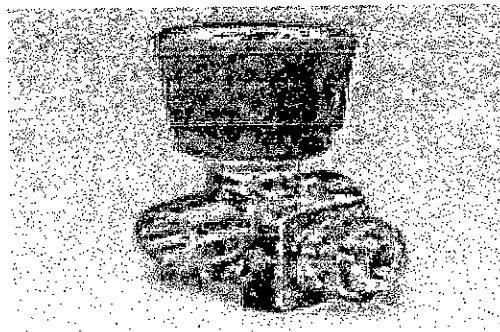


Figura 5.4-11 Válvula de carga interna. Fotografía del Autor

Manómetro

Es el encargado de medir la presión existente en el cilindro contenedor y, por lo tanto, el nivel de carga del mismo, cuenta con un dispositivo electrónico que envió la señal a la llave conmutadora en el interior del habitáculo del vehículo para indicar, por medio de leds (diodos luminosos), el estado de carga del cilindro.

El manómetro se monta sobre el reductor de presión, en una "T" dispuesta para este fin, se instala normalmente junto a la válvula de carga. Se debe colocar de modo tal que su lectura sea de fácil y cómoda, fundamentalmente durante la operación de carga o llenado.

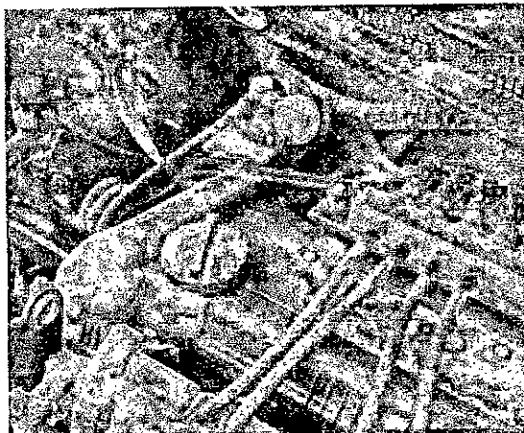


Figura 5.4-12 Se muestra el manómetro en el reductor de presión. Fotografía del Autor

Cilindro Contenedor GNV

La función del cilindro es de almacenar el gas a una presión de 200 bares para lograr una autonomía aceptable. Consta de un orificio roscado de salida, donde se coloca la válvula de cilindro o servicio.

El cilindro contenedor es uno de los elementos más críticos del sistema de gas, el cilindro contenedor tiene su propia norma que rige los parámetros de su utilización, esta norma es la NTP 111.013, los cilindros de almacenamiento se pueden encontrar en múltiples tamaños, pesos y diseños, pero como regla general se puede adoptar que mientras más livianos sea el cilindro más será su costo, los cilindros de acuerdo a la NTP 111.013, están divididas en :

*TIPO GNV1- Los cilindros metálicos sin ningún tipo de recubrimiento especial, estos cilindros pueden ser fabricados de acero aleado con

aluminio o con silicio, y grano fino. La siguiente tabla presenta los contenidos máximos de azufre y fósforo, que deben presentar los cilindros de este tipo.

Resistencia a la Tracción.		<950 Mpas	=>950 Mpas
NIVEL DE :	Azufre	0,020%	0,010%
	Fósforo	0,020%	0,020%
	Azufre + Fósforo	0,030 %	0,0250%

Tabla 5.4-1 Contenidos máximos de de azufre y fósforo. (Normas Tecnicas Peuanas NTP 111.013 Cilindro GNV1).

De acuerdo a la NTP111.013, los fabricantes de los cilindros deben asegurar una vida útil de los mismos, en condiciones de servicio estándar, de 20 años, para los cilindros metálicos y cilindros internos metálicos, está vida útil se basa en la tasa de crecimiento de las fisuras por fatiga. Estas fisuras deben detectarse a través del ultrasonido o algún otro método de ensayo no destructivo.

La válvula de servicio debe quedar en una posición que permita un fácil acceso a la misma. Los cilindros deben estar instalados sobre cunas - soportes diseñadas especialmente para este efecto, estas cunas deben estar fijadas al chasis y/o a la carrocería del vehículo, reforzando los anclajes en caso de ser necesario, para evitar deformaciones en la estructura del vehículo (piso, caja, etc.). La instalación del cilindro sobre los soportes se realiza intercalando entre ellos juntas de goma, a fin de evitar el deterioro del mismo, en el caso de los cilindros montados debajo del piso del vehículo, la válvula debe estar siempre orientada hacia atrás

del mismo, y tener despeje del piso no menor de 225mm. Los cilindros montados dentro del baúl del vehículo, deben estar lo más alejado posible de los parachoques traseros. Los soportes generalmente están contruidos de acero, soldados y pintados con anti óxido de color negro mate, y toda modificación que sea necesaria realizar, como corte, soldadura, etc., deberá ser pintada con anti oxido negro mate.

Cilindro y cuna de Sujeción

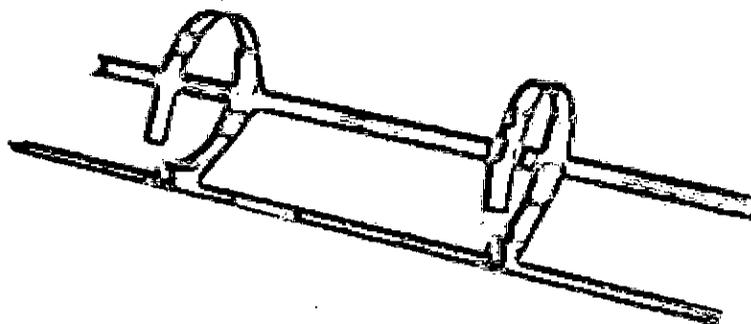
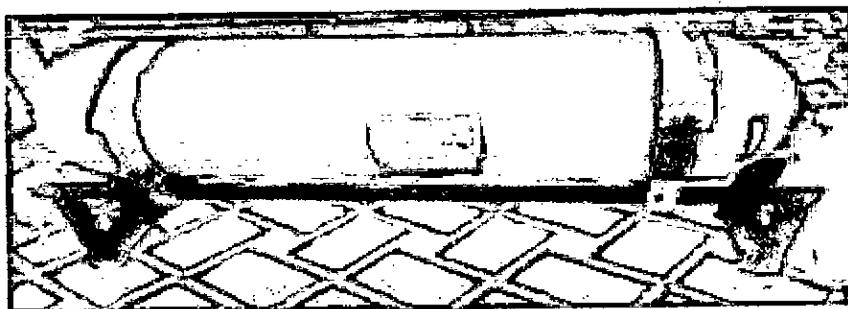


Figura 5.4-113 Cuna de sujeción de Cilindro



Figura 5.4-14 Cilindro instalado en el vehículo con su respectiva cuna de sujeción, fotografías del autor.

Válvula del Cilindro

La válvula del cilindro tiene por objeto el corte manual, del suministro de gas a los circuitos de alta presión. La válvula de cilindro se instala roscándola en la salida del cilindro de almacenaje. Previamente se deberá colocar aproximadamente 20 vueltas de cinta de teflón y sellador anaeróbico, el ajuste de esta válvula debe realizarse antes de la instalación del cilindro en el vehículo.

Para un correcto montaje debe colocarse el cilindro a una cama externa que lo sujete firmemente para aplicar, mediante un taquímetro, un torque de 15 Kg.m.

5.4- 2 Análisis Térmico del Motor Gasolina /GNV)

a)-Reacción química de la gasolina (C₈H₁₈) Isooctano ,gasolina

con poder calorífico Inferior (48, 000 KJ/Kg).



Para determinar el factor de dosado, se tiene que determinar la masa exacta de aire y combustible esos datos lo obtenemos de la reacción química número uno, el aire lo conforman los números de moles de oxígeno y nitrógeno.

$$\text{Masa de aire} = ((12,5(32) + 47(28))) = 1716 \text{ gr.}$$

$$\text{Masa de combustible} = ((8 \times 12 + 18)) = 114 \text{ gr.}$$

La relación entre el número de masa del combustible y de aire es el factor de Dosado (F).

$$F = \frac{Mc}{Ma} = \frac{(\text{masa de combustible})}{(\text{masa de aire})} = \frac{114}{1716} = 0.066$$

Con este factor Dosado $F = 0.066$ lo tomamos de manera Inversa F^{-1} es 15,5, esto nos quiere decir que por cada gramo de gasolina se necesita 15,5 gr de aire, esta es la masa estequiométrica de aire exacta que se necesita para quemar un gramo de gasolina.

Según el libro de M.S JOVAJ (Motores de Automóvil) los motores de combustión interna encendidos por chispa, alcanzan su potencia máxima con factores de dosado enriquecidos en un 10%.

$$\frac{F_{\text{real}}}{F_{\text{teórico}}} = F \Rightarrow F_{\text{real}} > F_{\text{teórico}} \quad (\text{tenemos mezcla rica})$$

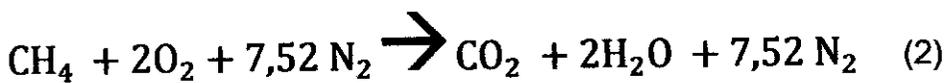
$$F_{\text{real}} < F_{\text{teórico}} \quad (\text{tenemos mezcla pobre})$$

$$F_{\text{real}} = F_{\text{teórico}} \quad (\text{tenemos mezcla estequiométrica})$$

Para el cálculo que se hará, usaremos como factor de Dosado $F = 0.071$ para determinar la potencia efectiva funcionando el motor a gasolina.

b)-Reacción química del gas natural vehicular (GNV).

El gas natural GNV con un 95% de Metano y poder calorífico 9,300 Kcal/M³



De la reacción química (2) se toma la masa de aire, y la masa de combustible.

$$\dot{M}_a == (2 \times (32) + 7.52 \times 28) = 274.56 \text{ gr.}$$

$$\dot{M}_c = (12 + 4) = 16 \text{ gr}$$

$$F = \frac{\dot{M}_c}{\dot{M}_u} = \frac{16 \text{ gr}}{274.56 \text{ gr}} = 0.0582 \quad F = 0.0582$$

$F = 0.0582$ (Factor de Dosado Estequiométrico para el GNV), si tomamos la inversa del factor de dosado $F^{-1} = 17,18$, Esto nos quiere decir que por cada gramo de gas natural que se quemase se necesita 17,18 gr de aire.

c)- Análisis Térmico del Motor

Torque máximo..... 137Nxm a 4.200 RPM
 Diámetro x carrera..... 77 x 75 (mm)
 Cilindrada total (cm³)..... 1,396 cm³

Relación de compresión..... 10.5 a 1

Número de cilindros..... 4

De acuerdo al ciclo teórico de los motores OTTO se tiene la siguiente expresión.

$$n_t = 1 - \frac{1}{r_k^{k-1}} \quad r_k = \text{relación de compresión}$$

k = Exponente Politropico

$$n_t = 1 - \frac{1}{10.5^{1.3-1}} = 0,5$$

$$n_t = 0,5 \text{ (eficiencia térmica teórica)}$$

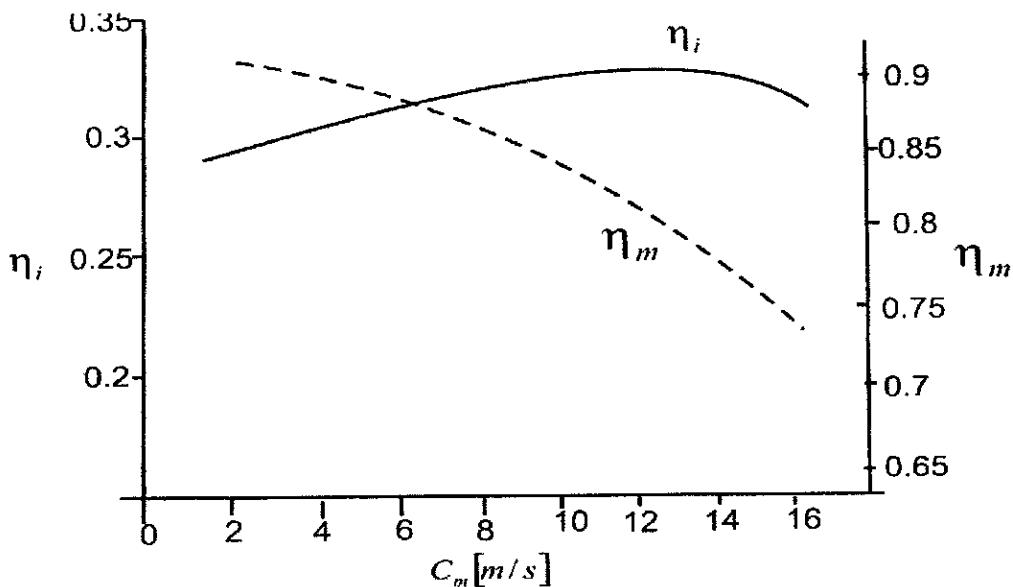
Para hacer el análisis del motor hay que tomar parámetros reales, entonces determinamos el valor de la velocidad del pistón para el torque máximo de acuerdo a las revoluciones de giro.

$$V_p = \frac{2 Ln}{60} \quad L = \text{carrera (0.075m)} \quad n = \text{revolución / minuto (4,200RPM)}$$

V_p = velocidad del pistón.

$$V_p = \frac{2(0.075)(4,200)}{60} = 10,5 \frac{m}{seg}$$

$$V_p = 10,5 \frac{m}{seg}$$



Cuadro 5.4-1C (Rendimiento Indicado y Mecánico en función de la velocidad lineal del pistón, en un motor encendido por chispa a plena carga (Francisco Payri, Motores de Combustión Interna Alternativo, Capítulo 7 (Perdidas Mecánicas pagina 153.)

Con el valor obtenido de la velocidad del pistón $V_p = 10,5 \text{ m/seg}$, se ingresa al cuadro N° 1, y se obtiene la eficiencia indicada, eficiencia mecánica.

Para $10,5 \frac{\text{m}}{\text{sg}}$ se tiene valores de $n_t = 0.35$, $n_m = 0.85$

$n_e = n_t \times n_m \Rightarrow n_e = \text{Rendimiento efectivo}$, $n_t = \text{Rendimiento térmico}$

$n_m = \text{Rendimiento mecánico}$

$$n_e = 0.35 \times 0.85 = 0.3 \Rightarrow \boxed{n_e = 0.3}$$

$$P_e = 137 \text{ N} \times m \times 4,200 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \left(\frac{2\pi \text{rad}}{1 \text{rev}} \right) \left(\frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundo}} \right)$$

$P_e = 60.2 \text{ Kw}$ (Potencia efectiva) gasolina

$$n_m = 0.85 = \frac{P_e}{P_i} = \frac{60.2}{P_i} \Rightarrow P_i = 75.2 \text{ Kw}$$

$P_i = 75.2 \text{ Kw}$ (Potencia indicada) gasolina

Cálculo de la Presión Media Efectiva (P_{me})

$$P_i = \frac{120 P_e}{V_t \times n} = \frac{120 \times (60.2)}{(1,396 \times 10^{-3}) \times 4200} = 1224.5 \frac{\text{Kw}}{\text{m}^2}$$

$P_{me} = 1.2 \text{ Mpascal}$ presión Media Efectiva

$$n_m = 0.85 = \frac{P_{me}}{P_{mi}} = \frac{1.2 \text{ Mpascal}}{P_{mi}}$$

$P_{mi} = 1.5 \text{ Mpascal}$ Presión Media Indicada

Cálculo del consumo específico de combustible (gasolina) (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_c}{P_e}$$

$\dot{m}_c = \text{masa de combustible}$, $P_e = \text{Potencia efectiva}$

$$\dot{m}_c = \frac{P_e}{P_e \times n_e} = \frac{60.2 \text{ Kw}}{48,000 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} (0.30)} = 4.18 \frac{\text{gr}}{\text{seg}}$$

$\dot{m}_c = 4.18 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{seg}}$ (Flujo de Masa de Gasolina)

$$SFC = \frac{4.18 \times 10^{-3}}{60.2} \times (1000 \times 3600)$$

$SFC = 249.96 \left(\frac{\text{gramos}}{\text{Kw} - \text{H}} \right)$ Consumo Específico de Gasolina

d)-Análisis Térmico Motor funcionado a GNV

De acuerdo a estudios realizado en la Universidad tecnológica Nacional de Argentina (tesis de Eduardo Quiroga Ramos), se hizo un estudio de un vehículo nuevo en el cual el motor fue convertido a gas natural, con un equipo de conversación secuencial de gas natural, el vehículo fue un auto Renault 1.6 Litros MPI, para lo cual se midió la potencia del motor usando como combustible gas natural, y se notó que la potencia del motor disminuye en un 12% usando como combustible gas natural.

$$P_e = 0.88(60.2 \text{ Kw}) = 53 \text{ Kw (Potencia Efectiva en GNV)}$$

$$P_i = \frac{P_e}{0.85} = \frac{53 \text{ Kw}}{0.85} = 62,35 \text{ Kw (Potencia Indicado en GNV)}$$

$$P_{ci} = 39,000 \frac{\text{Kj}}{\text{m}^3} \text{ (Poder Calórico Inferior del GNV (Osiner))}$$

n_e , n_t , las eficiencias térmicas y efectivas se mantienen constantes en gas natural y gasolina.

$$P_{me} = \frac{120 \times P_e}{V_t \times n} = \frac{120 \times 53}{(1,396 \times 10^{-3})(4,200)} = 1084.73 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{me} = 1.08 \text{ Mpasal (Presión Media Efectiva en GNV)}$$

$$n_m = 0.85 = \frac{P_{me}}{P_{mi}} \Rightarrow P_{mi} = 1,27 \text{ Mpasal (Presión Media Indicada)}$$

Para el Gas Natural tenemos a 15°C y una presión de 1 atmósfera se tiene una $\rho = 0.6709 \text{ Kg/m}^3$ y un poder calorífico $P_{ci} = 39,000 \text{ Kj/m}^3$ (fuente OSINERG).

e)- Calculo del Flujo de GNV

$$\dot{m}_c = \frac{P_e}{0,3 P_{ci}} \Rightarrow \dot{m}_c = \frac{53 \text{ Kj/seg}}{0,3 \times (39,000 \text{ Kj/m}^3)} = 4,52 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

$$\dot{m}_c = 4,52 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \text{ (Flujo de Gas Natural)}$$

Calculo del consumo específico de gas (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_c}{P_e} = 4,52 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{seg}} \times 0.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \left(\frac{3600 \text{ seg}}{1 \text{ hora}} \right) / 53 \text{ Kw}$$

$$SFC = 260.97 \frac{\text{gr}}{\text{Kw} \times \text{H}}$$

Eficiencia Volumétrica (n_v)

Es un parámetro importante para el funcionamiento del motor, este parámetro nos cuantifica el proceso de llenado del cilindro en los motores, se calcula como el cociente entre el gasto real de carga fresca admitida por el motor, y un cierto gasto que se alcanzaría en condiciones de referencia.

$$n_v = \frac{m_a}{\frac{\pi}{2} V_t \rho_{air}}$$

m_a = Masa de aire real admitida

m_a = Masa de aire real admitida

V_t = Cilindrada total = 1396 cc

ρ_{air} = Densidad del aire a 15°C y 1 Atm

$$\rho_{air} = 1,20 \frac{Kg}{m^3}$$

n_v = Eficiencia volumétrica

$$F = \frac{\dot{m}_c}{m_a} \Rightarrow m_c = F m_a$$

$$m_c = F m_a$$

$$m_c = \left(n_v \times \frac{n}{2} V_t (\rho_{aire}) \right) F$$

$$P_e = P_{ci} \times \frac{n}{2(60)} \times V_t \times (\rho_{aire}) \times n_v \times n_c \times F$$

P_{ci} = Poder calorífico inferior (del combustible)

n = Revoluciones / minuto = 4,200 RPM

ρ_{aire} = 1,20 Kg/m³ (1Atm y 15°C)

n_v = Eficiencia volumétrica = 0.85 (MS JOVAT ,Motores de Automóvil)

n_e = Eficiencia efectiva = 0.3

n_e = Factor de dosado de acuerdo al combustible gasolina /GNG

$F_{(gasolina)} = 0.071$

f)- Calculo de la potencia útil en función del combustible.

1. Potencia útil funcionando el motor en gasolina

$$P_u = \frac{P_{ci} \times n \times V_t \times \rho_{aire} \times n_v \times n_e \times F}{120}$$

P_{ci} = Poder calorífico de la gasolina = 48,00 Kj/Kg

$n=4,200$ RPM , V_t = Cilindrada total = 1,396 cc

FF = 0.07 (Factor de dosado en gasolina rico en 5%)

$$P_u = \frac{48,000 \times 4,200 \times 1,29 \times (1,396 \times 10^{-3}) \times 0,85 \times 0,3 \times 0,071}{120} \text{ Kw}$$

$P_u = 56.7 \text{ Kw}$ (Potencia útil en gasolina)

Potencia útil funcionando en GNV

P_{ci} = Poder calorífico del GNV = 38,000 $\frac{KJ}{M^3}$

J_{ch4} = Densidad del metano a 1 Atm y 15°C = 0.78 $\frac{KG}{M^3}$

$$P_u = \frac{38,000 \times 4,200 \times (1,396 \times 10^{-3}) \times (1,29) \times (0,8) \times (0,3) \times (0,058)}{0,6709 \times 120}$$

$P_u = 50.1 \text{ Kw}$ (Potencia útil en GNV)

PARÁMETROS	GASOLINA	GNV
Potencia Efectiva (P_e)	60.2 Kw	53 Kw
Potencia Indicada (P_i)	75.2 Kw	62.35 Kw
Presión Media Efectiva (P_{me})	1.2 Mpasal	1.08 Mpasal
Presión Media Indicada (P_{mi})	1,5 Mpasal	1,27 Mpasal
Consumo Específico de Combustible (SFC)	$249.96 \frac{gr}{Kw \times H}$	$260.97 \frac{gr}{Kw \times H}$
Potencia Útil Calculada	56.7 Kw	50.1 Kw

Tabla 5.4-2 (Se muestra los parámetros de funcionamiento del motor del vehículo funcionando a Gas Natural y Gasolina).

De acuerdo a la tabla 5.4 -2 se nota que los parámetros de potencia, presión media efectiva/ Indicada son mucho mayores en gasolina, el Consumo Especifico de Combustible en gasolina es menor en gasolina, lo cual nos quiere decir que para 1KW xHora se necesita 249.96 gr de gasolina, para esta misma cantidad de potencia en gas natural se necesita 260.97 gr de Gas Natural.

5.4-3 PROCEDIMIENTO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS

Para realizar conversiones de vehículos a gas natural, en el Perú se debe tener en cuenta las normas técnicas peruanas NTP.

NTP111.013, NTP 111.015, NTP 111.016, desde su ingreso al taller hasta la culminación de la conversión.

NTP. 111.013 – Nos presenta a los cilindros de almacenamiento de gas. Este elemento están crítico en el sistema de gas natural vehicular (por la presión con la que trabaja), esta norma se centra en este elemento desde su proceso de producción hasta las pruebas que se deben realizar para que puedan ser lanzados al mercado y comercializado. Esta norma es muy completa , por lo que su extensión es mayor que las otras normas presentadas, inclusive también se puede encontrar los distintos tipos de cilindros que existen, de acuerdo a su composición estructural , que son los tipos de cilindros que se comercializan y utilizan a nivel mundial.

NTP. 111.015- La presente norma nos muestra la normativa sobre la instalación de cada uno de los componentes del kit de instalación del sistema de gas natural vehicular .Nos indica la distancias mínimas permitidas que deben respetarse para la instalación de los cilindros y los lugares donde deben ir ubicados los elementos del kit de instalación, todas estas indicaciones deben cumplirse con la finalidad de que el vehículo pueda aprobar la inspección del ente certificador , y se le pueda

colocar el chip al vehículo para que se abastezca de gas en los grifos de GNV.

Se mencionó que el cilindro es la parte crítica del sistema de gas natural, es por esta razón que existe una norma que regula la forma de sujetar los cilindros a la estructura del vehículo, de manera que su tiempo de vida útil no se vea afectado, esta es la NTP. 111.016.

NTP. 111.0.16- Esta norma trata sobre los materiales que deben emplearse en los sunchos de fijación que forman parte de la cuna donde se debe alojar el cilindro de almacenamiento de gas, también indica la forma en cómo debe aislarse de tal manera que no entren en contacto con el cilindro, pues sería una vía libre para iniciar la corrosión en el cilindro. A sí mismo, en esta norma se indica, la medida de los pernos que deben utilizarse para la fijación de las cunas en el vehículo, tanto si se instalan sobre el interior del vehículo, o en la parte baja del vehículo.

