

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MOTORES DE CICLO OTTO EN UN BANCO DE PRUEBAS, ADAPTANDO SISTEMAS DE COMBUSTIBLE GLP PARA MOTORES A CARBURADOR E INYECCIÓN ELECTRÓNICA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

LUIS GONZALO CALDERÓN FUENTES

lugocalfu@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ÁNGEL PORTILLA

ahph2001@yahoo.com

ahph2001@gmail.com

QUITO, FEBRERO DEL 2010

DECLARACIÓN

Yo Luis Gonzalo Calderón Fuentes, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o certificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Luis Gonzalo Calderón F.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Luis Gonzalo Calderón Fuentes, bajo mi supervisión.

Ing. Ángel Portilla
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Un verdadero y sincero agradecimiento al Ing. Ángel Portilla por haberme dado la oportunidad de realizar esta investigación y por su paciencia y dedicación en la orientación de este proyecto de titulación.

Un especial e infinito agradecimiento a mis padres Marco Calderón y Mariana Fuentes, por apoyarme siempre y ayudarme a seguir luchando por mis ideales. También y de forma muy especial a mis hermanas Olimpia Calderón de Mataala, Julia Calderón de Duran, Mariana Calderón de Veintimilla y Mayra Calderón, por haberme incentivado y ayudado a culminar mi carrera.

Un personal agradecimiento al CCICEV por haberme dado las facilidades para la realización de esta investigación, en especial para los ingenieros Pablo Caiza y Christian Guachamin que laboran en dicha institución.

A la Sra. Glorita y todos los profesores de la Gloriosa Carrera de Ingeniería Mecánica que compartieron sus conocimientos, para que pueda culminar mi carrera en esta honorable institución.

Amigos, compañeros y todas esas personas que de una u otra forma ayudaron a la culminación de esta etapa muy importante en mi vida.

Luis Gonzalo Calderón F.

DEDICATORIA

Este proyecto esta dedicado en primer y único lugar a Papá DIOS quien es el dueño de mi vida, me ha cuidado siempre, me ha dado una buena familia y me ha guiado siempre por el camino del bien, para que pueda conseguir mis metas.

Luis Gonzalo Calderón F.

CONTENIDO

CAPITULO I

EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 DEFINCIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	2
1.3 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	2
1.4 TÉRMINOS TEÓRICOS UTILIZADOS	4
1.5 TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	5
1.6 MOTOR DE CICLO OTTO.....	6
1.6.1CICLO OTTO.....	6
1.6.2 MOTOR DE CUATRO TIEMPOS.....	7
1.6.3 EFICIENCIA TÉRMICA.....	8
1.6.4 OCTANAJE.....	12
1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	13
1.8 EMISIONES CONTAMINANTES.....	14
1.9 PRINCIPALES SISTEMAS DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	16
1.9.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE.....	18
1.9.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	19
1.9.3 SISTEMA ELÉCTRICO.....	19
1.9.4 SISTEMA DE ENCENDIDO.....	20
1.9.5 SISTEMA DE ARRANQUE.....	22
1.9.6 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	23
1.9.7 SISTEMA DE LUBRICACIÓN.....	24
1.9.8 SISTEMA DE ESCAPE.....	25
1.9.9 SISTEMA DE CAMBIOS O CAJA DE CAMBIOS.....	26
1.9.10 SISTEMA DE EMBRAGUE.....	26
1.10 PRINCIPALES SISTEMAS DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR A GASOLINA.....	26
1.10.1 SISTEMA DE CARBURACIÓN.....	26
1.10.2 SISTEMA DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	34

CAPITULO II

ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP.....	42
2.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP).....	42
2.1.1 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE GLP.....	42
2.1.2 PROPIEDADES DEL GLP.....	44
2.1.3 USOS Y COMERCIALIZACIÓN.....	45
2.1.4 VENTAJAS DEL USO DEL GLP.....	46
2.2 EL GLP EN EL AUTOMOVIL.....	47
2.2.1 COMPONENTES DEL EQUIPO DE GLP PARA MOTORES CARBURADOS.....	49
2.2.2 COMPONENTES DEL EQUIPO DE GLP PARA MOTORES A INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	50
2.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE GLP.....	52
2.4 DESCRIPCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE GLP.....	55
2.4.1 EVAPORADOR.....	55
2.4.2 REGULADOR DE CAUDAL O DE MÁXIMA.....	56
2.4.3 MEZCLADOR.....	57
2.5 INSTALACIÓN DE LOS CIRCUITOS Y ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE GLP.....	58
2.5.1 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	59
2.5.2 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN.....	60
2.5.3 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN.....	61
2.5.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN.....	62
2.5.5 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE GASOLINA.....	62
2.5.6 INSTALACIÓN DEL CONMUTADOR.....	63
2.5.7 INSTALACIÓN DEL EMULADOR DE INYECTORES.....	63
2.5.8 INSTALACIÓN DEL RELÉ.....	65
2.6 REGULACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO DE GLP.....	65
2.6.1 REGULACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO.....	66
2.6.2 REGULACIÓN DEL CAUDAL MÍNIMO.....	66

2.6.3 CAMBIO DE GASOLINA A GLP Y VICEVERSA EN MOTORES A CARBURACIÓN.....	67
2.6.4 CAMBIO DE GASOLINA A GLP Y VICEVERSA EN MOTORES A INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	68

CAPITULO III

PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP A BANCOS DE PRUEBAS CON MOTOR CARBURADO E INYECCIÓN ELECTRÓNICA..... 69

3.1 PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP AL BANCO DE PRUEBAS CON MOTOR CARBURADO.....	69
3.1.1 INSPECCIÓN GENERAL Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.....	69
3.1.2 ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN.....	70
3.1.3 INSTALACIÓN DEL EVAPORADOR O REGULADOR DE PRESIÓN.....	74
3.1.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN.....	75
3.1.5 INSTALACIÓN DEL MEZCLADOR.....	75
3.1.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	75
3.1.6.1 Instalación de la multiválvula y sistema de carga GLP.....	76
3.1.7 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN.....	78
3.1.8 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN.....	78
3.1.9 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE GASOLINA.....	79
3.1.10 INSTALACIÓN DE LA LLAVE DE CONMUTACIÓN.....	79
3.2 PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP AL BANCO DE PRUEBAS CON MOTOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	80
3.2.1 INSPECCIÓN GENERAL Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR.....	80
3.2.2 COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA CONVERSIÓN.....	81
3.2.3 INSTALACIÓN DEL EVAPORADOR.....	82
3.2.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN.....	82
3.2.5 INSTALACIÓN DEL MEZCLADOR.....	83
3.2.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	83
3.2.6.1 Instalación de la multiválvula y sistema de carga GLP.....	84

3.2.7	INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN.....	84
3.2.8	INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN.....	84
3.2.9	INSTALACIÓN DE LA LLAVE DE CONMUTACIÓN.....	85
3.2.10	INSTALACIÓN DEL EMULADOR DE INYECTORES.....	87
3.2.11	INSTALACIÓN DEL RELÉ.....	88
3.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DUAL GLP/GASOLINA PARA LOS MOTORES A CARBURACIÓN E INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	89
3.3.1	LLENADO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP.....	90
3.3.2	PUESTA EN MARCHA Y REGULACIÓN DE LOS MOTORES CON SISTEMA DUAL GLP/GASOLINA A CARBURACIÓN E INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	91
3.3.3	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GLP INSTALADO.....	92

CAPITULO IV

	PRUEBAS PARA LOS MOTORES DUAL GLP/GASOLINA Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	93
4.1	PRUEBAS REALIZADAS PARA EL MOTOR DUAL GLP/ GASOLINA A CARBURACIÓN.....	94
4.1.1	PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES.....	94
4.1.2	PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA.....	100
4.1.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
	4.1.3.1 Emisiones de gases obtenidos en las pruebas TIS.....	102
	4.1.3.2 Emisión de gases obtenidos en marcha variable.....	106
	4.1.3.3 Análisis de torque y potencia obtenidos en marcha Variable.....	110
4.2	PRUEBAS REALIZADAS PARA EL MOTOR DUAL GLP/ GASOLINA A INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	112
4.2.1	PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES.....	112
4.2.2	PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA.....	118
4.2.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	119

4.2.3.1 Emisiones de gases obtenidos en las pruebas TIS.....	121
4.2.3.2 Emisión de gases obtenidos en marcha variable.....	123
4.2.3.3 Análisis de torque y potencia obtenidos en marcha Variable.....	127

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
5.1 CONCLUSIONES.....	129
5.2 RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFIA.....	133
ANEXOS.....	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Conexión de los cables del emulador de inyectores a la computadora del motor de inyección electrónica.....	88
Tabla 4.1	Datos promedio de las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Equipo MAHA MGT5).....	94
Tabla 4.2	Datos promedio de las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5).....	96
Tabla 4.3	Datos promedio en las pruebas de análisis de gases, motor a carburador con velocidad variable, utilizando gasolina extra (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).....	97
Tabla 4.4	Datos promedio en las pruebas de análisis de gases, motor a carburador con velocidad variable, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).....	99
Tabla 4.5	Datos promedio de las pruebas de torque y potencia en el motor a carburador, utilizando gasolina extra.....	100
Tabla 4.6	Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.....	101
Tabla 4.7	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación (Pruebas TIS).....	102
Tabla 4.8	Emisión de %CO en el motor a carburación (Pruebas TIS).....	103
Tabla 4.9	Emisión de %CO ₂ en el motor a carburación (Pruebas TIS).....	104
Tabla 4.10	Factor lambda.....	105
Tabla 4.11	Factor lambda λ en el motor a carburación (Pruebas TIS).....	105
Tabla 4.12	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación (velocidad variable).....	106
Tabla 4.13	Emisión %CO en el motor a carburación (velocidad variable)...	107
Tabla 4.14	Emisión %CO ₂ en el motor a carburación (velocidad variable)...	108
Tabla 4.15	Emisión de NO _x en el motor a carburación (velocidad variable).	109
Tabla 4.16	Datos de las pruebas de torque en el motor a carburador utilizando gasolina extra o GLP.....	110

Tabla 4.17	Datos de las pruebas de potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra o GLP.....	111
Tabla 4.18	Datos promedio de las pruebas TIS, análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (Equipo MAHA MGT5).....	112
Tabla 4.19	Datos promedio de las pruebas TIS, análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5).....	113
Tabla 4.20	Datos promedio de las pruebas de análisis de gases, motor a inyección electrónica con velocidad variable, utilizando gasolina super (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx)...	115
Tabla 4.21	Datos promedio de las pruebas análisis de gases, motor a inyección electrónica con velocidad variable, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).....	116
Tabla 4.22	Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super...	118
Tabla 4.23	Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.....	119
Tabla 4.24	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).....	119
Tabla 4.25	Emisión de %CO en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).....	120
Tabla 4.26	Emisión de %CO ₂ en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).....	121
Tabla 4.27	Factor lambda λ en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).....	122
Tabla 4.28	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).....	123
Tabla 4.29	Emisión %CO en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).....	124
Tabla 4.30	Emisión %CO ₂ en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).....	125

Tabla 4.31	Emisión de NO _x (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica.....	126
Tabla 4.32	Datos de las pruebas de torque en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super o GLP (velocidad variable).....	127
Tabla 4.33	Datos de las pruebas de potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super o GLP (velocidad variable).....	128

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Esquema de un motor básico de combustión interna.....	3
Figura 1.2	Términos utilizados en el estudio de un motor de combustión interna.....	4
Figura 1.3	Relación de compresión.....	5
Figura 1.4	a) Diagrama P –v ciclo Otto, b) Diagrama T-s ciclo Otto, c) Esquema cilindro-pistón del ciclo Otto.....	6
Figura 1.5	Ciclo de cuatro tiempos.....	8
Figura 1.6	Diagrama de Sankey.....	9
Figura 1.7	Elementos de un motor básico de ciclo Otto.....	17
Figura 1.8	Sistema de distribución.....	19
Figura 1.9	Esquema de conexión de un alternador.....	20
Figura 1.10	Elementos básicos que componen el sistema de encendido y su esquema eléctrico.....	20
Figura 1.11	Sección de una bobina de encendido.....	21
Figura 1.12	Sistema de encendido electrónico para inyección de gasolina convencional.....	22
Figura 1.13	Esquema de un sistema de encendido estático (DIS).....	22
Figura 1.14	Sistemas de refrigeración: a) Con aire. b) Con agua.....	23
Figura 1.15	Sistema de lubricación.....	24
Figura 1.16	Componentes básicos del sistema de escape.....	24
Figura 1.17	Caja de Cambios.....	25
Figura 1.18	Relación de velocidades de la caja de cambios.....	26
Figura 1.19	Elementos que intervienen en la carburación.....	27
Figura 1.20	El carburador.....	29
Figura 1.21	Esquema del principio de funcionamiento del carburador.....	29
Figura. 1.22	Carburador elemental.....	31
Figura 1.23	Carburador elemental y dispositivos necesarios para el funcionamiento dentro del motor.....	32
Figura 1.24	Clasificación del carburador de difusor fijo según la posición del difusor.....	33
Figura 1.25	Esquema de un carburador con difusor variable.....	34

Figura 1.26	Partes de un sistema básico de inyección de combustible.....	35
Figura 1.27	Esquema de un sistema de inyección electrónica L-jetronic....	36
Figura 1.28	Sistema de inyección directa (GDI) desarrollado por la Mitsubishi.....	37
Figura 1.29	Sistemas de inyección monopunto y multipunto.....	38
Figura 1.30	Sensor lambda.....	39
Figura 1.31	Principio de funcionamiento del sensor lambda.....	39
Figura 1.32	Inyector de gasolina.....	40
Figura 1.33	Clasificación de los sistemas de inyección indirecta de gasolina.....	41
Figura 2.1	Obtención de GLP por destilación de petróleo crudo.....	43
Figura 2.2	Obtención del gas licuado por separación del gas natural.....	43
Figura 2.3	Diferentes formas de almacenamiento de GLP.....	46
Figura 2.4	Estación de suministro de GLP.....	48
Figura 2.5	Ubicación de los elementos de un sistema GLP para un motor equipado con carburador.....	49
Figura 2.6	Esquema del equipo de alimentación de GLP en un motor con carburador.....	50
Figura 2.7	Ubicación de los elementos de un sistema GLP para un motor equipado con inyección electrónica.....	51
Figura 2.8	Esquema de instalación de un sistema GLP para motores con inyección electrónica multipunto.....	51
Figura 2.9	Recorrido del GLP líquido hasta el evaporador o regulador de presión (circuito de alta presión).....	52
Figura 2.10	Paso de fase líquida a fase gaseosa del GLP en el evaporador o regulador de presión.....	53
Figura 2.11	Distribución de GLP gaseoso a los cilindros del motor.....	54
Figura 2.12	Ejemplo de instalación de un regulador de presión en un Toyota COROLLA.....	56
Figura 2.13	Esquema de un regulador: a) simple y, b) doble.....	57
Figura 2.14	Esquema de un mezclador.....	58
Figura 2.15	Distintas ubicaciones del tanque de almacenamiento de acuerdo al tipo de vehículo.....	59

Figura 2.16	Circuito de GLP de alta presión.....	60
Figura 2.17	Circuito de GLP de baja presión.....	61
Figura 2.18	Circuito de calefacción.....	62
Figura 2.19	Circuito de gasolina.....	63
Figura 2.20	Ubicación del conmutador en el vehículo.....	63
Figura 2.21	Emulador de inyectores.....	64
Figura 2.22	Instalación del emulador de inyectores.....	64
Figura 2.23	Conexión del relé.....	65
Figura 2.24	Posición de los tornillos de regulación del caudal máximo y mínimo.....	65
Figura 2.25	Cambio de gasolina a GLP en vehículos carburados.....	68
Figura 2.26	Cambio de gasolina a GLP en vehículos a inyección electrónica.....	68
Figura 3.1	Evaporador o regulador de presión marca LOVATO para vehículos carburados o de inyección electrónica.....	70
Figura 3.2	Electroválvula de GLP marca LOVATO.....	70
Figura 3.3	Electroválvula de gasolina marca.....	71
Figura 3.4	Conmutador para motores carburados.....	71
Figura 3.5	Multiválvula.....	72
Figura 3.6	Filtro de GLP.....	72
Figura 3.7	Mezclador de material aluminio.....	72
Figura 3.8	Tanque de almacenamiento de GLP de fabricación peruana...	73
Figura 3.9	Regulador de caudal o de máxima.....	73
Figura 3.10	Tuberías y accesorios de montaje.....	74
Figura 3.11	Instalación del evaporador reductor de presión en el motor... carburado.....	74
Figura 3.12	Conexión eléctrica de la electroválvula.....	74
Figura 3.13	Proceso de instalación del circuito de baja presión en el motor a carburación.....	75
Figura 3.14	Proceso de instalación del mezclador en el motor a carburación.....	75
Figura 3.15	Fijación del tanque de almacenamiento de GLP en el motor carburado.....	76

Figura 3.16	Instalación de la multiválvula en el tanque de almacenamiento GLP.....	76
Figura 3.17	Proceso de instalación del sistema de carga de GLP.....	77
Figura 3.18	Proceso de instalación del sistema de desfogue de GLP en el tanque de almacenamiento de GLP.....	77
Figura 3.19	Multiválvula y sistema de carga de GLP en el tanque de almacenamiento del motor carburado.....	78
Figura 3.20	Instalación del circuito de alta presión en el motor carburado..	78
Figura 3.21	Instalación del sistema de calefacción en el motor carburado..	79
Figura 3.22	Instalación del circuito de gasolina.....	79
Figura 3.23	Instalación de la llave de conmutación.....	80
Figura 3.24	Plano de instalación de llaves conmutadoras LAE K302 CARBURADA.....	80
Figura 3.25	Equipo adicional para la conversión del motor a inyección electrónica. a) Emulador de inyectores, b) Relé y c) Conmutador de inyección.....	81
Figura 3.26	Instalación del evaporador reductor de presión en el motor a inyección electrónica.....	82
Figura 3.27	Proceso de instalación del circuito de baja presión en el motor a inyección electrónica.....	82
Figura 3.28	Proceso de Instalación del mezclador en el motor a inyección electrónica.....	83
Figura 3.29	Fijación del tanque de almacenamiento de GLP en el motor a inyección electrónica.....	83
Figura 3.30	Instalación de la multiválvula y sistema de carga de GLP en el tanque de almacenamiento del motor a inyección electrónica.....	84
Figura 3.31	Proceso de instalación del circuito de alta presión en el motor de inyección electrónica.....	84
Figura 3.32	Instalación del circuito de calefacción en el motor a inyección electrónica.....	85
Figura 3.33	Instalación del conmutador en el motor de inyección electrónica.....	85

Figura 3.34	Plano de instalación de llaves conmutadoras LAE K203 INYECTADA.....	86
Figura 3.35	Proceso de conexión eléctrica del conmutador en el motor de inyección electrónica.....	86
Figura 3.36	Instalación del emulador de inyectores en el motor de inyección electrónica.....	87
Figura 3.37	Conexión eléctrica del emulador de inyectores.....	88
Figura 3.38	Conexión eléctrica del relé.....	89
Figura 3.39	Verificación de las conexiones del sistema GLP para los motores de carburación e inyección electrónica.....	90
Figura 3.40	Proceso de carga de GLP en el tanque de almacenamiento de los motores a carburación e inyección electrónica.....	91
Figura 4.1	Emisión de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Pruebas TIS).....	95
Figura 4.2	Emisión de gases de HC en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Pruebas TIS).....	95
Figura 4.3	Emisión de gases, motor a carburador, utilizando GLP (Pruebas TIS).....	96
Figura 4.4	Emisiones gases de HC en el motor a carburador, utilizando GLP (Pruebas TIS).....	97
Figura 4.5	Emisiones de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (velocidades variadas).....	98
Figura 4.6	Emisiones de gases HC y NO _x en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (velocidades variadas).....	98
Figura 4.7	Emisiones de gases en el motor a carburador, utilizando GLP (velocidades variadas).....	99
Figura 4.8	Emisiones de gases HC y NO _x en el motor a carburador, utilizando GLP (velocidades variadas).....	100
Figura 4.9	Torque – potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra.....	101
Figura 4.10	Torque – potencia en el motor a carburador usando combustible GLP.....	101

Figura 4.11	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando combustible gasolina o GLP (Pruebas TIS).....	102
Figura 4.12	Emisión %CO en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (Pruebas TIS).....	103
Figura 4.13	Emisión %CO ₂ en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (Pruebas TIS).....	104
Figura 4.14	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).....	106
Figura 4.15	Emisión de %CO en el motor a carburación usando combustible gasolina o GLP (velocidad variable).....	107
Figura 4.16	Emisión de %CO ₂ en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).....	108
Figura 4.17	Emisión de NO _x en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).....	109
Figura 4.18	Torque en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).....	110
Figura 4.19	Potencia en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).....	111
Figura 4.20	Emisiones de gases promedio en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (Pruebas TIS).....	113
Figura 4.21	Emisiones de gases promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Pruebas TIS).....	114
Figura 4.22	Emisiones de gases HC promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Pruebas TIS).....	114
Figura 4.23	Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (velocidad variable).....	115
Figura 4.24	Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (velocidad variable).....	116
Figura 4.25	Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (velocidad variable).....	117
Figura 4.26	Emisiones de gases HC y NO _x (velocidades variadas) promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP..	117

Figura 4.27	Torque – potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.....	118
Figura 4.28	Torque – potencia en el motor a inyección electrónica usando GLP.....	119
Figura 4.29	Comparación de la emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (Pruebas TIS)	120
Figura 4.30	Comparación emisión de %CO en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (Pruebas TIS).....	121
Figura 4.31	Emisión %CO ₂ en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (marcha mínima).....	122
Figura 4.32	Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).....	123
Figura 4.33	Emisión de %CO en el motor a inyección electrónica gasolina o GLP (velocidad variable).....	124
Figura 4.34	Emisión de %CO ₂ (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP.....	125
Figura 4.35	Emisión de NO _x (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP.....	126
Figura 4.36	Torque en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).....	127
Figura 4.37	Potencia en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).....	128

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TABLAS DE PROPIEDADES DEL GLP Y COMPARACIÓN CON OTROS COMBUSTIBLES.....	135
ANEXO B: REGLAMENTO TECNICO ECUATORIANO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS CON GAS LICUADO DE PETRÓLEO.....	138
ANEXO C: TIPOS DE EVAPORADORES Y SU FUNCIONAMIENTO.....	170
ANEXO D: CLASES DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP PARA VEHÍCULOS.....	176
ANEXO E: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA 2203 Y 2204 :2000 PARA LA REALIZACIÓN DE PRUEBA ESTÁTICA Y EMISIÓN DE GASES PERMITIDOS.....	179
ANEXO F: PROTOCOLO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES Y MEDICIÓN DE TORQUE Y POTENCIA DE LOS MOTORES A CARBURACIÓN E INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	194
ANEXO G: EQUIPO ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE.....	199
ANEXO H: BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES.....	203
ANEXO I: MOTOR DE PRUEBAS A CARBURACIÓN.....	208
ANEXO J: MOTOR DE PRUEBAS A INYECCIÓN ELECTRÓNICA.....	211
ANEXO K: TABLAS DE DATOS DE LAS PRUEBAS DE EMISIÓN DE GASES, TORQUE Y POTENCIA.....	214

RESUMEN

Este trabajo presenta una investigación del funcionamiento, instalación y pruebas de un sistema de GLP, adaptado a motores de ciclo Otto con sistemas de alimentación de combustible a carburación e inyección electrónica. Para la obtención del objetivo planteado, se requiere de un análisis comparativo del comportamiento de los motores funcionando con GLP y con gasolina.

Mediante el estudio de los componentes y sistemas que componen un motor de ciclo Otto a carburación e inyección electrónica, se pueden obtener los conocimientos necesarios para una correcta instalación de un sistema de GLP que funcione correctamente, bajando las emisiones contaminantes que tanto afectan al medio ambiente, sin mayor pérdida de potencia, y cuyo fin es remplazar a los combustibles tradicionales como la gasolina.

Se realiza la instalación de un sistema de GLP para motores de banco de pruebas a carburador e inyección electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, siguiendo las normas ecuatorianas vigentes para el uso de GLP en automóviles, consiguiendo una adaptación adecuada de los componentes del sistema, permitiendo un correcto funcionamiento de los motores en forma dual GLP/gasolina.

Luego se realizan varias pruebas en los motores, usando gasolina y GLP, para con los resultados obtenidos hacer una comparación y determinar su comportamiento, en emisiones contaminantes, torque y potencia.

Las pruebas se las realiza en Quito en el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV) de la Escuela Politécnica Nacional, para evaluar el comportamiento de los motores de ciclo Otto que funcionan con GLP en la altura, lo cual permitirá establecer que el sistema de suministro de GLP es una de las mejores alternativas para remplazar a los combustibles tradicionales.

PRESENTACIÓN

En la actualidad en la ciudad de Quito circulan aproximadamente 350000 vehículos de los cuales la mayoría son a gasolina, estos emiten cantidades apreciables de contaminantes que deterioran el medio ambiente de manera imparable generando un impacto tanto visual como a la salud. Entre estos contaminantes se destacan: óxidos de Nitrógeno (NOx), hidrocarburos (HC), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y óxidos de azufre (SOx) que están afectando a la calidad de vida de la población. Situación que se agrava debido al continuo crecimiento del parque automotor y a la baja calidad de los combustibles que se comercializan en el Ecuador.

Se sabe también, que los precios de los combustibles tradicionales han sufrido un alza importante en los últimos años en los mercados internacionales, lo cual preocupa ya que nuestro país importa gran cantidad de combustibles, como la gasolina y el GLP, siendo este último el de menor costo y una de las alternativas mas económicas en reemplazo de los combustibles tradicionales para automotores.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una buena alternativa. Una investigación del comportamiento del motor en la altura con el uso del GLP, permitirá recopilar y analizar datos, para conocer que problemas se presentan y las posibles soluciones. Además dará parámetros acerca de las ventajas, inconvenientes y niveles de seguridad, en la instalación de un sistema de GLP en los motores de ciclo Otto. Todo esto para orientar al posible consumidor en el Ecuador, al uso del GLP como combustible alternativo.