Las normas enunciadas tienen base en normas extranjeras de países que tienen la industria de la conversión a gas natural muy avanzadas, respecto a nosotros, tales como Argentina, Colombia. En nuestro país esta industria se encuentra poco desarrollada y se espera con el transcurrir de los años se pueda seguir investigando y ahondando más en el tema de conversiones, para no reproducir normas extranjeras, si no establecer nuestras propias normas que vayan más acorde a nuestra realidad. El método de instalación de cada uno de los elementos que componen el kit

de conversión de gas, está determinado por los manuales de los mismos fabricantes que deben respetarse, el espacio disponible dentro de los vehículos a instalar juega un papel fundamental en la ubicación de tales elementos.

INSTALACIÓN DEL KIT SECUENCIAL DE QUINTA CATEGORIA GNV (HYUNDAI ACCENT 1.4 Litros , Año 2,012)

HYUNDAI ACCENT 1.4 MPI -2,012



Figura 5.4-3-1 Hyundai Accent MPI 2,012

Para este trabajo se utilizó el vehículo Hyundai Accent, con Motor Gamma 1.4 CC, con capacidad para transportar a cuatro adultos y un niño, este vehículo es producido en Corea del Sur.

Características Técnicas del Motor

Este motor tiene 04 cilindros línea con 4 válvulas por cilindro, dos árboles de levas montados en la culata para activar las 16 válvulas, con un sistema de distribución variable de válvulas (CVVT), alcanza una potencia de 79 KW a 6,300 RPM, con sistema de encendido Coil on Plug (COP), con bobinas de encendido individuales para cada

cilindro, colector de admisión de plástico , la computadora Bosh del motor está integrada a la computadora del tren de trasmisión, su nivel de emisiones responde a las normas EURO IV.

Ingreso al Taller de Servicio.

a)-Etapa de Pre Conversión

Antes del montaje del equipo se deberá verificar que las condiciones mecánicas y, eléctricas del vehículo aseguren un funcionamiento aceptable en gasolina. Las unidades que no cumplan con las condiciones señaladas, deberán ser reparadas, se debe verificar el estado general de la estructura del vehículo asegurando que la misma garantice robustez y permita la fijación segura de los distintos componentes kit de instalación. En caso necesario, habría que reforzar los lugares de la estructura donde se fijen elementos del sistema que no queden firmes y seguros, teniendo en cuenta las condiciones de vibraciones y posible maltrato a que puedan estar sometidos.

La norma técnica peruana recomienda realizar inspecciones previas a los siguientes sistemas de los vehículo:

Sistema Eléctrico

-Baterías- Es muy importante que se encuentre en buen estado y con buena carga, ya que de ella depende que proporcione un voltaje adecuado a las bobinas para propiciar el arranque del motor.

-Bobinas de Encendido- El cableado y las bujías. Al solicitarle a la bobina de encendido una tensión mayor, esta podrá mantenerlo por un menor tiempo, por lo que, el tiempo de quemado (tiempo que la chispa está fluyendo entre los electrodos de las bujías) disminuye, por lo tanto, el cableado de las bujías y las bobinas deben estar en buen estado, sin la presencia de elementos innecesarios que aumenten la resistencia del cableado y provoquen pérdidas de energía apreciables. Para este efecto, deben inspeccionarse la entrada de las bobinas, su funcionamiento y su polaridad, el estado de los cables y de las bujías. Si cualquiera de estos elementos presentara deficiencias debe procederse a su sustitución de acuerdo a las normas proporcionadas por el fabricante del vehículo.

Una forma de comprobar si las bobinas funcionan correctamente, es mediante un osciloscopio y la forma de onda del primario se obtiene conectando la entrada del osciloscopio al negativo de la bobina de encendido. El tiempo de quemado está representado por el tiempo que puede observarse entre el final del pico de extra tensión (entre 180-260 V) y el comienzo de las oscilaciones. Debe observarse un mínimo de tres oscilaciones al finalizar cada zona de tiempo de quemado; la ausencia de oscilaciones se puede deber a una bobina defectuosa, situación que se combina con un tiempo de quemado reducido.

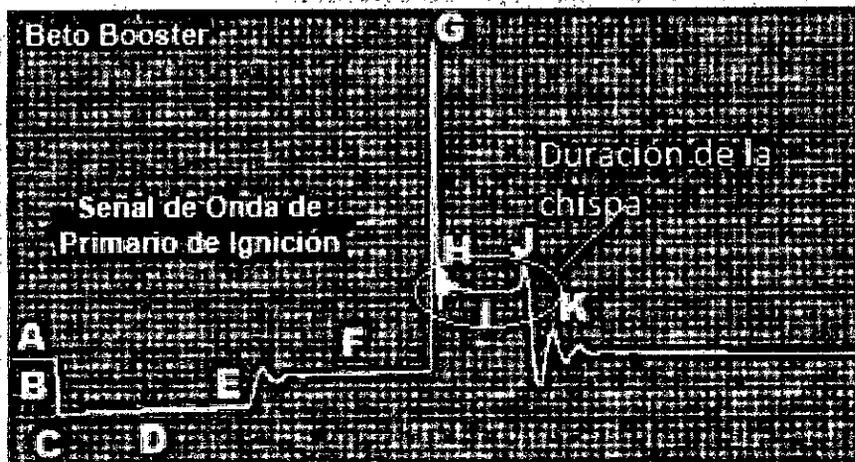


Figura 5.4-3-2 Forma de la Onda del bobinado Primario en el Osciloscopio Manual de taller Asociación Automotriz del Perú).

Para un adecuado funcionamiento del sistema a gas natural es recomendable cambiar las bujías y regular la luz entre los electrodos a la mínima medida recomendada por el fabricante, debido que al disminuir la distancia entre electrodos, la tensión necesaria para que se produzca la chispa será menor y por consiguiente, con la energía disponible en la bobina se incrementa el tiempo de quemado. Así mismo, medir la resistencia de los cables de bujía y observar los valores medios no se encuentren superiores a 15K Ohmios. Lo ideal es que la resistencia del cable correspondiente este comprendida entre 8KΩ- 15KΩ, esto por cada conjunto de cable y bujía (siempre verificar con el manual del fabricante).

Sistema de Alimentación-

Debe comprobarse el adecuado funcionamiento de los elementos que componen la entrada de la mezcla aire/gas a la cámara de combustión. Los elementos en cuestión son el filtro de aire, filtro de combustible y el

carburador, o los inyectores. El filtro de aire y el filtro de combustible deben encontrarse en buen estado, libre de impurezas, de manera que facilite y favorezca la realización de una mezcla lo más cercana a la estequiometría, muchas veces el origen de algunos inconvenientes en la combustión se deben a causas tan sencillas como un filtro sucio.

Para los inyectores, realizar pruebas de medida de presión de los inyectores en el banco, los valores deben estar en el rango recomendado por el fabricante, no se debe presentar rasgos de hollín. En ambos casos, se debe observar el adecuado funcionamiento de los mismos.

No debe dejarse de lado la inspección del múltiple de admisión, tales como las empaquetaduras y los conductos mismos.

Sistema de Escape-

Esta inspección está relacionada con el nivel de emisiones, que puede presentar el vehículo convertido a gas natural. Todo el trayecto del tubo de escape debe encontrarse bien sujetado y sin signos de corrosión o picaduras. Las empaquetaduras del múltiple de escape deben ser capaces de asegurar la hermeticidad del mismo.

Sistema de Refrigeración

Debe verificarse el estado del radiador, y el funcionamiento de todo el conjunto del sistema, asegurarse de que no se presenten pérdidas en los alrededores del recipiente de reposición de líquido refrigerante, así como

los alrededores del radiador y de la bomba de agua, termostato del vehículo.

5- Carrocería y Chasis

Debe inspeccionarse completamente cada una de las zonas del chasis, y la carrocería con la finalidad de detectar algún indicio de corrosión o debilitamiento del material que impida la colocación correcta del cilindro y sus abrazaderas.

6- Motor

La inspección más importante de realizar .se debe medir la compresión de cada uno de los cilindros del motor para conocer el estado en que se encuentra el motor. Este valor de compresión está predeterminado por el fabricante, sin embargo, la norma admite una tolerancia de $\pm 20\%$ del valor nominal para la compresión del motor $\pm 10\%$ entre los cilindros.

Luego de que se han realizado todas estas inspecciones y se han registrado los resultados, se le permite al propietario realizar el cambio al gas natural, ya que se pueden sustituir algunos componentes para el correcto funcionamiento del vehículo con este combustible. Si el resultado de esta inspección es desfavorable para el vehículo, lo más conveniente es que no se le permita realizar la conversión puesto que el funcionamiento del vehículo con gas natural seria inadecuado.

Todas estas pruebas realizadas en el vehículo es la Pre Conversión, es un proceso de evaluación antes de la conversión, en el cual se deberán realizar una inspección del vehículo según los parámetros establecidos ya mencionados , y registrar todos estos datos en el formato de evaluación de Pre Conversión (NTP 111.015 Anexo A).

A continuación se muestra el formato de Pre Conversión con los datos de los vehículos a Convertir.

PROPIETARIO		VEHICULO						
Nombre:	TEOFILO VENTURA CHAPOAN	Marca y Año:	HYUNDAI 2,012					
Identificación (DNI y/o RUC):		Placa:	D63 512					
Dirección:	MZ A LTE 32 AHR PACHACUTEZ VENTURA	Kilometraje:	100,000					
Teléfono:	362 4060	Cilindrada:	1396					
REVISIONES								
1. BATERIA DE ARRANQUE		2. DISTRIBUIDOR						
Voltaje batería (v)	13.00 V	Condición del rotor	—					
Voltaje de arranque (v)	11.82 V	Condición de la tapa	—					
Prueba de arranque (v)	11.18 V	Operación avance por vacío	—					
Estado de bornas	OK	Operación avance centrífugo	—					
3. BOBINA/ CABLEADO /BUJIAS		4. SISTEMA DE CARBURACION-INYECCION						
Entrada a la bobina de arranque	—	Verificación filtro de aire	OK					
Entrada a la bobina de funcionamiento	—	Verificación filtro de combustible	OK					
Salida de la bobina y polaridad de la bobina	—	Operación del carburador	—					
Condición de cables y bujías	—	Operación del sistema de inyección	OK					
5. SISTEMA DE ADMISION		6. SISTEMA DE ESCAPE						
En milímetros (mm) o pulgadas (in)	—	Verificación general estado y funcionamiento	OK					
Verificación entrada de aire	—	Otros	OK					
7. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		B. CARROCERIA Y CHASIS						
Verificación general estado y funcionamiento	OK	Verificación del estado general	OK					
Otros	—	Otros	OK					
9. VERIFICACION DEL BALANCE Y COMPRESION DE CILINDROS								
NUMEROS DE CILINDROS	1	2	3	4	5	6	7	8
COMPRESION OBTENIDA (PSI)	160	162	160	164				
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD (%)								
*Para la prueba de estanqueidad la diferencia máxima respecto a las especificaciones del fabricante debe ser 20% y entre cilindros del 10%.								
RESULTADO DE LAS REVISIONES								
OBSERVACIONES (reparaciones o refuerzos)								
Se reforzó la parte posterior donde se instala el cilindro, con plancha metálica de 3/4", en la zona donde se anclan la curva de sujeción del cilindro								
RESPONSABLE DE LA REVISION		CLIENTE						
FECHA: 14/12/14								

NOTA: EFECTUADA LA REVISION QUEDA A CRITERIO DEL INSTALADOR Y EL USUARIO LA INSTALACION DEL EQUIPO DE CONVERSION

Figura 5.4-3-2 Formato de Pre Conversión según la Norma Técnica (NTP 111.015 Anexo A)

De acuerdo a la figura 5.4-3-2 se muestra las características del vehículo, las condiciones como se encuentran el sistema eléctrico, encendido, admisión de aire, escape, refrigeración, la carrocería del vehículo en qué estado se encuentra, y en la parte ultima las condiciones de hermeticidad en la cual se encuentra los cilindros, para lo cual se le midió la presión compresión cilindro por cilindro, como se

muestra en el formato de pre conversión, de acuerdo al manual de reparación del motor del vehículo la máxima presión de compresión es de 170 PSI , el valor de la mínimo de la presión de compresión es del 20 % de la Presión máxima, y la diferencia de presiones entre cilindros debe ser +/- 5%.

b)-Trabajo de Taller

El trabajo en taller consiste en la instalación cada uno de los componentes del kit de instalación de gas natural, la ubicación de cada componente, depende, principalmente, del espacio con que se cuente en el vehículo y de las indicaciones del fabricante, así como, de las normas técnicas (NTP 111.015 y NTP111.013), que deben ser respetadas, sin embargo, se puede establecer algunos lineamientos generales que podrían ser útiles para mejorar las conversiones.

Algunos de los trabajos realizados durante el montaje de los componentes del kit de conversión, pueden requerir efectuar algunas soldaduras sobre el chasis del vehículo , por lo que antes de empezar los trabajos de soldadura deben tomarse ciertas precauciones:

*Protección de los equipos eléctricos y electrónicos contra las corrientes inducidas de Las maquinas soldadura. Cualquiera que sea el sistema de soldadura, si utiliza la electricidad como energía, desconectar la batería del vehículo.

*Protección contra la proyección de chispas. Proteger los equipos con riesgo y la pintura de eventuales proyecciones de chispa utilizando fundas ignifugas.

*Protección contra el calor. Los elementos que pueden sufrir daños a causa del calor o la llama producidos por la soldadura, deben estar protegidos con fundas o pantallas ignifugas o ser desmontados. Las piezas que pueden deteriorarse a causa de la conducción térmica, deben ser protegidas con pasta de protección.

*Nunca dejar abiertos un depósito o una canalización de combustible.

*No efectuar nunca una operación de soldadura cerca de conductos o depósitos de líquidos inflamables, incluso si están vacíos (combustibles, aditivos de combustibles, líquidos de dirección, de freno). Según la proximidad, utilizar pantallas protectoras para proteger estos órganos del calor y de las chispas, o en todo caso, desmontar estos equipamientos.

Instalación del Cilindro.

Antes de realizar cualquier instalación, se debe inspeccionar la zona donde se sujetara este elemento. Este depósito se presenta de una forma cilíndrica y generalmente todos coinciden en que debería ir ubicado en la parte de la maletera, puesto que por ser grande y pesado, no existe otro lugar mejor. Su temperatura oscila entre los -40°C y los 80°C .

Un cilindro de gas natural se sujeta al vehículo mediante sunchos, y se soporta en la cuna. Estos elementos ,tanto los sunchos como las cunas son de acero con un tratamiento anticorrosión y aislados del contacto del cilindro mediante unos cauchos, los sunchos deben tener un ancho superior de los 30mm.El espesor depende del ancho utilizado, pero debe ser capaz de tener una resistencia igual a la de una barra de acero de acero ST37 de 90mm².

Los cilindros se sujetan a sus bases mediante 4 pernos M10, hay que tomar el cilindro con la válvula colocada en la cuna, luego presentarlo en la maletera del vehículo, lo más próximo al asiento, para que el componente del peso caiga prácticamente vertical en el eje trasero, evitando momentos de fuerza sobre amortiguación y así aprovechar el espacio de la maletera lo más que se pueda. Una vez que se hizo esto, marcar hasta donde llego y sacarlo.

Poner en la cuna ya cortada aproximadamente a las distancias de ancho de la maletera, tratar de llegar a las marcas que se hicieron con el cilindro, si esto resulta poco preciso, se puede poner la cuna en la maletera y subir el cilindro encima de ella, luego desplazar hasta la posición más próxima al respaldo del asiento posible, ahora marcar y sacar.

Luego se fija la cuna, para ello va ser necesario practicar 04 agujeros de \varnothing 11mm por lo menos, en cada extremo de la cuna, es aconsejable antes de agujerear en cualquier lado, fijarse cuál es la posibilidad más firme

para empernar en el baúl, esto quiere decir que si encontramos un espacio en el chasis para sujetarlo con los pernos, pues ese el lugar más apropiado para agujerear y empernar. No obstante hay que tener en cuenta que si es necesario levantarlo para que salga la rueda de emergencia, hay que considerar que las patas deben ser firmes y ubicarlas en la cuna, para que coincidan en lugares firmes del baúl, y así evitar que se rompan en el futuro. Los pernos aconsejables deben ser de 3/8" no menos y no se deben poner menos de 04 pernos por cuna.

Una vez que está bien sujeta la cuna, hay que montar el cilindro y no hay que olvidar que este debe estar montado sobre gomas para evitar el rozamiento de metal con metal. Tomar los sunchos que vienen provistos con la cuna, colocarlos para luego terminar así de ajustar el cilindro.

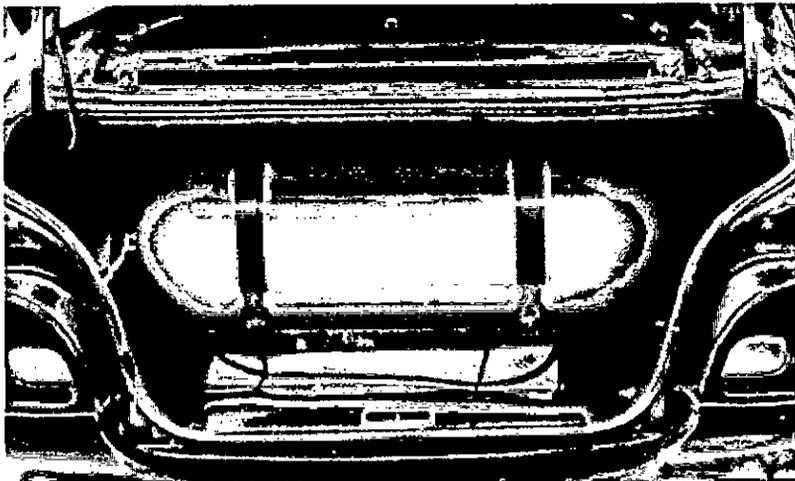


Figura 5.4-3-3 Instalación de Cuna y Cilindro en la maleta del vehículo.

Fotografía del Autor



Figura 5.4-3-4 Cilindro y Cuna en el vehículo en cual se hizo el ensayo en el presente informe. En las instalaciones de la UNAC. Fotografía del Autor

Instalación del Reductor. El reductor debe estar sólidamente fijado a la carrocería de modo que no esté sujeto a vibraciones durante su funcionamiento, con el reductor no debe golpear ningún otro dispositivo.

El reductor debe estar instalado con el sensor de temperatura hacia arriba, se recomienda reducir la longitud del tubo que conecta el reductor con el riel de inyectores a gas (máximo 700mm) y montar el reductor de modo que se pueda accederse fácilmente en el caso de que sean necesario intervenciones para el ajuste o la reparación.

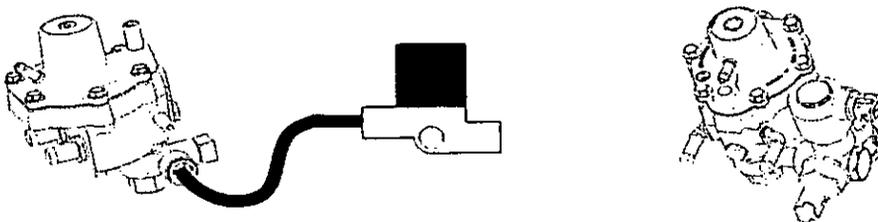


Figura 5.4-3-5 (Se muestra el reductor y tubería acerada hacia la electroválvula de gas, la cual no tiene que pasar por zonas calientes del motor (Manual del Instalador BRC 1/3).

Para conseguir el aporte de calor para evitar el congelamiento, debido a la expansión que tiene el gas en el reductor, hay que tomar refrigerante del motor de la tubería de calefacción del habitáculo del carro, hay que utilizar una "T", una en la presión al intercambiador y otra a la salida del intercambiador.

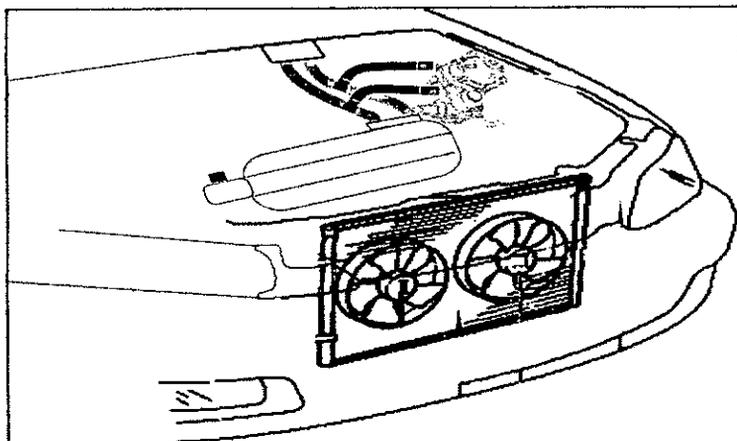


Figura 5.4-3-6 Toma de refrigerante hacia el reductor (Manual del Instalador BRC)

El reductor necesita toma de vacío, que la toma del colector de admisión, para la regulación de la presión final del reductor que puede ser 2 bares.

Instalación de Válvula de Llenado

La válvula de carga o llenado tiene como particularidad que viene armada, en la posición preestablecida por la fábrica, que es recomendable no cambiar, esto garantiza el buen funcionamiento y la vida útil de la misma.

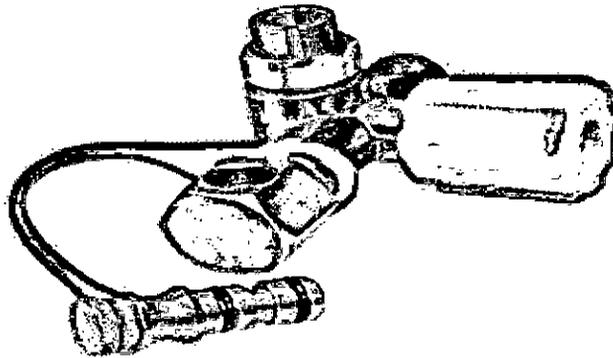


Figura 5.4-3-7 Válvula de llenado o carga. Fotografía del Autor

Lo que hay que tener en cuenta en este caso es que la válvula de llenado para los cilindros GNV, debe ubicarse en algún lugar en el compartimiento del motor preferentemente cerca del reductor, para así facilitar las conexiones entre ellos. El kit viene provisto del soporte para la válvula, que habrá fijarlo en algún lugar firme de la carrocería con dos pernos, para que esta no se mueva ni se afloje, ya que el operario de carga suele aplicar cierta fuerza sobre la misma que tendrá que soportarla.

La válvula de carga tiene una manivela de un cuarto de giro, que sirve para abrir o cerrar el paso del gas, se debe cerrar la válvula para realizar reparaciones en el reductor, o cuando haya fuga de gas en el mismo. Las conexiones de las válvulas se deben hacer únicamente con una cañería de alta presión, niple que viene provista en el kit de instalación. Hay que destacar que es fundamental y obligatorio realizar, por ejemplo entre el reductor y la válvula de carga, en la cañería de alta presión un aspirar o rulo, de no menos de 60mm de diámetro exterior, y una separación de espiral de 3mm aproximadamente, de esta forma queda hecho un espiral

que tiene como fin absorber cualquier vibración, que se produzca entre los dos componentes conectados.

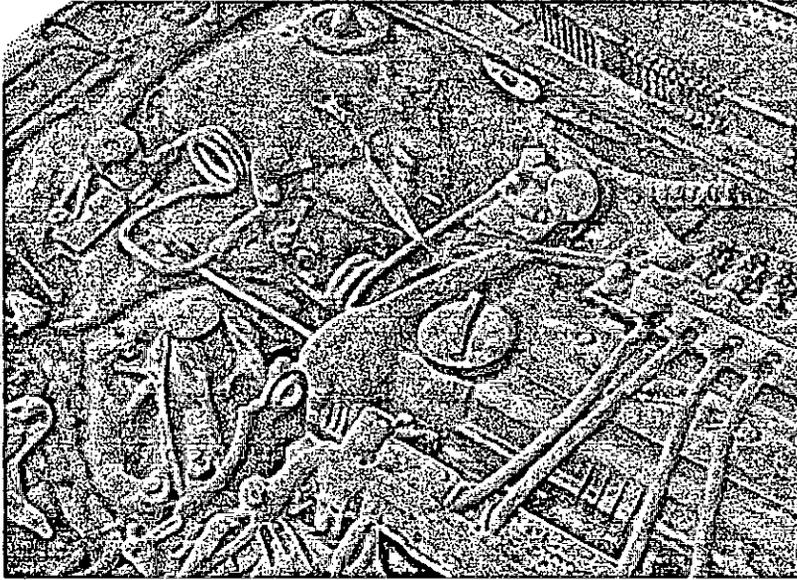


Figura 5.4-3-8 Se muestra la Válvula de carga instalada en el compartimiento del motor. Fotografía del Autor

Como se muestra en la figura 5.4-3-8, en la cual la válvula de llenado instalada en la carrocería del compartimiento del motor, el enlace que hay entre la electroválvula de gas es a través de unos rulos realizados a la tubería de alta presión, luego el enlace de la electro válvula de gas con el reductor, es por medio de otro rulo en las cañería de alta presión.