CAPITULO I

EL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

1.1 INTRODUCCIÓN

La energía mecánica indispensable para poner en acción diferentes máquinas se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La que más se utiliza es la energía térmica obtenida de combustibles de naturaleza orgánica. Los equipos energéticos que más aceptación han tenido son los motores de combustión interna o de ciclo Otto, a ellos corresponde más de un 80 % de la totalidad de la energía producida en el mundo.

Para convertir el calor o energía térmica a energía mecánica se requiere el uso de dispositivos especiales llamados máquinas térmicas. Estas difieren considerablemente unas de otras, aunque todas se caracterizan porque: reciben calor de una fuente a alta temperatura (energía solar, hornos de petróleo, reactores nucleares, etcétera), convierten parte de ese calor en trabajo (normalmente en la forma de un eje en rotación), liberan el calor de desecho en un sumidero de baja temperatura (la atmósfera, ríos, etcétera) y funcionan en un ciclo.

Las Máquinas Térmicas tienen un fluido de trabajo al y desde el que el calor se transfiere mientras se somete a un ciclo. Máquinas que involucran combustión interna y que producen trabajo, entran en esta categoría, estos dispositivos operan en un ciclo mecánico pero no en uno termodinámico, ya que el fluido de trabajo (los gases de combustión) no se someten a un ciclo completo. En lugar de que se enfríen hasta la temperatura inicial, los gases de escape se evacuan y sustituyen por una mezcla de aire y combustible al final del ciclo¹.

¹Cengel Y, Termodinámica, Tomo 2, 2001

1.2 DEFINICIÓN DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de combustión interna es una Máquina Térmica que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que se quema en una cámara de combustión que es la parte principal del motor. La energía suministrada proviene de combustibles como: diesel, gasolina, gas licuado de petróleo, etc. y el trabajo mecánico que proporciona suele ser el movimiento rotatorio de un árbol o eje.

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Un motor de combustión interna básicamente consta de un mecanismo cilindro-pistón más un conjunto de elementos como se muestra en la Figura 1.1. Generalmente los motores tienen varios mecanismos cilindro-pistón.

El pistón se ajusta a las paredes del cilindro mediante unos anillos que impiden que los gases se introduzcan en su parte inferior, éste está unido a una biela, la misma que transmite la fuerza de explosión al codo de un cigüeñal que al girar describe una trayectoria circular. El pistón realiza una trayectoria rectilínea ascendente o descendente, que se convierte en movimiento de rotación mediante el eje del cigüeñal.

Si el espacio entre el cilindro y el pistón es cerrado se tiene que:

- El fluido de trabajo se comprime mientras el pistón asciende.
- El pistón puede descender al expandirse el fluido de trabajo como consecuencia de la explosión durante la combustión.

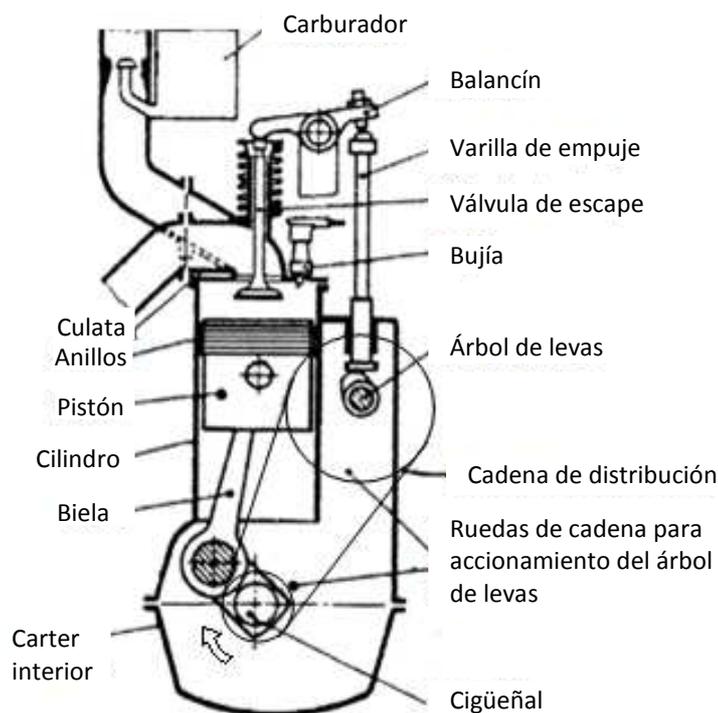


Figura 1.1 Esquema de un motor básico de combustión interna².

En la parte superior el cilindro se cierra mediante la culata, dentro de la cual se ubican las válvulas, que son accionadas por un árbol de levas y permiten la entrada o salida de los gases.

El árbol de levas gira con la mitad del número de revoluciones del movimiento que recibe del el cigüeñal a través de una cadena.

Roscada a la culata se encuentra la bujía, la cual se encarga de proveer la chispa que provoca la combustión de los gases comprimidos en el interior del cilindro cuando el pistón casi ocupa la posición más alta.

El encargado de alojar el mecanismo cilindro-pistón es un cuerpo robusto denominado bloque que por su parte inferior se sella mediante el cárter, donde se aloja el aceite para lubricación y refrigeración.

²STUTT GART, Gerschlerl, Tecnología del automóvil, TOMO 2, 1980.

1.4 TÉRMINOS TEÓRICOS UTILIZADOS³

Los términos más importantes como se puede observar en la Figura 1.2 son:

Punto muerto superior (PMS): Cuando el pistón en su movimiento alcanza el punto máximo de altura antes de empezar a bajar.

Punto muerto inferior (PMI): Cuando el pistón en su movimiento alcanza el punto máximo inferior antes de empezar a subir.

Diámetro o calibre (D): Diámetro interior del cilindro (en m.).

Carrera (C): Distancia entre el PMS y el PMI (en m.).

Cilindrada unitaria o Volumen de barrido (V): Volumen que desplaza el pistón del PMI al PMS.

$$V = \frac{\pi}{4} * (\text{Diámetro})^2 * \text{Carrera} \text{ (m}^3\text{)}. \quad (1.1)$$

Área de la sección transversal (A): Área del pistón que recibe la fuerza durante la explosión.

$$A = \frac{\pi}{4} * (\text{Diámetro})^2 \text{ (m}^2\text{)}. \quad (1.2)$$

Volumen de la cámara de combustión (v): Volumen comprendido entre la cabeza del pistón en PMS y la culata.

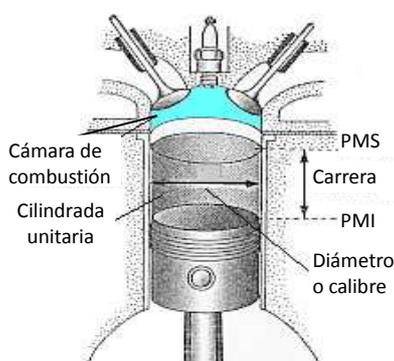


Figura 1.2 Términos utilizados en el estudio de un motor de combustión interna.

³Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanica virtual.org>, 2007.

Relación de compresión (Rc): Relación entre la suma de volúmenes ($V + v$) y el volumen de la cámara de combustión v (Figura 1.3). La Rc para motores a gasolina suele ser del orden de 10/1. Con motores turboalimentados este valor desciende, para motores diesel viene a ser del orden de 20/1.

$$Rc = \frac{V+v}{v} \quad (1.3)$$

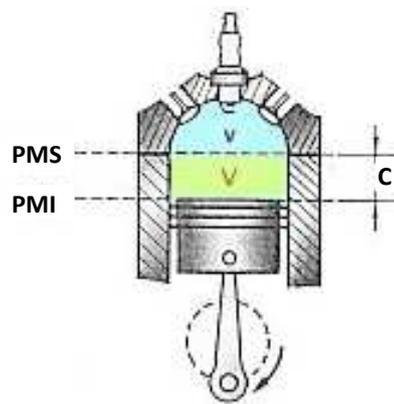


Figura 1.3 Relación de compresión.

1.5 TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los principales tipos de motores de combustión interna son:

- El motor de ciclo Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto. Este es el que aproximadamente se utiliza en los motores de combustión interna o de encendido por chispa.
- El motor Diesel, llamado así en honor del ingeniero alemán Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente al anterior. Se emplea en instalaciones generadoras de energía eléctrica, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y automóviles.

Tanto los motores Otto como los Diesel se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos y son los más utilizados en automoción.

1.6 MOTOR DE CICLO OTTO⁴

1.6.1 CICLO OTTO

Es el ciclo termodinámico ideal que se aplica en motores de combustión interna. Se caracteriza porque todo el calor se aporta a volumen constante, esto se puede observar en los diagramas $P - v$, $T - s$ y esquema del cilindro-pistón de las Figura 1.4.

Consta de cuatro procesos:

- 1-2: Compresión adiabática y reversible (isentrópica).
- 2-3: Admisión, adición de calor a volumen constante. La presión se eleva rápidamente antes de comenzar el tiempo útil.
- 3-4: Fuerza, adiabática o parte del ciclo que entrega trabajo (isentrópica).
- 4-1: Escape, rechazo del calor al medio ambiente a volumen constante.

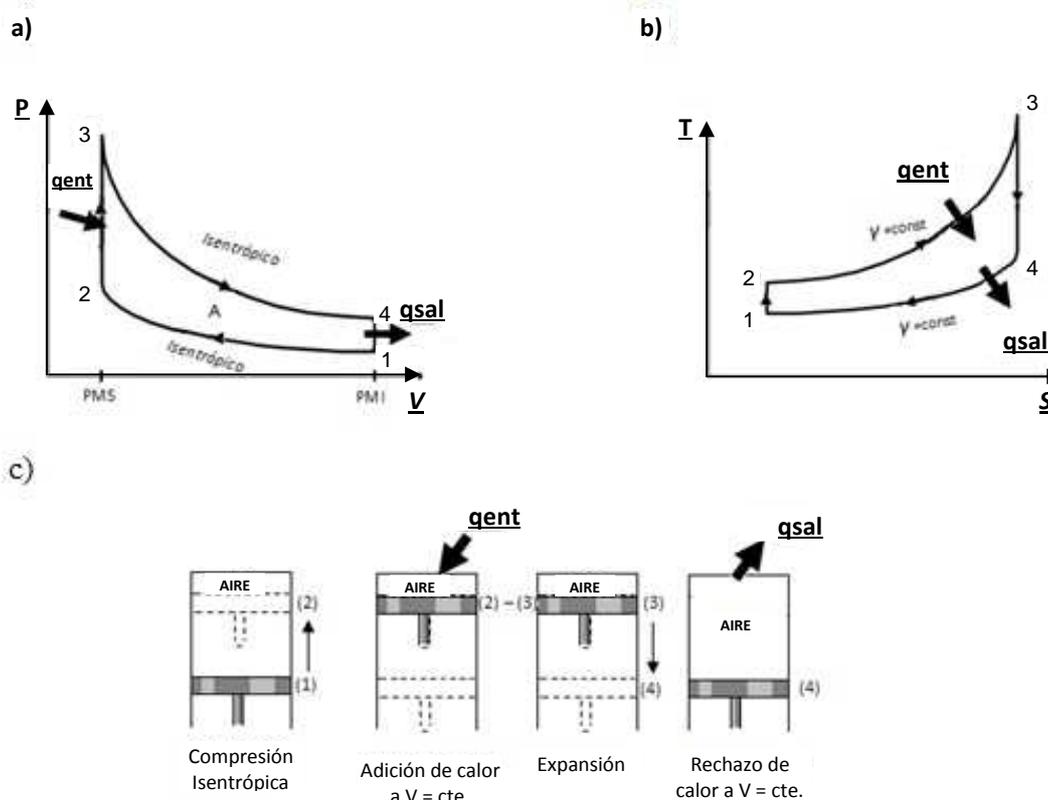


Figura 1.4 a) Diagrama $P-v$ ciclo Otto, b) Diagrama $T-s$ ciclo Otto, c) Esquema cilindro-pistón del ciclo Otto.

⁴Cengel Y, Termodinámica, Tomo 2, 2001

1.6.2 MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

El motor Otto de cuatro tiempos se emplea tanto en automoción como en aeronáutica, este realiza cuatro carreras del pistón o émbolo (dos vueltas completas del cigüeñal) para completar el ciclo termodinámico de combustión. Estos tiempos se pueden observar en la Figura 1.5 y son:

Primer tiempo o admisión: El pistón desciende aspirando la mezcla aire combustible. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. El cigüeñal gira 180° y el árbol de levas da 90° .

Segundo tiempo o compresión: El movimiento del pistón es ascendente. Al llegar al final de la carrera inferior la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. El cigüeñal gira 360° , el árbol de levas da 180° y ambas válvulas se encuentran cerradas.

Tercer tiempo o explosión: El pistón desciende. Al no poder llegar al final de carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima; salta la chispa en la bujía provocando la combustión de la mezcla, incrementando la temperatura en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. El cigüeñal gira 540° , el árbol de levas da 270° y ambas válvulas se encuentran cerradas.

Cuarto tiempo o escape: El pistón empuja cuidadosamente en su movimiento ascendente los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al final de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión. El cigüeñal gira 720° y el árbol de levas da 360° . Luego de este tiempo, el motor está listo para comenzar el ciclo de cuatro tiempos nuevamente.

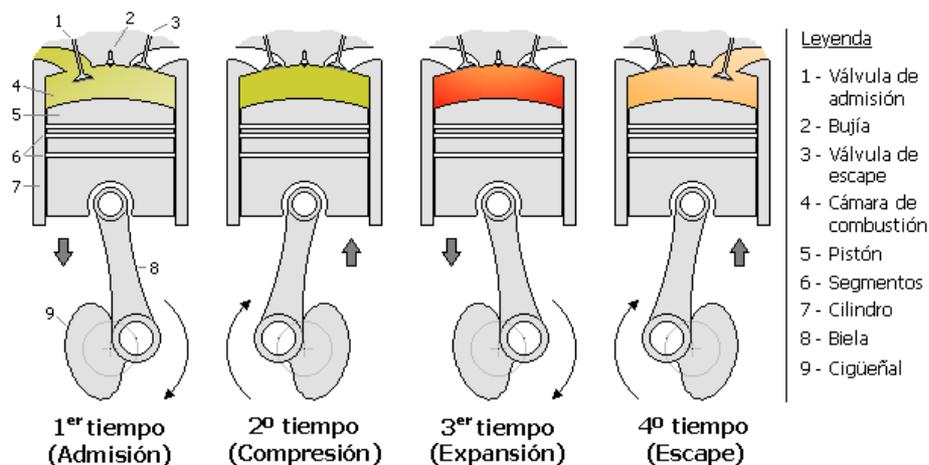


Figura 1.5 Ciclo de cuatro tiempos⁵.

1.6.3 EFICIENCIA TÉRMICA

El rendimiento o eficiencia, en general, se expresa en términos de la salida deseada y de la entrada requerida.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} \quad (1.4)$$

En las máquinas térmicas la eficiencia, mide el desempeño que ésta tiene al convertir el calor que recibe. La salida deseada es el trabajo neto, y la entrada requerida es la cantidad de calor suministrada al fluido de trabajo. En este caso la eficiencia térmica de una máquina será:

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{\text{Salida neta de trabajo}}{\text{Calor total que entra}} \quad (1.5)$$

$$\eta_t = \frac{W_{\text{neto,sal}}}{Q_{\text{en}}} \quad (1.6)$$

Los ingenieros tratan constantemente de mejorar el rendimiento de las máquinas, puesto que una mayor eficiencia equivale a menor consumo de combustible y por ello, menores costos y contaminación.

⁵Wikipedia, <http://es.wikipedia.org>, 2009.

La eficiencia térmica de los dispositivos que producen trabajo es relativamente baja. En los motores Otto modernos es alrededor del 25% y se ve limitada por varios factores, entre otros, las pérdidas de energía por fricción, gases de combustión y refrigeración. Es decir, un motor de automóvil convierte, en promedio un 25% de la energía química de la gasolina en trabajo mecánico. En la actualidad, incluso con las máquinas más eficientes disponibles, más de la mitad de la energía suministrada termina en los ríos, lagos o en la atmósfera como desecho.

Un balance energético permite conocer como se distribuye la energía entregada por el combustible al motor. Para visualizar estos resultados se utiliza el diagrama Sankey, como se muestra en la Figura 1.6.

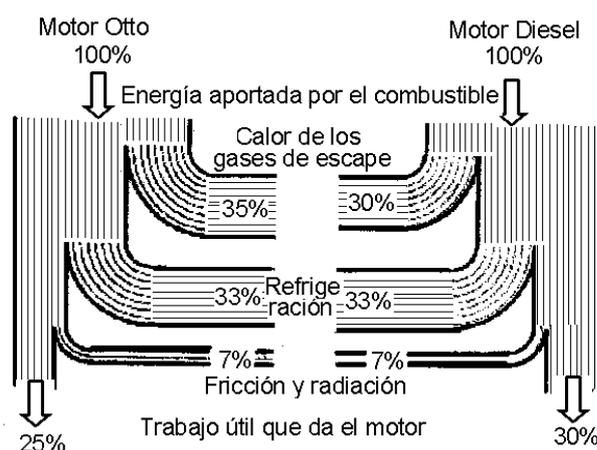


Figura 1.6 Diagrama de Sankey⁶.

El diagrama Sankey se elabora con resultados obtenidos, tomando como base el calor añadido del combustible y luego calculando el porcentaje que corresponde a la potencia real y las pérdidas. De esta manera se tiene que:

Calor Añadido o Potencia Teórica: El calor añadido es la energía que idealmente puede entregar el combustible (Q_a), y se conoce como potencia teórica (P_{te}):

$$(1.7)$$

⁶STUTT GART, Gerschlerl, Tecnología del automóvil, TOMO 2, 1980.

$$P_{te} = P_c * \rho * v_c \quad (1.8)$$

Donde:

P_c = poder calórico del combustible (Kwh/Kg).

ρ = densidad de combustible (Kg/m³).

v_c = flujo volumétrico de combustible (m³/s).

m_c = flujo másico de combustible (Kg/s).

Potencia del Motor: Es la fuerza que recibe el pistón cuando ocurre la combustión en el interior del cilindro multiplicado por la distancia recorrida por el pistón en un determinado periodo. Esta no se aplica totalmente sobre el cigüeñal. Esto se debe a que existen pérdidas como calor, rozamiento, entre otros que restan valor a la misma. Por lo tanto la potencia en el eje siempre será menor.

Se pueden distinguir tres clases de potencia:

- Potencia indicada: es la que recibe el pistón durante el ciclo y se calcula con la ayuda del diagrama indicado.
- Potencia efectiva_ Par motor: se calcula con la ayuda de un freno, mediante un banco de pruebas. La fuerza que empuja al pistón mueve la biela haciendo girar al codo del cigüeñal mediante un esfuerzo de torsión que se conoce como Par Motor (τ) que multiplicado por la velocidad de rotación del motor (ω) da como resultado la potencia efectiva (P_e), conocida también como potencia al freno debido al mecanismo que se utiliza para su medición:

$$P_e = \tau * \omega \quad (1.9)$$

- Potencia absorbida: es la diferencia entre la potencia indicada y la potencia al freno. Utilizada para vencer el rozamiento entre las superficies (pistones, cojinetes, etc.) y dar movimiento a otros elementos que el motor necesita como la bomba de agua, el alternador, etc.

Calor rechazado o pérdidas: Hay dos clases de pérdidas:

- Pérdidas térmicas (refrigeración, lubricación y gases de escape).
- Pérdidas mecánicas (fricción, ruido, etc.), que son contabilizadas en la potencia absorbida.

Después de calcular todos los flujos de energía se puede obtener un balance de energía completo:

$$P_{te} = P_i + P_{Ra} + P_{Rg} \quad (\text{HP}) \quad (1.10)$$

$$P_i = P_e + P_{ab} \quad (\text{HP}) \quad (1.11)$$

$$P_{te} = P_e + P_{ab} + P_{Ra} + P_{Rg} \quad (\text{HP}) \quad (1.12)$$

Donde:

P_{te} = potencia teórica (HP).

P_i = potencia indicada (HP).

P_{Ra} = pérdidas por refrigeración (HP).

P_{Rg} = pérdidas por los gases de combustión (HP).

P_{ab} = potencia absorbida (HP).

Si se considera a la potencia teórica (P_{te}) como el 100% de la energía entregada al sistema, se puede obtener diferentes rendimientos o eficiencias del motor. Así se tiene que:

$$\text{Eficiencia Termodinámica indicada} = \frac{\text{Potencia indicada}}{\text{Potencia teórica}} \quad (1.13)$$

$$\text{Rendimiento Mecánico} = \frac{\text{Potencia efectiva}}{\text{Potencia indicada}} \quad (1.14)$$

$$\text{Eficiencia Termodinámica indicada} = \frac{\text{Potencia indicada}}{\text{Potencia teórica}} \quad (1.15)$$

1.6.4 OCTANAJE

El **octanaje** o **índice de octano** es una escala que mide la resistencia que presenta un combustible (como la gasolina) a detonar prematuramente, cuando es comprimido dentro del cilindro de un motor. Indica la presión y temperatura a que puede ser sometido un combustible mezclado con aire, antes de auto-detonarse al alcanzar su temperatura de auto-ignición.

Si el combustible no tiene el índice de octano suficiente en motores con elevadas relaciones de compresión (8,5 - 10,5), se producirá el "autoencendido" de la mezcla, es decir, la combustión es demasiado rápida y dará lugar a una explosión prematura en la fase de compresión, provocando que el pistón sufra un golpe brusco y se reduzca drásticamente el rendimiento del motor, llegando incluso a provocar graves averías.

El índice de octano se obtiene por comparación del poder detonante de la gasolina con el de una mezcla de heptano e isoctano, asignándole a cada elemento de esta última un poder antidetonante de 0 y 100 respectivamente; de esta manera, una gasolina de 95 octanos correspondería en su capacidad antidetonante a una mezcla con el 95% de isoctano y el 5% de heptano.

Hay tres clases de octanajes:

- **Research Octane Number (RON)** - Octanaje medido en el laboratorio.
- **Motor Octane Number (MON)** - Octanaje probado en un motor estático.
- **Road ON** - Octanaje probado en la carretera.

El valor del RON se determina comparando el golpeteo que produce la gasolina con respecto al golpeteo que produce una sustancia patrón. Como patrón se utiliza una mezcla de isoctano (2, 2, 4-Trimetilpentano)- y n heptano. De ésta forma se determina el número de octanos del combustible con respecto al porcentaje de isoctano en la mezcla estándar. Así, una gasolina que produce el mismo ruido que la mezcla de 87 (87% isoctano y 13% n-heptano), se dice que tiene un octanaje de 87 octanos.

Existe otro tipo de octanaje llamado MON que indica de manera más exacta cómo se comporta el combustible cuando se carga. Esta definición también se basa en la mezcla de isoctano y n-heptano. La diferencia con el RON es que se sobrecarga más el motor en el ensayo: se utiliza una mezcla precalentada, el motor más revolucionado y tiempos de ignición variables. Dependiendo de la composición del combustible, el MON de una gasolina moderna estará 10 puntos por debajo del RON. Normalmente las especificaciones de combustible requieren de RON y MON.

Algunos combustibles como el GLP, GNC, etanol y metanol, dan un índice de octano mayor de 100. Si la gasolina no tiene suficiente octanaje se le añade algún aditivo como el etanol, el benceno o tetra etilo de plomo que ya no se utiliza en nuestro país.

1.7 CURVAS CARACTERÍSTICAS

Se utilizan para conocer las variaciones de potencia, par motor y consumo de combustible en cada régimen de funcionamiento del motor. Permiten comparar un motor frente a beneficios y consumos, lo cual ayuda a saber cual es más rentable según las necesidades que se tenga. Estas curvas se refieren a las prestaciones que los motores suministran en un banco de pruebas (torque, potencia al freno, consumo específico de combustible, entre otros).

Los resultados obtenidos en el banco de pruebas sirven como un elemento comparativo válido, ya que se los realiza en condiciones muy cercanas al funcionamiento real.

Las curvas características han ido variando gracias a los progresos e innovaciones técnicas aplicadas a los motores actuales, pero sobre todo debido al control electrónico y al sistema de inyección que permite suministrar la cantidad de combustible requerida en el momento preciso, obteniéndose una mejor combustión con mayores prestaciones de par motor, potencia y menor

consumo de combustible. Existen dos tipos que son: curvas de velocidad y curvas de carga.

Curvas de velocidad: Las revoluciones del motor y la carga varían, mientras el acelerador se mantiene en una misma posición. Están dadas en función de las revoluciones y pueden ser:

- Torque (T) vs. RPM.
- Potencia al freno (Pf) vs. RPM.
- Eficiencia (η) vs. RPM.
- Consumo específico de combustible (c.e.c.) vs. RPM.

Curvas de carga: La velocidad de rotación permanece constante mientras la carga y el acelerador varían. Están en función de la potencia al freno y pueden ser:

- Consumo específico de combustible (c.e.c.) vs. Potencia al freno (Pf.)
- Consumo de combustible (c.c.) vs. Potencia al freno (Pf.)
- Eficiencia (η) vs Potencia al freno (Pf.)

La principal aplicación de estas curvas son los motores de generación de corriente eléctrica y los motores que manejan sistemas de bombeo, debido a que la frecuencia de la energía eléctrica generada es función directa de las revoluciones del motor, además, de las características propias del generador. Por lo tanto, estas se obtienen dependiendo de la utilidad del motor.

1.8 EMISIONES CONTAMINANTES

El motor de combustión interna está estrechamente relacionado con un problema social surgido por la utilización creciente del mismo. Este es responsable de la emisión de sustancias tóxicas, de los llamados "gases de invernadero" y producción de altos niveles de ruido.