Figura 5.4-3-9- Llenado de combustible GNV en la estación de servicio. Fotografía del Autor

INSTALACIÓN DE LA VÁLVULA DE CILINDRO

La válvula de cilindro en lo que respecta a su instalación hay que tener presente que antes de montarla, hay que sujetar el cilindro con una prensa adecuada para esta tarea, luego colocar cinta teflón en la rosca cónica de la válvula, unas 15 vueltas como mínimo, y una vez hecho hay que ponerle una película de grasa lubricante para que cuando vayamos a enroscarla con la mano en el cilindro, está entre fácilmente hasta donde pueda. Luego la manera de complementar el ajuste es tomar un torquimetro y dar un ajuste de torsión de 25 a 30 Kg-M, la manivela sirve para abrir o cerrar la válvula en caso que se requiera.

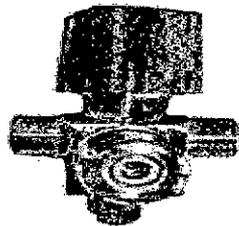


Figura 5.4-3-10 Válvula de Cilindro. Manual de Partes BRC.

Además tiene como seguridad una válvula de fusión y estallido, que en caso de sobrepasar la presión de carga permitida en una o más veces (340 Bar) está se rompe dejando perder todo el gas del cilindro. Otro sistema de seguridad es la válvula de exceso de flujo, que en caso de haber un excesivo escape de gas está cerrara el paso de gas al cilindro automáticamente. Realizar las conexiones con cañerías de alta presión, la válvula de cilindro tiene dos posibilidades, de un extremo al otro, esto se

efectúa de la siguiente manera, en caso de ser un solo cilindro el que vayamos instalar, de un lado de la válvula se conecta una cañería de alta presión usando un niple y virola formada que viene de la válvula de carga y del otro se coloca un tapón que viene provisto en el kit.

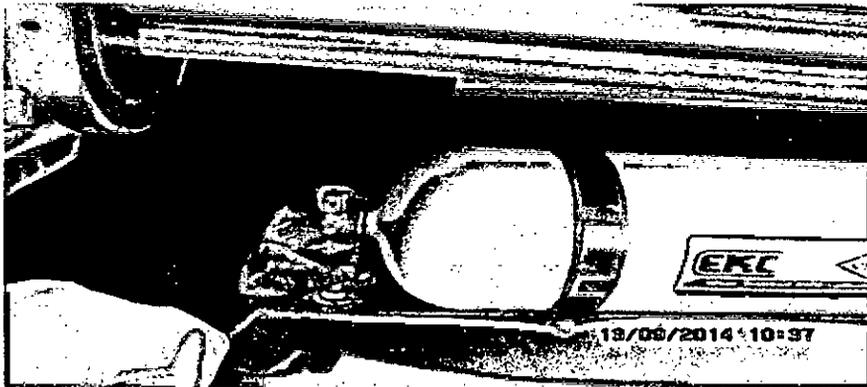


Figura 5.4-3-11 Válvula instalada en el cilindro con sistema de venteo.
Fotografía del Autor

INSTALACIÓN DE LA CAÑERÍA DE ALTA PRESIÓN Y SISTEMA DE VENTEO

La instalación de la cañería es bastante simple, viene en forma de rollo en el kit de conversión, para instalarlo hay que estirarlo, una vez hecho eso hay que formarla, luego hacer un rulo a una distancia de unos 20 a 30 cm del extremo elegido. Una vez terminado, estamos en condiciones de pasarlo por debajo del vehículo.

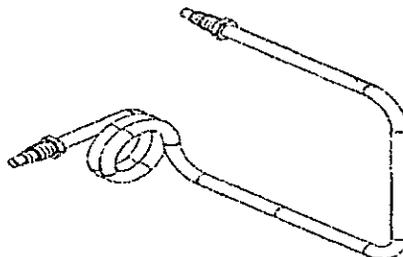


Figura 5.4-3-12 Cañería de alta presión que es de una sola cañería que empieza en el reductor y acaba en la toma del Cilindro. Manual de partes BRC.

Es aconsejable en este punto pasar por el lado contrario al tubo de escape, y que debe ir sujeto con grampas que vienen provistas en el kit de instalación, en cada curva que se forme mientras lo moldeamos contra el piso del vehículo no quede rozando contra algún lugar que tenga movimiento y donde existiera la posibilidad de rozamiento con alguna parte de este, es necesario colocar protección para la cañería, ya que donde hubiera un rozamiento esta se perfora.

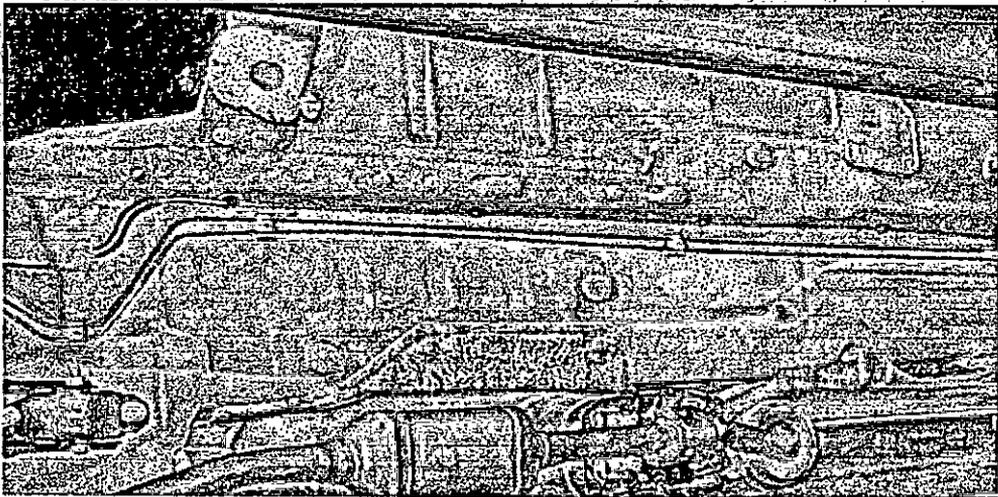


Figura 5.4-3-13 Tendido de tuberías de alta presión por debajo del vehículo, tiene que estar opuesta al tubo de escape, y deben estar fijadas con grampas. Fotografía del Autor

Cuando se llegue a la parte de atrás (maletera), se debe pasar la cañería por uno de los dos agujeros que habrá que realizar con una broca de copa de 32 mm, estos agujeros deben estar ubicados uno al lado de otro preferentemente en un sitio que sea favorable para pasar la cañería, esto sería por ejemplo, si traemos cañerías por el lado contrario al tubo de escape, habrá que hacerlo de ese mismo lado donde se trae la cañería, una vez realizados estos agujeros hay

que poner los picos de venteo, para ello hay que observar que estos picos tienen un extremo y el otro con un corte a 45°, del pico que se escoja del lado que va pasar la cañería, debe ir hacia abajo y el lado del corte mirando hacia el frente, y con respecto al otro debe ir hacia abajo y con el lado del corte mirando hacia atrás. Estos dos picos deben estar sujetos con tornillos o remaches.

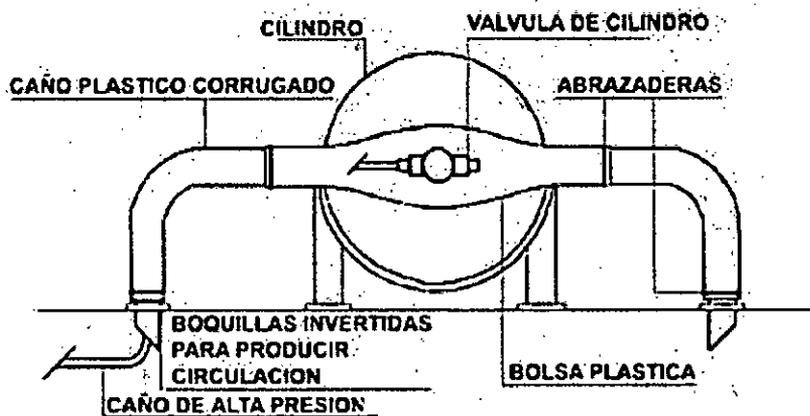


Figura 5.4-3-14 Sistema de venteo en el cilindro de almacenamiento de gas (Manual del Instalador Equipos Lovatto).

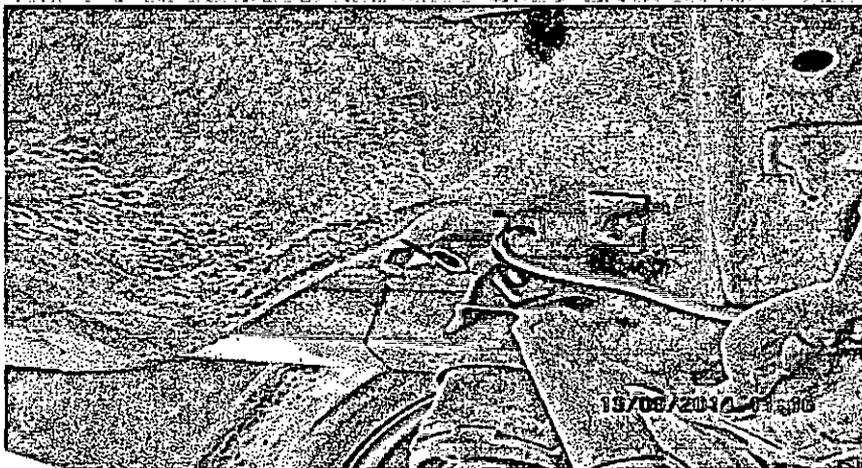


Figura 5.4-3-15 Sistema de Venteo visto de la parte baja del vehículo. Fotografía del Autor.

Instalación De Riel de Inyectores y Boquillas de Gas

El riel de inyectores debe instalarse y fijarse cerca del múltiple de admisión, o en la tapa superior del motor (tapa del sistema de válvula), se fija la base de los inyectores, luego las electroválvulas y el sensor de temperatura y presión del gas. La fijación debe ser estable, hay que intentar de posicionar los inyectores lo más cerca posible a la culata del motor, de manera que los tubos de conexión con el colector de admisión sean lo más cortos posibles, se aconseja no superar los 150 mm de largo. Los inyectores no deben encontrarse cerca del múltiple de escape.



Figura 5.4-3-15 Instalación de Riel de Inyectores GNV (en el grafica hay 04 electroválvulas de color anaranjado, y el otro dispositivo es el sensor de presión y temperatura de gas). Fotografía del Autor

Este uno de los procesos más importante de la conversión, se recomienda identificar con mucha claridad todos los puntos del colector de admisión que deberán ser perforados, antes de iniciar la perforación. La perforación debe llevarse a cabo muy cerca del cabezal del motor, de acuerdo a la figura 5.5-11, pero guardando la misma distancia en todos los ramos del colector y la misma orientación de las toberas. Cada tobera debe estar colocada en forma perpendicular al eje del conducto de aspiración, formar un ángulo tal que el flujo se dirija hacia el motor y no hacia la mariposa. Luego señalar bien con un rotulador los puntos de perforación, antes de iniciar perforar, usando el taladro con la punta helicoidal, controle que no haya obstáculos que puedan impedir la perforación correcta de todos los ramos, según la dirección deseada. Antes de perforar en el colector hay que controlar también que la posición seleccionada para las toberas permita colocar los tubos de conexión a los inyectores de manera tal que sus longitudes no superen la máxima admitida de 150mm. Realice una marca y solo entonces perfore. La perforación debe realizarse con una punta helicoidal de \varnothing 5mm, y el roscado con un macho M6. Esta operación es muy delicada, debido al riesgo de que las virutas producidas por la perforación se puedan depositar dentro del colector, por lo tanto, puedan ser aspirada por el motor durante el funcionamiento

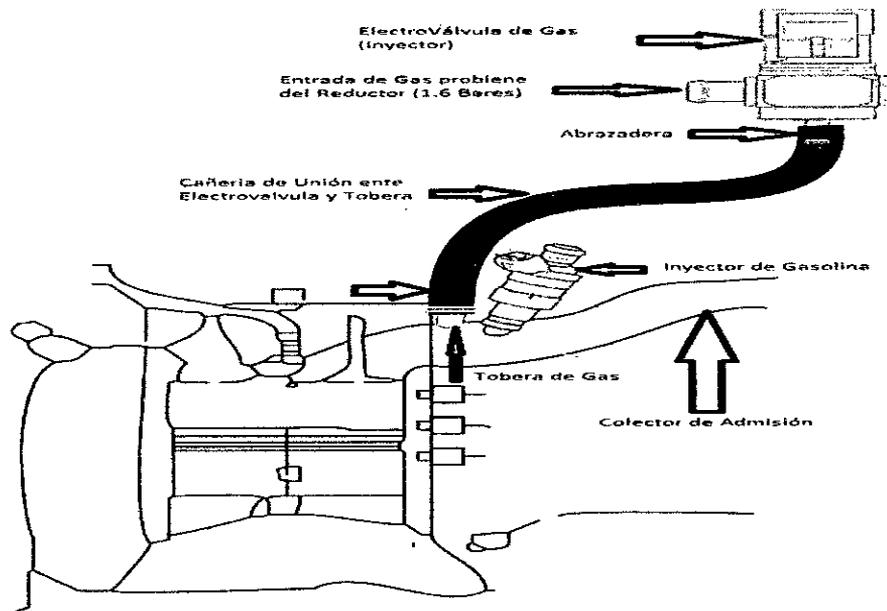


Figura 5.4-3-16 Instalación y fijación de la tobera de gas en el colector de admisión. Manual del Instalador Tomasetto Achile.

Por lo tanto, se recomienda realizar las operaciones de perforación untando grasa a la punta de la broca, durante la última fase de la pared, para que las virutas permanezcan pegadas a la punta, recomendamos también desfondar la última parte de la pared lentamente, para que las virutas sean muy finas, de esa manera se pegan mejor a la punta de la broca, también durante el roscado M6 hay que untar de grasa al macho y extraerlo y limpiarlo frecuentemente. Preste la máxima atención para encajar correctamente las toberas, evitando apretarlas demasiado para que no pierda la rosca. Durante la fase de apriete se recomienda usar siempre llave de medida adecuada. No modifique por ningún motivo el diámetro interior de la tobera, ni su forma exterior. Para garantizar la estanquidad de la conexión roscada, es necesario aplicar un líquido anti-deslizamiento no se caiga, provocando obturaciones en las toberas. Por lo

tanto, se aconseja inyectar en las toberas soplos de aire comprimido al finalizar las operaciones.

Se recomienda que todas las operaciones de perforación, roscado, atornillado del racor y limpieza de colector, se lleven a cabo con el colector de admisión desmontado. Si no es posible desmontar el colector de admisión es necesario adoptar una serie de precauciones para minimizar riesgo de daños en el motor.

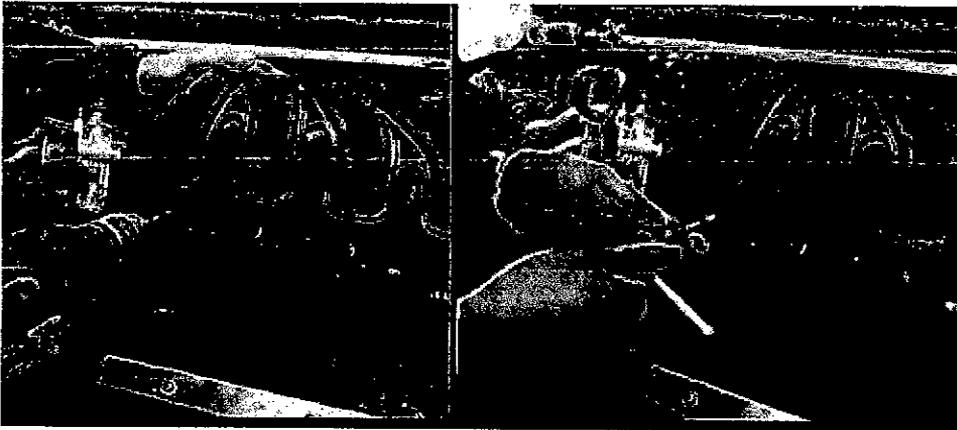


FIGURA 5.4-3-17 Agujeros fijados, luego pasada de macho a los orificios donde se fijaran las toberas de gas, en el colector de admisión del motor. Fotografía del Autor

Terminando de instalar las toberas de gas en el colector de admisión, luego se procede a unir las electroválvulas (inyectores de gas) con sus respectivas toberas, la unión entre toberas e inyectores se hace con cañerías, que vienen con el kit de instalación, y se cortan de acuerdo a la distancia, como se dijo anteriormente las distancia máxima entre las toberas y electroválvulas son de un máximo de 700mm.

CONEXIONES ELÉCTRICAS

En este tipo de sistema de Quinta Generación (Sistema de Inyección Secuencial), la ECU de gas tiene el control de todo el sistema, la función principal es de activar las electro Válvulas (Inyectores de Gas), en función de la carga del motor y las RPM del motor.

La ECU de gas se conecta con el resto de equipo eléctrico del Sistema (alimentaciones, masas, señales de sensores, actuadores), a través de un conector de 56 polos que contiene todas las señales necesarias para las diferentes funciones.

Conexión de las Electroválvulas de Gas

Ninguno de los terminales de la electroválvula está conectado de modo permanente a masa, pero un cable llega desde el + 12V batería (a través de fusibles y relé), mientras el otro está dirigido por la ECU de Gas. Evitar la conexión directa de los terminales de la electroválvula a masa: esto provocaría un corto circuito y el quemado de fusible del cableado, o se compromete el correcto funcionamiento del equipo. Para la electroválvula delantera y posterior se han sido proyectados cables de pilotajes separados. Esto permite a la ECU de gas determinar si eventualmente alguna de las dos electroválvulas, se ha quemado o ha hecho cortocircuito, se debe evitar entonces de conectar en paralelo las dos electroválvulas, esto comprometería la función de diagnóstico de la ECU de gas.

Las electroválvulas se conectan al cableado a través de los conectores ya cableado antes, conectados a los cables que hay en los terminales "E" y "F".

La terminal "E" contiene también el conector para la conexión del sensor de nivel de gas, que se encuentra en el manómetro de gas que se encuentra en el reductor.

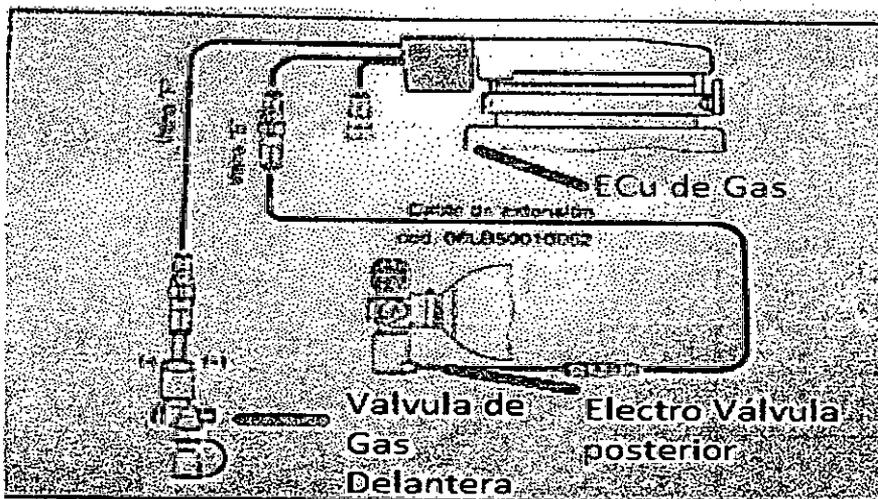


Figura 5.4-3-17 Conexión de Electro Válvulas Delantera y Posterior, (Manual del Instalador BRC Plug & Drive).

Fusibles Y Relé.

En el circuito principal se encuentra un mazo de cable "B", ver la figura 2, están representados 02 fusibles de 15 A y 5 A del equipo Secuencial, siempre en el mazo de cables "B", está representado también el relé que el equipo Secuencial utiliza para interrumpir el positivo de la batería que llega a todos los actuadores. Una vez las conexiones ultimadas, se tiene que fijar y proteger adecuadamente tanto los fusibles como relé.

Conmutador

El cable multipolar de 5 polos "C1" en el cableado, que termina sobre el conector de 5 vías se utiliza para la conexión a la Ecu de gas al conmutador, que se encuentra en el habitáculo. El cable multipolar de 2 polos C2 en el cableado, que termina sobre el conector de 2 vías, se utiliza para la conexión de la ECU, de aviso sonoro.

Sensor de Nivel

El sensor de nivel es de tipo resistivo se conecta el cableado directamente a través de 2 polos, que ya fue cableado atreves del maso de cables "E", no hay posibilidad de error ya que el sensor de nivel es el único conector de este tipo.

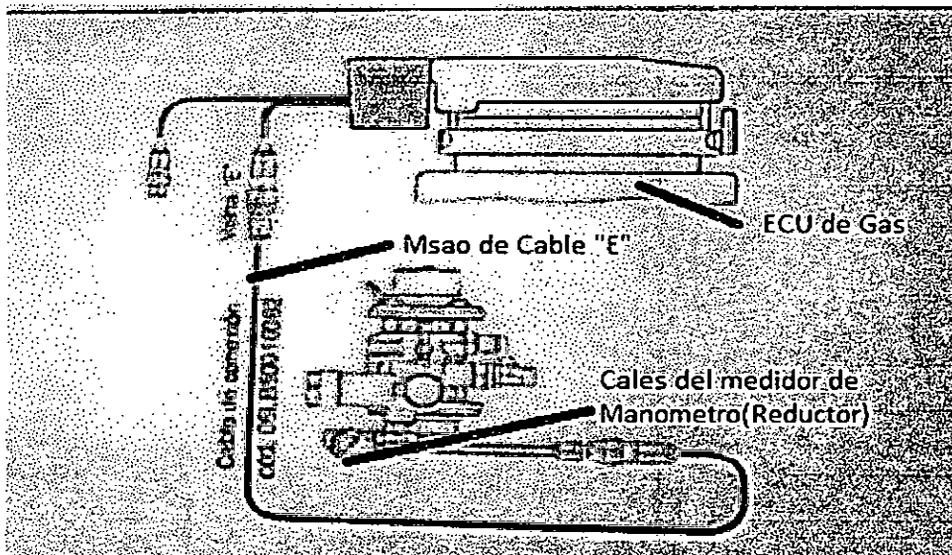


Figura 5.4-3-18 Instalación del Nivel del Gas en el Conmutador(manual del Instalador BRC 1/3 Plug & Drive).

INSTALACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE GAS

El sensor de presión y temperatura de gas, se encuentra directamente en el riel de inyectores, la conexión con el cableado se hace a través del apropiado conector de 04 vías (puerta macho en el cableado), donde terminan 04 cables contenidos en el mazo de cables "R".

Sensor de Presión Absoluta(MAP)-

Se muestra como se instala en el grafico general de instalación.

Instalación de Inyectores de Gas.

Estas electroválvulas son muy parecidas a los inyectores de gasolina, para instalarlo se requiere identificar el polo del inyector que contiene la corriente pulsante, y empatarlo y soldarlo con el ramal de cables del kit de instalación, los cuales ya están identificados con la respectiva numeración de acuerdo al cilindro, el otro polo del inyector a gasolina no se toca.

Es muy importante mantener la correspondencia entre los inyectores a gas y los inyectores a gasolina, se recuerda que el número que diferencia los conectores de los inyectores de gas está impreso sobre el cable del cableado que llegan al conector mismos, en el grafico figura 5 se representa la forma de instalar los inyectores de gas.

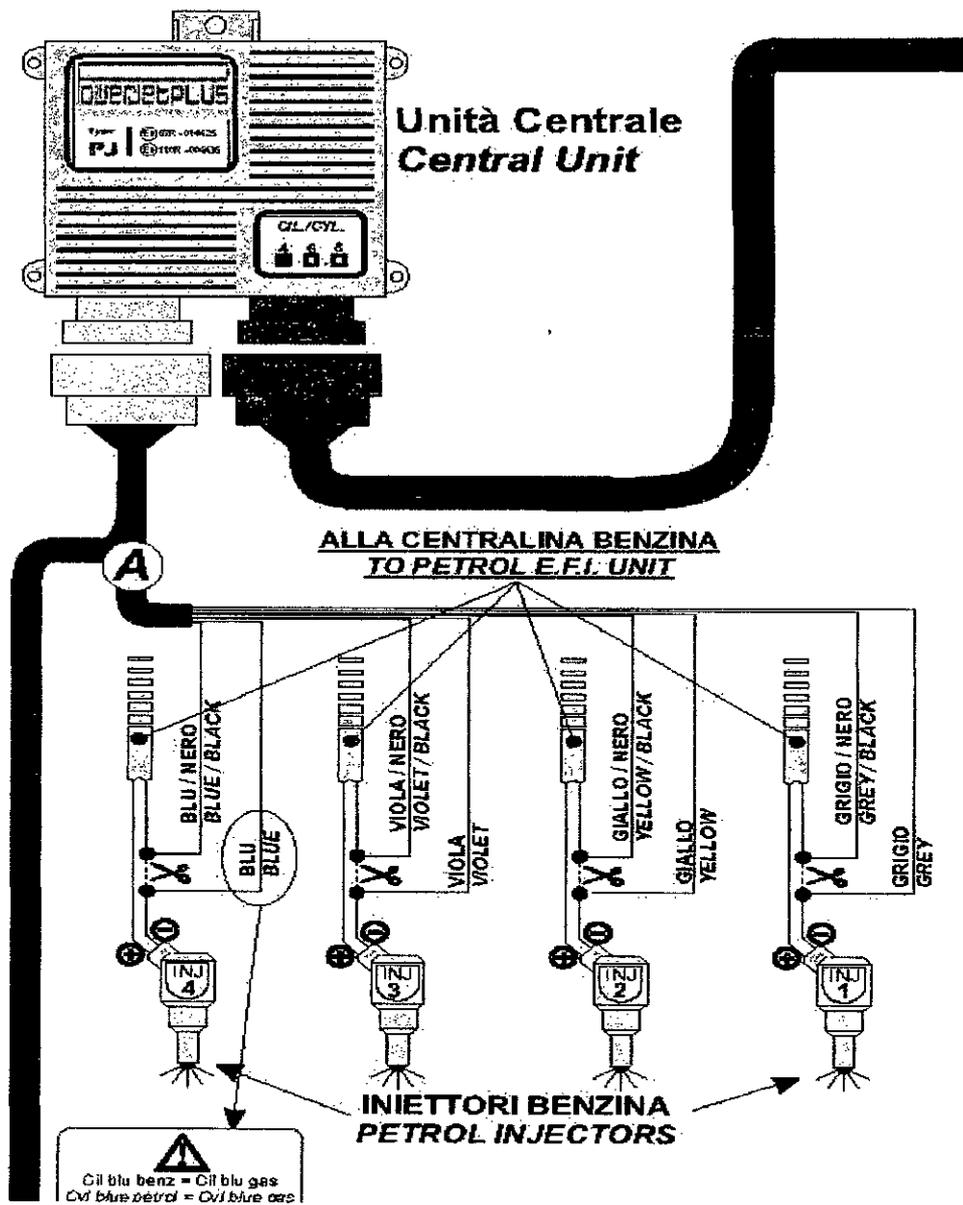


Figura 5.4-3 Identificación de la corriente pulsante en cada inyector de gasolina, y los empalmes de esta señal hacia la ECU de gas.

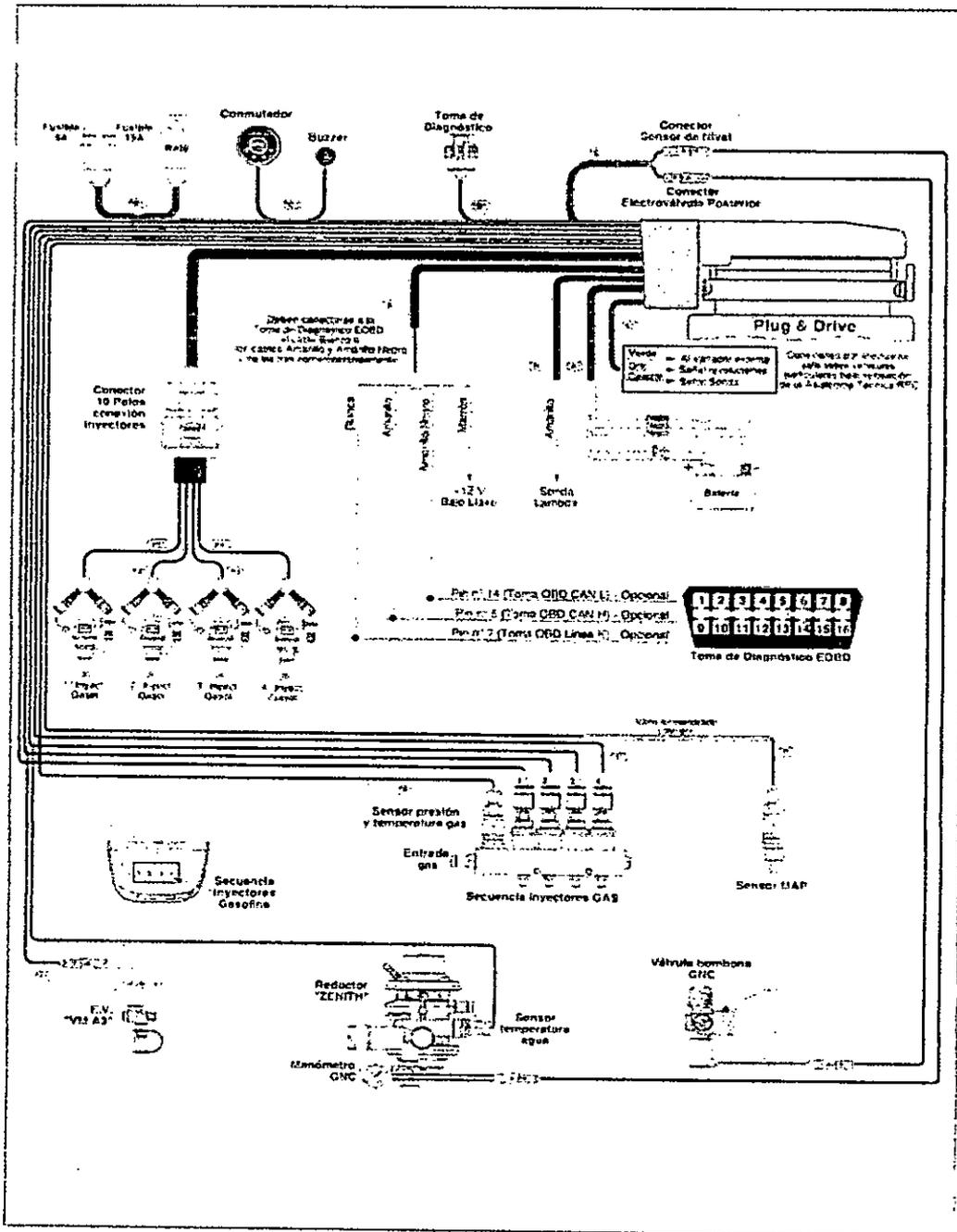
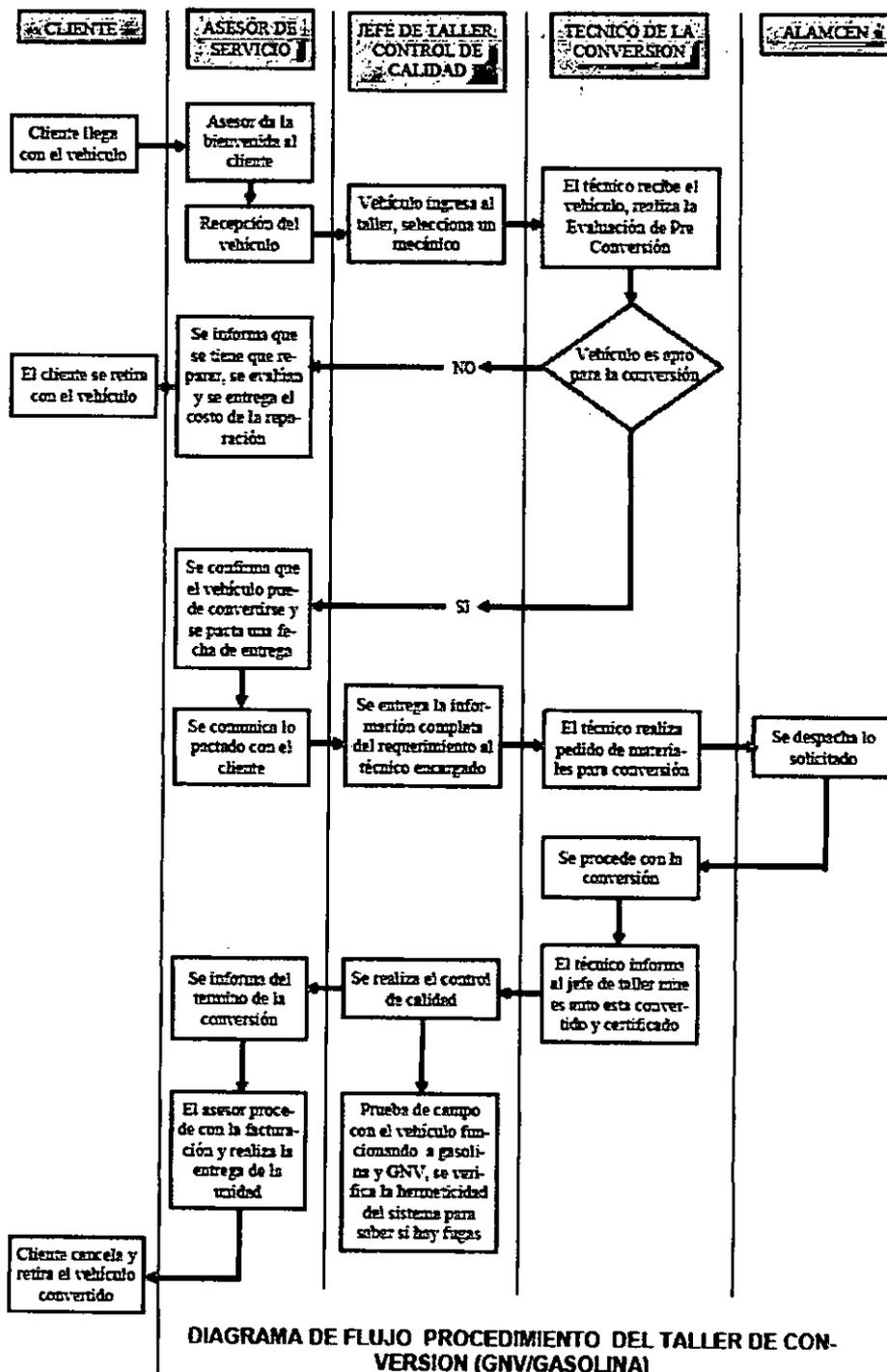
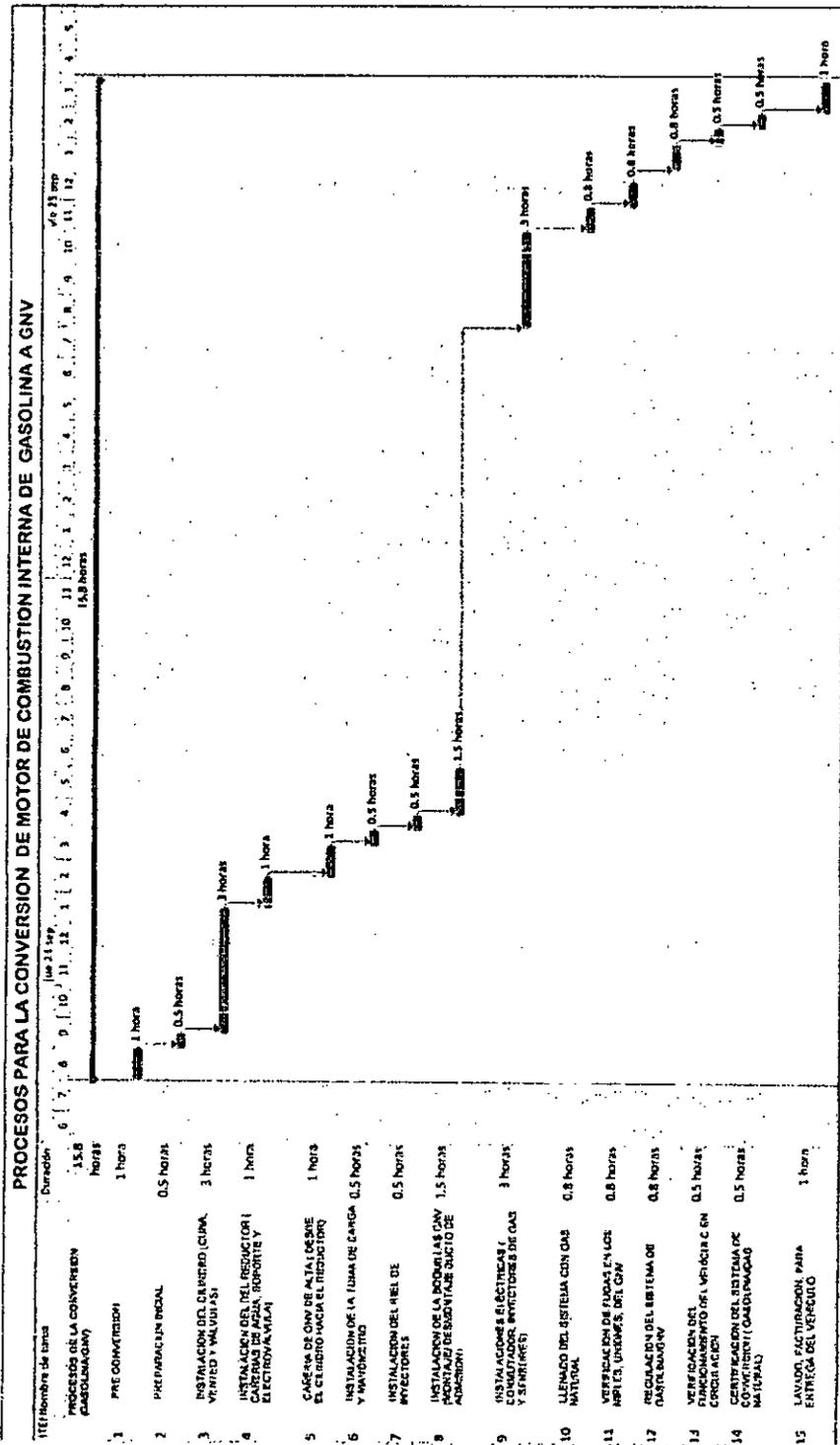


FIGURA 5.4-3-19 Esquema general de la Instalación del KIT Secuencial Quinta Categoría GNV (Marca BRC).Manual del instalador Sequent Plug & Drive

En el siguiente cuadro se muestra un diagrama de los procedimientos que debe seguir, el propietario y el taller de servicio para la conversión del vehículo, desde la llegada inicial del vehículo al taller de servicio hasta el término de la conversión.

c)-Diagrama de Flujo Procedimiento del Taller de Conversión





Cuadro 5.4-A (Proceso de conversión Diagrama de Gantt)

5.4-4 Selección del kit de Instalación (Hyundai Accent 2,012)

En esta parte del trabajo se selecciona el kit de instalación, para la combustión dual del motor (Gasolina /GNV), el auto a convertir a GNV, es un automóvil marca Hyundai modelo Accent, que funciona a gasolina, como combustible original, para el cual fue diseñado el motor. A continuación detallo característica de este motor :

Motor Hyundai Gamma MPI 1.4 (G4FACU)	
N° Serie Motor	G4FACU449618
N° de Cilindros	4
Cilindrada	1396 CC
Sistema de Combustible	Gasolina MPI
Relación de Compresión	10.5
Tren De Válvulas	DOHC 16
Diámetro de Cilindro	77 MM
Carrera	75MM
Potencia	79 KW @ 6,300 RPM
Torque Max	137 N.Mts @ 4,200 RPM
Año de Fabricación	2012

El kit de instalación de gas natural vehicular, es de la marca BRC, fabricado en Italia, el kit se elige de acuerdo a la potencia unitaria del motor y la cilindrada, a continuación muestro la tabla para elección del Kit de instalación, que se ajusta a los requerimientos del motor a convertir:

Potencias Alimentables GNC				
		Zenith dp. 1600	Zenith dp. 2000	Zenith dp. 2500
Iny. Normal Type	Asp.	15 kW/cil.	17 kW/cil.	20 kW/cil.
	Sobreal.	18 kW/cil.	20 kW/cil.	23 kW/cil.
Iny. Max Type	Asp.	19 kW/cil.	22 kW/cil.	25 kW/cil.
	Sobreal.	22 kW/cil.	25 kW/cil.	29 kW/cil.
Iny. Super Max Type	Asp.	22 kW/cil.	25 kW/cil.	29 kW/cil.
	Sobreal.	27 kW/cil.	31 kW/cil.	34 kW/cil.

Tabla 5A(Selección Reductor, Válvulas Inyectoras de Gas "Manual del Instalador Plug & Drive BRC).

De acuerdo a la potencia del motor y la tabla 5A de los KIT BRC para GNV (Equipos Secuenciales), tenemos que determinar la potencia unitaria del motor

Hallamos la Potencia Unitaria , la potencia nominal del motor es de 79 KW, y como este motor es de 4 cilindro, dividimos la Potencia Nominal /número de cilindros

$$\text{Potencia Unitaria} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Numero de cilindros}} = \frac{79 \text{ KW}}{4} = 19.75 \text{ kW}$$

Potencia Unitaria = 19.75 KW

De acuerdo a la Tabla escogemos el Reductor Zenith - P200, e inyectores de 22KW/cilindro, los inyectores son los Max, los cuales son de color anaranjado, elegidas las electroválvulas se elige las boquillas que serán insertadas en el múltiple de admisión.

-Selección de la Boquilla de Inyección, según la tabla 5B, que se muestra a continuación.

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LAS BOQUILLAS
(en base a cilindrada y potencia del vehículo)

TABLA DE CORRESPONDENCIA DE BOQUILLAS/ CILINDRADA Y POTENCIA VEHICULO

Diámetro de la boquilla (mm)	Diagrama de la boquilla	Cilindrada máxima por el número de los cilindros		Potencia máxima por el número de los cilindros	
		cm ³	CV/tr	cm ³	CV/tr
1,8 mm		0	350	>10	20
2,25 mm		>350	500	>20	32
2,5 mm		>500	650	>32	39
2,7 mm		>650	800	>39	46
3,6 mm		>800		>46	

Tabla 5B (manual del Instalador BRC Plug a Drive 1/3).

La cilindrada unitaria será $\frac{\text{Cilindrada Total}}{\text{Numero de Cilindros}} = \frac{1400 \text{ cc}}{4} = 350 \text{ CC}$

Potencia Unitaria= 19.75 KW=26.4 HP

Con los valores de potencia y cilindrada unitaria, entramos a la tabla 5B, para la cual le corresponde una boquilla de 2.25 MM.

Selección del Cilindro de Almacenamiento de Gas Natural

El vehículo en el cual se hizo la conversión, es automóvil que presta servicio de Taxi, en todo lo respecta Lima Metropolitana, como en la ciudad de Lima se cuenta con varias estaciones de servicio, se eligió un tanque que no sea muy grande, para no tener que reforzar el sistema de suspensión, ni quitar volumen a la maleta del auto.

Se tuvo en cuenta el equivalente energético de la gasolina con respecto al gas natural.

$1M^3 = 1.13$ litros de gasolina, con este factor de equivalencia se eligió el tanque de almacenamiento GNV, a continuación muestro la tabla 5C.

TABLA DE CILINDROS EUROCIL

Capacidad (lts.)	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Peso Total (kg.)	Capacidad (m ³)	Equivalencia (lts. Nafta)	Uso	Código
28	235	830	31	7,0	7,9	Automóvil	C1001
30	235	850	35	7,5	8,5	Automóvil	C1002
36	273	800	43	9,0	10,2	Automóvil	C1003
38	273	840	45	9,5	10,7	Automóvil	C1004
40	273	870	47	10,0	11,3	Automóvil	C1005
42	273	880	48	10,5	11,9	Automóvil	C1006
45	273	890	49	11,3	12,7	Automóvil	C1007
60	273	1240	69	15,0	17,0	Pick Up	C1014
80	273	1650	81	20,0	22,6	Pick Up	C1015
50	316	850	57	12,5	14,1	Automóvil	C1008
55	316	880	65	14,0	15,8	Automóvil	C1009
60	316	910	67	15,0	17,0	Automóvil	C1010
62	316	930	68	15,5	17,5	Automóvil	C1011
70	316	1020	73	17,5	19,8	Automóvil	C1012
80	316	1180	82	20,0	22,6	Pick Up	C1013

Tabla 5C Relación de Cilindros GNV1, Marca Eurocil, para el mercado peruano.

De acuerdo a nuestro requerimiento se elijo el cilindro con código C007

(Tabla 5C), el cual tiene las siguientes características:

Capacidad (LTS)	Diametro (MM)	Largo (MM)	Peso total (KG)	Capacidad (M3)	Equivalencia en litros de gasolina
45	273	890	49	11.3	12.7

Con el peso de 49 Kg que tiene el cilindro elegido, se le instalara lo más pegado al asiento posterior, para que de esta manera el peso de este componente coincida con el puente posterior de los ejes traseros del vehículo, para evitar momentos de fuerza y sobre amortiguación, se reforzó la estructura de la carrocería, donde se harían los 04 agujeros para fijar el cilindro y su respectiva cuna.

Cilindro elegido tiene una disponibilidad de llenado de gas natural de 11.3 *M³ de GNV*, lo cual equivale a 12.7 litros de gasolina (3.35 Galones), con esta cantidad de combustible el vehículo tiene una disponibilidad de 180 km de recorrido, el consumo de este vehículo es 40 Km/Galón promedio. Un vehículo que realiza taxi en Lima Metropolitana recorre aproximadamente 195 KM diario, necesariamente el usuario de este vehículo tendrá que abastecer 02 veces al día. En la siguiente imagen se muestra como quedo instalado el cilindro en el vehículo.

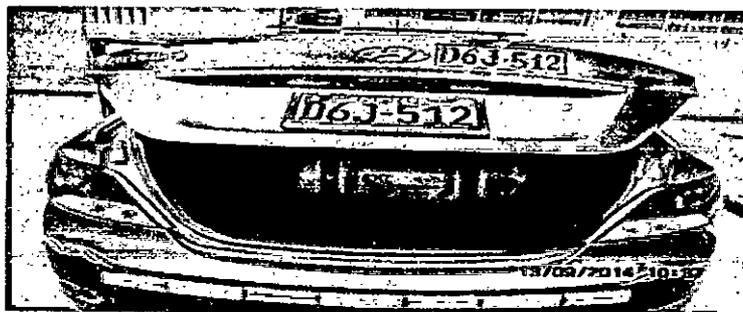


Figura 5.4-4-1 Se muestra como quedo el cilindro de Almacenamiento en la maletera. Fotografía del autor

Luego de terminada toda la instalación del kit, se procedió a cargar el sistema de gas, se verifico que el sistema esté totalmente hermético, una vez cargado con gas se regulo el equipo de gas por medio de una interface, lo primero que se hizo fue introducir a la computadora de gas datos del motor:

- Números de Cilindros.
- Cilindrada
- Aspiración Natural.
- Marca del Motor y modelo.
- Configuración de los ajustes de funcionamiento
- Establecer los tiempos de Inyección a gas según el régimen del motor.
- Limitar el tiempo de inyección a gas en desaceleración.

Terminada la configuración del equipo de gas se procedió hacer un análisis de gases al motor.

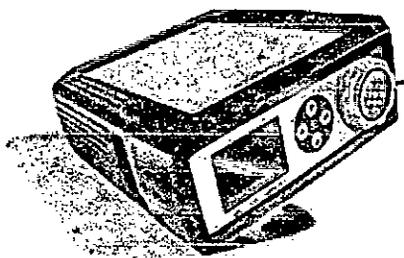
14 VEHICULOS DE LAS CATEGORIAS M y N CON MOTOR DE ENCENDIDO POR CHISPA A GASOLINA, GAS LIQUADO DE PETROLEO Y GAS NATURAL VEHICULAR U OTROS COMBUSTIBLES ALTERNOS				
Año de Fabricación	Altitud m.s.n.m	CO % de Volumen	HC (ppm)	CO + CO ₂ % (mínimo)
Hasta 1995	0 a 1600	3.0	400	10.0
	> 1600	3.0	450	8
1995 a 2002	0 a 1600	2.5	300	10.0
	> 1600	2.5	350	8
2003 en adelante	a cualquier altitud	0.5	100	12

(1) Solo para GLP / GNV el valor mínimo de CO + CO₂ será 8%

Cuadro 5.4 A (Se muestra las emisiones permisibles máximas para el estado Peruano), Categoría M vehículos automotores de pasajeros, categoría N vehículos de carga. DECRETO SUPREMO N° 047-2,001 MTC, LIMITES MÁXIMOS

Para las pruebas realizadas al vehículo convertido a gas se hará un análisis de gases, para ver el nivel de emisiones de los productos de combustión, a continuación se describe el equipo utilizado para el análisis de gases:

Analizador de Gases Marca AVL Modelo HGA 400(para 04 gases)



Procedencia	Austria
Marca	AVL DIESTEST
Alimentación	230 VAC/25VA
Interfaz	RS 232,RPM, Temperatura
Distribuidor	Sistema Automotriz
Homologación	G-002-2,002-DGMA-MTC

El analizador de Gases HGA 400 4GR Homologado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones "(G -002-2,002-DGMA-MTC)", permite la medición del contenido en volumen relativo de los componentes gaseosos específicos en los gases de escape de vehículos con motores encendidos por chispa, Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Oxígeno (O₂), Hidrocarburos (HC), y con opción a Oxido Nítrico (NO).