Las principales formas en que el motor de combustión interna influye sobre el medio ambiente son:

1. Agotamiento de materias primas no renovables consumidas durante el funcionamiento de los mismos.
2. Consumo de oxígeno que contiene el aire atmosférico.
3. Emisión y contaminación de la atmósfera con gases tóxicos que perjudican al hombre, la flora y la fauna.
4. Emisión de sustancias que provocan el llamado efecto invernadero contribuyendo a la elevación de la temperatura de nuestro planeta.
5. Consumo de agua potable.
6. Emisión de altos niveles de ruido a la atmósfera que disminuye el rendimiento de los trabajadores y ocasiona molestias en sentido general.

Los gases emitidos por los motores de gasolina son:

- Gases de escape:
 - monóxido de carbono (CO)
 - carbono puro (C)
 - anhídrido carbónico (CO₂)
 - vapor de agua (H₂O)
 - hidrógeno puro (H)
 - hidrocarburos (HC)
 - óxidos de nitrógeno (NO_x)
 - anhídrido sulfuroso (SO₂)
 - plomo (Pb)

La combustión incompleta de carburante en los cilindros de un motor es directamente proporcional a la emisión de sustancias tóxicas en los gases de escape y son:

- Gases contaminantes
 - monóxido de carbono.
 - hidrocarburos
 - carburo puro

- carbono
- óxidos de nitrógeno
- anhídrido sulfuroso
- plomo

Además de los gases de escape de los motores de combustión interna, otras fuentes de toxicidad son también los gases del cárter y la evaporación del combustible a la atmósfera. Incluso en un motor bien regulado existen cantidades de componentes tóxicos que se expulsan durante su funcionamiento. Estos tienen gran responsabilidad en los niveles de emisión de sustancias que provocan el "efecto invernadero", fundamentalmente del dióxido de carbono y los óxidos nitrosos.

Se sabe por otra parte, que los motores a gasolina producen ruido, principalmente provocados por: la admisión, deformación de las paredes de la cámara de combustión durante la compresión, combustión y expansión, el provocado por las oscilaciones del motor sobre la suspensión, por golpes durante el trabajo de los mecanismos, por el funcionamiento de agregados del motor y el ruido durante el escape de los gases.

1.9 PRINCIPALES SISTEMAS DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

En el desarrollo del presente proyecto es importante describir los elementos y sistemas principales del motor de ciclo Otto, ya que en el proceso de adaptación del sistema de GLP se realizarán algunas modificaciones. En la Figura 1.7 se pueden observar de manera general los principales elementos mecánicos que componen un motor y a continuación la función de cada uno de estos:

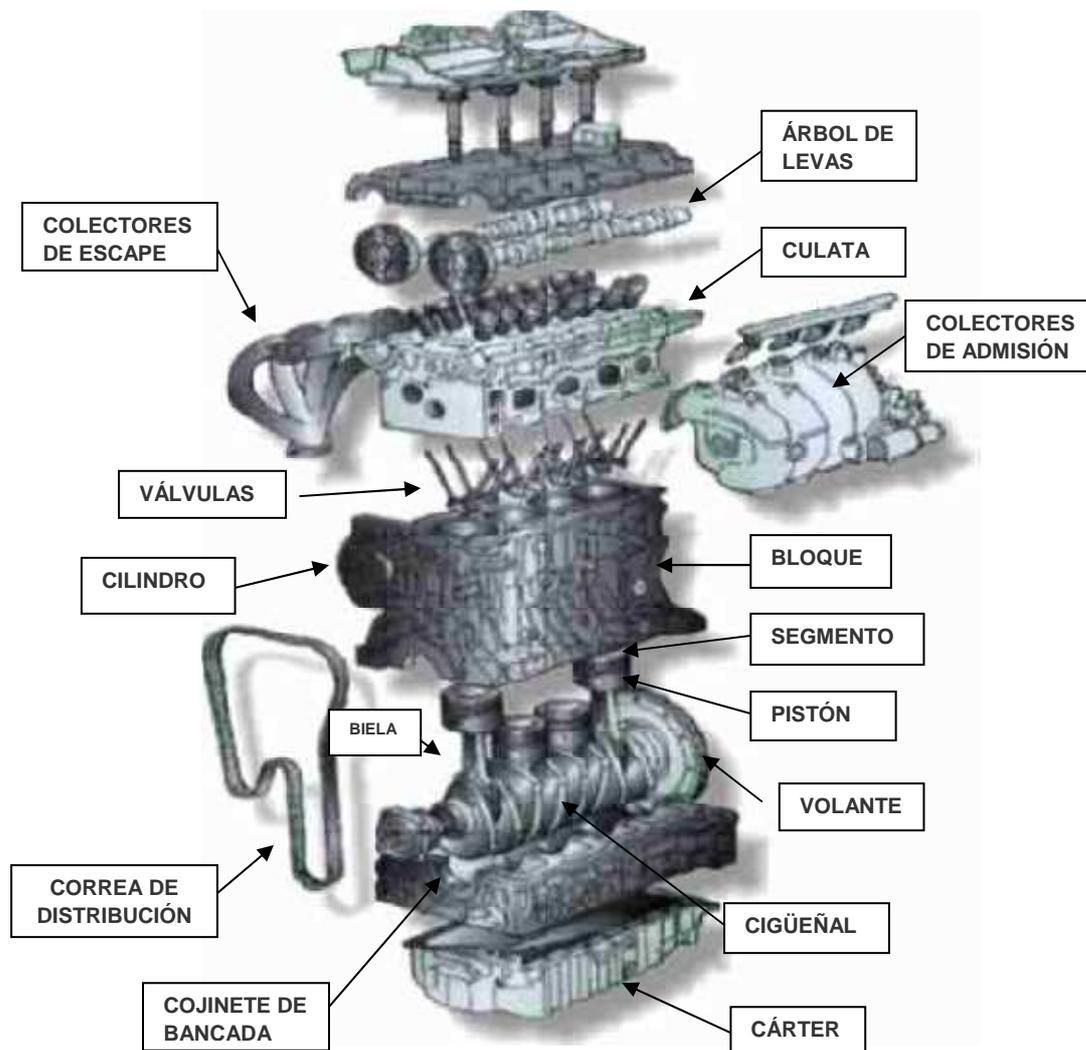


Figura 1.7 Elementos de un motor básico de ciclo Otto⁷.

La culata: situada en la parte superior del motor donde se aloja a las válvulas y los conductos que canalizan la admisión y el escape. Cierra los cilindros.

Las válvulas: al abrir y cerrar se encargan de dar paso a la entrada de los gases (admisión) y dar salida a los gases quemados de la combustión (escape).

El árbol de levas: es el encargado de abrir y cerrar las válvulas. Está situado en la culata y en este caso es doble.

Los cilindros: donde suben y bajan los pistones. Pueden ir mecanizados en el bloque o encamisados.

El bloque: es la estructura principal donde están los cilindros, se ubica la bancada y se asienta el cigüeñal.

⁷Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

Los pistones: que se deslizan por los cilindros con movimiento rectilíneo alternativo.

Los segmentos: se encargan de conseguir un cierre hermético de la cámara de combustión.

Las bielas: transmiten el movimiento de los pistones del cigüeñal.

El cigüeñal: recibe la fuerza de los pistones por medio de la biela y la transforma en movimiento giratorio.

Los cojinetes de bancada: sobre los que gira el cigüeñal dentro del bloque de los cilindros.

El volante: esta unido al cigüeñal y proporciona la inercia necesaria para que el pistón vuelva a subir después del tiempo de explosión.

La correa de la distribución: encargada de unir en giro sincronizado el movimiento del cigüeñal y árbol de levas.

Colectores de admisión: son los que canalizan los gases de entrada a los cilindros.

Colectores de escape: conduce los gases quemados de la combustión desde la culata hasta el exterior.

Carter: recipiente donde se aloja el aceite de engrase y está situado en la parte inferior del bloque.

El motor tiene varios sistemas y sub-sistemas. A continuación se describen de manera general los principales.

1.9.1 SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Se encarga de suministrar al motor el combustible necesario para su funcionamiento, esta compuesto de un depósito, una bomba, tuberías rígidas de acero y flexibles de goma y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido (un sistema de carburador o un sistema de inyección son dispositivos utilizados con este fin), en los motores de varios cilindros éste se conduce a los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector o múltiple de admisión.

1.9.2 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Tiene como función permitir la apertura y cierre de las válvulas en forma sincronizada con los desplazamientos del pistón (Figura 1.8). Permite el llenado de los cilindros con la mezcla aire-combustible, su encendido y vaciado a fin de aprovechar al máximo la energía química del combustible. Por lo general, éste sistema es el encargado de coordinar también la señal de encendido.



Figura 1.8 Sistema de distribución⁸.

1.9.3 SISTEMA ELECTRICO

Formado por: la batería, el alternador, el motor de arranque, el sistema de luces y otros subsistemas auxiliares como limpiaparabrisas o aire acondicionado además del cableado correspondiente. La batería almacena energía para alimentar los diferentes sistemas eléctricos. Cuando el motor está en marcha, el alternador es movido por el cigüeñal y mantiene el nivel de carga de la batería (Figura 1.9).

⁸Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

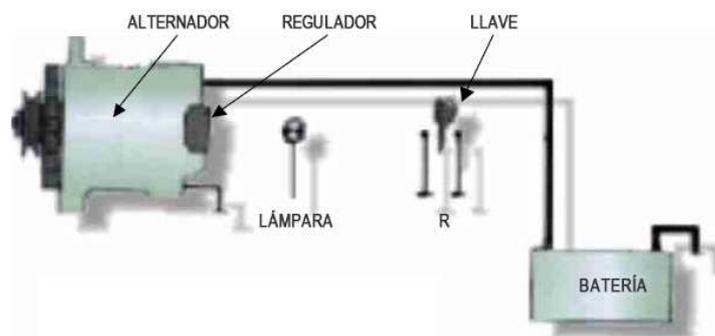


Figura 1.9 Esquema de conexión de un alternador⁹.

1.9.4 SISTEMA DE ENCENDIDO

Tiene la función de iniciar la ignición o inflamación de la mezcla aire-combustible comprimido en el interior del cilindro (Figura 1.10). La batería o fuente de poder proporciona la energía eléctrica necesaria para producir el arco eléctrico requerido, la electricidad producida por ésta es de tipo corriente continua (C.C.) con voltaje de 12 V. En los motores de ciclo Otto, el elemento encargado de provocar la explosión en cada cilindro es la bujía que contiene en uno de sus extremos dos electrodos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que enciende el combustible dentro del cilindro y esta fijada a la pared superior de cada cilindro. La corriente que llega a las bujías debe ser de alta tensión, por lo menos de 14000 V, pero teniendo en cuenta posibles pérdidas del sistema deben generarse hasta 30000V.

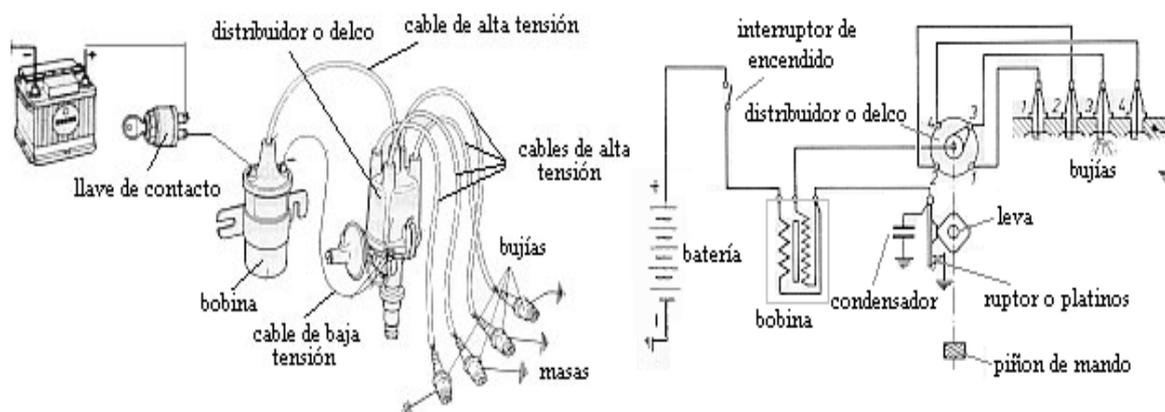


Figura 1.10 Elementos básicos que componen el sistema de encendido y su esquema eléctrico¹⁰.

⁹Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

¹⁰ Wikipedia, <http://es.wikipedia.org>, 2009

El elemento encargado de elevar la tensión que se obtiene de la batería hasta los 30000 V. necesarios es la bobina (Figura 1.11), que es un auto-transformador de alto voltaje conectado a un conmutador que interrumpe la corriente del primario para inducir la chispa de alto voltaje en el secundario. El distribuidor es el elemento encargado de transmitir la corriente a cada bujía en el momento adecuado según el orden de encendido, que están sincronizadas con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros.

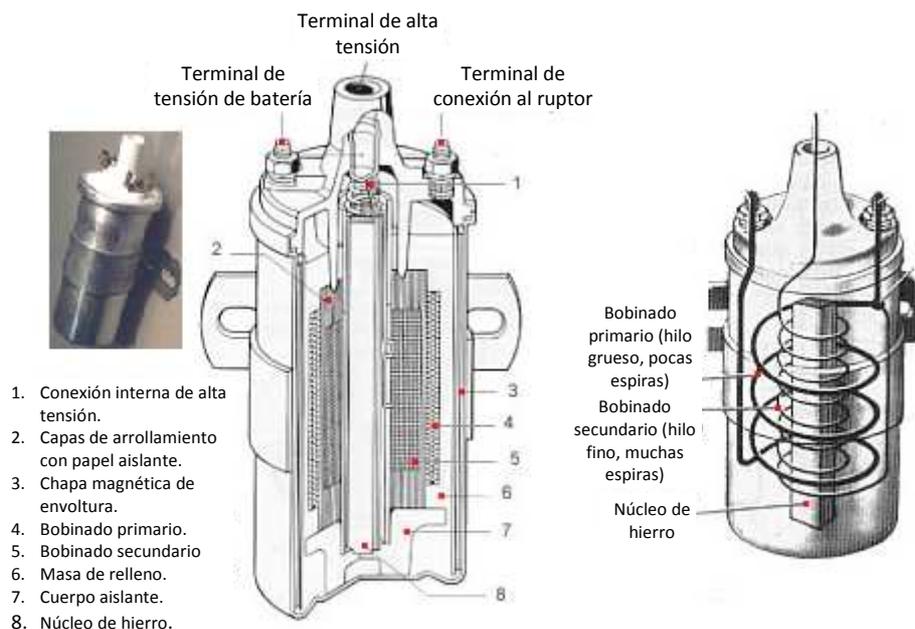


Figura 1.11 Sección de una bobina de encendido¹¹.

Encendido electrónico para inyección de gasolina: En la actualidad los sistemas de inyección electrónica de gasolina se combinan con un encendido electrónico integral aprovechando muchos de los sensores que les son comunes y la propia unidad de control (UCE). Dentro de estos sistemas de encendido se pueden encontrar los que siguen usando el distribuidor y los que lo suprimen por completo (encendido electrónico estático DIS).

Hay dos tipos de encendido electrónico: el convencional (Figura 1.12) con distribuidor, en el que la UCE determina el instante de salto de chispa en cada cilindro, repartiendo el distribuidor la chispa a cada bujía en el orden de encendido adecuado y, el encendido electrónico estático (DIS) que suprime el distribuidor.

¹¹Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanica virtual.org>, 2007

El sistema de encendido DIS (Figura 1.13) para un motor de cuatro cilindros, usa una bobina doble con cuatro salidas de alta tensión.

1. UCE.
2. Bobina.
3. Distribuidor o Delco.
4. Bujías.
5. Amplificador.
6. Bobina doble con 4 salidas.

Amplificador: tiene la función de amplificar la señal de mando que manda la UCE a la bobina.

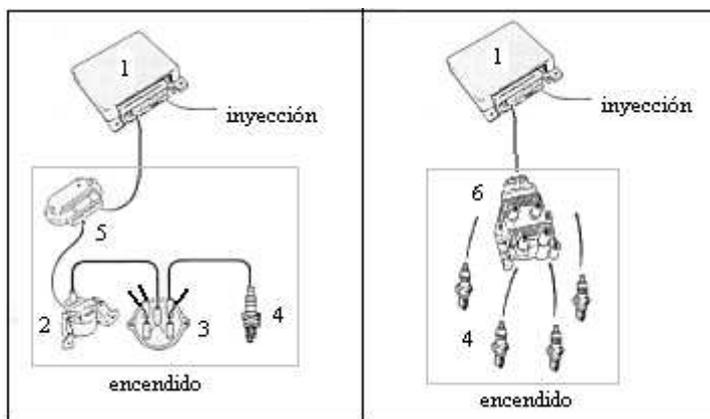


Figura 1.12 Sistema de encendido electrónico para inyección de gasolina convencional¹².

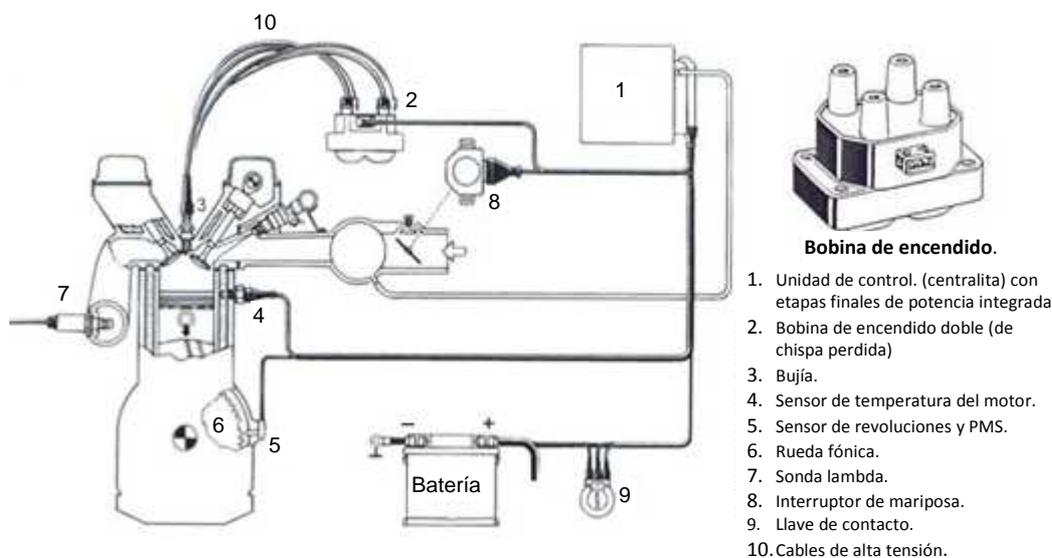


Figura 1.13 Esquema de un sistema de encendido estático (DIS)¹³.

1.9.5 SISTEMA DE ARRANQUE

Los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan, por lo que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo utilizando un motor eléctrico (motor de arranque), conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia que

^{12, 13}Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanica virtual.org>, 2007

aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal. Existen otros sistemas de arranque como los explosivos que se utilizan sobre todo para arrancar motores de aviones.

1.9.6 SISTEMA DE REFRIGERACION

Tiene como función enfriar el motor, debido a que la combustión produce calor. Los sistemas más utilizados son de aire y de agua (Figura 1.14). Los motores que se refrigeran con aire tienen en el exterior un conjunto de láminas de metal que disipan el calor producido dentro del cilindro. Otros motores utilizan el agua, ésta se refrigera al pasar por las láminas de un radiador; es conveniente utilizar un anticongelante que hierve a más temperatura que el agua para evitar altas presiones y no se congela a temperaturas muy bajas, además éste no produce sarro ni sedimentos que se adhieren en las paredes del motor y del radiador.

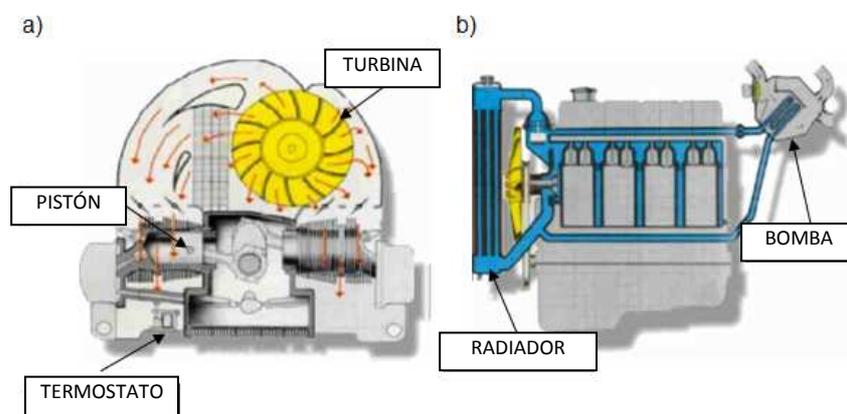


Figura 1.14 Sistemas de refrigeración: a) Con aire. b) Con agua¹⁴.

1.9.7 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

La función de éste es proporcionar al motor el lubricante necesario a las presiones y flujos requeridos. Este sistema se encarga de interponer una capa de lubricante entre las piezas móviles con el fin de disminuir el roce, desgaste y mantener una movilidad adecuada de las mismas (Figura 1.15).

¹⁴ Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

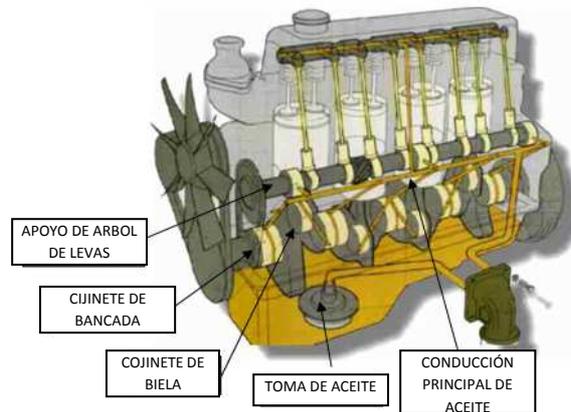


Figura 1.15 Sistema de lubricación¹⁵.

1.9.8 SISTEMA DE ESCAPE

Tiene por función permitir la adecuada salida de los gases producidos por la combustión del motor desde el interior de los cilindros, crear un diferencial de presiones entre la admisión y el escape del cilindro haciendo posible admitir mezcla aire-combustible nueva al interior de este y, atenuar el ruido producido por las explosiones del encendido de la mezcla aire-combustible por medio de un silenciador; así mismo, este sistema puede contar con un elemento catalizador (Figura 1.16).

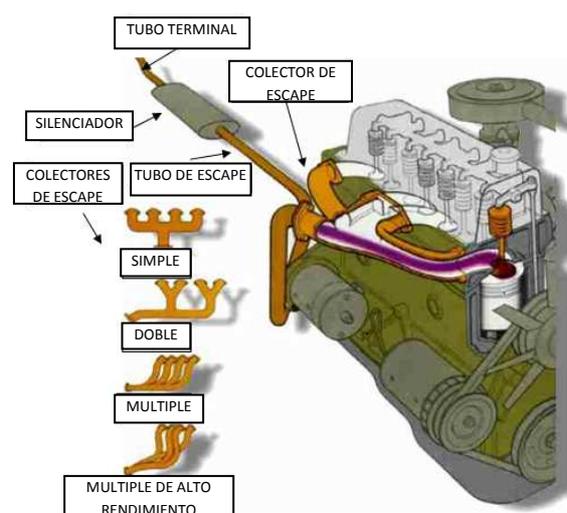


Figura 1.16 Componentes básicos del sistema de escape¹⁶.

^{15, 16} Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

1.9.9 SISTEMA DE CAMBIOS O CAJA DE CAMBIOS

Modifica las relaciones de velocidad y potencia entre el motor y las ruedas motrices (Figura 1.17). En los automóviles europeos, el más usado es la caja de cambios convencional, de engranajes desplazables. En los automóviles americanos se utilizan mucho más los sistemas Hydra-Matic y los convertidores de par o torsión.



Figura 1.17 Caja de Cambios¹⁷.

Una caja de cambios convencional proporciona cuatro o cinco marchas hacia delante y una marcha atrás, formada esencialmente por dos ejes dotados de piñones fijos y desplazables de diferentes tamaños (Figura 1.18).

La transmisión de tipo Hydra-Matic combina el embrague hidráulico o convertidor de torsión con una caja de cambios semiautomática. Un regulador controlado por la presión ejercida sobre el pedal del acelerador selecciona las marchas a través de un sistema de válvulas distribuidoras de control hidráulico. El cambio Hydra-Matic proporciona dos o tres marchas hacia delante.

¹⁷ Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

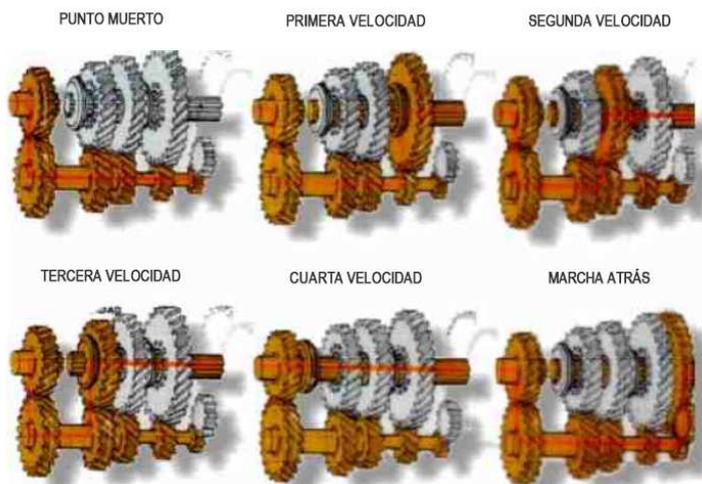


Figura 1.18 Relación de velocidades de la caja de cambios ¹⁸.

1.9.10 SISTEMA DE EMBRAGUE

El embrague es un sistema intermediario constituido por una prensa que presiona un disco entre su placa y la superficie del volante del motor, transmitiendo la potencia de éste al eje de mando o eje motriz de la caja de cambios. Permite conectar y desconectar el motor a la transmisión con libre movimiento de la caja de cambios en un adecuado cambio de relaciones de velocidades. Puede ser de comando mecánico o hidráulico y está diseñado para que el conductor aplique a voluntad la potencia del motor a la caja de velocidades.