El valor del coeficiente de exceso de aire o Lambda (λ) es calculado en relación a los componentes CO, CO_{2,HC}, O₂.

Cuenta con posibilidad para la medición de RPM y Temperatura de Motor, impresora térmica, pinza pick up para RPM, sonda de temperatura universal, sonda de tubo de escape con manguera, manguera con desfogue para gas y agua, Selector para medir GLP y GNC. Pantalla LCD de alta luminosidad en idioma español. Compensador automático de altura hasta 5000 m.s.n.m.

5.4-5 Pruebas Realizadas al Vehículo Convertido después de 100,000 Km de uso (D6J-512), después de Realizada la conversión.

La prueba realizada a este vehículo fue la de emisiones de gases, las pruebas se realizaron en el Instituto de Transporte de la Universidad del Callao, se realizaron las pruebas, y en función a los resultados de estas pruebas, se hicieron una correcciones en el motor del vehículo convertido, también se regulo el equipo de gas, a continuación se muestran los resultados de las pruebas realizadas, ya efectuadas las correcciones, se realizó la prueba final.

Para la prueba final del vehículo convertido, se procedió hacer tres mediciones en función a la altitud de la siguiente manera:

1-Se tomaron muestras emisiones a 1,000 MSNM en la localidad de Ricardo Palma Huarochirí.

2-La Segunda muestra se tomó a 2,400 MSNM en la localidad de Matacana Huarochirí.

3-La última prueba de campo se hizo a 3,800 MSNM en la localidad de Chicla provincia de Huarochirí.

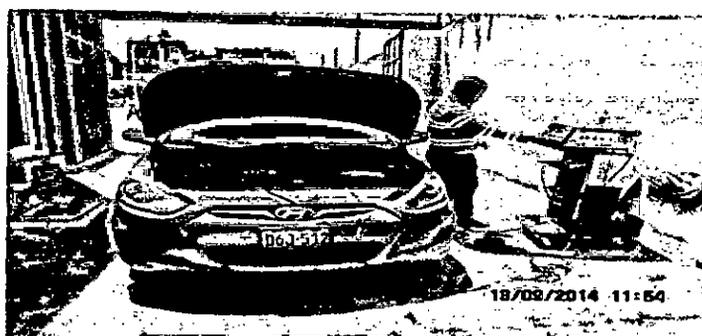


Figura 5.4-4-5 Medición del nivel de emisiones en el Instituto de Transporte de la Universidad del Callao. Fotografía del autor

Se Procedió a medir el nivel de emisiones de gases de escape del motor, lo cual se hizo de acuerdo a los procedimientos indicados en el DS N° 047-2,001 Anexo II (PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS).

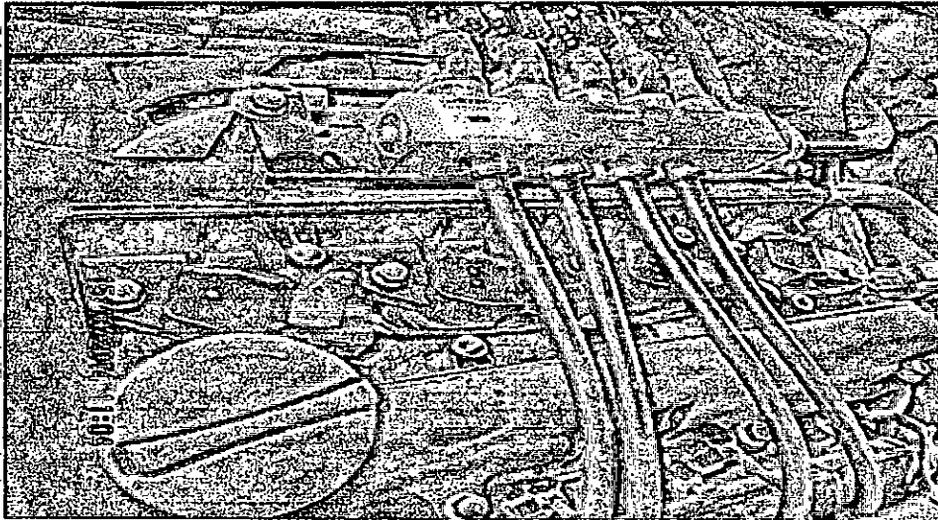


Figura 5.4-4-6 Prueba del Sistema de Encendido, se nota los inyectores de gas, y la conexión de las boquillas de gas. Fotografía del autor.

Se procedió con la medición de los gases de escape luego de 18 meses después de la instalación del kit de conversión, con un recorrido de 100,000 Kms, estas primeras mediciones se hicieron en el Taller del Instituto de Transporte de la Universidad Nacional del Callao, en la provincia Constitucional del Callao.

En la universidad se realizaron pruebas los días, 13/09/2014, 13/10/2014, 15/11/2014, y la última prueba se realizó el día 23/01/2015.

1-Primera Prueba Realizada 13/09/2014 Universidad Nacional del Callao

Se notó que todos los valores cuando funcionaba el motor en gasolina estaban muy bien, con un nivel de CO en alta y baja de RPM, en un rango de 0.34 % de Volumen, la cual se encuentra en un rango permitido.

Los hidrocarburos no quemados (HC) están dentro de su rango permitido, con un promedio de 40 PPM, es aceptable este valor, ya que el rango máximo permisible es de 100 PPM, el factor Lambda (combustible /aire) se encuentra en 0.99.

Prueba Realizada con el motor funcionando GNV:

-Se notó que el nivel de CO en bajas y altas RPM se mantenía en un valor promedio de 0.03 %, lo cual es mucho menor que cuando funciona a gasolina, y es un 91% menor.

-El nivel de CO₂ se mantiene entre un valor promedio de 10.82% en volumen, el cual es mucho menor que cuando funciona a gasolina en un 23% menos, este valor de 10.82% se encuentra dentro de los rangos permitidos.

-Con lo que respecta a los niveles de los hidrocarburos no quemados (HC), se notó cierta inestabilidad, cuando se tomó muestra en ralentí el nivel mínimo era de 186 PPM, el cual sobre pasa lo permitido (100PPM). Y en altas RPM se registró una lectura de 32 PPM.

El problema se presento es cuando el vehículo funciona a gas natural, y se encuentra el motor en ralentí el nivel de hidrocarburos no quemados (HC) es de 186 PPM, el cual está por encima de lo permitido.

Se le hizo la recomendación al usuario del vehículo, cambiar el filtro de aire, bujías, limpiar los ductos de admisión.

2-Segunda Prueba Realizada en la Universidad del Callao.(13/10/2,014)

-El análisis de gases que se hizo fue primero funcionado el motor del vehículo en gasolina, para lo cual los parámetros se mantuvieron

constantes en bajas y altas revoluciones. El motor en gasolina no mostraba problemas de emisiones.

-Análisis del Motor en GNV, se tomaron muestras a 3,000 RPM, los niveles de CO se registró en 0.11 %, muy por debajo de lo permitido. Y en baja velocidad en ralentí el nivel de CO llego 0.00%.

-El nivel de CO₂ se mantiene en bajas revoluciones en 10.8 %, en altas revoluciones su nivel es de 11.70 %, lo cual es aceptable porque el mínimo requerido es de 8 %.

- Los valores del nivel de hidrocarburos sin quemar (HC) en bajas RPM se registró en 370PPM, los cuales son muy altos, están por encima de lo permitido que es de 100 PPM, de los HC en altas RPM (3000 RPM) se encuentran en 39 PPM, lo cual está dentro del rango permitido.

Se procedió a regular el sistema de gas, regular el ralentí, ya que se registra un alto contenido de HC en marcha mínima.

Tercera Prueba Instituto de Transporte de la Universidad del Callao
(15/11/2,014).

Se comenzó el análisis con el motor funcionando a gasolina, se tomaron muestras en alta y bajas RPM, se notó que los niveles de CO en baja llego a 0.86 % muy por encima de lo permitido, luego en alta el nivel de CO llego 0.52%, los niveles de CO están altos, por encima de lo permitido que es 0.50 %.

Los Niveles de CO₂ en baja es de 11.5%, y en alta es de 14.8%.

Los Niveles de hidrocarburos no quemados (HC), se mantienen en 45 y 46 PPM respectivamente, lo cual está dentro de los rangos establecidos.

-Prueba Funcionando el motor a GNV

El nivel de CO se mantiene en 0.00% en alta y baja, el nivel de CO₂ es de 10.1% en baja y 9.7% en alta.

El nivel de Hidrocarburo sin quemar en alta es de 97 PPM, y en baja es de 58.

Se nota que el nivel de oxígeno es alto de 2.85% en alta, y 3.34% en baja, es por esta razón que el indicador sonda lambda es de 1.163, lo cual indica que está entregando mezcla pobre.

Tabla 5,6 B

Parámetros	Gasolina Alta /Baja	Gas Natural (GNV) Alta /Baja
CO (Monóxido de carbono)	0.52% / 0.71%	0.00% / 0.00%
CO2 (Dióxido de Carbono)	14.8 % / 11.5 %	10.1% / 9.7%
HC (Hidrocarburos)	46 PPM / 45 PPM	58 PPM / 180 PPM
O2 (Oxígeno)	0.00 / 0.74	2.85 % / 3.34%
λ (Lambda)(A/F)	0.983/ 1.094	1.143/ 1.168.

Se Procedió a medir el nivel de emisiones de gases de escape según los procedimientos del DS 047-2,001 MTC (Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para Vehículos Automotores), Pruebas Estáticas con el vehículo detenido :nivel de aceite y temperatura de motor en óptimas condiciones, revoluciones del motor con dispositivos para ser registrados, Accesorios Eléctricos apagados durante la prueba, El escape del vehículo debe encontrarse en perfectas condiciones de funcionamiento que no tenga ningún agu

De acuerdo a lo visto en la tabla 5,6 B , los valores resaltados de CO y HC están fuera de rango, lo más preocupantes el valor alto de monóxido de carbono (CO) funcionando el motor en gasolina, lo cual es un indicador que hay un problema interno en el motor, es por este motivo que el nivel de hidrocarburo (HC) funcionando el motor en GNV estando en ralentí sea alto, como indica las lecturas de las muestra tomadas anteriormente el día 13/10/2014.

De acuerdo al resultado de los análisis tomados, se nota que el nivel de los HC funcionando el motor en GNV y en ralentí es alto, el Nivel CO funcionando en gasolina también es alto. Necesariamente se tiene que revisar el motor del vehículo interiormente, para determinar el desgaste o el componente que está fallando. Además se nota en el motor que está inestable, parecido a la falla que uno de los cilindros no funciona, falla que ya se nota en gasolina como en gas natural.

5.4-6 Procedimiento Para la Revisión del Motor del Vehículo.

a)-Se revisó el sistema de encendido, se probaron las bobinas en forma individual, el problema persistía, inclusive se probó el motor con bobinas de encendidos nuevas.



Figura 5.4-6-1 Revisando el sistema de encendido. Fotografía del auto.

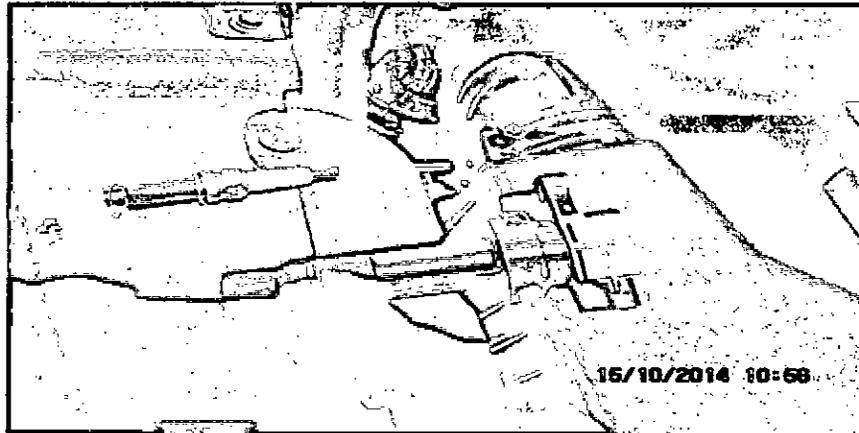


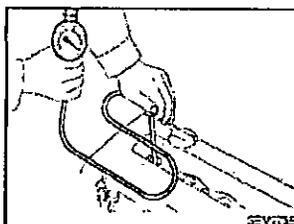
Figura 5.4- 6-2 Se muestra la Bobina de encendido y la bujía del motor. Fotografía del autor.

b)- Se midió la presión de compresión del motor cilindro por cilindro, la presión de compresión de este motor según el manual de servicio es de 170 PSI Máximo, se muestra la lectura de la presión de compresión cilindro por cilindro. Según el manual la caída de presión de cilindro por cilindro debe de ser +/- 15%,

MEDICION DE LA PRESION DE COMPRESION



1. Calentar el motor.
2. Quitar el contacto.
3. Liberar la presión de combustible.
Consultar EC-43, "Liberación de la presión de combustible".
4. Desmontar las bobinas de encendido.
5. Desmontar las bujías.
 - Limpiar la zona alrededor de la bujía con aire comprimido antes de desmontarla.



6. Fijar el comprobador de compresión en el cilindro N° 1.
7. Pisar a fondo el pedal del acelerador para mantener la válvula de la mariposa completamente abierta.
8. Poner en marcha el motor y tomar la lectura más alta del indicador.
9. Repetir la medición en cada cilindro como se muestra arriba.
 - Usar siempre una batería totalmente cargada para obtener la velocidad de motor especificada.

Presión de compresión: kPa (bar, kg/cm²)/rpm

Excepto para OG15DE

Estándar

1.324 (13.24, 13.5)/350

Mínimo

1.128 (11.28, 11.5)/350

Diferencia máxima permitida entre los cilindros

98 (0.98, 1.0)/350

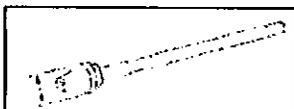


Figura 5.4-6-3 Procedimiento para la medición de la presión de compresión en el motor. (Hyundai Accent Shop Manual V-1).

Como se muestra en la figura 5.4-6-3, de acuerdo al motor que tengo los procedimientos son los siguientes:

Desmontar la tapa superior que cubre a las bobinas de encendido, son cuatros pernos, liberar la presión de combustible.

Desmontar la bobina de encendido y su respectiva bujía de encendido, limpiar la zona alrededor de la bujía, tapar luego los orificios de las otras bujías.

Fijar el manómetro en el cilindro numero N°1.

Poner en marcha el motor y tomar la lectura más alta.

Tener la batería con una buena carga.

Cilindro	1	2	3	4
Presión (PSI)	155	125	130	160

Tabla 5.4-6A

De acuerdo a los valores registrados en la tabla 5.4-6A, se nota que en el cilindro 2, 3 hay una diferencia de presión de 25 psi, con lo cual se determina que hay desgaste, lo que corresponde es revisar el sistema de distribución y las válvulas.

-Se desmontaron los árboles de levas se revisaron las válvulas, y se notó el desgaste de las válvulas notorio en los cilindros 2 y 3, también se aprovechó para revisar las paredes de los cilindros, y estas se encontraban bien, de acuerdo a la evaluación el desgaste está en el

sistema de válvulas, los asientos estaban bien desgastados, es por este motivo que no había un sello hermético de las válvulas, y es el motivo porque en mínimo los HC aumentaban y la inestabilidad del motor en ralentí.

Determinado el problema en el vehículo, se procedió con el cambio del sistema de válvulas, se cambiaron válvulas nuevas y guías, los buzos o alza válvulas o pastillas como la llaman algunos mecánicos, se le instalo válvulas nuevas.

Después de la reparación del sistema de válvula, se procedió a medir el nivel de emisiones.

5.4-7 Análisis de Gases efectuados después de la Reparación del Sistema de Válvulas.(25/01/2,015).

Se empezó el ensayo de análisis de gases con el motor funcionando en gasolina, y se registraron los siguientes valores.

Parámetros	Gasolina Alta / Baja	GNV Alta / Baja
CO (Monóxido carbono)	0.44 % / 0.20%	0.09% / 0.14%
HC(Hidro carburos no quemados)	26 PPM / 25 PPM	53.5 PPM / 55PPM
CO2 (Dióxido de Carbono)	14.50% / 14.07%	11.40% / 11.50%

O2 (Oxigeno)	0.04% / 0.20	0.00% / 0.0%
λ (Sonda Lambda)	0.982 / 0.986	0.9945 / 0.988

Tabla 5.4-7A Nivel de emisiones después de la reparación del sistema de válvulas.

De acuerdo a la tabla 5.4-2 el nivel de emisiones funcionando en gasolina el motor está dentro del rango de valores permitidos por la norma peruana, con el motor funcionando en GNV los valores CO y CO₂ son más bajos que en gasolina, el nivel de HC en GNV es en promedio 54 PPM es de un 95% mayor que en gasolina, estos valores se encuentran por debajo del máximo permitido que es de 100PPM. Con lo concluimos que el motor del vehículo se encuentra en buen estado de funcionamiento, funcionando con gasolina o gas natural. Luego se evaluara el vehículo a 1, 000, 2,400, 3,8000 MSNM.



Figura 5.4-7-1 Prueba de análisis de gases en la localidad de Huarochiri
(Ricardo Palma 1,000 MSNM)

Evaluación y Análisis de Gases del Motor en Función a la Altitud
(1,000-2,400-3,800 MSNM)

Primera Prueba Campo 1,000 MSNM Ricardo Palma Huarochiri

Combustible	GAS NATURAL
Temperatura Motor	81° C
Parámetros	Mediciones(2900 RPM)
CO (Monóxido Carbono)	0.09%
HC (Metano)	20 PPM
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	11.30%
O ₂ (Oxígeno)	0.04%
λ(Sonda Lambda)	0.999
CO + CO ₂	11.39%
Parámetros	Mediciones (900 RPM)
CO (Monóxido Carbono)	0.03%
HC (Metano)	30 PPM
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	11.10%
O ₂ (Oxígeno)	0.12%
λ(Sonda Lambda)	1.004
CO + CO ₂	11.13%

Tabla 5.4-7B valores de Emisiones tomados a 1,000 msnm.

La prueba se realizó con el motor funcionando a gas natural, se tomó valores en alta rpm y se captó que el nivel de CO es de 0.09 %, los HC 20 PPM, CO₂ 11.30%, y el valor del factor sonda Lambda es 0.999, de acuerdo a estos valores el motor del vehículo se

desempeña bien con una mezcla casi estequiometria, los niveles de HC y CO son bajos, los cumplen las normas de emisiones, el motor tiene buena performance no muestra problema al funcionar con gas natural a está altitud.

Segunda Prueba de Campo 2.400 MSNM Matucana Huarochirí

Estas pruebas se realizaron con el motor funcionando a gasolina y gas natural:

Gasolina – El funcionamiento del motor es normal los índices de emisiones están dentro del rango normal de funcionamiento, los niveles de CO están en alta y baja en 0.48%, los HC en alta están 23 PPM y en baja en 58 PPM, el nivel de CO₂ es de 14.15% en promedio, el vehículo se encuentra bien funcionando con gasolina.

GAS NATURAL-

Se inició la prueba tomado valores en altas revoluciones, los niveles de CO se registraron valores entre 0.01 y 0.09 %, los Valores de de CO₂ se registraron en 11.20 % son valores aceptables.

Los Niveles de HC (hidrocarburos sin quemar) se mantuvieron en altas revoluciones entre 90-110 PPM, los cuales se encuentran en el valor permisible, y el coeficiente de sonda lambda está 0.998.

Los valores en bajas revoluciones o ralentí son:

-CO están entre 0.01-0.09 % los cuales son aceptables.

-CO₂ se mantiene en 11.20 %.

-Los HC (hidrocarburos no quemados), se encuentran entre 40-50 PPM, los cuales están mejor que alta, tienen un valor aceptable.

La única variación en la lectura de los valores de emisión está en los HC en altas revoluciones que están en el rango superior permisible (90-110 PPM), funcionando el motor en gas natural.

TERCERA PRUEBA DE CAMPO 3.800 MSNM Chicla Huarochirí

Las pruebas de emisiones se realizaron y se obtuvieron el siguiente resultado.

COMBUSTIBLE GASOLINA		
Productos	Alta	Baja
CO	<0.75, 0.73> %	<0.47, 0.37>%
HC	<17 , 19 > PPM	<33, 66 > PPM
CO2	13.80%	<12.2 , 14.11 > %
λ (Lambda)	0.979	< 0.985 , 1.324> %

Tabla 5.4-7C

Como se muestra la tabla 5.4-7C, los valores de la muestra de los análisis de gases funcionando en gasolina, se nota un aumento de CO en alta pasando los niveles permitidos, y baja se encuentra dentro de los límites permitidos, los demás parámetros se encuentran del rango, los niveles de

HC están bajos en promedio de 13 PPM, y 13.80 % de dióxido de carbono, con un factor de dosado de 0.9.

Cuando se pasó a ver el análisis con el motor funcionando en gas natural, se tomó la muestra en alta, los valores estaban dentro del rango normal con un CO de 0.03 %, HC en 90 PPM, y CO₂ 11%. Después empezaron cambios en el motor en el cual los niveles de HC (hidrocarburos sin quemar) comenzaron elevarse entre 240, 293 PPM, estos debido posible a los cambios de regímenes transitorio, y los demás parámetros se mantenían estable.

5.4 -8 Programa de Mantenimiento

Mantenimiento del Motor G4FACU Convertido a GNV del Vehículo Hyundai Accent

La conversión a gas natural vehicular consiste en la instalación de un sistema de alimentación de combustible gaseoso adicional al sistema de combustible líquido con el que originalmente se fabricó el vehículo. Este sistema adicional necesita de revisiones, mantenimientos y eventualmente reparaciones o cambios como si fuera cualquier pieza original del vehículo. Los planes y tiempos de mantenimiento de cualquier vehículo convertido a GNV siguen siendo lo mismo especificado por el fabricante, solo que ahora a este plan se le debe adicionar el mantenimiento del sistema de gas, que el fabricante del kit de conversión recomienda.

Es importante tener en cuenta que cuando algún componente del vehículo no funciona correctamente, el desempeño del sistema de GNV será afectado mucho más que el sistema original de gasolina. Esto debido a la naturaleza de los dos combustibles y su forma de suministro en el motor, lo cual no significa que la conversión a gas haga que el vehículo falle más frecuentemente, si no que GNV para su combustión en el motor requiere que este se encuentre en óptimas condiciones. Se debe tener especial atención con el cambio de filtros de aire, bujías, sistema de encendido, ya que el funcionamiento a gas es muy sensible a estos componentes.

El usuario de GNV, debe comprender entonces que su sistema de gas natural vehicular, al igual que cualquier otro componente de la maquina es susceptible de desgaste o daño, por lo tanto debe tener en cuenta el plan de mantenimiento del taller donde se realizó la conversión.

Es muy importante cambiar el filtro de gas, porque este componente es el encargado de retener las partículas contaminantes, principalmente aceite, que adquiere el gas natural en su proceso de compresión. Cuanto más aceite ha retenido el filtro, la reducción del caudal de gas comienza a ser significativa lo cual conlleva al mal funcionamiento del motor en gas, especialmente en aceleraciones. El filtro de gas se cambia cada 20,000 Km.

La revisión, mantenimiento de los Inyectores de Gas y el Reductor. Estos son los componentes fundamentales del sistema secuencial de gas, si

estos no se encuentran limpios y calibrados, el mal funcionamiento del vehículo será evidente. El aceite y las impurezas que no alcanzan a retener el filtro sumado con los residuos volátiles de la combustión, generan taponamiento en el inyector, restringiendo la cantidad de gas que debe pasar a través del mismo. Otra falla de la válvula inyectora de gas, es el desgaste de su parte interna como el vástago y el o-rings. A continuación se muestra un cuadro de los mantenimientos del sistema de gas en función al recorrido del vehículo. También se muestra otros cuadros donde se describen posibles fallas del motor funcionando a gas natural.

FICHA DE OPERACIONES TECNICAS DE MANTENIMIENTOS OBLIGATORIOS DE VEHICULOS CONVERTIDOS A GNV (MILES de KM).

OPERACIONES	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
Verificación de las emisiones contaminantes Gasolina/GNV		X		X		X		X		X		X		X
Verificación del estado de la carrocería en la zona de fijación de los elementos del GNV.	X		X		X		X		X		X			
Verificación de la fijación y la integridad del tanque de GNV, válvula de cilindro y tuberías (alta presión), manguera de baja presión de GNV.	X		X		X		X		X		X		X	
Verificación de la estanqueidad de los empalmes del sistema GNV (agua, gas).	X		X		X		X		X		X		X	
Verificación de la instalación eléctrica del sistema GNV (cables conexiones).			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación del sistema de encendido (bobinas, cables de alta tensión, y bujías).	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Verificación y puesta a cero de los errores acumulados en la ECU de GNV		X		X		X		X		X		X		X
Sustitución del filtro de GNV	X		X		X		X		X		X		X	
Mantenimiento y limpieza interior del Reductor, Inyectores de GNV				X				X				X		
Cambio de Accesorio del Reductor					x					X				
Mantenimiento del Riel de Inyectores de Gas		x		x		x		X		X		x		x

Guía de Fallas del Sistema de GNV

Guía de fallas del sistema de GNV funcionando el motor en marcha mínima (ralentí).

Síntoma de Incidencia	Causa	Solución
El número de revoluciones con régimen mínimo es demasiado bajo	Hay filtración de aire procedente del circuito de compensación.	Sustituir el tubo estropeado.
	El régimen mínimo del vehículo con gasolina no está bien regulado.	Regular el mínimo del vehículo.
El mínimo es inestable (el motor esta inestable), pero la sonda Lambda trabaja.	La Sonda Lambda tiene una señal lenta o incorrecta.	Comprobar que el vehículo funcione con gasolina, en el caso de verificarse defectos, sustituir la sonda.
La carburación es tan rica o pobre que el motor del vehículo no logra estar encendido en mínimo.	Se ha roto el controlador de pilotaje de uno de los inyectores.	Sustituir la unidad de control electrónico.
El régimen del motor en mínimo no es regular, el motor presenta una inestabilidad de varios cientos de revoluciones.	El mínimo no está bien nivelado.	Regular el mínimo, recordando diferenciar las zonas del mínimo con compensador del climatizador activado y desactivado.
En la prueba de emisiones de gases indica una mezcla rica o pobre con el motor en ralentí.	El emulador de inyectores de gasolina presente en la ECU de GNV deja pasar gasolina,	Sustituir la la Unidad de control electrónico (ECU GNV).

Paso de Gasolina a Gas

Para lograr el paso de gasolina a funcionar con GNV, el sistema requiere determinado número de revoluciones y temperatura del agua. El relevador de agua requiere cierto tiempo de funcionamiento en gasolina.

Síntoma de Incidencia	Causa	Solución
El vehículo no pasa al funcionamiento de Gas Natural (GNV).	Los inyectores no se abren	Verificar en "Diagnostico de Funcionamiento" posibles errores, en caso de presentarse defectos, sustituir el inyector o la ECU de GNV
	La Unidad de Control Electrónico es defectuosa	Sustituir la Unidad de Control Electrónico (ECU – GNV).
	Es imposible leer el valor de la temperatura del agua del motor.	Controlar las conexiones eléctricas, si es correcta sustituir el sensor de temperatura de agua.
Durante algunos segundos tras el paso, la carburación no es la óptima.	La temperatura del agua para el cambio, ha sido configurada demasiado baja.	Modificar la temperatura del agua para el cambio en un valor más alto
El vehículo empieza a trabajar con gas y se apaga	El electro válvula GNV del reductor no se abren.	Verificar en "Diagnostico", la presencia de posibles errores, reparar la conexión eléctrica o cambiar la electroválvula GNV
	Uno o más inyectores no funcionan correctamente.	Verificar en "Diagnostico de funcionamiento", posibles errores, si no cambiar el riel de inyectores.
	La presión en el Reductor desciende rápidamente.	Verificar el reductor, revisar el filtro de GNV, posible estrangulamiento del gas en el circuito de alta o baja.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR BAJO CARGA

SINTOMAS	CAUSAS	SOLUCIÓN
El vehículo pierde fuerza porque la mezcla aire /combustible es demasiado pobre	Se lee una variación de presión elevada, y esta se mantiene por debajo del valor normal durante largo tiempo.	Reductor dañado
		La válvula del tanque parcialmente cerrada
		Sustituir el filtro de GNV
Tras cierto periodo de funcionamiento a plena potencia ,el vehículo pasa a funcionar a gasolina	La temperatura del reductor desciende a valores demasiados bajos, como consecuencia la ECU GNV detecta error.	El circuito hidráulico no proporciona suficiente potencia térmica al reductor durante la distribución de cantidades elevadas de metano, verificar la instalación de agua del reductor a la toma de refrigerante del motor.
	La presión a descendido por debajo de los 0.5 bar bajo la presión de funcionamiento (2.5 Bar).	Revisar el filtro de GNV, controlar estrangulamiento de válvulas o tuberías en alta y baja presión.
Durante aceleraciones rápidas con marchas cortas, al llegar a revoluciones muy altas, va a tirones violentamente.	Debido al esfuerzo se detecta un exceso de revoluciones, y el motor del vehículo pasa a funcionar a gasolina.	Reducir las revoluciones del motor.
	La sonda Lambda o sensor de oxígeno deja de funcionar y no envía valores reales.	Regresar a gasolina, controlar que la sonda vuelva a funcionar correctamente, en caso contrario cambiarla.

6. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA

6.1 Evaluación Técnica

Proceso de Combustión en el MCI Encendido por Chispa.

En el presente trabajo se analiza los cambios que se dan en el proceso de combustión cuando el motor del vehículo funciona con un combustible alternativo, en nuestro caso, el combustible alternativo es gas natural (GNV), el combustible de uso original de este motor es gasolina.

Primeramente se tiene que saber cuál es el proceso de combustión de la gasolina en el motor, las particularidades y propiedades de este combustible, y los cambios que se tienen que efectuar al cambiar de combustible, en el siguiente grafico analizaremos el proceso de combustión del motor con su combustible original gasolina.

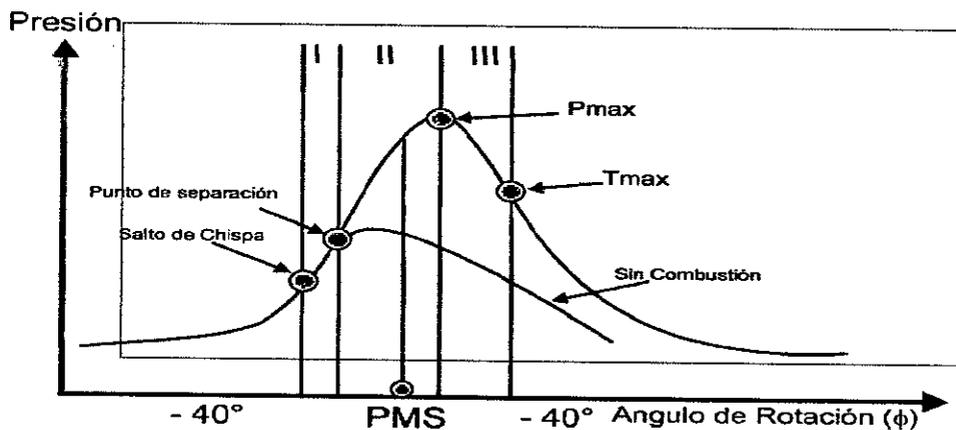


Figura 6.25 Diagrama Presión Vs (ϕ) Angulo de rotación, indicando las fases del proceso de combustión. (Variación de la presión con respecto al giro del cigüeñal, donde se señalan las fases de la combustión (Jovaj y Maslow, Motores del Automóvil, Editorial MIR).

I Fase Inicial (Combustión Laminar)

Comienza con el salto de la chispa y la duración de este periodo depende de las características químicas del combustible empleado, pueden presentarse demoras en el crecimiento de la presión que señalan un proceso de propagación muy lento, que es debido a la complejidad de la reacción química, la cantidad de masa que se quema en la cercanía de los electrodos de la bujía es muy pequeña, y se considera que el pequeño incremento de presión observado es por el propio proceso de la compresión. Como momento de finalización de esta fase se considera el punto donde se observa claramente la separación entre los diagramas de la curva sin combustión, y la curva con encendido por chispa. En función de la cantidad de masa quemada en esta fase se estima que se libera un 8.5% de la energía total contenida en el combustible.

II FASE (Principal)

Abarca desde el denominado punto de separación hasta el instante que se alcanza la presión máxima. Se le denomina la Fase Principal de la combustión en vista que dependiendo de su adecuado desarrollo alrededor del PMS el motor será capaz de aprovechar mejor la energía contenida en el combustible. Durante esta fase la velocidad de reacción química aumenta violentamente, presentándose la mayor proporción de mezcla quemada aproximadamente en el 85 % ("Heywood, Fundamento de Motores de Combustión Interna.").

Es deseable por lo tanto que los puntos de inicio y de fin de esta fase sean lo más simétrico posible al PMS, lo que requiere una determinación exacta del Angulo de salto de chispa o avance del encendido. Este ángulo debe ser mayor mientras mayor sea la duración de la fase inicial y mientras más lento sea el desarrollo de la combustión. Cuando el aumento de Presión durante esta fase es muy elevado se considera que el funcionamiento del motor es rígido, lo que ocasiona problemas mecánicos relacionados con la resistencia del mecanismo cilindro pistón. Para el instante en que se alcanza la Máxima Presión se estima que se ha liberado un 85 % de la energía del combustible.

FASE III (Combustión Residual).

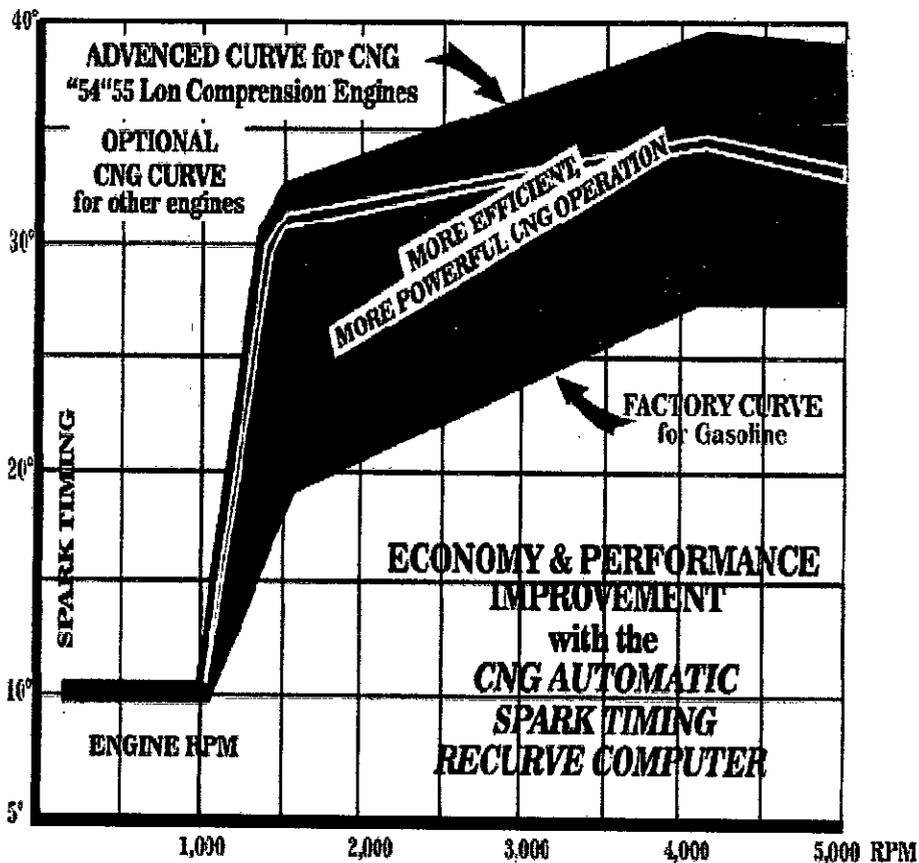
La temperatura de los gases de escape continúa aumentando después que la presión máxima ha sido alcanzada, esto revela que el proceso de combustión no ha finalizado. Por convención se considera que esta fase abarca desde el punto de Máxima Presión hasta el instante que se alcanza la temperatura máxima. En ese momento la llama está muy cerca de las paredes de la cámara y tanto las pérdidas de calor hacia las paredes como el incremento continuo de volumen no permiten que la presión continúe en aumento. En esta fase se estima que se alcanza un 85% del calor liberado tomando en cuenta el porcentaje de calor perdido por combustión incompleta a través de las paredes. Cuando el funcionamiento del motor es a media carga o mezclas empobrecidas, la

máxima liberación de energía en el punto de presión máxima no excede el 50% originando una combustión muy prolongada durante carrera de expansión, que tiende a causar mayor aumento de la temperatura de los gases de escape.

Proceso de Combustión del Motor Convertido a Gas.

El motor del vehículo convertido a gas natural, funciona de una manera dual (Gasolina /GNV), al encender recién el motor del vehículo lo hace en gasolina, luego cuando la temperatura del refrigerante alcance los 30° C y las revoluciones del motor superen el 1500 rpm se pasa a GNV. El gas natural necesita tener una temperatura adecuada para empezar funcionar, calor que es cedido por el refrigerante del motor. De acuerdo a las características del gas natural, el gas natural tiene una mayor resistencia a la detonación y la vez tiene menor velocidad de propagación de llama, es por este motivo que se tiene que adelantar uno grados más el encendido, con respecto al adelanto que se dio en gasolina , el adelanto del encendido de la chispa cuando el motor funciona a gas natural, de acuerdo al grafico 5GNV, se muestra cuando el motor llega a las 1,000 RPM la variación del adelanto del encendido es muy similar cuando el motor funciona a gasolina, cuando la velocidad de rotación llega a 1,500 RPM a 5,000 RPM la variación del adelanto de la chispa es de 12° más con respecto al motor funcionando a gasolina.

Para el motor del vehículo que se convirtió a GNV, que tiene una Potencia Nominal de 60.2 KW, Torque 137 NxM a una velocidad de rotación de 4,200 RPM, analizaremos el proceso de combustión en gas natural en el gráfico de Angulo de rotación vs presión.



(Grafico 5GNV). La cual se muestra la variación del grado de avance de la chispa en función de las RPM para el motor funcionando a gasolina y gas natural (Estudio de Consultoría en Gas Natural Vehicular Ministerio del Ambiente Republica de Colombia).

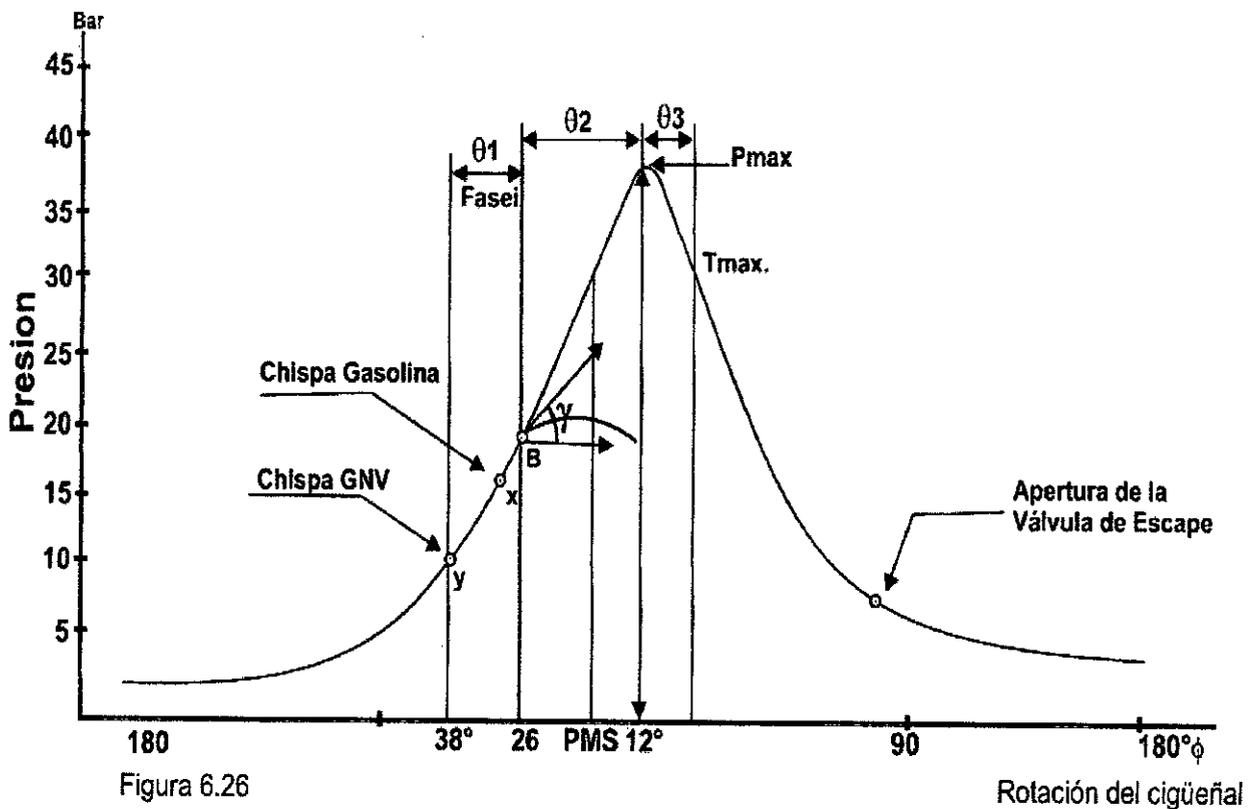


Figura 6.1-2 Diagrama Presión vs Angulo de Rotación con respecto al PMS, para el ciclo de combustión del motor a condiciones nominales (se muestra el adelanto del encendido en gasolina y GNV con respecto el PMS).

De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 6.26, notamos que en la primera fase de la combustión representado como θ_1 , el proceso de combustión para el gas natural empieza en Y (salto de chispa) la cual se encuentra a 38° antes de llegar al PMS, el punto X (salto de chispa) que es comienzo de la combustión para el motor funcionando en gasolina, lo que notamos que la combustión en GNV dura más tiempo, porque el salto de chispa empieza en 12° antes con respecto al adelanto en gasolina que es 26° antes del PMS. Por este adelanto del encendido el tiempo de la

combustión en GNV se incrementa llegando a 2 milisegundos, el tiempo de la combustión en gasolina es de 1.58 milisegundos, el incremento es del 26 % en tiempo con respecto a gasolina, En esta primera fase de la combustión el quemado de la mezcla depende de las características físico-química del GNV, como se mencionó anteriormente el GNV tiene menor velocidad de propagación de llama, este gas tiene una estructura química molecular más estable que la gasolina, es por este motivo que se necesita más energía en la chispa de la bujía para empezar la reacción química, adicionalmente la cantidad de masa que se quema en la cercanía del electrodo de la bujía es muy pequeña.

La velocidad de aumento de la presión , o gradiente de presión que se da en la Fase II(Fase Principal) del proceso de combustión, la turbulencia aumenta es por este motivo que velocidad de propagación de llama aumenta, ejerce una notable influencia sobre la presión máxima y sobre la progresividad con la que la fuerza desarrollada por el fluido es transmitida al pistón, como sabemos para el gas natural la velocidad de propagación de llama es menor que el de gasolina, entonces el gradiente de presión $(\frac{dp}{d\phi})$ disminuye, entonces tendremos menor presión sobre la cabeza del pistón en la carrera de expansión y menor fuerza de empuje. El gradiente depende de la rapidez con lo cual se desarrolla la combustión.

La manera de controlar la combustión es por medio del Angulo de avance de encendido, es de gran importancia para el rendimiento del ciclo el

momento en que comienza la combustión y el tiempo por esta en completarse.

Entonces por lo visto en los gráficos (figura 6.25) de curva de combustión en gasolina, y gas natural (figura 6.26), el tiempo empleado para la combustión tiene que ser menor posible, para tener un mayor desprendimiento de calor en la fase principal y un mayor gradiente de presión, de esta manera tener una mayor expansión de los gases, con lo cual se tiene mayor empuje del pistón, los factores de los cuales depende el tiempo de combustión en un motor encendido por chispa son:

1. Velocidad de la Propagación del Frente de Llama
2. Longitud del Recorrido del Frente de Llama, el cual depende de las dimensiones y de la forma de la cámara de combustión y de la posición de la bujía, en el trabajo que se está realizando estos parámetros no cambian.

En el proceso de conversión que se realizó, no se hará ningún tipo de modificación en la relación de compresión del motor, ni modificación en la cámara de combustión, por lo tanto la longitud del recorrido del frente de llama se mantiene invariable, funcionando el motor a gasolina o gas natural.

La función principal en la conversión es mantener una mezcla homogénea de aire/gas natural, que este lo más próxima a la relación estequiometría (17 parte de aire/1 parte de gas natural), en los regímenes de funcionamiento del motor, de acuerdo a la carga, suministrar la cantidad correcta de combustible, el Kit de Conversión Utilizado para la

conversión, saca provecho de la gestión electrónica del motor, utiliza información de los sensores, toma como referencia principal la señal pulsante negativa del inyector de gasolina, esta señal es procesada por la ECU de GAS del kit de conversión, la procesa de forma rápida tomando en cuenta las condiciones del gas de presión y temperatura, la ECU del Kit de Conversión también activa el sistema de encendido de acuerdo a los requerimientos para la combustión de gas natural, esta computadora se encarga variar el avance de encendido cuando el motor funciona con gas natural. Para una buena combustión del gas natural la mezcla aire/combustible debe ser la más cercana a la estequiometría, de esta manera los productos de la combustión del GNV puedan ser procesados por el convertidor catalítico de tres vías, el cual reduce los gases HC(hidrocarburos sin quemar),CO, y los óxidos de nitrógeno).El dispositivo que se encarga de monitorear el estado de la mezcla es el sensor de oxígeno, el cual detenta la cantidad de oxígeno contenido en la mezcla, este sensor a través de una señal de voltaje envía esta información a la computadora, luego la ECU modificara el pulso del inyector de gas en el siguiente ciclo.

6.1-1 Desempeño del Vehículo en el Recorrido de la Evaluación

Se programó evaluar el desempeño del motor en diversas condiciones desde el Callao hasta la localidad de Chicla – Huarochirí (aprox. 3800 msnm) con un recorrido de 185 km. Realizando pruebas de control de

emisión de gases como indicador de comportamiento del motor en las diversas condiciones; se realizaron tres paradas:

- a. En la Provincia Constitucional del Callao, Instituto de Transporte UNAC.
- b. Primera muestra Ricardo Palma (Huarochirí) 1,000MSNM
- c. Segunda Muestra Matucana (Huarochirí) 2,400
- d. Tercera muestra Chicla (Huarochirí) 3,800 MSNM

Con recorrido total de 185 km, se consideró esta ruta para evaluar el comportamiento del motor en diversas condiciones de trabajo y evaluar los efectos de la altura en su rendimiento.

Se evaluó el vehículo en ruta con un régimen de operación de aproximadamente a 2,300 RPM funcionando en GNV se obtuvo una velocidad de 80KM/H, se mantuvo las misma posición el pedal del acelerador RPM (2300 RPM) se cambió a gasolina y el vehículo alcanzo una velocidad de 90 KM/H, con lo cual nos demuestra que manteniendo en una posición el pedal acelerador (2,300 RPM), se incrementa el torque en el motor funcionando en gasolina. Lo cual se muestra en la figura 6.1-3.



Figura 6.1-3 Vehículo Funcionando a GNV con una posición fija del pedal del acelerador, desplazamiento 80 KM/H, 2,300 RPM.

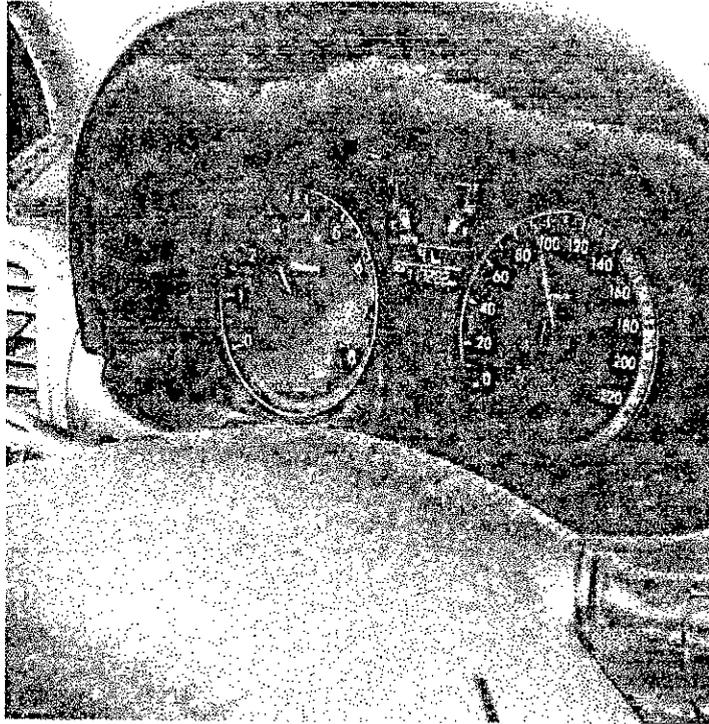


Figura 6.1-4 Vehículo Funcionando a GASOLINA con una posición fija del pedal del acelerador 90 KM/H y 2,300 RPM.

Evaluación del Recorrido a la Localidad de Huarochirí, Partiendo de la Universidad del Callao.