1.10 PRINCIPALES SISTEMAS DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE DEL MOTOR A GASOLINA.

1.10.1 SISTEMA DE CARBURACIÓN.

La carburación consiste en mezclar una determinada cantidad de combustible con otra de aire, y suministrar una adecuada cantidad de esta mezcla pulverizada a cada cilindro del motor para su explosión y combustión, generando una fuerza necesaria para mover un árbol o eje que originará el movimiento de un automóvil;

¹⁸ Leonardo Rojas M., Mecánica Automotriz, 2001

comienza cuando se realiza la mezcla de gasolina con el aire, y termina cuando ésta empieza a quemarse en los cilindros.

En la carburación intervienen los carburadores, el colector de admisión, las válvulas de admisión, e incluso las cámaras de combustión y los pistones (Figura 1.19).

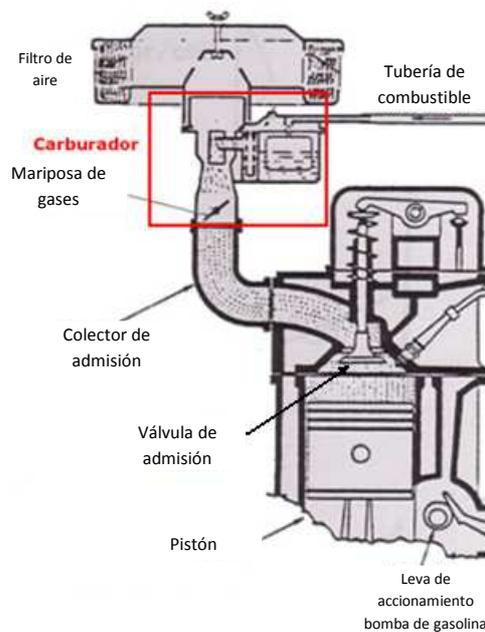


Figura 1.19 Elementos que intervienen en la carburación¹⁹.

Relación aire/combustible: Una buena carburación consiste en una pulverización extrema del combustible (gasolina) que facilite una mezcla estequiométrica ideal con el aire. La dosificación exacta de la mezcla viene determinada por la relación estequiométrica (R_e) o relación teórica que consiste en la cantidad de aire necesario para quemar una cantidad exacta de combustible. Experimentalmente se ha comprobado que la relación 1/14,7 (1 gr de gasolina por 14,7 gr de aire) denominada mezcla perfecta, asegura la completa combustión del carburante. Pero esta relación aire/gasolina no supone una potencia ni economía máximas.

¹⁹ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanica virtual.org>, 2007.

Las características que debe reunir la mezcla suelen ser las siguientes: riqueza para el arranque; menor riqueza para poca velocidad y ralentí; poca riqueza para velocidad moderada, y mucha riqueza para aceleraciones y velocidades altas. Es decir, en estos casos será:

- dosificación mínima para ralentí 1/22 ($R_c = 0,7$).
- dosificación máxima para arranque en frío 1/4,5 ($R_c = 3,3$).
- dosificación para potencia máxima 1/12,5 ($R_c = 1,2$).
- dosificación para máximo rendimiento 1/18 ($R_c = 0,85$).

La relación estequiométrica (Re) para los combustibles empleados en motores de combustión interna es:

$$Re = \frac{\text{peso de combustible}}{\text{peso de aire}} = \frac{1}{14.7} \quad (2.1)$$

La relación entre el volumen de aire aspirado y el volumen teóricamente necesario para una correcta combustión nos da el parámetro lambda. Teniendo como referencia: lambda = 1, volumen de aire aspirado, corresponde con el teórico necesario; lambda < 1 falta de aire (mezcla rica); lambda > 1 exceso de aire (mezcla pobre); lambda > 1.3 mezcla ya no es inflamable. En la práctica los valores para lambda comprendidos entre 0.9 y 1.1 son los más adecuados.

El carburador: Es un mecanismo dosificador de combustible capaz de mantener y entregar una cantidad adecuada de mezcla aire/combustible para los distintos regímenes de funcionamiento del motor. Está formado por un depósito de carburante, una bomba que impulsa la gasolina hasta la cuba del carburador, y varios filtros y dispositivos que impiden la entrada de impurezas (Figura 1.20).

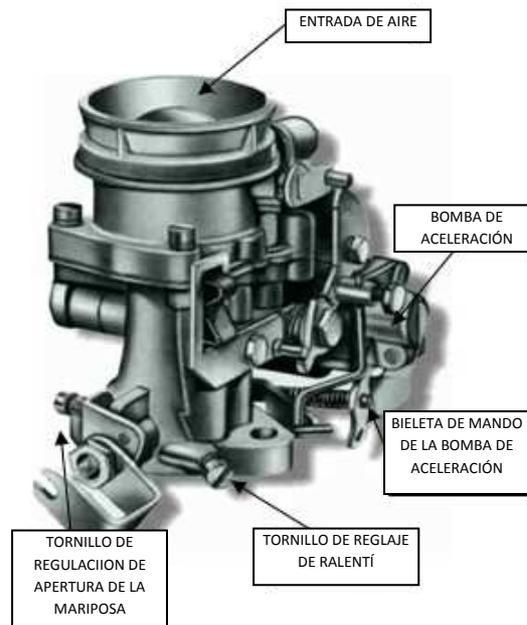


Figura 1.20 El carburador²⁰.

El funcionamiento del carburador se basa en el efecto venturi que provoca que toda corriente de aire que pasa por una canalización, genere una depresión (succión) que se aprovecha para arrastrar el combustible (Figura 1.21).

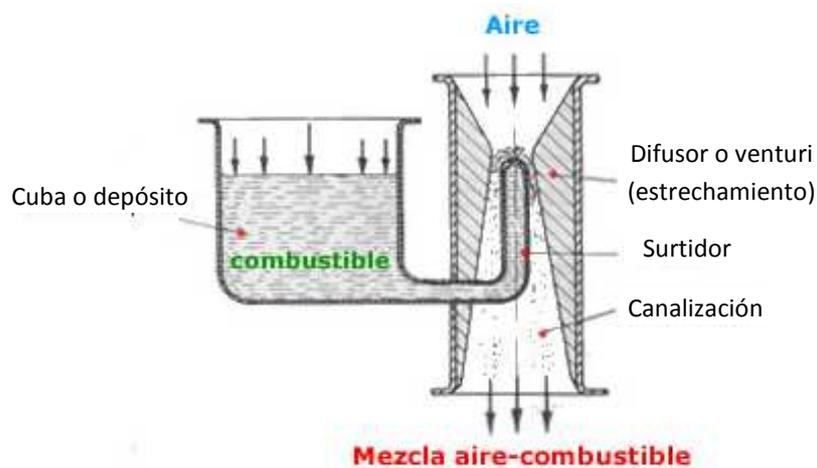


Figura 1.21 Esquema del principio de funcionamiento del carburador²¹.

^{20, 21} Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

El carburador tiene la misión de aportar a la corriente de aire una determinada cantidad de gasolina, para que después llegue a las cámaras de combustión una mezcla de riqueza adecuada, al ser éste un elemento mecánico todo su funcionamiento se basa en la depresión que crean los pistones del motor en su carrera de bajada hacia el PMI. El vacío parcial que se crea en el cilindro cuando los pistones descienden en el tiempo de admisión absorbe aire a la cámara de combustión, atravesando el carburador, la cantidad que pasa depende de las revoluciones del motor y está limitada por una aleta basculante llamada regulador de mariposa, cuya apertura y cierre se controla desde el pedal del acelerador..

Los elementos básicos que componen un carburador (Figura 1.22) son:

- **Cuba del carburador.** Tiene como misión mantener constante el nivel de combustible a la salida del surtidor. Está constituida por un depósito (5), una malla de filtrado (1) y una válvula de paso (2), accionada en su apertura o cierre por una boya o flotador (4). La regulación de entrada de combustible en la cuba consiste en una válvula que tiene una aguja, unida a la boya por medio de un muelle intermedio (3).
- **Surtidor.** Consiste en un tubo calibrado (7). Por su parte inferior va unido a la cuba de la cual recibe combustible. A la salida de la cuba va montado un calibre o chicleur (6) cuyo paso de combustible rigurosamente calibrado y de gran precisión guarda relación directa con el difusor adecuado para cada tipo de motor y tiene la misión de dosificar la cantidad de combustible que puede salir por el surtidor.
- **Colector o canalización de aire y difusor (venturi).** Forma parte del cuerpo del carburador y va unido por un lado al colector de admisión del motor y por el otro al filtro del aire. En el colector va situado el difusor o venturi que es simplemente un estrechamiento cuya misión es aumentar la velocidad del aire (sin aumentar el caudal) que pasa por esa zona y obtener así la depresión necesaria para que fluya el combustible por el surtidor. El diámetro mínimo o estrechamiento máximo del difusor guarda relación directa con el calibre (chicleur) del surtidor para obtener la dosificación correcta de la mezcla. Asimismo, la forma y dimensiones de

los conos de entrada y salida de aire guardan una cierta relación con las dimensiones del colector.

- **Válvula de mariposa.** Sirve para regular el paso del aire y por lo tanto de la mezcla aire-combustible y con ello el llenado de los cilindros. Se acciona por el pedal del acelerador a través de un cable de tracción que une el pedal con el carburador.
- **Filtro de aire.** Tiene como función filtrar el aire de entrada para evitar que el polvo o suciedad, pasen al motor reteniendo las partículas abrasivas en suspensión, para evitar el rayado de los cilindros y su desgaste, además permite la amortiguación del ruido provocado por la entrada de aire. Existen de varios tipos: secos, húmedos y mixtos.

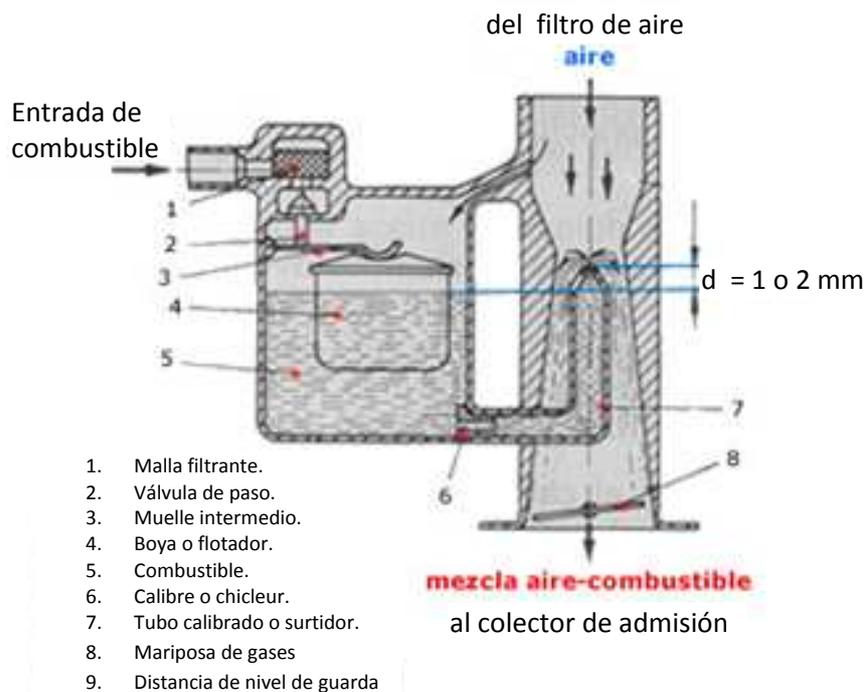


Figura. 1.22 Carburador elemental²².

El carburador elemental por si mismo no sirve para instalarlo en un vehículo, ya que no se adapta a las diferentes fases o regímenes de funcionamiento del mismo. Para poder conseguir unas dosificaciones de mezcla adaptadas a todas las condiciones de funcionamiento del motor, además del carburador elemental

²² Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

necesitamos unos dispositivos para la corrección automática de la mezcla. Estos se pueden observar en la Figura 1.23 y son:

- Un sistema de funcionamiento para marcha normal, constituido por el carburador elemental, adecuando la dosificación de la mezcla a una teórica de 1/14,7.
- Un circuito que proporciona la cantidad de combustible necesario para el funcionamiento del motor a bajas revoluciones (ralentí).
- Un sistema automático corrector de mezclas, formado por el circuito compensador de aire, para que a bajas y altas revoluciones del motor la mezcla se mantenga igual a la teórica.
- Un circuito economizador de combustible, para adecuar la riqueza de la mezcla a una de máximo rendimiento, con independencia de la carga de los cilindros.
- Un circuito enriquecedor de mezcla (bomba de aceleración), para casos críticos de funcionamiento a máxima potencia.
- Un dispositivo para el arranque del motor en frío.

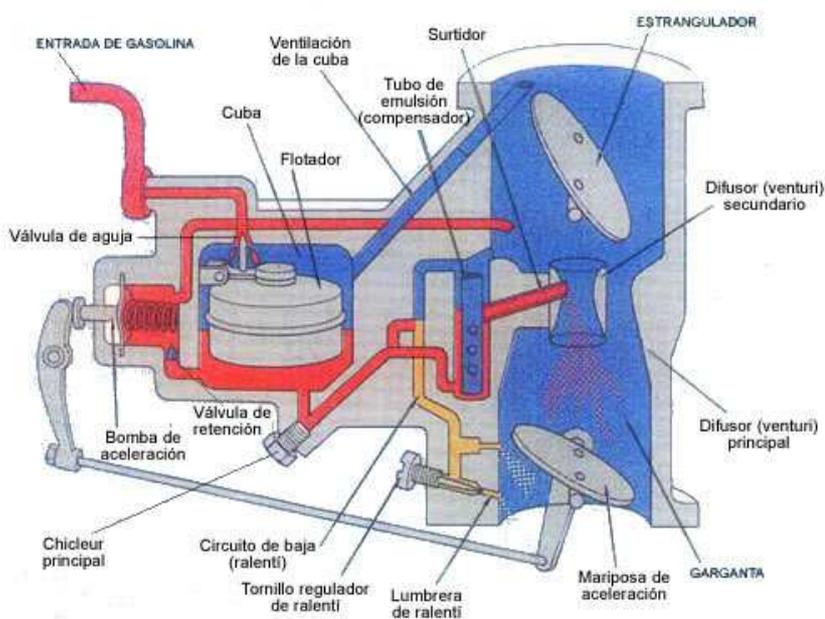


Figura 1.23 Carburador elemental y dispositivos necesarios para el funcionamiento dentro del motor²³.

²³ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

Existen muchas marcas y tipos de carburadores, entre las marcas están: Solex, Zenith, Weber, Stromberg, Carter, Irz, etc. Según la forma y disposición de sus elementos constructivos, se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- De difusor fijo.
- De difusor variable.
- Dobles.
- De doble cuerpo o escalonado.

El carburador de difusor fijo consta de varios calibres y de una bomba de aceleración que permiten variar la mezcla según las necesidades del motor. Se caracterizan por mantener constante el diámetro del difusor o venturi con lo cual la velocidad del aire y la depresión creada a la altura del surtidor son siempre constantes para cada régimen del motor en función de la mayor o menor apertura de la mariposa de gases. Este tiene un sistema de compensación que mezcla algo de aire con la gasolina antes de que esta entre en el difusor. En la mayor parte de estos carburadores la compensación se efectúa mediante un tubo perforado que emulsiona la mezcla. Se puede hacer otra clasificación dentro de los de difusor fijo (Figura 1.24) y tiene que ver con la posición del colector de aire y su difusor; estos son:

- Vertical ascendente.
- Vertical descendente o invertido (el mas utilizado).
- Horizontal o inclinado.

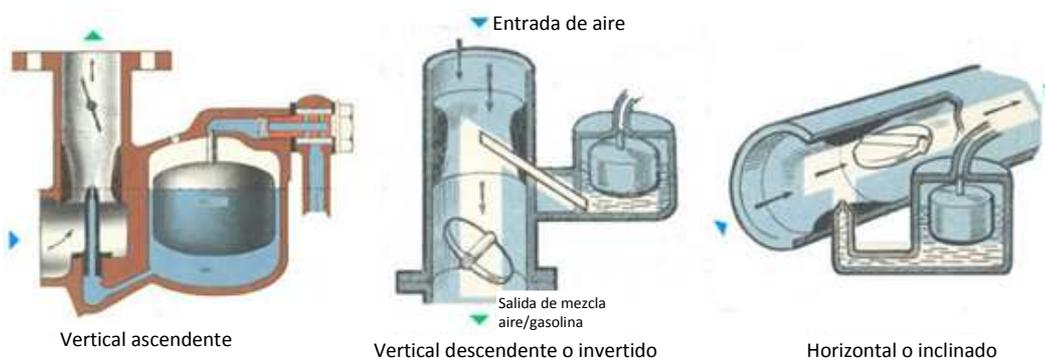


Figura 1.24 Clasificación del carburador de difusor fijo según la posición del difusor²⁴.

²⁴ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

Al igual que el difusor fijo, el carburador de difusor variable (Figura 1.25) tiene una alimentación de carburante a nivel constante y dispone de una mariposa de acelerador y de un venturi. La diferencia principal estriba en que el estrechamiento del venturi puede variarse con objeto de mantener un vacío parcial casi constante en el surtidor principal. Este tipo se emplea principalmente en motocicletas, aunque también ha sido usado por automóviles de origen británico como: Rolls-Royce, Jaguar, grupo BMC, etc.

1. Mariposa de gases.
2. Aguja.
3. Difusor (estrechamiento)
4. Paso de aire y vacío al interior de la campana.
5. Entrada de aire a la campana por debajo del embolo.
6. Embolo.
7. Amortiguador hidráulico.
8. Vástago.
9. Guía de campana.
10. Pistón de amortiguador.
11. Muelle.
12. Cámara de aceite superior.
13. Varilla.
14. Tuerca de reglaje
15. Campana de vacío
16. Orificio compensador de aceite.

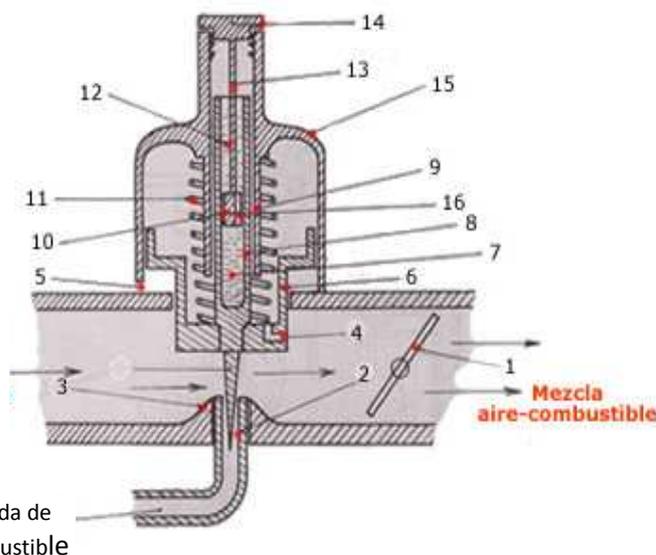


Figura 1.25 Esquema de un carburador con difusor variable²⁵.

1.10.2 SISTEMA DE INYECCION ELECTRÓNICA DE GASOLINA

La inyección de combustible es un sistema de alimentación de motores de ciclo Otto que se utiliza en vez del de carburación. Actualmente es más utilizado ya que permite una mejor dosificación del combustible, permitiendo manejar de mejor manera las distintas fases de funcionamiento del motor: ralentí, carga parcial, plena carga, aceleración, desaceleración y obteniendo ventajas en relación con las exigencias de potencia, consumo de combustible, comportamiento de marcha, así como de disminución de elementos contaminantes en los gases de escape.

²⁵ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

En el sistema a inyección, la mezcla aire-combustible es suministrada al motor a presión por medio de unas pequeñas boquillas inyectoras. Los elementos básicos que lo componen se pueden observar en la Figura 1.26:

1. Depósito de carburante.
2. Bomba de alimentación.
3. Acumulador.
4. Filtro.
5. Dosificador-distribuidor.
6. Regulador de presión de mando.
7. Inyectores.
8. Inyector de arranque en frío.
9. Cajetín de aire adicional.
10. Colector de admisión.
11. Retorno de combustible.

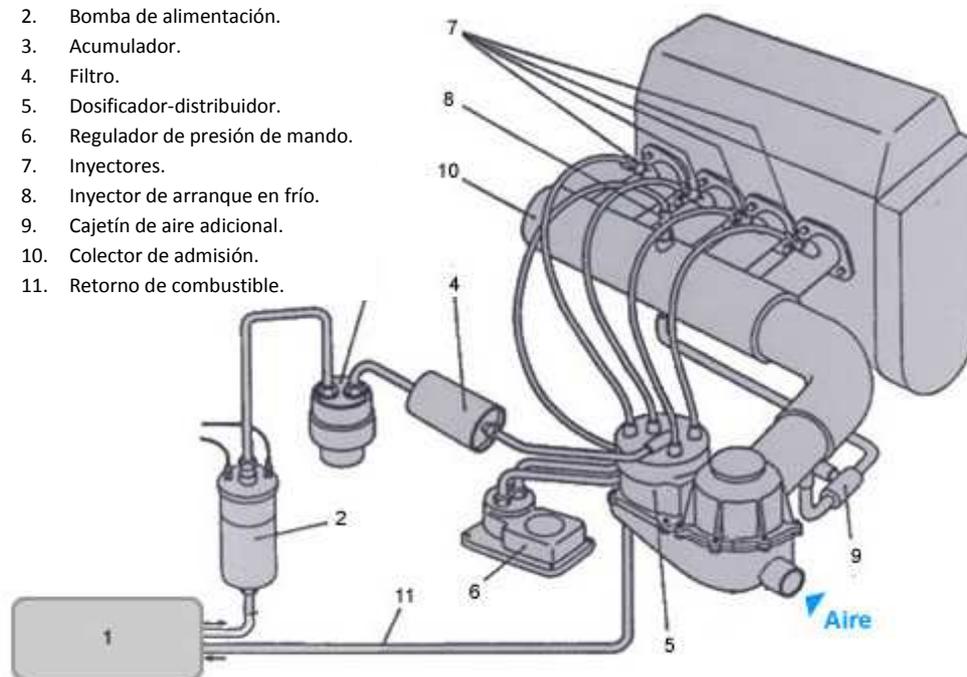


Figura 1.26 Partes de un sistema básico de inyección de combustible²⁶.

Existen algunas clasificaciones de los sistemas de inyección, pero la más importante es:

- Sistema de inyección mecánico, electrónico y mixto.
- Sistema de inyección directa e indirecta.
- Sistema de inyección monopunto y multipunto.

Al principio se usaban sistemas de inyección mecánica, pero en la actualidad la inyección electrónica es lo más utilizado, debido a que dispone de innumerables dispositivos de alta sensibilidad para suministrar a los cilindros la cantidad de combustible adecuado, y no requiere de un distribuidor mecánico de alta presión.

Un sistema de inyección electrónica básico esta formado por cuatro partes principales:

²⁶ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

1. **Circuito de gasolina:** Encargado de proveer el combustible y llevarlo hasta las válvulas de admisión, generando la presión necesaria y manteniéndola constante para la inyección. Este está compuesto por: depósito, bomba de combustible, filtro, tubo o rampa de distribución, regulador de presión y válvulas de inyección.
2. **Sistema de aspiración:** Hace llegar al motor el caudal de aire necesario. Consta de: filtro de aire, colector de admisión, mariposa y los tubos de admisión.
3. **Sistema de control:** O unidad electrónica de control (ECU) analiza las señales suministradas por los sensores y a partir de ellas genera los impulsos de mando correspondientes para las válvulas e inyección.
4. **Sensores:** Registran las magnitudes características del motor para cada estado de servicio. Las más importantes son: el caudal de aire aspirado, que es registrado por el caudalímetro o sonda volumétrica y el régimen de revoluciones del motor. Otros sensores registran la posición de la mariposa y las temperaturas del aire aspirado y del motor.

Un sistema de inyección electrónica L-jetrónico, con los elementos básicos se puede observar en la Figura 1.27:

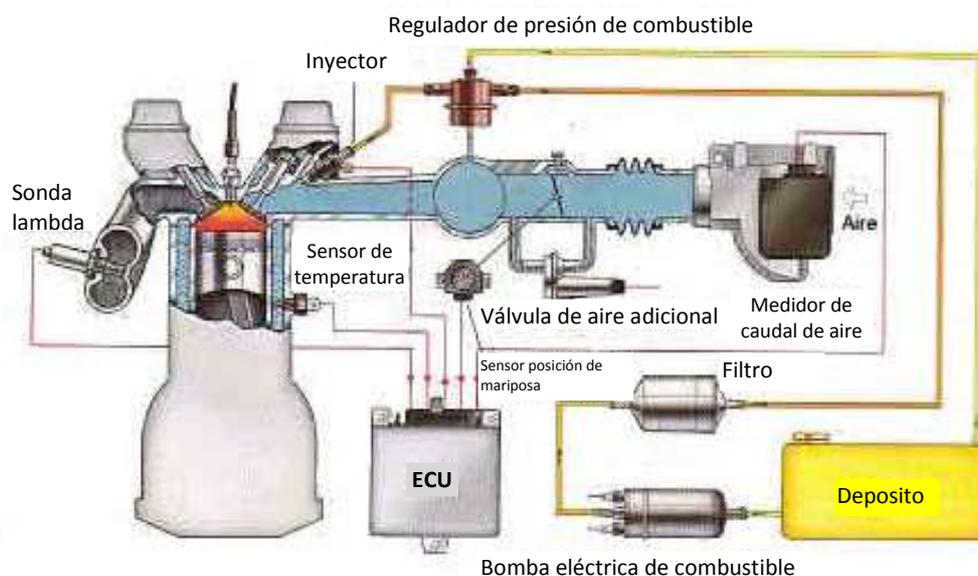


Figura 1.27 Esquema de un sistema de inyección electrónica L-jetrónico²⁷.