Se partió de la Localidad del Callao, el punto de partida el Instituto de Transportes UNAC, el 01/02/2015 a las 09:00 horas, indicando el odómetro un recorrido de 117278 km.

Kilometraje del Vehículo	Localidad	Abastecimiento de GNV(M ³)	Costo de GNV ($\frac{\text{Soles}}{\text{M}^3}$)	Total (S/ soles)
117282	Santa Clara Ate (Lima)	11.2 M ³	1.46	S / 16.352
117315	Primera muestra Ricardo Palma(Huarochirí) 1,000MSNM	X	X	x
117348	Segunda Muestra Matucana (Huarochirí)2,400 MSNM	X	X	x
117399	Tercera muestra Chicla (Huarochirí) 3,800 MSNM			
117467	Huaycan Ate (Lima)	11.02 M ³	1.46	S / 16.08

Tabla 6.1-5 Recorrido del Vehículo hasta agotar el gas contenido en el cilindro de almacenamiento.

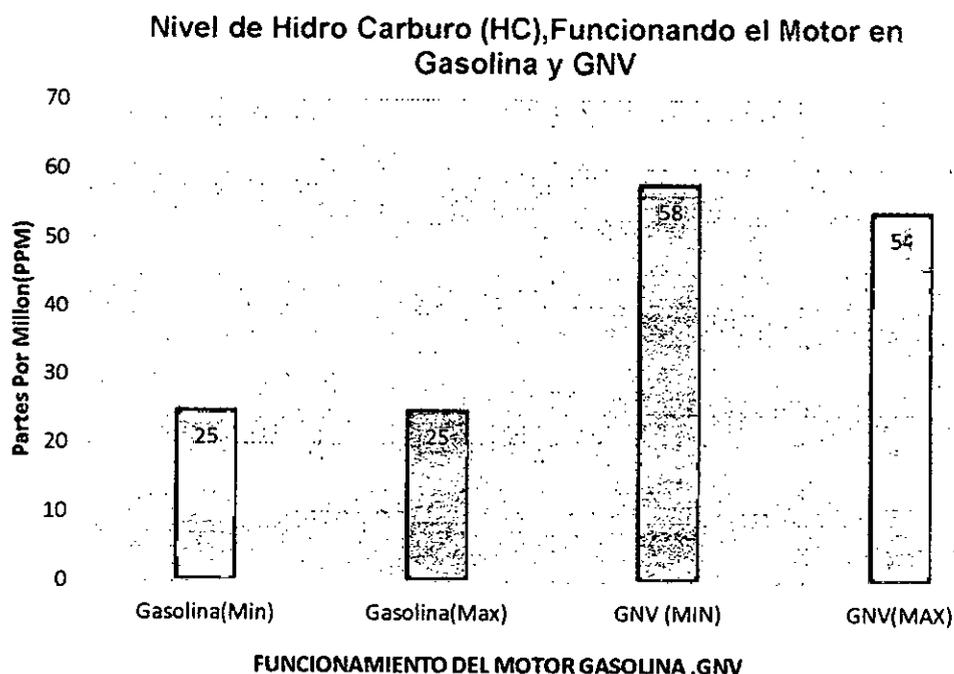
De acuerdo a la tabla 6.1-5 se tiene que se recorrió 185 Km con un gasto de GNV 11.2M³, por lo tanto el consumo de combustible GNV por kilómetro recorrido fue de $16.5 \frac{KM}{M^3}$, en condiciones normales de recorrido en pista variando de aprox. 50 msnm hasta los 3800 msnm

Consumo de GNV por Kilómetros recorrido (Promedio) = $16.5 \frac{KM}{M^3}$

Consumo de Gasolina por kilómetro recorrido (Promedio) = $40 \frac{KM}{Galón}$

6.1-2 Evaluación del Nivel de Emisiones del Vehículo Convertido

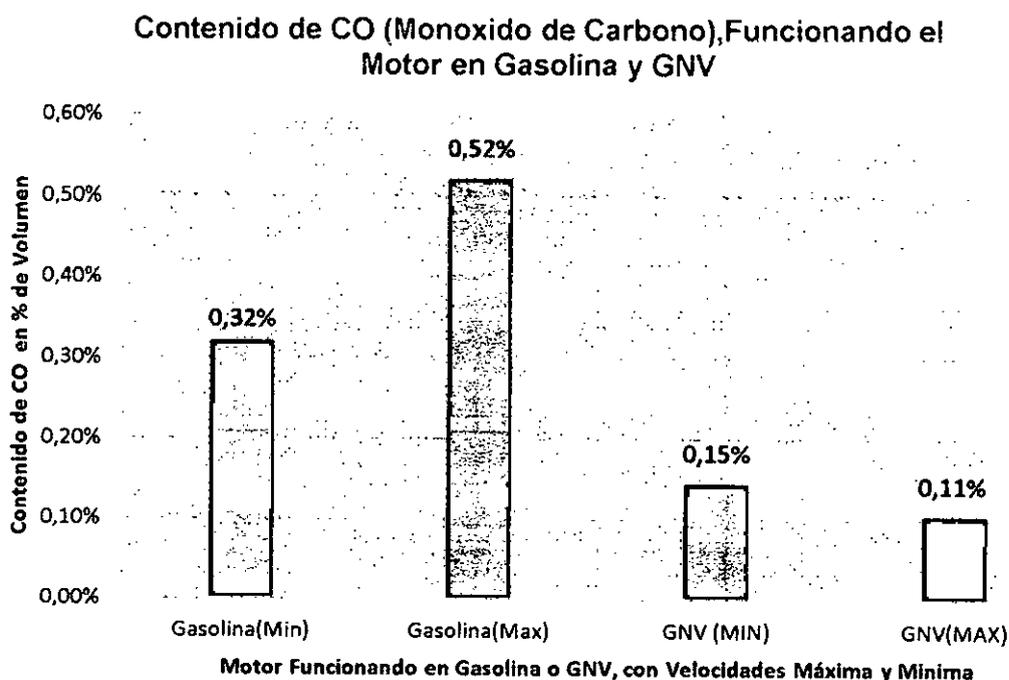
De acuerdo a los análisis de gases tomado al motor del vehículo , se nota que el nivel de Hidrocarburos (HC), siempre aumenta cuando el motor se encuentra funcionando a GNV, el nivel de HC aumenta en un 116% funcionando el motor en GNV, el nivel máximo de HC registrado cuando el motor funciona en GNV es de 58 PPM en régimen mínimo y 54 PPM funcionando el motor en régimen máximo, estos niveles de emisión están dentro del rango permitido por la norma que indica que el rango máximo permisible es de 100 PPM (DS 047-2,001- MTC Anexo I, Límites Máximos Permisibles), y para este mismo régimen funcionando el motor a gasolina se registró 25 PPM, lo cual se muestra en la gráfica N°6.1-7



Grafica N° 6.1-7 –Nivel de HC funcionando el motor en Gasolina y GNV (Información registrada por el autor).

De acuerdo a lo visto en la gráfica N°5.6-7, refleja que la combustión del GNV no se realiza en su totalidad porque hay una parte del combustible que no se quema, esto se debe muy probablemente por el apagado de la llama en las partes más alejadas de los electrodos de la bujía. Funcionando el motor del vehículo en gasolina se tiene menos combustible sin quemar con respecto al GNV.

Veremos el nivel de emisiones de CO y CO₂, el nivel de emisiones de estos gases disminuye funcionando el motor en GNV.



Grafica N° 6.1-8 Niveles CO funcionando el motor en Gasolina o GNV (información registrada por el autor).

De acuerdo al gráfico N°6.1-8 los niveles de CO funcionando el motor en gasolina son muchos más altos con respecto a la combustión del GNV, en

promedio el nivel de emisiones de CO funcionando el motor en gasolina es de un 100% más elevado con respecto al GNV, recordemos el GNV está compuesto aproximadamente por 95 % de Metano, y a la vez tiene menor peso molecular está compuesta por una molécula de un carbono y 4 de hidrogeno, es por esta razón que hay menos CO en los productos de la combustión del GNV con respecto a la gasolina, el nivel en promedio de CO funcionando el motor en gasolina es de 0.42%, y funcionando el motor en GNV se registró en promedio 0.125 % en volumen, según la norma (DS 009-2,012 MINAM, límites máximos permisibles) el valor máximo permisible es de 0.5% en volumen.

Con respecto a los Niveles de CO₂ (dióxido de carbono), el motor funcionando en GNV también tiene menor contenido de CO₂ en los productos de la combustión del GNV con respecto a la gasolina, según la norma (DS 009-2,012 MINAM, límites máximos permisibles), para el CO₂ el límite mínimo es de 12% en gasolina, y 8% funcionando el motor en GNV o GLP. Recordemos que el contenido máximo de CO₂ en los productos de la combustión es un indicador de cuan eficiente es la combustión, la ventaja que tiene el metano con respecto a la gasolina es su bajo peso molecular es por este motivo que encontramos menos CO₂ en la combustión del GNV.

Contenido de CO₂,Funcionando el Motor en Gasolina y GNV

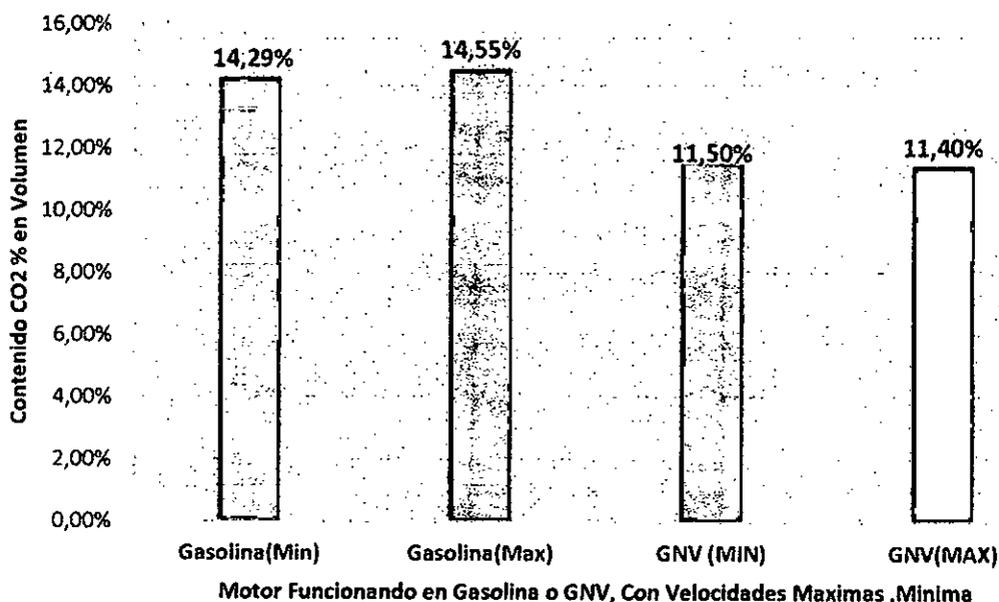


Grafico N° 6.1-9 Niveles de CO₂ registrados funcionando el motor del vehículo en GNV y Gasolina. (Información registrada por el autor).

De acuerdo a la gráfica N° 6.1-9 notamos cuando el motor funciona a gasolina el contenido de CO₂ aumenta con respecto al GNV, en promedio el contenido de CO₂ aumenta en un 19.5 % funcionando el motor a gasolina con respecto al GNV, lo cual es beneficioso para el medio ambiente de emitir menos CO₂ a la atmosfera, este gas es causante del efecto invernadero, el CO₂ es el elemento que más contribuye al efecto invernadero, se produce por la combustión de combustibles fósiles.

Emisiones	GNV (Metano)	Gasolina	Razones
HC (Hidrocarburos no quemados)	Aumenta (En promedio 116% con respecto a la gasolina.	Disminuye	Posible apagado de llama en zonas alejadas de los electrodos de la bujía.
CO ₂ (Dióxido de carbono)	Disminuye (En promedio un 19.5% con respecto a la gasolina)	Aumenta	Menor peso molecular del Metano,
CO (Monóxido de Carbono)	Disminuye en promedio 100% con respecto a la gasolina.	Aumenta	Menor peso molecular del Metano.

Tabla 6.1-10 (Comparación de las emisiones del motor funcionando a gasolina y gas natural.

6.1-3 Evaluación de parámetros de funcionamientos del motor en gasolina y gas natural vehicular (GNV)

-En la Universidad Tecnológica Nacional Argentina (Santa Fe), se hicieron los siguientes ensayos para obtener las curvas reales de potencia y torque del siguiente motor:

-Motor Hyundai 1396 cc (Gasolina)

-Diámetro D= 75mm, Carrera S=77mm, Relación de compresión e=10.5

- Potencia Efectiva Máxima 55 KW a 6,000 RPM.

-Par Máximo M= 122 N x M a 4,000 RPM.

Se obtuvieron los siguientes valores en un banco de ensayo en cuanto al torque entregado por el motor y el tiempo en consumir 100 cc de

combustible, en función al régimen de giro y estando el motor a plena carga.

N (RPM)	T= (Newton X Metro)	t (tiempo en consumir 100 cc) Gasolina (Segundos)
6,000	100	13.6
5,000	108	16.3
4,000	112	22.5
3,000	105	31.8
2,000	93	51,0
1,000	58	162.5

Tabla IA

Las condiciones del ensayo se dieron Temperatura de ambiente 26°C, presión atmosférica 715mm Hg, además se conocen los siguientes datos para el cálculo de los parámetros de potencia efectiva, consumo específico, eficiencia efectiva.

Poder Calorífico de la gasolina PC = 42,000 KJ/KG, Densidad =0.76 Kg/Litro. (K= factor de corrección de acuerdo a las condiciones atmosférica para la presión y temperatura para el ensayo le corresponde un de valor K=1.074).

De acuerdo a los datos de la tabla se calcula el flujo volumétrico y gravimétrico de combustible, para luego hallar el consumo específico de combustible para esa potencia de acuerdo al régimen de giro. Detallo las

ecuaciones utilizadas para el cálculo de los parámetros para luego detallarlo en una tabla.

Potencia = (T x W) KW (T=torque (Newton), W= velocidad angular rad/seg).

Consumo Especifico = $C_e = m_c / P_e$, $m_c =$ Kg/H, P_e (Potencia efectiva (KW))

Consumo Especifico = C_e (Gr/KW-H).

$n_e =$ Eficiencia Efectiva (%) $n_e = \frac{P_e}{m \times PC} P_e$ (Potencia Especifica KW), m

(flujo másico kg/seg), Pc (poder calorífico KJ/Kg), N_e (Eficiencia especifica %).

n (RPM)	Torque(NxM) Newton x Metro	Tiempo en consumir 100cc(segundos)	Flujo Volumétrico (CC/Seg)	Flujo Másico (Gr/Hora)
6,000	100	13.60	7.35	20,117.65
5,000	108	16.30	6.13	16,785.28
4,000	112	22.50	4.44	12,160.00
3,000	105	31.80	3.14	8,603.77
2,000	93	51.00	1.96	5,364.71
1,000	58	162.50	0.62	1,683.69

Tabla 2A (Valores de parámetros de funcionamiento funcionando el motor a gasolina)

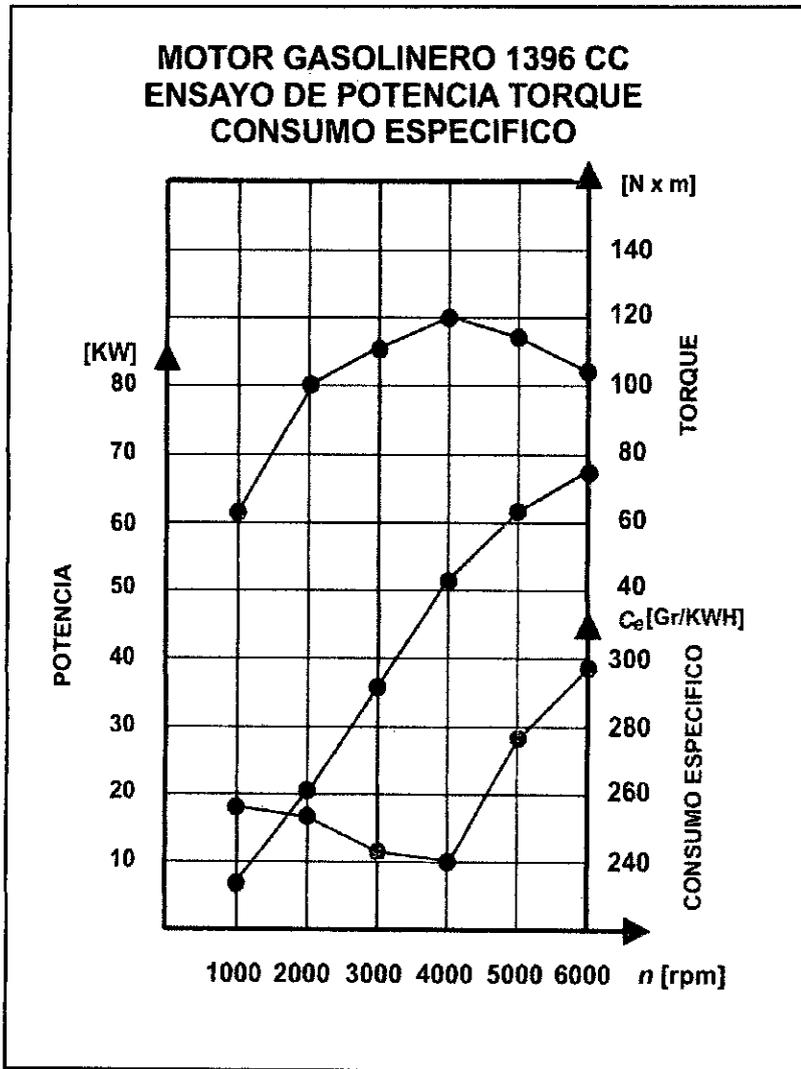
Con los valores obtenidos de flujo másico pasamos a obtener los valores de Consumo Especifico (C_e) con el motor funcionando a gasolina.

n (RPM)	Torque(NxM) Newton x Metro	Potencia(KW)	Eficiencia Térmica(Gasolina)	Consumo Especifico (Gr/KW xH)
------------	-------------------------------	--------------	---------------------------------	-------------------------------------

1,000	62.3	6.5	33.09%	257.45
2,000	99.91	20.9	33.39%	256.2
3,000	112.86	35.5	35.23%	242.15
4,000	120.3	50.5	35.68%	240.96
5,000	116.4	60.9	31.10%	275.7
6,000	107.4	67.6	28.80%	297.4

Tabla 3A (Valores de parámetros de funcionamiento funcionando el motor a gasolina)

Con los valores obtenidos en las tablas en las tablas 1A, 2A, 2B, se grafica los parámetros de torque, potencia, consumo específico, todos estos parámetros se encuentran en función del régimen de giro del motor (Grafico 1A). Los parámetros mostrados en este gráfico son funcionando el motor a gasolina.



Grafica IA. (Parámetros medidos funcionando el motor a gasolina)

De acuerdo a la (Grafica IA) funcionando el motor a gasolina, la curva de torque haciendo desde su régimen en ralentí (900 RPM) hasta llegar a un máximo de 112 N x M a las 4,000RPM, este punto de la curva es muy importante porque nos indica el régimen de máxima eficiencia del ciclo, en el cual se tiene la máxima eficiencia volumétrica (mejor llenado de aire hacia los cilindros), luego de las 4,000 RPM el torque desciende hasta los regímenes nominales.

La Potencia después del régimen de máximo torque también empieza ascender hasta llegar a su régimen nominal de aproximadamente 6,000 RPM, luego de las 6,000 RPM la potencia disminuye. La Potencia disminuye por la deficiencia del llenado de los cilindros y la evacuación de los gases de la combustión, aumento de las pérdidas mecánicas, pérdida de torque.

Con respecto a la Curva de Consumo Especifico (C_e) se nota que el menor consumo específico es las 4,000 RPM el cual corresponde al régimen de máximo torque, esta es la parte de la curva donde el combustible se quema casi en su totalidad, por las mejores condiciones de mejor llenado de aire en el cilindro, luego de las 4,000 RPM el consumo específico empieza a aumentar.

2) En el laboratorio de Maquinas Térmicas de la Universidad Tecnológica Nacional de Santa Fe Argentina, al motor de este vehículo se le instaló un sistema de gas de presión positiva (quinta generación GNV), este sistema de gas funciona de forma dual con la gasolina.

Para este ensayo se midieron los parámetros de funcionamiento del motor funcionando en gasolina y GNV, para lo cual se midió el torque entregado por las ruedas del vehículo en un dinámetro de rodillo.

Parámetro de Funcionamiento del motor en Gas Natural Vehicular (GNV)

Tabla 1B

RPM	POTENCIA(KW)	TORQUE(NxM)	n (eficiencia térmica GNV)	Consumo especifico(Gr/Kw-H)
2,000	6.00	28.85	0.23	288.46
2,500	22.00	84.62	0.24	270.13
3,000	31.00	99.36	0.23	270.96
3,500	36.00	98.90	0.25	270.00
4,000	43.00	103.37	0.25	250.21
4,500	48.00	102.56	0.23	271.97
5,000	52.00	100.00	0.21	296.45
5,500	55.30	96.68	0.21	296.47
5,800	54.00	89.52	0.21	359.70
6,000	53.00	84.94	0.19	366.50

Tabla 1B. (Valores de parámetros de funcionamiento funcionando el motor GNV)

En la tabla 1B los datos de potencia, torque y RPM se obtiene de los ensayos del dinamómetro, por ensayos realizados anteriormente se tiene que la eficiencia térmica de los motores convertidos de gasolina a gas natural disminuyen entre 10 a 12 % en el rango de 2,000 RPM a 6,000 RPM con respecto a la eficiencia térmica a gasolina, es de esta manera que se determina la eficiencia térmica funcionando el motor en GNV, con los valores obtenidos de la eficiencia térmica en GNV se puede determinar el flujo de gas natural, para luego determinar el consumo específico para una determinada potencia y RPM. Con el siguiente ejemplo determinaremos el consumo específico para 4,000 RPM y 43KW.

Para las 4,000 RPM se tiene el torque máximo y mínimo consumo específico lo cual coincide con la mayor eficiencia térmica.

$$M_c = \frac{\text{Potencia Efectiva}}{\text{Poder calorífico} \times \text{eficiencia termica}}$$

Potencia efectiva = 43 KW , Poder calorífico GNV=39710 KJ/M³ , Eficiencia térmica GNV =0.25 ,Densidad GNV=0,69 kg/M³ ,M_c = flujo de GNV.

$$M_c = \frac{43 \text{ KW}}{0,25 \times 39710 \text{ KJ/M}^3} (3,600 \times 0.69 \text{ Kg/M}^3) \times 1,000$$

$$M_c = 10,759.2 \text{ Gr/H} \quad C_e = \frac{10,759.2 \text{ Gr/H}}{43 \text{ KW}} = 250.21 \text{ Gr/KW-H}$$

En el siguiente grafico se muestra cómo cambia la potencia en función de las RPM funcionando el motor del vehículo en gas natural y gasolina grafico 1B.