²⁷ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

En el sistema de inyección directa (Figura 1.28) el combustible se pulveriza dentro de la cámara de combustión o cilindro.

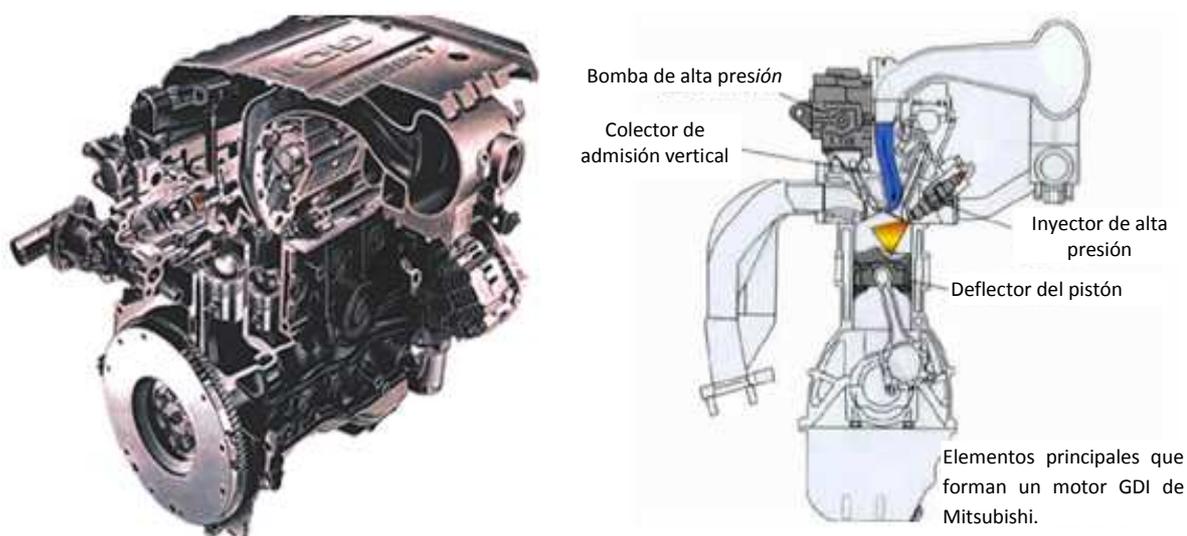


Figura 1.28 Sistema de inyección directa (GDI) desarrollado por la Mitsubishi²⁸.

El sistema de inyección indirecta pulveriza el combustible en el colector de admisión, éste es el más empleado en la actualidad, dándose un menor consumo (se crean turbulencias de aire favorables para el llenado del cilindro), mayor potencia (debido al adecuado llenado los cilindros), mejor comportamiento de marcha (por la inyección exacta de cantidad de gasolina en el momento preciso) y baja emisión de elementos contaminantes (por una combustión mejorada debido a la precisión en la proporción de la mezcla).

La inyección indirecta puede realizarse principalmente de dos modos: inyectando el combustible en los colectores de admisión delante de las válvulas de admisión para lo cual se necesita una válvula de inyección por cilindro (equipos multipunto), o bien en el colector central a través de un único inyector (equipos monopunto) (Figura 1.29).

²⁸ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

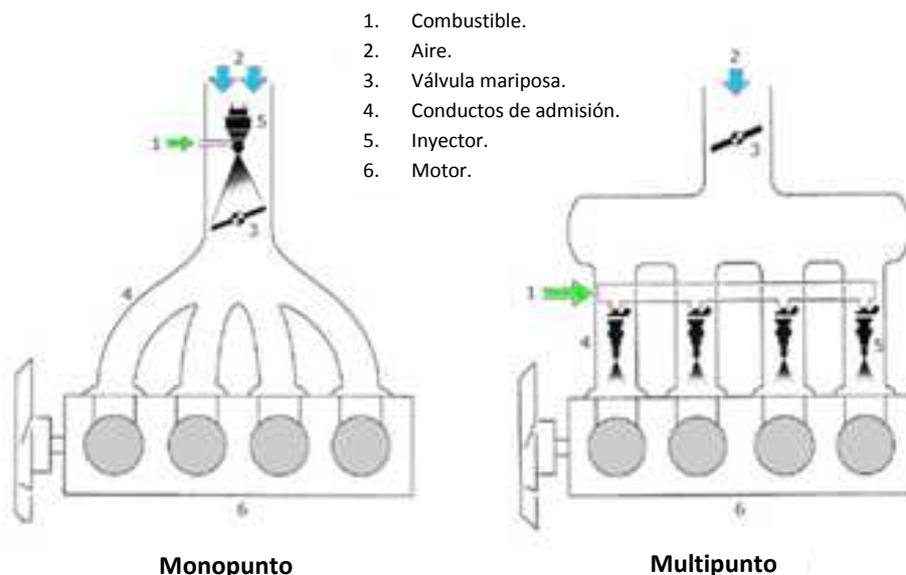
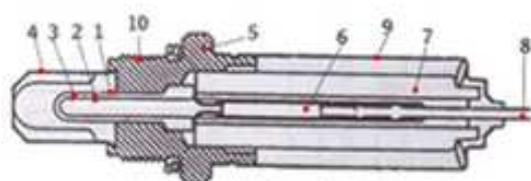


Figura 1.29 Sistemas de inyección monopunto y multipunto²⁹.

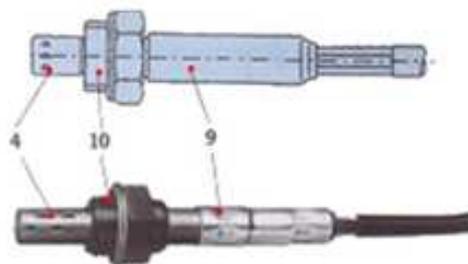
Entre los sistemas de inyección multipunto se puede hacer una clasificación atendiendo a la secuencia de inyección: continua, que inyecta gasolina constantemente, la cual entra a la cámara de combustión cuando se abre la válvula de admisión; y la discontinua o intermitente, que tiene dos modalidades: de forma simultánea en la que todos los inyectores se abren a la vez y una vez por cada tiempo del motor; y secuencial, en el que cada inyector deja abierto el paso de gasolina sólo en el preciso momento en el que la válvula de admisión está abierta, de forma que la gasolina entra directamente a la cámara de combustión.

Sensor lambda: Su construcción es la siguiente (Figura 1.30): una parte del cuerpo de cerámica se encuentra sumergida en el flujo de los gases de escape, la otra parte está en contacto con el aire exterior. La superficie del cuerpo de cerámica (dióxido de circonio) está provista de electrodos de una fina capa de platino permeable a los gases. Adicionalmente, la parte expuesta a los gases de escape lleva una capa porosa de cerámica como protección contra el ensuciamiento por residuos de la combustión.

²⁹ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.



1. Electrodo exterior.
2. Electrodo interior.
3. Cerámica intermedia.
4. Tubo protector.
5. Cuerpo soporte metálico.
6. Electrodo de contacto.
7. Aislante térmico cerámico.
8. Conexión eléctrica.
9. Envoltura protectora.
10. Rosca de montaje

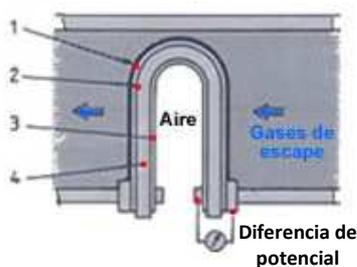


Esquema y aspecto real de una sonda lambda

Figura 1.30 Sensor lambda³⁰.

El funcionamiento (Figura 1.31) se basa en la conductividad que adquiere el material cerámico, a partir de la temperatura de aproximadamente 300 °C, para los iones de oxígeno. Si se da una diferencia de contenido de oxígeno en ambos lados del sensor, se produce una tensión eléctrica entre ambas superficies debido a las propiedades especiales del material utilizado.

1. Capa cerámica porosa protectora.
2. Electrodo exterior de platino.
3. Electrodo interior de platino.
4. Cerámica separadora.



Principio de funcionamiento de la sonda lambda

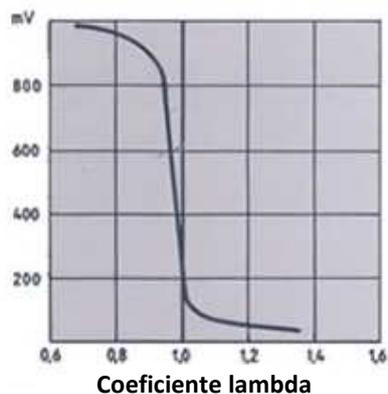


Figura 1.31 Principio de funcionamiento del sensor lambda³¹.

Los gases de escape del motor tienen también en una combustión con exceso de combustible una parte de oxígeno residual (con la composición de la mezcla lambda = 0,95, por ejemplo 0,2 a 0,3 % en volumen). El contenido de oxígeno residual depende en gran parte de la composición de la mezcla de aire y

^{30, 31} Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

combustión. Esta dependencia permite tomar la cantidad de oxígeno en los gases de escape como medida de la relación de aire y combustible λ .

Catalizador: Consta de una carcasa de chapa rellena de material granulado o un cuerpo alveolar. La superficie de éste material o cuerpo está cubierta con masa catalítica (metales nobles u óxido de metal). No se altera con la recombustión, sino que la favorece su presencia. La utilización de los catalizadores para la recombustión esta condicionada a la utilización de combustible libre de plomo.

Inyector: Se lo puede definir como una válvula a la cual se le hace llegar gasolina a presión por sus conductos y está comandada por una unidad de control la cual abre el inyector un tiempo determinado en función a varios parámetros, como son: el valor de la sonda λ , temperatura del motor (agua y aceite), revoluciones del motor, temperatura del aire de admisión, posición del pedal del acelerador, etc. Los parámetros con que se va a regir, dependerán del fabricante (Figura1.32).

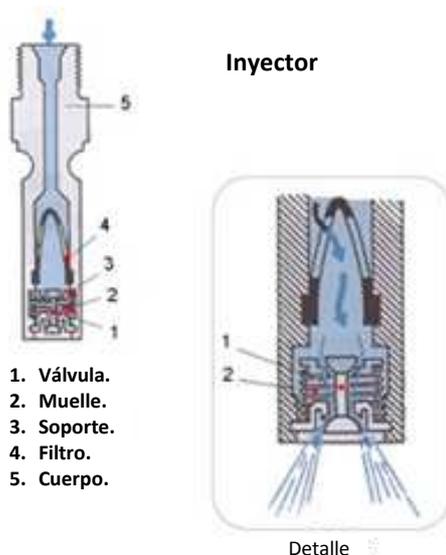


Figura 1.32 Inyector de gasolina³².

³² Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

Existen muchos sistemas de inyección electrónica de gasolina creados por diferentes casas o distribuidores de autos, teniendo cada uno características comunes y diferentes. A continuación en la Figura 1.33 se puede observar una clasificación de los sistemas de inyección indirecta de gasolina que son los más utilizados:

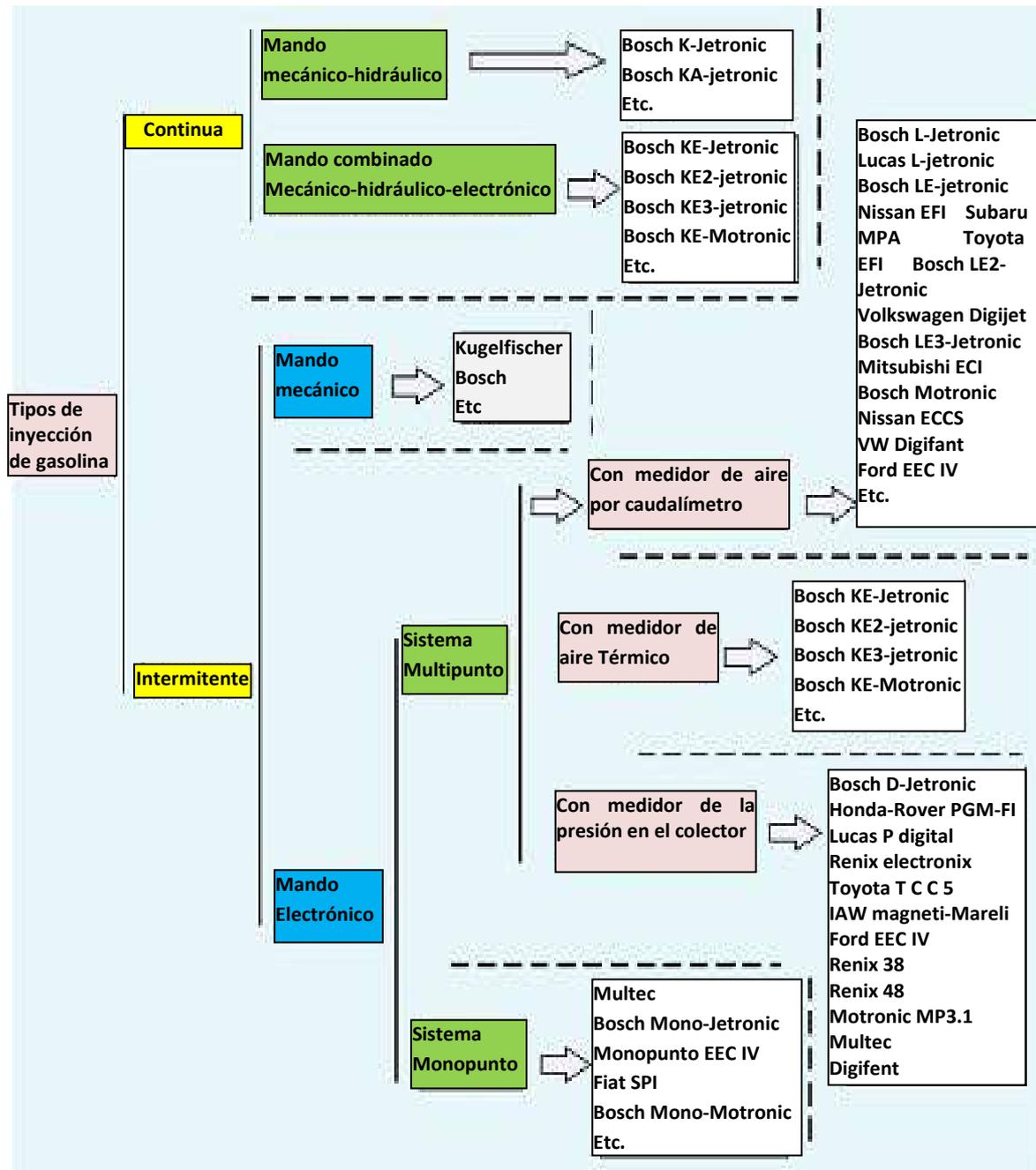


Figura 1.33 Clasificación de los sistemas de inyección indirecta de gasolina³³.

³³ Dani Meganeboy, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org>, 2007.

CAPITULO II

ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP

2.1 GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP)

Es un hidrocarburo formado por gases condensables disueltos en el petróleo o presentes en el gas natural. Su composición química es: 68% propano (C_3H_8), 30% el butano (C_4H_{10}) y 2% otros gases como propileno o butileno ó mezclas de éstos como impurezas principales.

Tiene un poder calorífico alto en relación con el resto de los gases comerciales y una densidad mayor que la del aire. Sus características de alta pureza, y la homogeneidad de sus componentes, hacen que sea muy fácil ajustar el aire necesario para que la combustión de estos productos sea la estequiométrica. Además, está prácticamente exento de azufre y otras sustancias como metales.

2.1.1 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE GLP

Se lo puede obtener de cuatro formas:

1. En forma directa por el gas extraído desde los yacimientos de petróleo, debido a la presión a que se encuentra. Luego es procesado para separarlo de bencinas y otros gases que se encuentran presentes como impurezas.
2. Por medio de la destilación primaria del petróleo crudo (Figura 2.1).
3. Por medio de aplicación de altas temperaturas y presiones a gasolinas de bajo octanaje. Este proceso logra romper las moléculas que la componen, generando así gas licuado de petróleo

1. Almacenamiento de petróleo.
2. Desalador.
3. Petróleo crudo.
4. Horno.
5. Petróleo gasificado.
6. Torre de destilación primaria o atmosférica.
7. Cracking.
8. Mezclador.
9. Separación de gas.
10. Propano.
11. Butano.
12. Nafta (petroquímica).
13. Gasolina.
14. Gasolina para avión.
15. Diesel.
16. Aceite caliente.
17. Combustible pesado.
18. Mezclador.
19. Destilación al vacío.

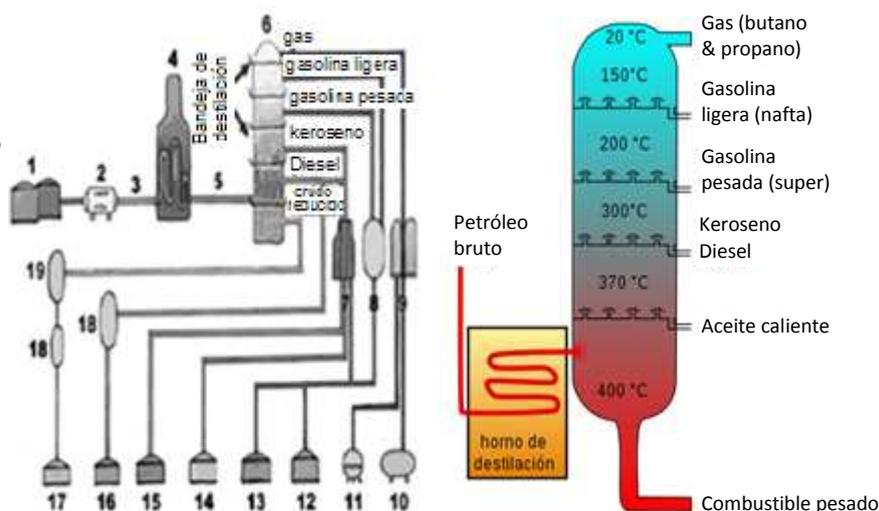


Figura 2.1 Obtención de GLP por destilación de petróleo crudo³⁴.

4. El gas natural tiene cantidades variables de propano y butano que pueden ser extraídos por procesos consistentes en la reducción de la temperatura del gas hasta que estos componentes y otros más pesados se condensen (Figura 2.2).

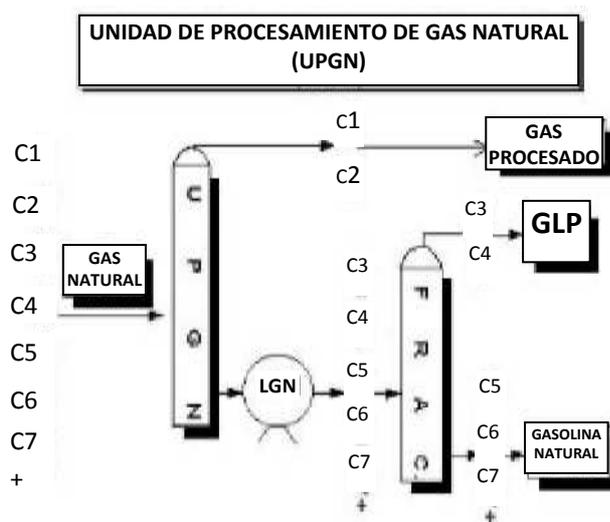


Figura 2.2 Obtención del gas licuado por separación del gas natural³⁵.

^{34,35} Facultad de Ingeniería – UBA, Técnicas Energéticas-Gas Licuado de Petróleo Automotor, Argentina, 2002

2.1.2 PROPIEDADES DEL GLP³⁶

- **Aspecto y olor.** Gas inodoro e incoloro, al que se le agrega un odorizante (mercaptano) que le confiere olor pestilente para poder identificarlo.
- **Tipos de GLP comerciales.** Existen dos tipos comúnmente llamados Butano (butano comercial) y Propano (propano comercial). El propano comercial es una mezcla de propano, propileno y otros compuestos minoritarios (etano, butano, etc.). Puede tener hasta un máximo de 30% de butano. El butano comercial es una mezcla de butano, butilenos y otros compuestos minoritarios (propano, pentanos, etc.). Puede tener un máximo de 50% de propano.
- **Formula química.** Propano = $C_3 H_8$; Butano = $C_4 H_{10}$.
- **Estado.** A presión atmosférica y temperatura ambiente (1 atmósfera y 20°C) se encuentra en estado gaseoso. Para obtener líquido a presión atmosférica, la temperatura del butano debe ser inferior a -0,5°C y la del propano a -42,2°C. En cambio, para obtener líquido a temperatura ambiente, se debe someter al GLP. a presión: para el butano, la presión debe ser de más de 2 atmósferas y para el propano más de 8 atmósferas. Un litro de líquido se transforma en 272,6 litros de gas para el propano y 237,8 litros de gas para el butano.
- **Efecto de la temperatura.** Al aumentar la temperatura del GLP que se encuentra dentro de un tanque cerrado, aumenta su presión. Esto es debido a que aumenta la presión de vapor y, además, el líquido se expande. Por lo tanto, nunca se debe calentar ni tampoco llenar completamente un recipiente de G.L.P. líquido, sino que se debe dejar un espacio de por lo menos el 15% del volumen total del para su dilatación.
- **Densidad y viscosidad.** La densidad y presión de vapor varían según la composición. La densidad y peso específico son mayores que el aire, por lo que resulta más pesado que éste. Por lo tanto una nube de GLP tenderá a permanecer a nivel del suelo.

³⁶ CEGLA, "EL GLP", <http://www.cegla.org>, 2007,

- **Máxima exposición permisible para las personas.** mil partes de G.L.P. por un millón de partes de aire (1000 p.p.m.), promedias sobre un turno de trabajo de ocho horas.
- **Rango de inflamabilidad (mezcla explosiva):** Propano: entre 2,3 y 9,5% de gas en aire. Butano: entre 1,9 y 8,5% de gas en aire.
- **Materiales de extinción.** Anhídrido carbónico (CO₂). Polvo químico. Niebla de agua (para enfriar y dispersar el gas).

2.1.3 USOS Y COMERCIALIZACIÓN

Los usos principales del GLP son:

- Obtención de olefinas (alquenos), utilizadas para la producción de numerosos productos, entre ellos la mayoría de los plásticos.
- Combustible para automóviles.
- Combustible de refinería.
- Combustible doméstico (mediante bombonas o redes de distribución).

Su comercialización está claramente diferenciada en función de la forma de almacenamiento y distribución (Figura 2.3):

- Envasado, que se utiliza casi exclusivamente como combustible doméstico para la cocina, el agua caliente y la calefacción.
- Almacenado en depósito fijo, que se utiliza principalmente en los sectores domésticos, residencial, comercial, en la agricultura y en determinadas industrias.
- Para automoción, usado como carburante.



Figura 2.3 Diferentes formas de almacenamiento de GLP³⁷.

2.1.4 VENTAJAS DEL USO DEL GLP³⁸

El GLP es una de las diferentes fuentes de energía de uso moderno. Tiene ventajas comparativas sobre otros combustibles:

- **Es de fácil Transporte.** Bajo presión y enfriamiento pasa a estado líquido. Esto permite transportarlo en garrafas, cilindros o a granel. El transporte terrestre se realiza en camiones de muy diversas capacidades, puede llegar rápidamente a cualquier lugar del país y no se deteriora con el paso del tiempo.
- **Es limpio.** La llama de combustión es muy limpia y la emisión de gases con efecto invernadero es menor a cualquier otro combustible fósil cuando se mide en un ciclo de combustible total. No es tóxico y en casos de escape no contamina el suelo ni el agua.
- **Está al alcance de todos.** Por sus facilidades de transporte, almacenamiento, comercialización y uso está al alcance de todos en cualquier momento y lugar. Hay reservas de GLP para muchas décadas.
- **Es eficiente.** Una alta proporción de la energía que contiene el GLP se convierte en calor. Puede ser hasta cinco veces más eficiente que los combustibles tradicionales, lo cual logra una menor pérdida de energía y un mejor aprovechamiento de este recurso no renovable de la naturaleza.
- **Es Conveniente.** Es una forma de energía con múltiples usos. Hay más de mil usos, desde cocinar, calefacción, aire acondicionado y transporte hasta aerosoles, encendedores, etc.

³⁷ Wikipedia, <http://es.wikipedia.org>, 2009.

³⁸ CEGLA, "EL GLP", <http://www.cegla.org>, 2007

2.2 EL GLP EN EL AUTOMOVIL³⁹

La tecnología necesaria para poder utilizar GLP como carburante está en constante evolución, éste es un combustible que esta remplazando a otros tradicionales. En el Anexo A se exponen tablas que permiten observar algunas propiedades y sus diferencias comparadas con otros combustibles.

Entre todos los combustibles tecnológicamente disponibles para vehículos (Diesel, Gas Natural Comprimido, Biodiesel y gasolina), el GLP ofrece los siguientes aspectos destacables:

- Calidad controlada del combustible. Mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros facilitando una combustión más completa.
- Extraordinarias ventajas medioambientales por menor emisión de contaminantes con respecto a otros combustibles: CO, NO_x, SO₂, HC y partículas contaminantes.
- Los niveles de ruido se ven reducidos en un 50%.
- Los aceites lubricantes del motor se mantienen limpios más tiempo debido a la ausencia de depósitos de carbón, lo que alarga la vida útil del motor.
- Igual o mayor potencia y mayor par motor a carga parcial (arranques, paradas, aceleraciones y deceleraciones), que suele ser el régimen de funcionamiento usual del autobús, taxis y demás servicios públicos.
- Posibilidad de uso como vehículo híbrido, es decir, aunque se utilice GLP para beneficiarse de las ventajas que ofrece, también puede funcionar con gasolina.

Como desventajas podemos anotar las siguientes:

- Espacio que ocupan las botellas o depósitos.
- El suministro es muy puntual.
- Políticamente restringido su uso a vehículos de Servicio Público: taxis, autobuses, etc.).

³⁹ AUVASA, "Aplicación del GLP al automovil", <http://www.auvasa.es/glp.htm>, España, 2007.