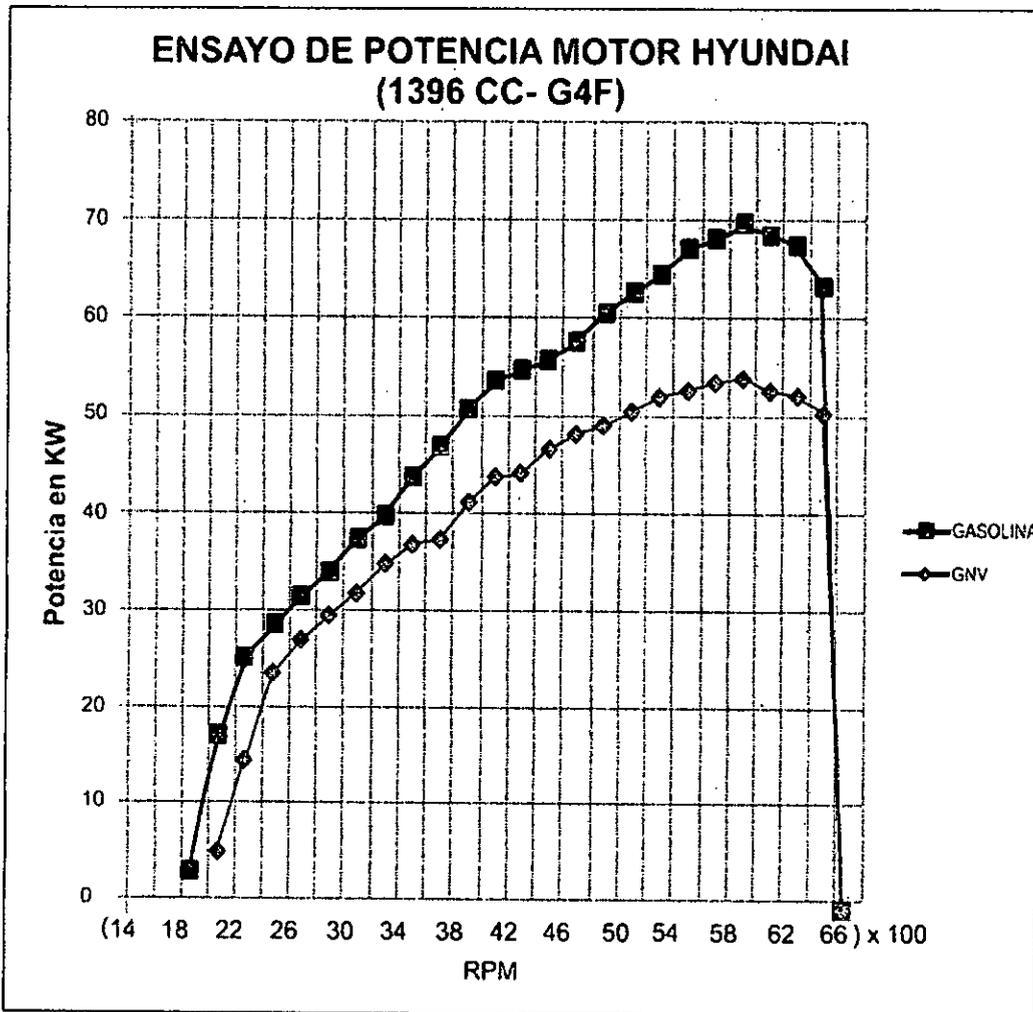
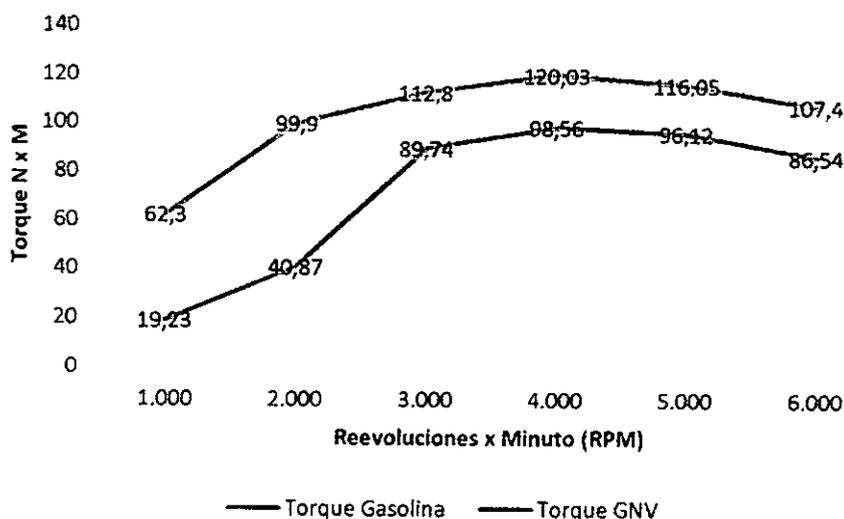


GRAFICO 1B

El grafico 1B, la potencia del motor funcionando hasta las 3,400 RPM tiene una variación constante en promedio de 12%, la variación se da por las pérdidas funcionando el motor en GNV, luego de las 3,400 a 4,000 RPM es el rango de máximo torque para ambas curvas, en 4,000 RPM el torque alcanza su valor máximo, la potencia aumenta hasta llegar a las 6,000 RPM y luego comienza a descender.

En 6,000 RPM el motor se encuentra en su rango nominal con máxima potencia en gasolina es 70KW, es la información que entrega el fabricante del motor como capacidad máxima del motor (Potencia Max 70KW a 6,000 RPM).

En GNV encontramos la potencia máxima a 5,800 RPM a 54 KW, en este caso la variación de potencia con respecto a gasolina es 22,85% menos.

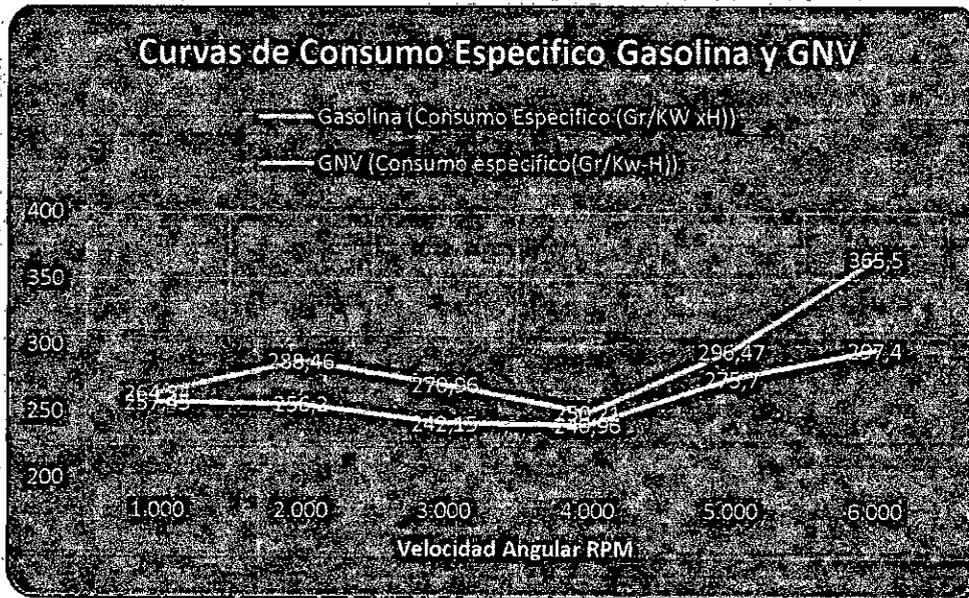


Grafica 2B (Curvas de torque vs Velocidad angular RPM gasolina/GNV)

En la gráfica 2B nos muestra la curva de torque funcionando el motor gas natural y gasolina, la curva color azul nos muestra la variación del torque en función de la velocidad angular funcionando el motor gasolina, funcionando el motor a gasolina es lógico que se alcanzara mayores valores de torque porque el motor de este vehículo fue diseñado para la combustión de un combustible líquido (gasolina) bajos estas condiciones de funcionamiento se tiene mejor rendimiento volumétrico, en estas condiciones se tiene una combustión más eficiente.

El torque depende de la fuerza aplicada sobre la cabeza del pistón. Como se muestra en la curva a las 4,000 RPM se alcanza el valor máximo de torque y este el punto donde se tiene la máxima eficiencia volumétrica (mejor llenado de aire en los cilindros).

Funcionando el motor a gas se pierde la presión en la cabeza de los pistones porque el proceso de combustión se complica, la eficiencia volumétrica disminuye por ocupar el gas en mayor volumen que la gasolina pulverizada, es por estas razón que disminuye la presión parcial del aire y por lo tanto menor contenido de masa de aire por unidad de volumen, estas condiciones hacen que disminuya la presión efectiva, por tanto hay menos fuerza aplicada a la cabeza del pistón. Funcionando el motor a gas también se alcanza a las 4,000 RPM el máximo torque pero con una variación del 18% menos.



Grafica 3B (Consumo especifico en función de las rpm)

Consumo Especifico del combustible define la relación entre la masa consumida y la potencia entregada, este parámetro depende principalmente del rendimiento volumétrico y rendimiento térmico de la combustión. En la gráfica 3B notamos que el consumo especifico mínimo está muy cerca de las 4,000 RPM, en este punto se registra el consumo mínimo funcionando el motor a gasolina o GNV, como se mencionó en el análisis anterior es el punto donde registra los mayores valores de torque y la mayor eficiencia térmica del ciclo, es por esta razón que el consumo especifico es más bajo, la variación es de 5% aproximadamente.

Como se nota en la gráfica 3B cuando las rpm aumentan las pérdidas volumétricas y mecánicas también aumentan, en el rango nominal de

6,000RPM el aumento del consumo específico funcionado el motor a gnv es de aproximadamente 19% mayor con respecto a gasolina.

Del análisis hecho de los parámetros de funcionamiento del motor, lo mejor para los usuarios es mantener el motor en un rango de funcionamiento de 1,800 a 4,000 RPM donde la curva de torque es suave o elástica, en este rango se registra la mayor eficiencia térmica, mayor eficiencia volumétrica, también se registran los menores valores de consumo específico.

6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

El principal motivo para la conversión de un vehículo que funciona a gasolina pasarlo gas natural, es el factor económico, para lo cual los vehículos tienen que tener un gran recorrido anualmente, para que el motor del vehículo funcione de una manera dual Gasolina/Gas natural, el gas natural es mucho más barato que la gasolina, un metro cúbico ($1M^3$) de gas natural es equivalente a 1.13 litros de gasolina, cuando se menciona equivalencia nos referimos a los niveles energéticos, por lo tanto un $1M^3$ de GNV tiene un costo de $1.46 \frac{\text{Soles}}{M^3}$ y cuatro metros cúbicos que es aproximadamente un galón su precio será $5.84 \frac{\text{Soles}}{\text{Galón}}$ (precio del gas natural), el precio de la gasolina es de $12.80 \frac{\text{Soles}}{\text{Galón}}$ si comparamos los precios de estos combustibles por unidad de volumen el

precio del gas natural es el 45% del precio de la gasolina, con lo cual se tiene un ahorro de 55% con respecto al precio de la gasolina, es por este motivo que es más viablemente económico la conversión a gas natural para vehículo de transporte público, o vehículo que tenga un grandes recorridos.

Ahora la pregunta es ¿Cuánto se ahorra pasar un vehículo moderno del año 2,013 a gas natural? El costo de un equipo de gas natural de Presión Positiva marca BRC es de \$2,000.00 Dólares Americanos, con un tanque de almacenamiento de una capacidad de 11.30 M³ ó 4Galones.

El vehículo en el cual se hizo la conversión, es un vehículo que presta de servicio de taxi en la ciudad de Lima Metropolitana, el cual tiene un recorrido diario de 180 km, mediante la siguiente tabla N° 6.2-1 evaluaremos los costos en el gasto de combustible y el ahorro si este vehículo usa gas natural, como se mencionó anteriormente este vehículo es del año 2,013 con 100,000 Km de recorrido, el consumo de combustible del motor de este vehículo es de $40 \frac{Km}{Galón}$ (en gasolina), y $16.5 \frac{KM}{M^3}$ con combustible gaseoso GNV, el precio de la Gasolina es de $12.78 \frac{Soles}{Galón}$, Precio del Gas Natural es de $1.46 \frac{Soles}{M^3}$

Combustible	Precio Unitario	Consumo Total	Precio Total (Soles)	Precio total (\$)
Gasolina	12.78(Soles /Galón)	2,500 Galones	S/ 31,950.00	\$ 11,410.00
Gas Natural	1.46 (Soles/M ³)	8,363 Metro Cubico	S/ 12,210.00	\$ 4,392.00
	Ahorro de dinero usando Gas Natural con respecto a Gasolina		S/ 19,740.00	\$ 7,018.00

Tabla 6.2-1 Consumo de combustible luego de 100,000 Km de uso, y ahorro de dinero usando GNV con respecto a gasolina.

Como se puede tomar en la tabla 6.2-1 con los 100,000 Km de recorrido que tiene el vehículo representa un gasto de 2,500 Galones de gasolina, el gasto funcionando a gasolina es de \$ 11,410.00 Dólares, como se usó gas natural el gasto de combustible es de 8,363 M³ de GNV con un costo \$ 4,392.00, lo cual representa un ahorro del 60% con respecto al precio de la gasolina de 90 Octanos. En total con el kilometraje 100,000 Km que tiene este vehículo se ahorró \$ 7,018.00 Dólares, este monto de ahorro cubre en forma suficiente el costo de instalación del equipo de gas y su mantenimiento que es de \$ 2,800.00.

Gasto de Equipo y combustible GNV en 100,000 KM de Uso de la Conversión a GNV	
Costos	Monto \$ (Dólares)
Equipo de Secuencial (BRC)	\$ 2,000
Mantenimiento de Equipo de Gas y Motor	\$ 1,200
Gasto de Combustible (Gas Natural)	\$ 4,392
Total De Gastos(Funcionado a GNV) (hasta febrero 2,015)	\$ 7,592
Costo del motor funcionado a gasolina	\$ 11,410
Ahorro Total con respecto a Gasolina	\$ 3,818

Tabla 6.2-2 Los gastos de la Conversión y combustible funcionando el motor a GNV.

Este vehículo funciona con gas natural desde 20/04/2013 y las pruebas efectuadas se terminaron el 02 de febrero del 2,015.

Este vehículo se le hizo una prueba de campo en la localidad de Huarochirí, para lo cual se recorrió 185 km y se consumió 11.2 M³ de Gas Natural GNV, y se obtuvo el siguiente consumo de combustible en gas, en la siguiente tabla 6.2-3 se hace una comparación económica del costo de combustible entre el gas natural y la gasolina

COMBUSTIBLE	Consumo por unidad de Volumen	Precio del Combustible por unidad de Volumen	Valor por Kilometraje (Soles)	Costo de Recorrido de 185 KM	Ahorro de Dinero en usar Gas con respecto a la Gasolina
Gasolina	$40 \frac{KM}{Galón}$	$12.78 \frac{Soles}{Galón}$	$0.319 \frac{Soles}{Kilometros}$	S /59.1	x
Gas Natural(GNV)	$16.5 \frac{KM}{M^3}$	$1.46 \frac{Soles}{M^3}$	$0.088 \frac{Soles}{Kilometros}$	S /16.28	72 %

Tabla 6.2-3

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1)-Se elaboró el Plan De Procedimiento para la conversión del sistema de combustión del motor Hyundai G4FACU, los cuales se ajustan a las normas técnicas peruanas (NTP 111.013-2, 004, NTP 111.015-2, 004, NTP111.016-2,004) a los requerimientos del fabricante del vehículo y el fabricante del Kit de Conversión. Usando el Kit de Conversión de Inyección Secuencial BRC GNV Zenith P200 (Quinta Generación), con resultados óptimos para los cuales se midieron el nivel de emisiones, los cuales se encuentran en los límites permisibles de acuerdo al Decreto Supremo N°047-2,001MTC. Los talleres autorizados en la mayoría cumplen los procedimientos, las conversiones realizadas en los talleres informales no cuentan con un protocolo de conversión, no cumplen con las normas técnicas, es por esta razón se producen fallas en las conversiones.

-Se Elaboró un diagrama de flujo con los proceso de la conversión en el taller autorizado, y su diagrama de Gantt para el control de los proceso en la conversión (cuadro 5.4-A), el mismo que optimiza dicha conversión.

A)-Se ha determinado los parámetros del sistema de combustión a GNV del motor convertido, se demuestra que es similar al sistema de combustión a gasolina original del motor con ciclo otto, en este caso el GNV y el aire se mezclan antes de llegar a la válvula de admisión en el

múltiple de admisión , siendo la dosificación optima según la relación aire /combustible de 17:1 y está en función de la cantidad de aire admitido , la carga del motor, el régimen de giro, al abrir la válvula de admisión esta mezcla carburante ingresa a la cámara de combustión y se produce el ciclo termodinámico.

Antes de mezclarse el GNV con el aire, este gas se encuentra almacenado en cilindro de almacenamiento a una presión aproximadamente de 200 bar y se expande hasta llegar una presión final de 2 bar en el múltiple de admisión, este proceso de expansión isoentálpico del GNV(efecto Joule Thompson) genera una disminución de la temperatura drástica en el reductor, es por esta razón que se hace circular el refrigerante del motor por el reductor para elevar su temperatura , por este motivo el motor funciona primero a gasolina para luego funcionar a GNV, tal como se muestra en la figura 5.4-2 del presente informe(Diagrama de Flujo del kit secuencial GNV), donde se describe la ruta que sigue el gas natural vehicular hasta mezclarse con el aire antes de ingresar al cilindro.

B) En un motor de combustión interna se obtiene la potencia máxima cuando la presión en el interior de la cámara de combustión es la más alta , la manera de controlar la combustión en un motor de ciclo otto es controlando el tiempo total de la combustión, esto se realiza regulando el salto de chispa en la bujía que da inicio a la combustión, siendo la

velocidad de propagación de llama del GNV menor en un 12 % con respecto a la gasolina , para alcanzar una combustión completa GNV para obtener la mayor fuerza de empuje del piston en la carrera de expansión, aproximadamente este salto de chispa con el motor funcionando a media carga es de 32° antes del punto muerto superior (PMS).

Por condición de diseño del motor la presión máxima de combustión se da aproximadamente 15° después del punto muerto superior (PMS), la mayor parte de la mezcla carburante debe encenderse en esta fase principal de la combustión tal como se señala en la figura 6.26 del diagrama Presión vs Angulo de Rotación del cigüeñal, luego aumenta la temperatura de los gases hasta completar la combustión. Este adelanto del encendido está en la cartografía de funcionamiento del motor en la memoria de la ECU (unidad de control electrónico) controla la activación de los inyectores de GNV y el sistema de encendido.

Es muy importante controlar la composición de la mezcla carburante para que esta pueda encender en cualquier régimen de trabajo, para que la mezcla pueda encender con facilidad debe tener un factor $\lambda \approx 1$ (coeficiente de exceso de aire), y la energía entregada por la chispa de la bujía debe tener alta intensidad, para poder encender toda la mezcla en el volumen de la cámara de combustión, además la composición de la mezcla ejerce considerable influencia sobre la formación de componentes tóxicos, la manera de controlar la composición de la mezcla es a través del sensor

oxígeno, en el presente informe para ver la composición de la mezcla se usó el analizador de gases.

Parámetros a controlar en GNV	Descripciones
Sincronización del avance de la chispa en la bujía de encendido.	Está controlado por la ECU del kit de conversión, el sensor de detonación del motor. Mantener en buen estado los componentes del sistema de encendido para tener suficiente energía en los electrodos de las bujías.
Dosificación de mezcla Aire/GNV en una proporción de 17:1	Está en función del tiempo de apertura de los inyectores gas, controlado por la ECU kit en función de la cantidad de aire que ingresa que es captada por los sensores del motor, sensor de oxígeno.
Correcto funcionamiento del termostato y el Sistema de Refrigeración del Motor.	El gas está almacenado en el cilindro a 200 bar, necesita de una transferencia de calor para su expansión, lo cual es cedido por el refrigerante del motor, finalmente se mezcla con el aire a 2 bar de presión en las inmediaciones de la válvula de admisión en el múltiple de admisión.
Presión de Compresión Óptima.	El GNV tiene mayor temperatura de ignición que la gasolina, por este motivo la presión y la temperatura de la mezcla en la compresión deben ser máxima para una buena combustión del gas.
Sistema de Admisión de Aire	Los ductos de admisión de aire y el filtro de aire deben estar limpio sin restricción en el flujo de aire, para no ver afectado el llenado de los cilindros y disminuir la eficiencia volumétrica. Como se vio en las reacciones químicas del GNV y gasolina, el gas necesita un 13% más en masa de aire para combustionar en forma completa con respecto a la gasolina. Es muy importante que no se tenga restricción en el flujo de aire.

Análisis de Gases de Escape del motor Hyundai modelo G4FACU (Vehículo de placa D6J-512).

-En el análisis de gases de escape realizado al motor de este vehículo , se notó el nivel de Hidro Carburos sin quemar (HC) aumento en 100% funcionando el motor en GNV, alcanzando un valor máximo de 58PPM en

bajo régimen de giro, pero cumple los límites máximo permisibles de emisiones (DS 047-2,001-MTC y la modificación DS N°009-2,012-MINAM). El aumento de los HC en las emisiones funcionando el motor en GNV es debido a una combustión incompleta, no toda la masa de mezcla carburante que ingresa a la cámara de combustión se quema, es por esta razón que al abrir la válvula de escape en el proceso de expansión o trabajo se encuentran los gases de escape a altas temperaturas, es por este motivo principal por el daño de las válvulas de escape .

-El contenido de Monóxido de Carbono (CO) funcionando el motor con GNV disminuyó un 95% aproximadamente con respecto a la combustión en gasolina , esto se debe a la estructura molecular del GNV que es metano y tener menos contenido de carbono en su estructura.

-El contenido de Dióxido de Carbono (CO₂) funcionando el motor a GNV disminuyó en un 19.5% con respecto a la combustión en gasolina, la norma exige como mínimo 8% y en análisis de gases realizado se registraron valores de 11.4% en volumen de CO₂ lo cual está en rango permisible.

C)-Para la selección del kit de conversión se tomó en cuenta la potencia nominal del motor 60 KW a 4,200 RPM y 137 Nm, se calculó el flujo másico de gas de acuerdo a los datos nominales, el cual es de 16.27 M³/Hora, el reductor y las válvulas inyectoras se ajustan a este caudal de

gas, el kit de conversión seleccionado puede ser usado en motores de 4 cilindro con una potencia máxima de 100KW.

Se seleccionó el cilindro de almacenamiento del GNV con un volumen de 55 litros, peso 49 kg, y una capacidad de almacenamiento de 11.3 M³ de GNV a 220 Bar, con lo cual se tiene una disponibilidad de combustible para un recorrido en promedio de 188 KM, lo cual se comprobó en una prueba que se realizó a la localidad de Huarochirí.

D)-Los programas de mantenimiento deben adecuarse a este tipo de combustible alternativo GNV, se debe tener mucho cuidado con el sistema de alimentación de gas, sistema de admisión de aire, sistema de encendido para tener obtener una adecuada combustión del GNV .Llevar un buen control de las emisiones de los gases de escape porque estos contaminantes deterioran el aceite lubricante.

En cuanto al lubricante del motor no hay variación significativa en la selección del aceite de motor, debido a que se mantiene las características de operación del ciclo otto, en la combustión del gas natural vehicular hay menos contenido de CO y CO₂ con respecto a la gasolina, estas condiciones favorecen al aceite al haber menos cantidad emisiones carbonosas se reduce la acides y formación de gomas que degradan el aceite. Por estas razones mencionadas se mantendrá el aceite recomendado por el fabricante del vehículo que es de especificaron API SL multigrado 10 W40.Es muy importante cumplir con el plan de

mantenimiento, porque todos estos factores influyen en la combustión del combustible, el lubricante recoge todas estas impurezas.

7.2 Recomendaciones

La mejor manera de mantener funcionando el motor con gasolina y el combustible alternativo (GNV), es cumplir con el programa de mantenimiento del fabricante del vehículo y el plan de mantenimiento del equipo de conversión de gas natural vehicular.

Como se vio anteriormente el GNV es más difícil de encender, el tiempo para su combustión es mayor con respecto a la gasolina, por lo tanto las condiciones mecánicas del motor deben ser óptimas buena presión en la compresión, la chispa provocada en los electrodos de la bujía debe ser intensa y precisa, para que el gas alcance las condiciones necesarias para encender y tener una combustión rápida y completa, de esta manera tener menor temperatura en los gases de escape para no dañar las válvulas y su asientos.

Llevar un buen control de la mezcla carburante con un coeficiente $\lambda \approx 1$, para tener un buen frente de llama y la mezcla se queme en su totalidad en el volumen de la cámara de combustión, hacerlo mediante un análisis de gases como forma de un mantenimiento predictivo. Al tener menores emisiones se mantiene mejor el aceite motor.

8-BIBLIOGRAFIA.

- * Francisco Payri, J.M Desantes, Motores de Combustión Interna Alternativos, Universidad Politécnica de Valencia, Editorial Reverte.
- * M.S Jovaj, Motores del Automovil, Editorial MIR.
- * Edward F. Obert, Motores de Combustión Interna, International Textbook Company 1,987.
- * Edgar J. Kates /William E. Luck, Motores Diesel de Alta Compresión, Editorial Reverte, Segunda Edición.
- * David Gonzales Calleja, Motores Térmicos Y Sus Sistemas Auxiliares, Editorial Parninfo, Segunda Edición.
- * Asociación Automotriz del Perú, Manual de Capacitación Mecatronica Automotriz 2,015.
- * BRC Sequet GNV, Manual del Instalador.
- * Tomasetto Achile, Manual del Instalador Equipos GNV.
- * Lovatto, Guía del Instalador Equipos de Presión Positiva Lovatto.
- * AX PRO, Manual del Usuario Equipos de Conversión Positiva GNV.
- * Diego Alberto Castaño/Gustavo Adolfo Patiño, Estudios DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN EL DESEMPEÑO DE MOTORES ENCENDIDOS PROVOCADOS (MEP) CONVERTIDOS A GAS

NATURAL, Universidad de Antioquia Colombia, Facultad de Ingeniería Mecánica 2,003.

* Ministerio del Ambiente Republica de Colombia, ESTUDIO DE CONSULTORIA EN GAS NATURAL VEHICULAR, Informe Numero 1.

* Ángel Gerardo Velázquez López/Juan Ramón Arias Peres, MOTORES ALTERNATIVOS, Editorial Garceta, Segunda Edición 2,015.

* Sergio López Rojas, CONSIDERACIONES TECNICAS Y ECONOMICAS DE VEHICULOS A GAS NATURAL, Tesis Universidad Católica del Perú, Abril 2,008.