Se conoce que la utilización del GLP en el sector automotriz incluye preferentemente a taxis, autobuses urbanos, camiones de basura, carretillas elevadoras y flotas de empresas privadas, aunque en otros países su uso en vehículos particulares está muy extendido. En el Ecuador el proyecto referente a su uso, se inició legalmente con la emisión del Decreto Ejecutivo suscrito por el Presidente de la República en el año de 2008, éste se lo aplicó primeramente a la ciudad de Guayaquil y su alcance fue para taxis y próximamente se lo piensa extender a todo el transporte público.

El funcionamiento de vehículos con gas licuado de petróleo en nuestro país está regido por el reglamento técnico ecuatoriano INEN RTE 039:2008 (Anexo B).

Un vehículo puede funcionar con un sistema dual GLP/gasolina. Para esto es necesario adaptar un equipo adicional que tiene elementos principales comunes para motores a carburación e inyección electrónica, variando para estos últimos en algunos elementos. Además, para el suministro de GLP a los vehículos se necesita de estaciones de servicio como se puede observar en la Figura 2.4:



Figura 2.4 Estación de suministro de GLP⁴⁰.

⁴⁰ Estación de suministro GLP, Santiago de Chile, 2006.

2.2.1 COMPONENTES DEL EQUIPO DE GLP PARA MOTORES CARBURADOS

El equipo básico necesario, la ubicación y el esquema de los elementos en un vehículo con motor a carburación (Figura 2.5 y 2.6) es:

- Tanque de almacenamiento para GLP.
- Tubería de cobre de alta presión.
- Conmutador para carburación.
- Filtro.
- Electroválvulas para GLP y para gasolina.
- Evaporador o regulador de presión.
- Mezclador aire/GLP.
- Tuberías flexibles y accesorios de montaje.

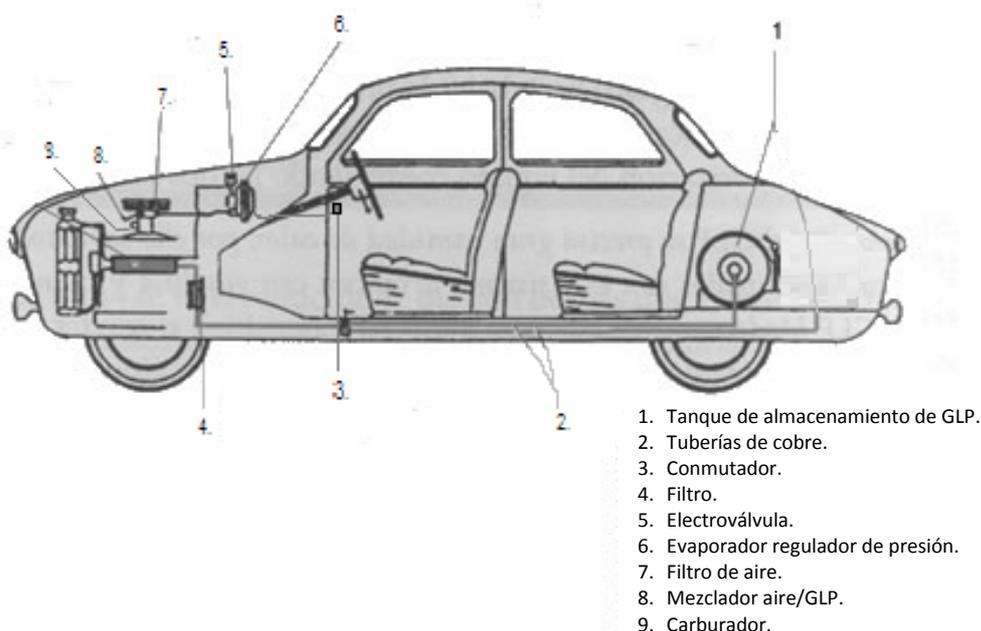


Figura 2.5 Ubicación de los elementos de un sistema GLP para un motor equipado con carburador⁴¹.

⁴¹ AUVASA, "Aplicación del GLP al automóvil", www.auvasa.es/glp.htm, España, 2007.

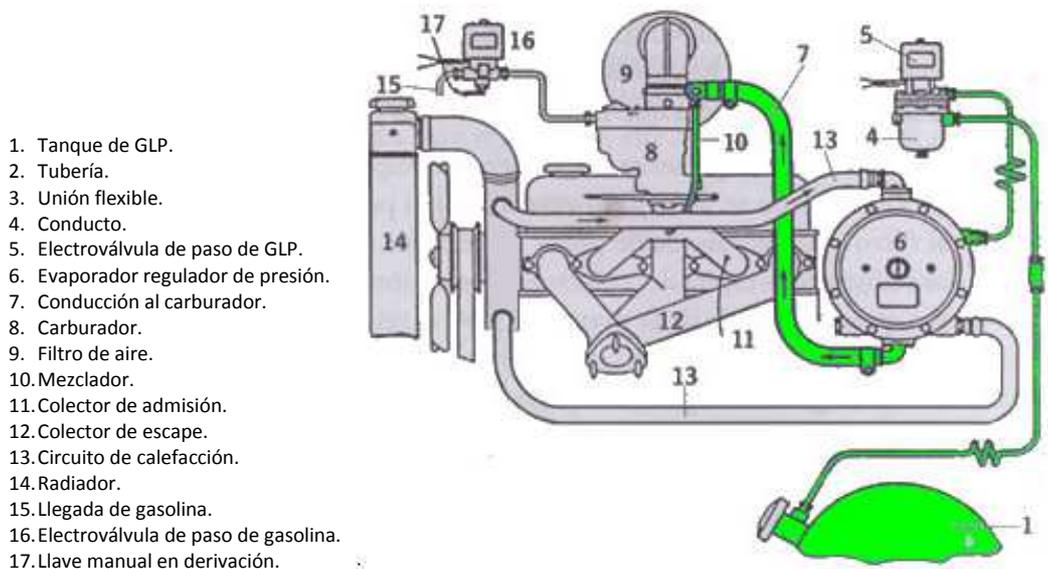


Figura 2.6 Esquema del equipo de alimentación de GLP en un motor con carburador⁴².

2.2.2 COMPONENTES DEL EQUIPO DE GLP PARA MOTORES A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

El equipo básico necesario, la ubicación y el esquema de los elementos en un vehículo con motor a inyección electrónica (Figura 2.7 y 2.8) es:

- Tubería de alta presión de cobre.
- Conmutador para inyección electrónica.
- Filtro.
- Electroválvula para GLP.
- Evaporador o regulador de presión.
- Unidad de control y relés
- Unidad emuladora de inyectores.
- Mezclador aire/GLP.
- Tuberías flexibles y accesorios de montaje.

⁴² AUVASA, "Aplicación del GLP al automóvil", <http://www.auvasa.es/glp.htm>, España, 2007.

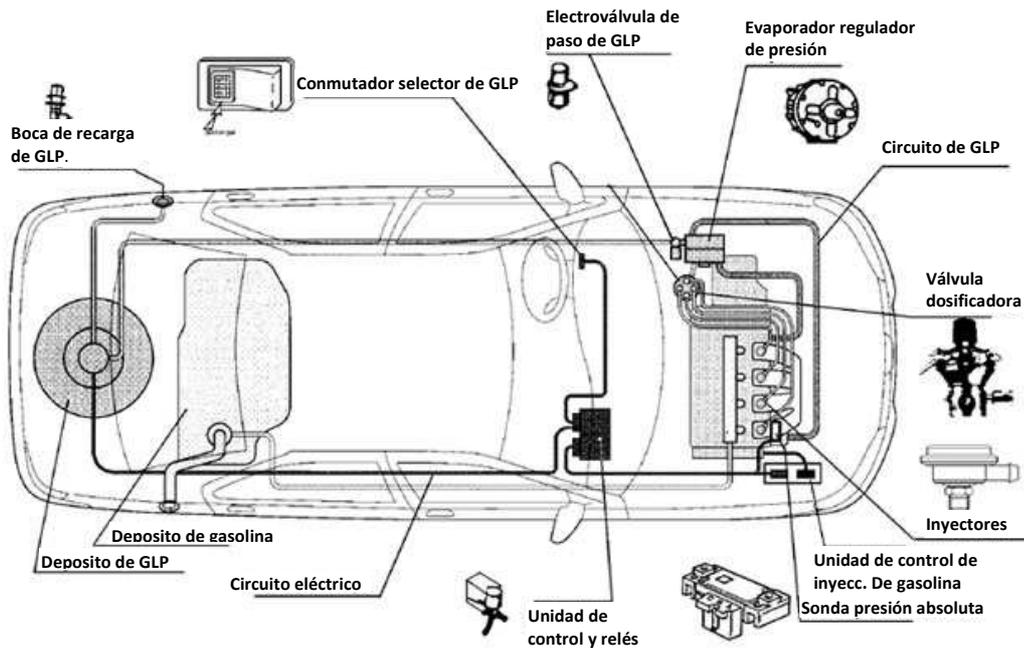


Figura 2.7 Ubicación de los elementos de un sistema GLP para un motor equipado con inyección electrónica⁴³.

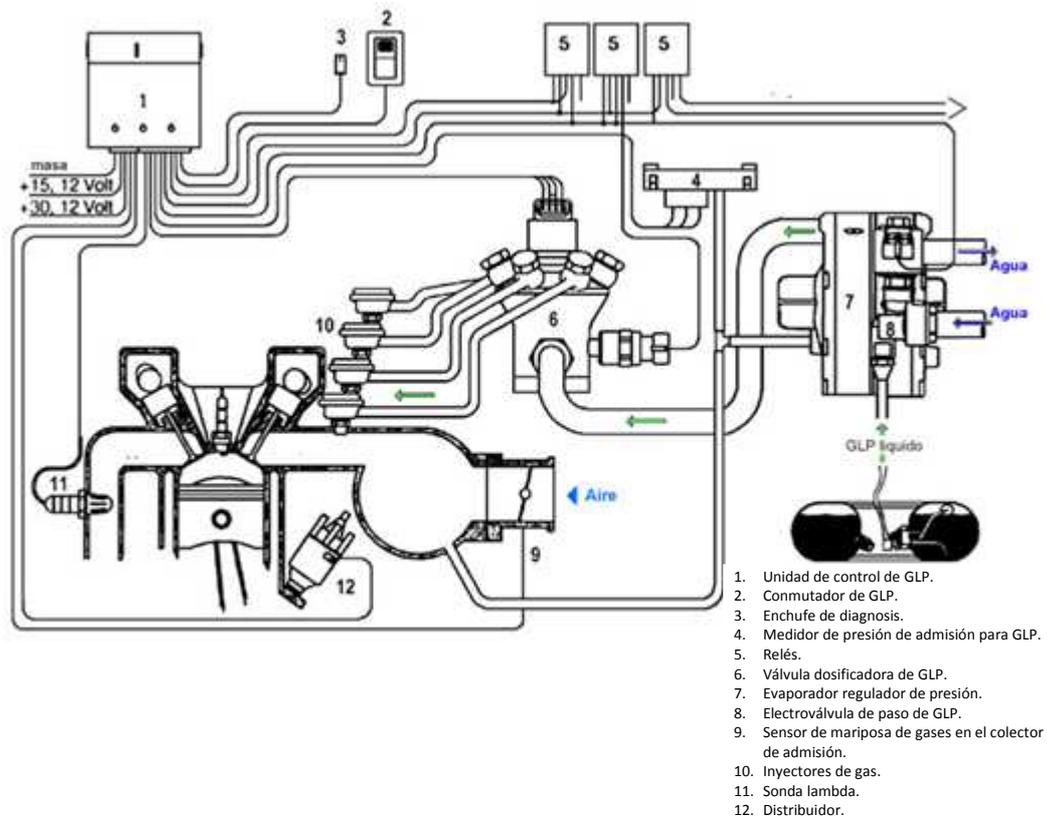


Figura 2.8 Esquema de instalación de un sistema GLP para motores con inyección electrónica multipunto⁴⁴.

^{43, 44} AUVASA, "Aplicación del GLP al automóvil", www.auvasa.es/glp.htm, España, 2007.

La posición de cada elemento mostrada en las Figuras 2.5 y 2.7 es de referencia y se debe adecuar a cada vehículo. En cuanto a los Talleres de Transformación de Vehículos a GLP se exige unos estándares de Calidad y Seguridad según normas que rigen a cada país (Anexo B).

2.3 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE GLP

Se describe el funcionamiento siguiendo el recorrido del GLP desde su carga hasta la combustión en el motor:

- El GLP es introducido pasando por la válvula de carga hasta el tanque de almacenamiento.
- Del tanque de almacenamiento el GLP en estado líquido se dirige por medio de una tubería de cobre hasta el evaporador pasando por un filtro que retiene las posibles impurezas presentes en este; a éste recorrido se le conoce como circuito de alta presión (Figura 2.9). A la entrada del evaporador-regulador va instalada una válvula electromagnética de corte de GLP, conectada a un conmutador situada en el tablero de mandos.



Figura 2.9 Recorrido del GLP líquido hasta el evaporador o regulador de presión (circuito de alta presión) ⁴⁵.

⁴⁵ MOTOR GAS, "Funcionamiento del motor GLP", <http://www.motorgas.es>, 2008.

- El evaporador tiene en su interior una serie de cámaras que realizan varias funciones que permitirán regular, vaporizar y dosificar el GLP que es suministrado al motor. En el regulador de presión el gas llega en fase líquida y pierde presión hasta llegar a vaporizarse, transformándose a fase gaseosa (Figura 2.10). Esta pérdida de presión hace que el gas pierda temperatura pudiendo llegar hasta el congelamiento, por lo cual se hace necesario calentarlo utilizando una derivación del sistema de refrigeración, haciendo circular agua caliente del radiador por el interior del equipo. Esta derivación del sistema de refrigeración del motor al evaporador se conoce como circuito de calefacción.



Figura 2.10 Paso de fase líquida a fase gaseosa del GLP en el evaporador o regulador de presión⁴⁶.

- Una manguera de caucho recubierta por una malla de acero o de fibra lleva al gas desde el regulador hasta el dosificador o mezclador pasando antes por una válvula limitadora de caudal o válvula de máxima; a éste recorrido se le conoce con el nombre de circuito de baja presión. La manguera tiene que ser de goma para que no se cuartee ni se rompa con las vibraciones del motor. El mezclador tiene la función de proporcionar una adecuada mezcla de aire con el gas para obtener una correcta combustión y se lo instala en el conducto que va desde el filtro de aire hacia el carburador o en

⁴⁶ MOTOR GAS, "Funcionamiento del motor GLP", <http://www.motorgas.es>, Perú, 2008,

el múltiple de admisión para los motores a inyección electrónica. El GLP es suministrado a una presión inferior a la atmosférica, de forma que si los cilindros no aspiran el gas, este no sale, de igual forma que el nivel de la cuba es inferior al del surtidor de la gasolina y si no hay vacío en el colector de admisión esta no sale (el vacío evidentemente se genera con el giro del motor, a motor parado no hay vacío) (Figura 2.13).

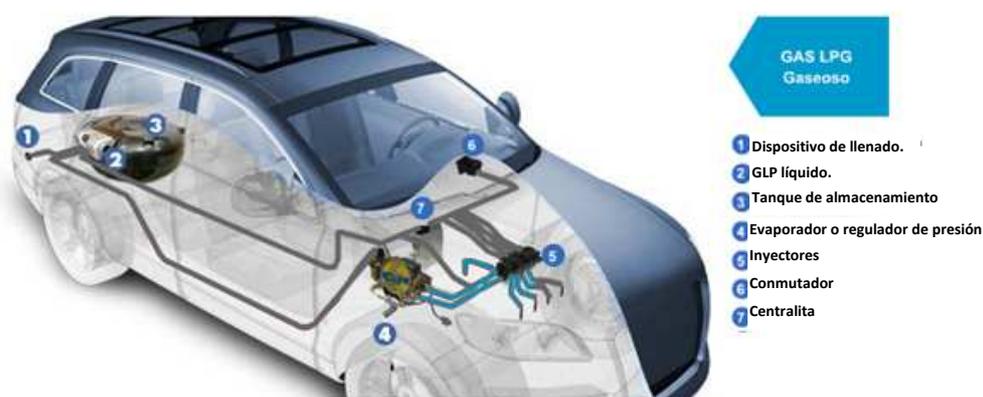


Figura 2.11 Distribución de GLP gaseoso a los cilindros del motor⁴⁷.

- El sistema de GLP provee una llave conmutadora que es un dispositivo electrónico y sirve para seleccionar el tipo de combustible y se encuentra instalada al alcance del conductor, en la cabina del vehículo. El conmutador hace imposible que los dos combustibles GLP y gasolina puedan alimentar a la vez al motor.
- Para vaporizar el GLP se necesita una gran cantidad de calor, por ello si el clima es demasiado frío, los vehículos que tienen este sistema se ponen en marcha con gasolina y cuando están calientes más o menos unos 3 – 5 minutos pasan a funcionar con GLP; en los motores a inyección electrónica, éste paso puede ser automático.

⁴⁷ MOTOR GAS, "Funcionamiento del motor GLP", <http://www.motorgas.es>, 2008.

2.4 DESCRIPCIÓN E INSTALACIÓN DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE GLP

Los componentes principales de un sistema GLP tanto para carburación como para inyección electrónica son:

- Evaporador o regulador de presión.
- Regulador de caudal o de máxima y,
- Mezclador.

2.4.1 EVAPORADOR

Características. El evaporador o regulador de presión tiene las siguientes funciones:

- Efectuar la correcta despresurización del GLP.
- Asegurar que el suministro y corte de GLP hacia el motor funcionen adecuadamente según se accione la electroválvula correspondiente.
- Asegurar que el dispositivo de seguridad que actúa por depresión funcione de forma correcta.
- Permitir que el sistema de regulación en marcha lenta actúe en forma progresiva, permitiendo así la dosificación requerida por el motor en cada caso.
- Asegurar que los mecanismos de gas/agua permanezcan herméticos entre si y al exterior.
- Calentar el GLP a la entrada del motor por agua de refrigerante para compensar la disminución de temperatura debido a la fase de expansión (despresurización) y asegurar un correcto desempeño, sin tener en cuenta factores climáticos.

Instalación. En la parte interior delantera del vehículo (Figura 2.12), a la mayor altura posible y a una distancia adecuada del sistema de escape, de la batería y de la línea frontal del vehículo. Para su correcto funcionamiento es indispensable que su plano frontal quede en posición vertical y paralelo al eje longitudinal del vehículo.



Figura 2.12 Ejemplo de instalación de un regulador de presión en un Toyota COROLLA⁴⁸.

Funcionamiento. Puede ser de dos o tres etapas (Anexo C). Tiene una cámara de agua que se encuentra conectada al sistema de refrigeración del motor, a fin de evitar el congelamiento del GLP debido a la rápida descompresión del mismo. Posee un dispositivo de seguridad encargado de actuar en caso de algún defecto en la primera etapa de descompresión. Para cada tipo de motor existe su respectivo modelo y, forma de conexión.

2.4.2 REGULADOR DE CAUDAL O DE MÁXIMA

Características. Este dispositivo se encarga de regular el caudal de gas que recibe el carburador cuando el vehículo es carburado o el múltiple de admisión si el vehículo es de inyección electrónica.

Instalación. El regulador de caudal se encuentra adaptado entre el evaporador y el mezclador.

Funcionamiento. Se encuentra constituido por un cuerpo de plástico y un tornillo regulable el cual se debe calibrar para regular el caudal de GLP máximo admisible (Figura 2.13). En los motores carburados, según sean las bocas del carburador el regulador puede tener una o dos salidas en la que los tornillos serán regulados en función de cada boca.

⁴⁸Santa Agustina S.A., <http://saasagas.blogspot.com>, San Luis Perú, 2009.

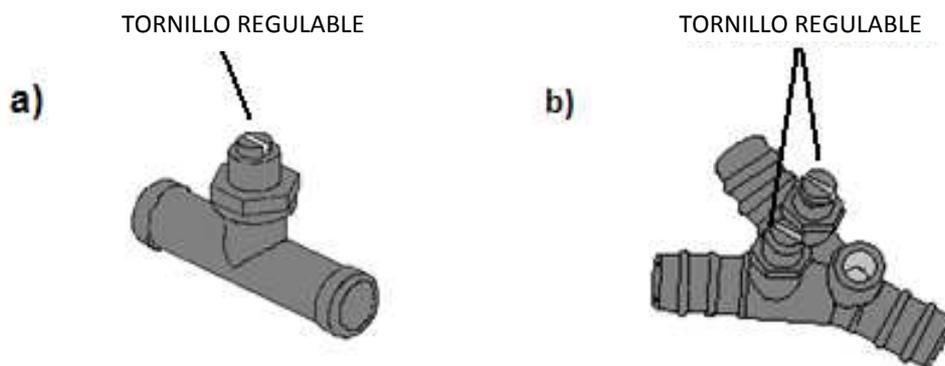


Figura 2.13 Esquema de un regulador: a) simple y, b) doble.

2.4.3 MEZCLADOR

Características. Esta es una pieza cuyas medidas dependen de:

- Los elementos donde va fijada.
- El flujo del GLP (Cantidad y tamaño de los orificios).
- El tamaño y Potencia del motor.

Es necesario entonces conocer al máximo las características del motor donde se va a instalar: su potencia, si es de carburación el tipo de carburador, y si es de inyección diferenciar si es mono punto o multipunto.

Instalación. Se adapta al carburador, situado entre el filtro de aire y la válvula de mariposa en el caso de motores carburados, o a la entrada del múltiple de admisión antes de la válvula de mariposa en el caso de motores a inyección electrónica (Figura 2.14). En el caso de motores con inyección monopunto, el mezclador puede instalarse entre el cuerpo del inyector y el múltiple de admisión.

Funcionamiento. Tiene como función la dosificación de la cantidad de gas y la cantidad de aire que se deben mezclar para una correcta combustión en todos los rangos de demanda del motor, es por esto que es un elemento sumamente importante al momento de la instalación de un sistema GLP.



Figura 2.14 Esquema de un mezclador para un motor carburado⁴⁹.

2.5 INSTALACIÓN DE LOS CIRCUITOS Y ELEMENTOS QUE TIENE UN SISTEMA DE GLP

La siguiente descripción de instalación se hace de forma general, ya que los requisitos técnicos en el Ecuador están regidos por la norma INEN NTE 2310 y 2311 (Anexo B).

Un sistema de GLP tiene los siguientes elementos y circuitos:

- Tanque de almacenamiento de GLP.
- Circuito de alta presión.
- Circuito de baja presión.
- Circuito de calefacción.
- Circuito de gasolina (solo para los motores carburados).
- Conmutador.
- Emulador de inyectores (solo para vehículos a inyección electrónica).
- Relé (solo para vehículos a inyección electrónica).

2.5.1 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El tanque de almacenamiento se coloca dentro del vehículo, teniendo cuidado de que quede bien asegurado para evitar que por el movimiento del vehículo los elementos adaptados a este se rompan o aflojen. Los lugares más comunes de instalación dependiendo del tipo de vehículo (Figura 2.15) son:

- El baúl porta equipaje en vehículos tipo automóvil o sedan.
- Detrás del asiento trasero en camiones.
- En el balde de las camionetas.
- Bajo el piso en vehículos comerciales, etc.

La válvula de carga debe quedar en una posición que permita un fácil acceso a la misma.

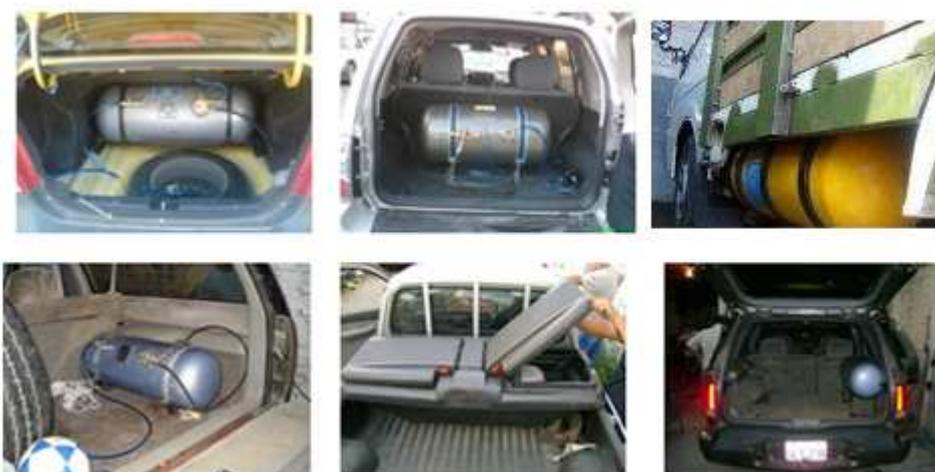


Figura 2.15 Distintas ubicaciones del tanque de almacenamiento de acuerdo al tipo de vehículo⁵⁰.

El tanque puede ser de distinta capacidad, tamaño y forma (Anexo D), para asegurarlo se utilizarán soportes de acero si es posible inoxidable o pintados con pintura antioxidante, de ser necesario estos serán reforzados en las zonas de anclaje para evitar deformaciones en la estructura. Además, se deberán intercalar juntas de caucho que evitaren el deterioro del tanque; por la misma razón las abrazaderas de anclaje deberán tener una protección plástica.

⁵⁰ Carlos Jácome, Fotos de trabajos realizados, maquijsaecuador@gmail.com, Guayaquil-Ecuador, 2008

2.5.2 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN

Los elementos que componen este circuito son:

- Tubería de alta presión, por donde pasará el GLP líquido (generalmente de cobre).
- Recubrimiento de plástico para proteger la tubería de alta presión del medio ambiente y de posibles golpes producidos por el movimiento del vehículo.
- Filtro de gas cuya función es la de atrapar las suciedades que pueda contener el GLP.
- Dispositivos de ajuste colocados en las conexiones cuya función es lograr un correcto cierre para que no exista escape de gas.

El circuito va desde la multiválvula ubicada en el tanque de almacenamiento, hasta el evaporador regulador de presión (Figura 2.16). La tubería de alta presión se fija a la salida del GLP líquido en la multiválvula, para luego seguir hasta el filtro de gas y de ahí salir hasta el evaporador o regulador de presión.

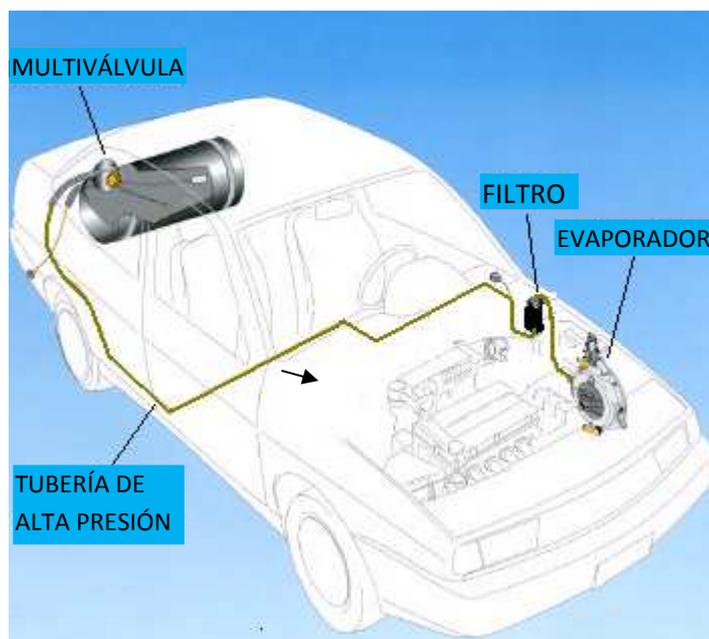


Figura 2.16 Circuito de GLP de alta presión⁵¹.

⁵¹Ministerio de Planificación Federal, Honduras, 2002.

2.5.3 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN

Los elementos que componen este circuito son:

- Manguera de caucho que es por donde pasa el GLP gaseoso.
- Un regulador de caudal o válvula de máxima que tiene como función limitar o regular el caudal de GLP hasta lograr una adecuada mezcla aire/GLP.
- Abrazaderas o elementos de ajuste, cuya función es lograr un correcto ajuste para que no exista escape de gas.

El circuito va desde el evaporador hasta el carburador (Figura 2.17) si el motor es carburado, o al múltiple de admisión si el motor es a inyección electrónica. La manguera se fija a la salida del regulador de presión para luego seguir hasta el regulador de caudal o de máxima y de ahí finalmente al mezclador. La adaptación de este circuito debe hacerse de tal forma que no existan roces con otros elementos del vehículo.

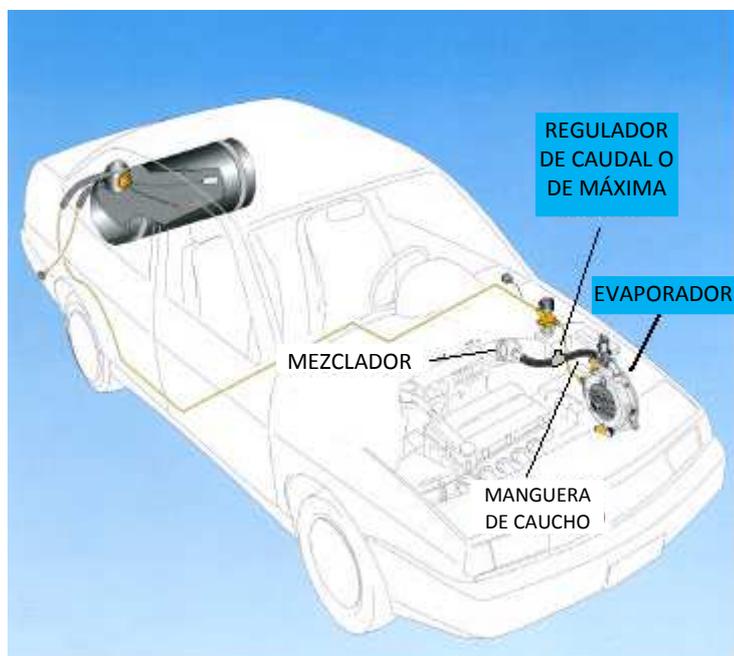


Figura 2.17 Circuito de GLP de baja presión⁵².

⁵²Ministerio de Planificación Federal, Honduras, 2002.

2.5.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN

Los elementos que componen este circuito son:

- Mangueras de caucho, utilizada para la circulación del agua caliente proveniente del sistema de refrigeración del motor.
- “T” de material sintético, para adaptar el circuito calefactor de GLP con el sistema de refrigeración del motor.
- Abrazaderas o elementos de ajuste, cuya función es lograr un correcto ajuste de las mangueras para evitar escape de agua.

El circuito va desde el evaporador hasta al sistema de refrigeración del motor (Figura 2.18). En el evaporador hay dos entradas específicas para este circuito, donde se conectan las mangueras, que luego se adaptan al sistema de refrigeración del motor utilizando unas “T” de material sintético.

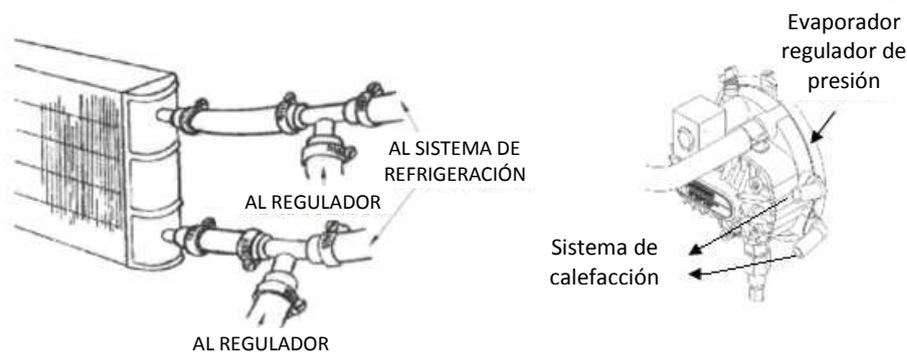


Figura 2.18 Circuito de calefacción.

2.5.5 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE GASOLINA

Este solo se lo adapta a los motores carburados. Los elementos que lo componen son:

- Electroválvula de gasolina.
- Abrazaderas o elementos de ajuste, cuya función es lograr un correcto cierre para que no exista escape o fuga de gasolina.

El circuito va desde la bomba de gasolina hasta la electroválvula y de ésta, hasta el carburador. El sistema de gasolina del motor solo es modificado con respecto al original para adaptar la electroválvula (Figura 2.19).

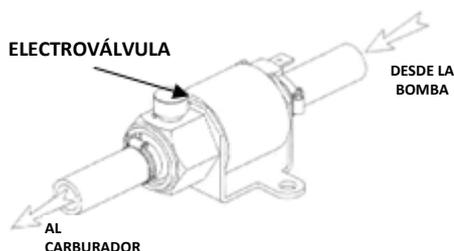


Figura 2.19 Circuito de gasolina.

2.5.6 INSTALACIÓN DEL CONMUTADOR

La llave de conmutación se instala en la cabina del vehículo en la zona del panel de instrumentos, de ser posible en el lado opuesto de la llave de contacto de encendido del vehículo (Figura 2.20). Tiene como función pasar del sistema de gasolina al de GLP y viceversa. El conmutador es diferente para el motor carburado y para el motor a inyección electrónica.



Figura 2.20 Ubicación del conmutador en el vehículo⁵⁵.

2.5.7 INSTALACIÓN DEL EMULADOR DE INYECTORES

Es utilizado para cortar la señal de activación de los inyectores (Figura 2.21). Esto se produce cuando se cambia el combustible de gasolina a GLP.

⁵⁵Carlos Jácome, maquiyaecuador@gmail.com, Guayaquil-Ecuador, 2008.



Figura 2.21 Emulador de inyectores ⁵⁶.

Para una correcta instalación (Figura 2.22) se deben seguir los siguientes pasos:

- Fijar el simulador en posición vertical lejos de posibles filtraciones de agua y fuentes de calor excesivos, con el fin de evitar daños.
- Realizar de la mejor forma las conexiones eléctricas, evitando el uso de conexiones precarias. Se debe tener en cuenta que la mejor conexión eléctrica es la soldadura, aislada en forma adecuada.
- Recordar que en caso de avería, del sistema eléctrico de gas, el emulador restablece automáticamente la conexión original de los inyectores.

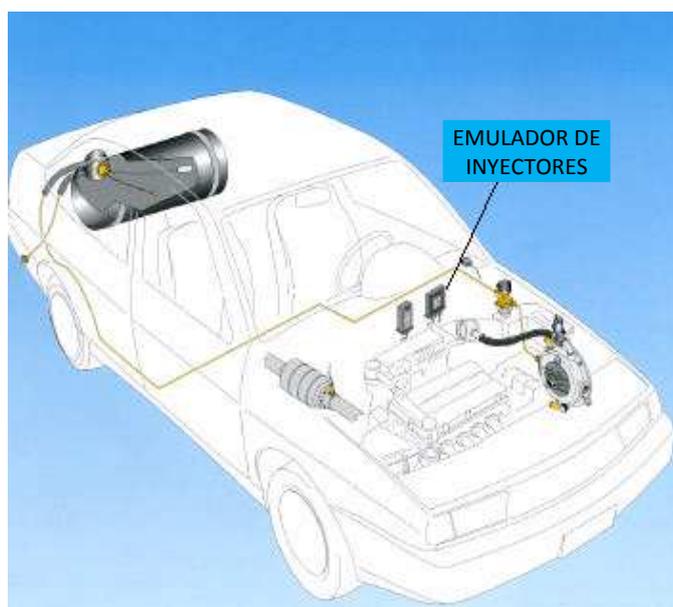


Figura 2.22 Instalación del emulador de inyectores ⁵⁷.

⁵⁶ Carlos Jácome, maquiyaecuador@gmail.com, Guayaquil-Ecuador, 2008.

⁵⁷ Ministerio de Planificación Federal, Honduras, 2002.

2.5.8 INSTALACIÓN DEL RELÉ

Este dispositivo (Figura 2.23) es usado para cortar la señal de la inyección enviada por la computadora a los inyectores cuando el vehículo esta funcionando a GLP. En algunos casos también se puede colocar otro para anular la corriente a la bomba de combustible que se encuentra dentro del tanque, de esta forma se evita el funcionamiento de la bomba re-circulando permanentemente o trabajando en algunos casos en vacio. Este trabaja en forma automática abriendo los circuitos cuando se hace el paso de gasolina a GLP pero no cuenta como en el caso del emulador con un tiempo de superposición de combustibles. Al pasar de GLP a gasolina el relé vuelve a conectar nuevamente el circuito de la inyección y el de la bomba en caso de tenerlo.

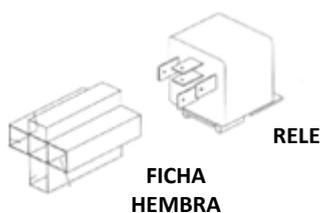


Figura 2.23 Conexión del relé⁵⁸.

2.6 REGULACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO DE GLP

Para un correcto funcionamiento del nuevo sistema de GLP que se ha instalado al motor se procede a la regulación del caudal de máxima y de mínima (Figura 2.24):

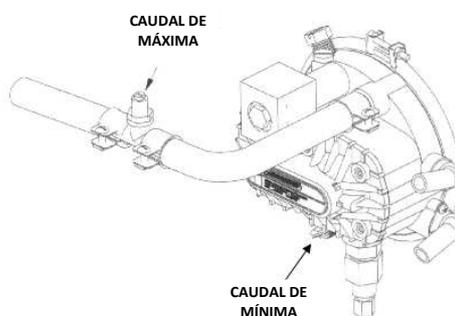


Figura 2.24 Posición de los tornillos de regulación del caudal máximo y mínimo⁵⁹.

^{58, 59} GREPPI, Instalación GLP, Lima-Perú, 2001.

2.6.1 REGULACIÓN DEL CAUDAL MÁXIMO

Para esto se siguen los siguientes pasos:

- Llevar el motor a una temperatura normal de funcionamiento.
- Pasar a funcionar con GLP.
- Acelerar el motor hasta 2500 / 3000 RPM.
- Girar el tornillo de de regulación de la válvula de máxima para lograr una aceleración del motor.
- Al seguir girando el motor las RPM se irán incrementando hasta notar que las RPM empiezan a descender, en ese punto se habrá logrado la regulación máxima.
- Una vez hallado el equilibrio, fijar el tornillo por medio de la contratuerca o el resorte según el tipo de válvula.
- Para motores carburados, en el caso de un carburador con 2 bocas y por consiguiente una válvula de máxima de 2 salidas, la operación se debe realizar 2 veces.

2.6.2 REGULACIÓN DE CAUDAL MÍNIMO

Este procedimiento se lo hace después de haber regulado el caudal máximo y consiste en:

- Llevar el motor a la temperatura normal de funcionamiento.
- Poner a funcionar el motor con GLP.
- Mariposa del carburador en posición de reposo durante toda la regulación. Para motores a inyección electrónica se deberá mantener el motor en ralentí.
- Girar el tornillo de regulación de mínima que esta en el evaporador hasta lograr un ralentí estabilizado.
- Fijar el tornillo una vez logrado el equilibrio.

2.6.3 CAMBIO DE GASOLINA A GLP Y VICEVERSA EN MOTORES A CARBURACIÓN

Se realiza con el conmutador, siguiendo los siguientes pasos:

- Poner el vehículo en marcha con el indicador en la posición de gasolina (Figura 2.25 a) y esperar 3 – 5 minutos hasta que el motor se caliente.
- Con el motor en marcha y manteniéndolo a unas 1500 RPM, pasar el indicador a la posición neutral (Figura 2.25 b).
- Cuando el motor se encuentra a punto de detenerse por falta de gasolina en la cuba del carburador, pasar el indicador a la posición de GLP (Figura 2.25 c)) y acelerar ligeramente.
- Si se cambia rápidamente a la posición de GLP, el motor tenderá a ahogarse y podrá detenerse, puesto que tendrá restos de gasolina en la cuba del carburador además del gas. Si esto sucede se deberá apagar el motor, poner el indicador en posición neutral, luego oprimir el acelerador con el motor en marcha sin bombear, hasta que se consuman los dos combustibles, entonces pasar el indicador a la posición de GLP, y se estará utilizando éste combustible normalmente.
- El vehículo podrá encenderse luego sin necesidad de seguir los pasos antes mencionados poniendo el indicador de la llave de conmutación en la posición de GLP; esto mientras el motor no se enfrié demasiado (11/2 a 2 horas después de apagado y dependiendo del tipo de clima).
- Para el cambio de GLP a gasolina se lo hará en varios pasos: con el motor en marcha y en ralentí pasar el indicador que esta en GLP a la posición de gasolina una y otra vez por unas 2 o 3 veces hasta que la cuba del carburador se llene de gasolina y listo, el motor funcionará con gasolina.



Figura 2.25 Cambio de gasolina a GLP en vehículos carburados⁶⁰.

⁶⁰ Carlos Jácome, maquiyaecuador@gmail.com, Guayaquil-Ecuador, 2008

2.6.4 CAMBIO DE GASOLINA A GLP Y VICEVERSA EN MOTORES A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

Se lo realiza con el conmutador o llave de conmutación, siguiendo los siguientes pasos:

- Poner el vehículo en marcha con el indicador de la llave de conmutación en posición de gasolina y esperar 3 – 5 minutos hasta que el motor se caliente sin acelerar (Figura 2.26 a).
- Con el motor en marcha, acelerar a 2500/3000 RPM, y el cambio de combustible se realizará automáticamente. En vehículos a inyección el cambio de gasolina a GLP es rápido ya que al no existir carburador no existe cuba que almacene gasolina y cuando se corta la señal a los inyectores, se queda inmediatamente sin gasolina el motor (Figura 2.26 b).
- Para cambiar de GLP a gasolina con el motor en marcha y en ralentí se debe poner el indicador de la llave de conmutación en posición de gasolina (Figura 2.26 a) y luego esperar unos 6 segundos para que se efectúe el cambio de combustible.

a)



b)



Figura 2.26 Cambio de gasolina a GLP en vehículos a inyección electrónica⁶¹

⁶¹ Carlos Jácome, maquiyaecuador@gmail.com, Guayaquil-Ecuador, 2008

CAPITULO III

PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP A BANCOS DE PRUEBAS CON MOTOR CARBURADO E INYECCIÓN ELECTRÓNICA

El proceso de adaptación de un equipo GLP a los bancos de pruebas con motor carburado y a inyección electrónica, se encuentra regido en nuestro país por la norma INEN RTE 2310 y 2311 (Anexo B). Este capítulo es un complemento y aplicación de los procesos vistos en el capítulo II. Para su realización se ha convenido nuevamente especificar las funciones que cumple cada elemento que compone un sistema de GLP en forma resumida.

3.1 PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP AL BANCO DE PRUEBAS CON MOTOR CARBURADO

3.1.1 INSPECCIÓN GENERAL Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR

El motor a carburador al que se le instaló el sistema de GLP se encuentra en el CCICEV (CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA PARA LA CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN EN CONTROL DE EMISIONES VEHICULARES) de la Escuela Politécnica Nacional. El motor es 1600 c.c., marca Mitsubishi año 2006, al cual se ha revisado e inspeccionado visualmente las fugas de aceite por los empaques y de agua por las mangueras del radiador, además del sistema de alimentación del combustible. La puesta a punto de igual manera se lo ha hecho: Calibración de válvulas, verificación y cambio de bujías, encendido, verificación y calibración del carburador, nivel de aceite, cambio y lavado de filtros bomba de gasolina, etc.

El motor está entonces en condiciones para la realización de la instalación del sistema GLP para carburación.

3.1.2 ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA INSTALACIÓN

- **Evaporador o regulador de presión:** Es de marca LOVATO (Figura 3.1) y se lo puede instalar en vehículos con motores carburados o a inyección electrónica. Tiene un solenoide que controla el paso del gas y además dos reguladores, uno que regula la presión en la segunda etapa y el segundo gradúa el paso de gas para ajustar al vehículo en ralentí.



Figura 3.1 Evaporador o regulador de presión marca LOVATO para vehículos carburados o de inyección electrónica.

- **Bloqueador de GLP:** Conocido también con el nombre de electroválvula (Figura 3.2), su principal función es la de cortar o dejar pasar el gas al regulador. Se lo controla con el conmutador, si éste marca posición gasolina éste solenoide corta el paso del gas dando paso solo a funcionamiento con gasolina y cuando el conmutador está en posición gas, abre el paso del gas para que el funcionamiento del vehículo sea solo con gas.



Figura 3.2 Electroválvula de GLP marca LOVATO.

- **Bloqueador de Gasolina:** O electroválvula de gasolina (Figura 3.3), su función es la de bloquear el paso de gasolina cuando el vehículo funciona a gas y se controla con el conmutador. Se lo instala solo en vehículos a carburador.



Figura 3.3 Electroválvula de gasolina marca LOVATO.

- **Conmutador:** La función de éste elemento (Figura 3.4) es la de hacer los cambios en el vehículo de gasolina a gas o viceversa. Es de tres pasos con cebador e indicador de reserva solo para vehículos carburados.



Figura 3.4 Conmutador para motores carburados.

- **Multiválvula:** Es una válvula (Figura 3.5) que se lo adapta al tanque de combustible de GLP y que cumple varias funciones que son: marcar el nivel de gas, dejar pasar el gas para el llenado del tanque y dejar salir el gas cuando el sistema lo requiere; tiene sistemas de seguridad que bloquean el gas en caso de operación incorrecta o accidentes, además de contar con pasos manuales de cerrado.

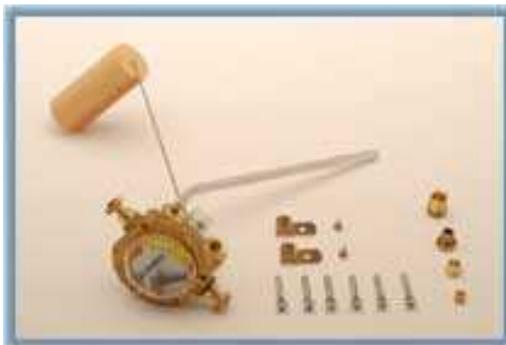


Figura 3.5 Multiválvula.

- **Filtro:** La función de este filtro (Figura 3.6) es la de retener impurezas que pueda tener el GLP.



Figura 3.6 Filtro de GLP.

- **Mezclador:** Es un dispositivo (Figura 3.7) que se encarga de mezclar el aire con el GLP.



Figura 3.7 Mezclador de material aluminio.

- **Tanque de almacenamiento para GLP:** Tiene como función el almacenamiento del GLP para su posterior uso (Figura 3.8).



Figura 3.8 Tanque de almacenamiento de GLP de fabricación peruana.

- **Regulador de caudal o de máxima:** Este dispositivo (Figura 3.9) se encarga de regular la cantidad de GLP que recibe el carburador. Se encuentra constituido por un cuerpo de plástico y un tornillo regulable, el cual se debe calibrar para regular el caudal máximo admisible.



Figura 3.9 Regulador de caudal o de máxima.

- **Tuberías y accesorios de montaje:** Tienen como función la conexión y correcto ajuste entre los elementos y son: manguera de cobre, manguera de caucho, base para el tanque de almacenamiento, tornillos, tuercas, abrazaderas metálicas, válvula industrial para GLP, etc. (Figura 3.10).



Figura 3.10 Tuberías y accesorios de montaje.

3.1.3 INSTALACIÓN DEL EVAPORADOR O REGULADOR DE PRESIÓN

Para esto se escoge un lugar conveniente en el soporte del motor, donde se coloca una platina para la sujeción de dicho componente, que además, debe estar en posición horizontal y al que se le acoplará un solenoide o electroválvula de GLP (Figura 3.11).

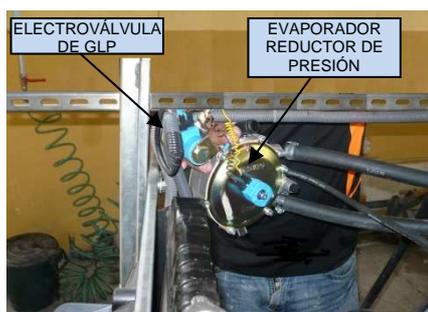


Figura 3.11 Instalación del evaporador reductor de presión en el motor carburado.

Las conexiones eléctricas se realizan de la siguiente manera (Figura 3.12):

- El cable azul de la electroválvula va al conmutador.
- El cable negro o de tierra se lo acoplará al evaporador regulador de presión.



Figura 3.12 Conexión eléctrica de la electroválvula.

3.1.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN

Este circuito va desde el evaporador regulador de presión hasta el carburador. La manguera se fija a la salida del regulador de presión (salida del GLP) mediante una abrazadera; luego se adapta el regulador de caudal para luego seguir su adaptación hasta el mezclador (Figura 3.13).



Figura 3.13 Proceso de instalación del circuito de baja presión en el motor a carburación.

3.1.5 INSTALACIÓN DEL MEZCLADOR

El mezclador es un dispositivo que se instala en el conducto que va desde el filtro de aire a la boca del carburador. Para que este quede fijo se coloca una capa de silicona especial en la boca del carburador y luego se proceder a colocarlo; por último se incorpora el filtro de aire (Figura 3.14).



Figura 3.14 Proceso de instalación del mezclador en el motor a carburación.

3.1.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP

Para la una correcta instalación, se busca un lugar apropiado en el banco de prueba del motor carburado para que no quede flojo. Una vez encontrado este

lugar se procede a la colocación de los soportes y abrazaderas y a la instalación del tanque (Figura 3.15).



Figura 3.15 Fijación del tanque de almacenamiento de GLP en el motor carburado.

3.1.6.1 Instalación de la multiválvula y sistema de carga de GLP

El tanque de almacenamiento tiene dos orificios: uno para el alojamiento de la multiválvula en donde irá también el sistema de carga, y el otro que sirve de desfogue. Para la instalación de estos componentes se procede de la siguiente manera:

- Preparar la multiválvula de acuerdo al tamaño del tanque colocando y regulando la entrada del flotador y la tubería de ingreso de gas al tanque. Luego asegurar la multiválvula en el tanque de almacenamiento (Figura 3.16).



Figura 3.16 Instalación de la multiválvula en el tanque de almacenamiento GLP.

- Para el sistema de carga, preparar la manguera que servirá para cargar el gas desde un tanque doméstico al de almacenamiento de GLP del motor.

Esta manguera tiene adaptado una válvula by-pass, un filtro para petróleo que se lo pondrá mediante un acople y una válvula industrial para GLP. El sistema de carga va colocado en la entrada de GLP de la multiválvula (Figura 3.17).



Figura 3.17 Proceso de instalación del sistema de carga de GLP.

- Al cargar GLP en el tanque del motor éste necesariamente necesita un desfogue; la función de este desfogue es porque cuando al cargar o introducir el gas, si no existiera dicho desfogue el tanque se llenaría de presión demasiado pronto y no sería posible seguir cargándolo. Para esto el tanque como ya se ha mencionado tiene un orificio de desfogue al cual se le acoplará una válvula by-pass para poder abrir o cerrar cuando se este cargando el combustible (Figura 3.18 y 3.19).



Figura 3.18 Proceso de instalación del sistema de desfogue de GLP en el tanque de almacenamiento de GLP.



Figura 3.19 Multiválvula y sistema de carga de GLP en el tanque de almacenamiento del motor carburado.

3.1.7 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN

El circuito comienza desde la multiválvula (tanque de almacenamiento de GLP) hasta el evaporador o regulador de presión. Una manguera de cobre se fija a la salida del GLP en la multiválvula, para luego seguir hasta el filtro y finalmente llegar al evaporador (Figura 3.20).

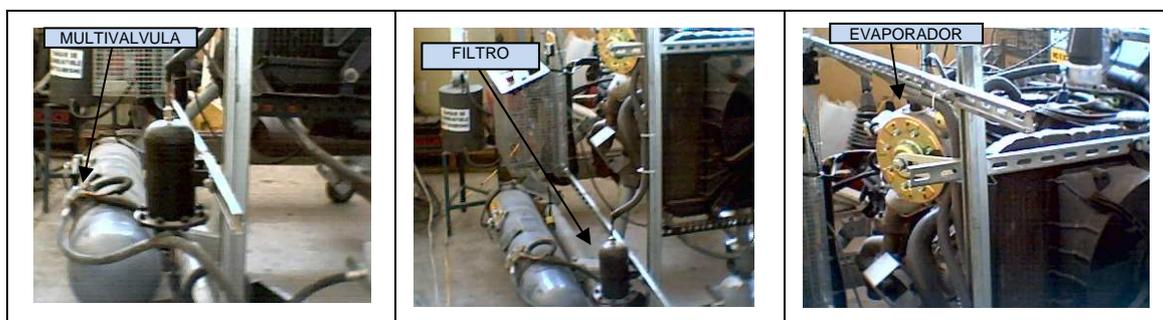


Figura 3.20 Instalación del circuito de alta presión en el motor carburado.

3.1.8 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN

El circuito de calefacción tiene la misión de mantener una temperatura adecuada del evaporador. El circuito va desde el evaporador hasta el sistema de calefacción del motor. En el evaporador hay dos entradas donde se conectan las mangueras aseguradas con sus respectivas abrazaderas, estas llegan al sistema de refrigeración del motor adaptadas mediante unas "T" de material sintético intercalado en la salida y en la entrada de dicho sistema. (Figura 3.21).

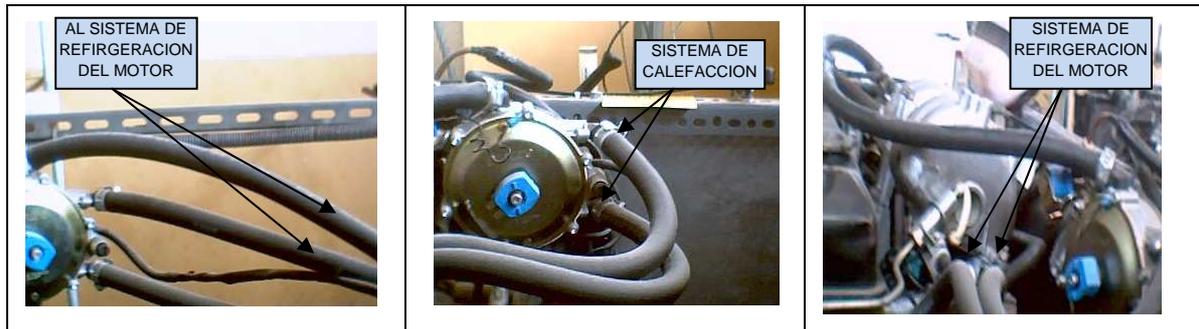


Figura 3.21 Instalación del sistema de calefacción en el motor carburado.

3.1.9 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE GASOLINA

La electroválvula de gasolina se adapta al sistema de gasolina original. El sistema va desde la bomba de gasolina hasta la electroválvula y de ésta al carburador (Figura 3. 22).

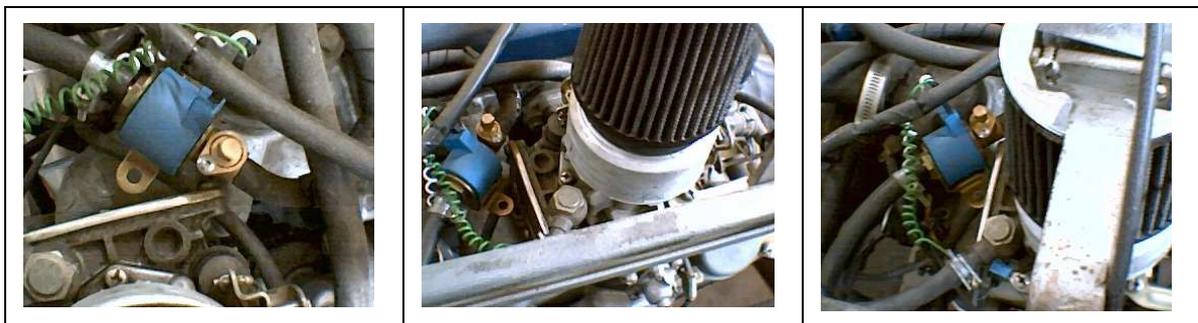


Figura 3.22 Instalación del circuito de gasolina.

3.1.10 INSTALACIÓN DE LA LLAVE DE CONMUTACIÓN

Para la instalación de la llave de conmutación se siguen los siguientes pasos (Figura 3.23 y 3. 24):

- Buscar el lugar apropiado para la sujeción del conmutador en el motor.
- Efectuar correctamente las conexiones eléctricas dentro del motor. Para esto se deben seguir cuidadosamente las instrucciones que vienen en el conmutador de acuerdo al modelo.

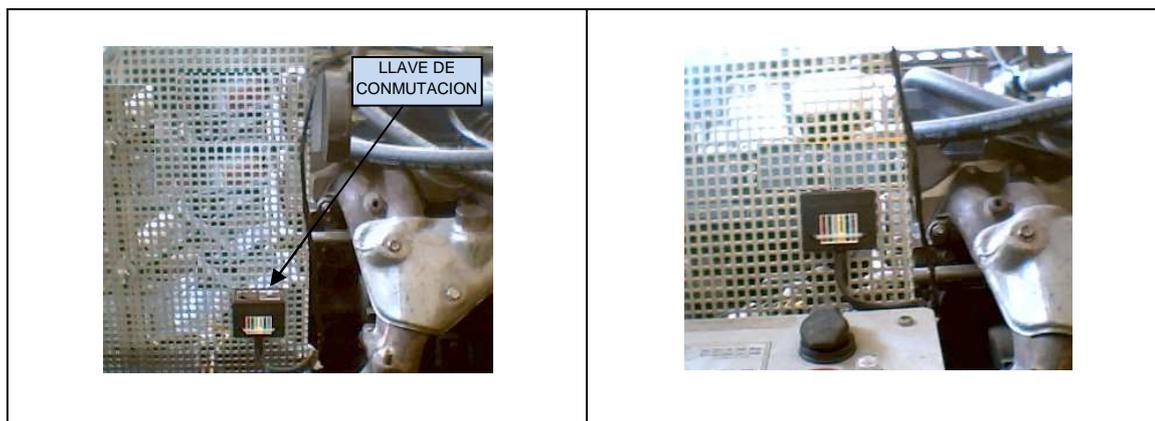


Figura 3.23 Instalación de la llave de conmutación.

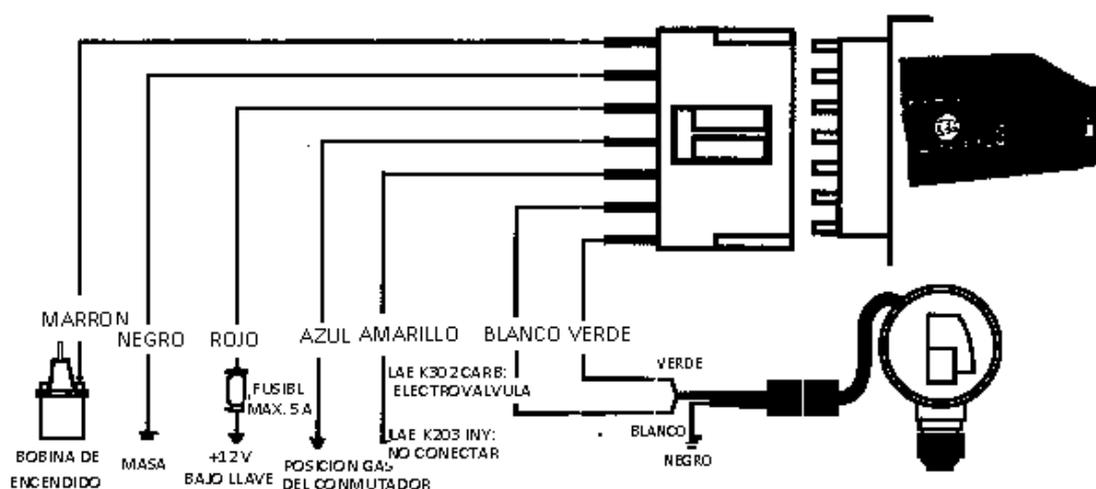


Figura 3.24 Plano de instalación de llaves conmutadoras LAE K302 CARBURADA.

3.2 PROCESO DE ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA GLP AL BANCO DE PRUEBAS CON MOTOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

3.2.1 INSPECCIÓN GENERAL Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR

De igual forma, el motor a inyección electrónica al que se le instala el sistema de GLP se encuentra en el CCICEV. El motor es 1.7L c.c., marca Lada año 2003, al que se le proporcionó mantenimiento igual que el motor a carburación. La puesta a punto de igual manera se lo hizo con: calibración de válvulas, calibración y limpieza de inyecciones, verificación y cambio de bujías, encendido, nivel de aceite, cambio y lavado de filtros, bomba de gasolina, etc.

El motor entonces, se encuentra en condiciones para la realización de la instalación del sistema GLP para inyección electrónica.

3.2.2 COMPONENTES UTILIZADOS PARA LA CONVERSIÓN

Se mantienen los componentes principales del sistema de GLP, pero se elimina la electroválvula de gasolina y se agregan nuevos elementos al sistema como son:

- **Emulador de inyectores.** Corta la señal de activación de los inyectores en vehículos de 4 cilindros con inyección multipunto. Esto se produce cuando se cambia el combustible de gasolina a GLP (Figura 3.25 a).
- **Relé.** Este dispositivo es usado para cortar la señal de la inyección enviada por la computadora a los inyectores cuando el vehículo esta funcionando a GLP (Figura 3.25 b).
- **Conmutador de inyección.** La función de este elemento es la de hacer los cambios en el vehículo de gasolina a gas o viceversa, el tipo de este conmutador es de dos pasos para inyección electrónica (Figura 3.25 c).

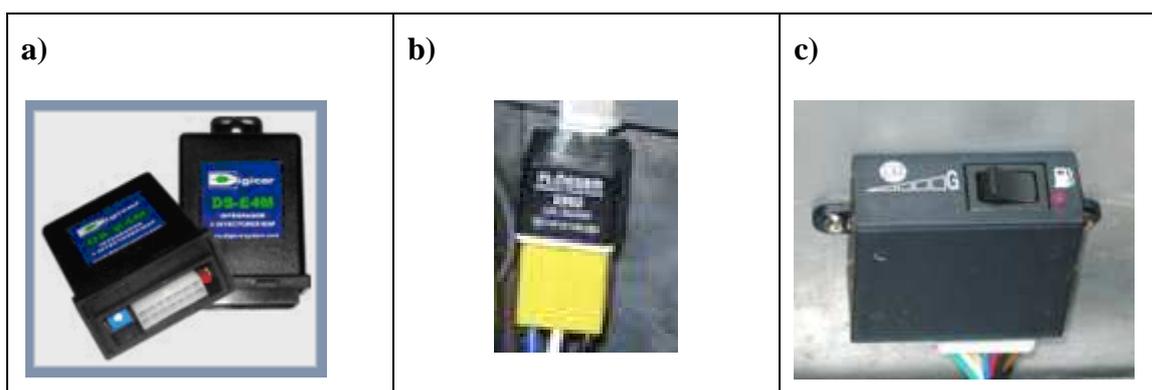


Figura 3.25 Equipo adicional para la conversión del motor a inyección electrónica. a) Emulador de inyectores, b) Relé y c) Conmutador de inyección.

3.2.3 INSTALACIÓN DEL EVAPORADOR

Escoger un lugar conveniente en el soporte del motor, en donde se coloca una platina para la sujeción del evaporador o regulador de presión, que además debe estar en posición horizontal y al que se le acoplara un solenoide o electroválvula de GLP (Figura 3.26).

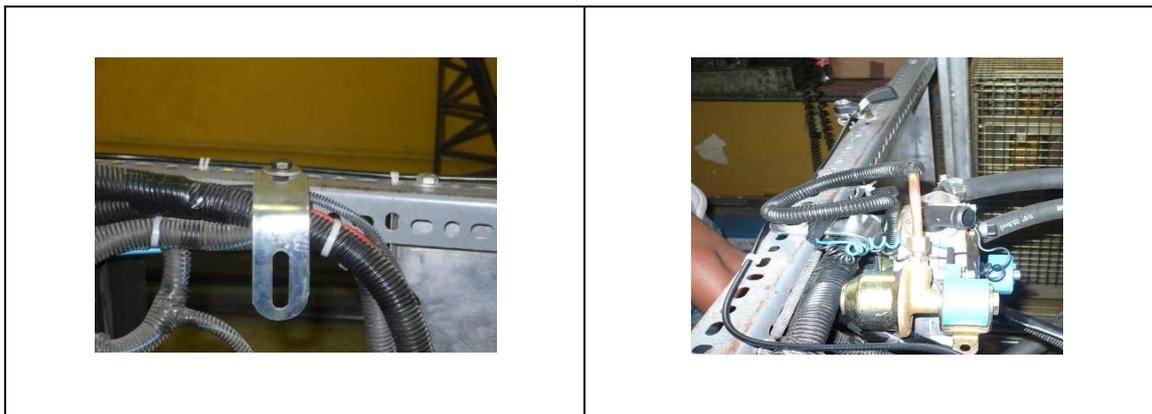


Figura 3.26 Instalación del evaporador reductor de presión en el motor a inyección electrónica.

3.2.4 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE BAJA PRESIÓN

El circuito va desde el evaporador regulador de presión hasta el múltiple de admisión de los inyectores. Se fija la manguera de caucho a la salida del evaporador para luego seguir hasta el regulador de caudal y de ahí finalmente al mezclador. La instalación de éste circuito debe hacerse de tal forma que no existan roces con otros elementos del vehículo, lo que se puede evitar fijando entre si los elementos que se rozan (Figura 3.27).



Figura 3.27 Proceso de instalación del circuito de baja presión en el motor a inyección electrónica.

3.2.5 INSTALACIÓN DEL MEZCLADOR

El mezclador se instala en el conducto a la entrada de los inyectores, para que éste quede fijo se coloca una capa de silicona en la boca de ingreso de los inyectores, para luego proceder a colocarlo y asegurarlo con una abrazadera metálica (Figura 3.28).



Figura 3.28 Proceso de Instalación del mezclador en el motor a inyección electrónica.

3.2.6 INSTALACIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP

Buscar un lugar apropiado en el banco de pruebas del motor a inyección, y proceder a la colocación de los soportes y a la instalación del tanque (Figura 3.29).



Figura 3.29 Fijación del tanque de almacenamiento de GLP en el motor a inyección electrónica.

3.2.6.1 Instalación de la multiválvula y sistema de carga de GLP

La instalación de la multiválvula y el sistema de carga de GLP en el tanque de almacenamiento del motor de inyección electrónica es el mismo que en el tanque del motor carburado (Figura 3.30).



Figura. 3.30 Instalación de la multiválvula y sistema de carga de GLP en el tanque de almacenamiento del motor a inyección electrónica.

3.2.7 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE ALTA PRESIÓN

Este circuito va desde la multiválvula (tanque de almacenamiento de GLP) hasta el evaporador regulador de presión. Una manguera de alta presión se fija a la salida del GLP en la multiválvula, luego se adapta un filtro, y por último se sigue hasta el evaporador regulador de presión (Figura 3.31).



Figura 3.31 Proceso de instalación del circuito de alta presión en el motor de inyección electrónica.

3.2.8 INSTALACIÓN DEL CIRCUITO DE CALEFACCIÓN

Este circuito va desde el evaporador hasta el sistema de calefacción del motor de inyección electrónica. En el evaporador hay dos entradas donde se conectan las mangueras, éstas llegan al sistema de refrigeración del motor adaptadas mediante unas "T" de material sintético en la salida y en la entrada de dicho sistema (Figura 3.32).



Figura 3.32 Instalación del circuito de calefacción en el motor a inyección electrónica.

3.2.9 INSTALACIÓN DE LA LLAVE DE CONMUTACIÓN

Para la instalación de la llave de conmutación para inyección electrónica (LAE K302 CARBURADA/LAE K203 INYECTADA) se busca el lugar apropiado para su sujeción en el motor (Figura 3.33).



Figura 3.33 Instalación del conmutador en el motor de inyección electrónica.

La conexión eléctrica del conmutador se hace de la siguiente manera (Figura 3.34):

- Eliminar los terminales de color Amarillo, Blanco, Verde del conmutador, debido a que éste debe ser automático.
- Conectar el cable azul del conmutador al switch del motor.
- Colocar un fusible como protección en el terminal de color rojo para casos de cortocircuitos. Este debe ser de 5 a 10 Amperios (Figura 3.35 a).

- Conectar el cable de color rojo a la corriente (cable que va del conmutador a la bobina). (Figura 3.35 b).
- Conectar el cable de color café al cable que va a la primera bujía, ya que esta tiene la función de leer la señal negativa de la bobina (Figura 3.35 c).

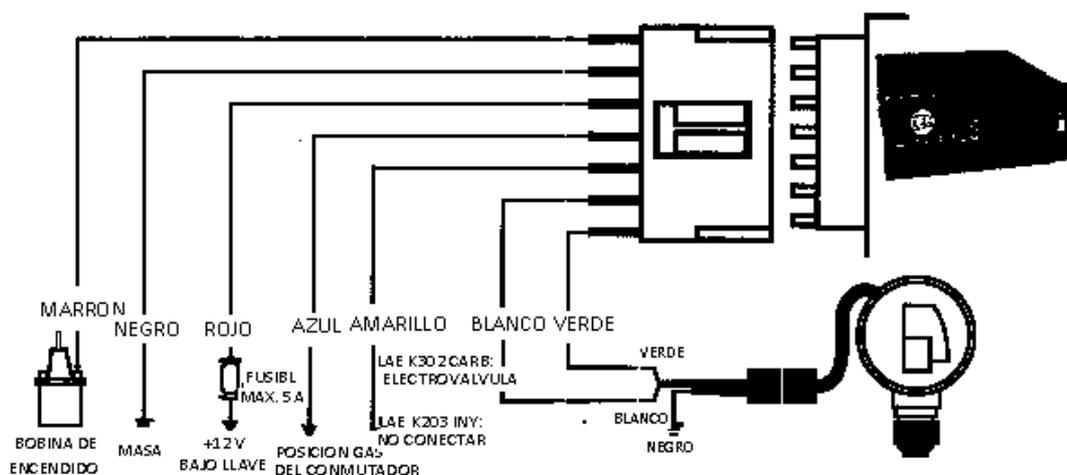


Figura 3.34 Plano de instalación de llaves conmutadoras LAE K203 INYECTADA.

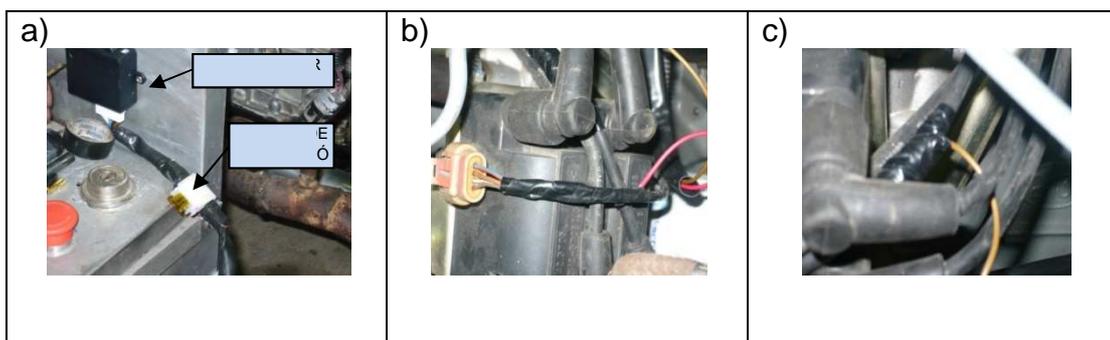


Figura 3.35 Proceso de conexión eléctrica del conmutador en el motor de inyección electrónica.

3.2.10 INSTALACIÓN DEL EMULADOR DE INYECTORES

Para esto se busca el lugar más apropiado, en este caso el tablero de control del motor de inyección electrónica arriba del conmutador (Figura 3.36).



Figura 3.36 Instalación del emulador de inyectores en el motor de inyección electrónica.

La conexión eléctrica del emulador de inyectores (EF-EM 4/6 para 4 ó 6 cilindros) dentro del motor se hace de la siguiente manera:

- Conectar el emulador (EF-EM 4/6) (Figura 3.37 a).
- Buscar los cables que van desde la computadora a los inyectores. Se corta los cables (en este caso 4 cables, ya que son 4 inyectores) (Figura 3.37 b).
- Separar los cuatro pares de terminales del mismo color (Amarillo, Rojo, Azul, Verde) que salen del emulador de inyectores. Uno de los dos terminales del mismo color que salen del emulador posee una señal (una línea negra) la cual es un indicador que ese es el terminal de entrada de la señal del emulador, lo que indica que el terminal que no tiene la señal va a ser la salida de la señal del emulador.
- Unir los terminales del emulador de inyectores con los de la computadora del motor (Tabla 3.1 y Figura 3.37 c).

Taba 3.1 Conexión de los cables del emulador de inyectores a la computadora del motor de inyección electrónica.

TERMINAL #1(Estos terminales van a cada uno de los inyectores).	TERMINAL #2(Estos terminales van a la computadora).
Amarillo	Amarillo/Negro
Rojo	Rojo/Negro
Azul	Azul/Rojo
Verde	Verde/Rojo

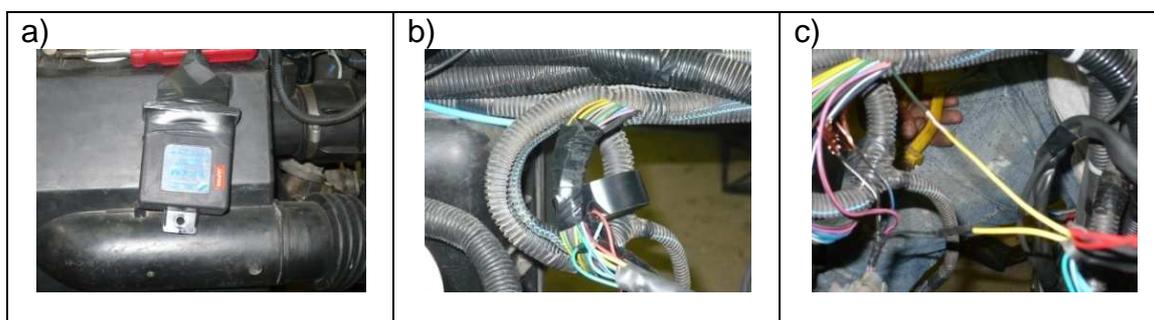


Figura 3.37 Conexión eléctrica del emulador de inyectores.

3.2.11 INSTALACIÓN DEL RELÉ

Se escoge un lugar donde esté seguro y que sea de fácil visualización. Para la conexión eléctrica se siguen los siguientes pasos:

- Conectar el relé en este caso de doble platina.
- Para ponerlo en contacto con el sistema eléctrico, con la ayuda del multímetro se escoge de los cuatro cables que van desde el switch a la bobina el que tenga señal temporizada. Se corta el cable de señal temporizada.
- Conectar los terminales amarillo y blanco del relé con las terminales del cable que viene del switch hasta la bobina con señal temporizada (Figura 3.38 a).
- Conectar el terminal azul y negro del relé con el terminal azul del conmutador, del emulador y del solenoide de gas (Figura 3.38 b).
- El cable negro debe ser conectado a masa del convertidor (Figura 3.38 c).

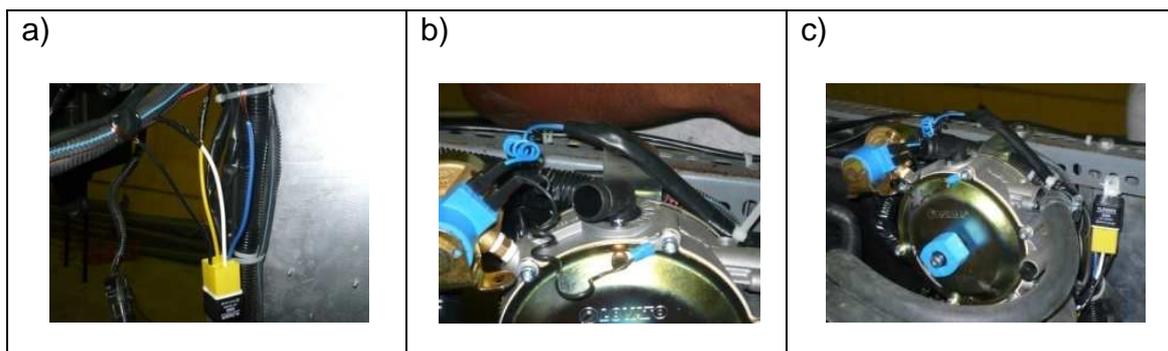


Figura 3.38 Conexión eléctrica del relé.

3.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DUAL GLP/GASOLINA PARA LOS MOTORES A CARBURACIÓN E INYECCIÓN ELECTRÓNICA

Para las pruebas de funcionamiento de los motores a carburación e inyección electrónica, primero se procede a verificar si las conexiones de los elementos que componen el sistema de GLP están correctamente ajustadas para que no exista ninguna fuga. Para esto se realiza una prueba de estanqueidad, siguiendo los siguientes pasos:

- Cargar el tanque de almacenamiento con una mínima cantidad de GLP (Figura 3.39 a),
- Para verificar si las conexiones están correctamente ajustadas se procede a realizar la prueba primeramente con el sistema de carga de GLP, para esto se lo sumerge en agua para ver si existen fugas, de ser así, se procede a realizar los respectivos ajustes (Figura 3.39 b)
- En las demás conexiones se usara agua jabonosa poniéndola con la mano o con la ayuda de una brocha empapando el elemento para verificar si existen fugas en: la multiválvula, sistema de desfogue, filtro, evaporador regulador de presión, etc. (Figura 3.39 c, d, e y f).

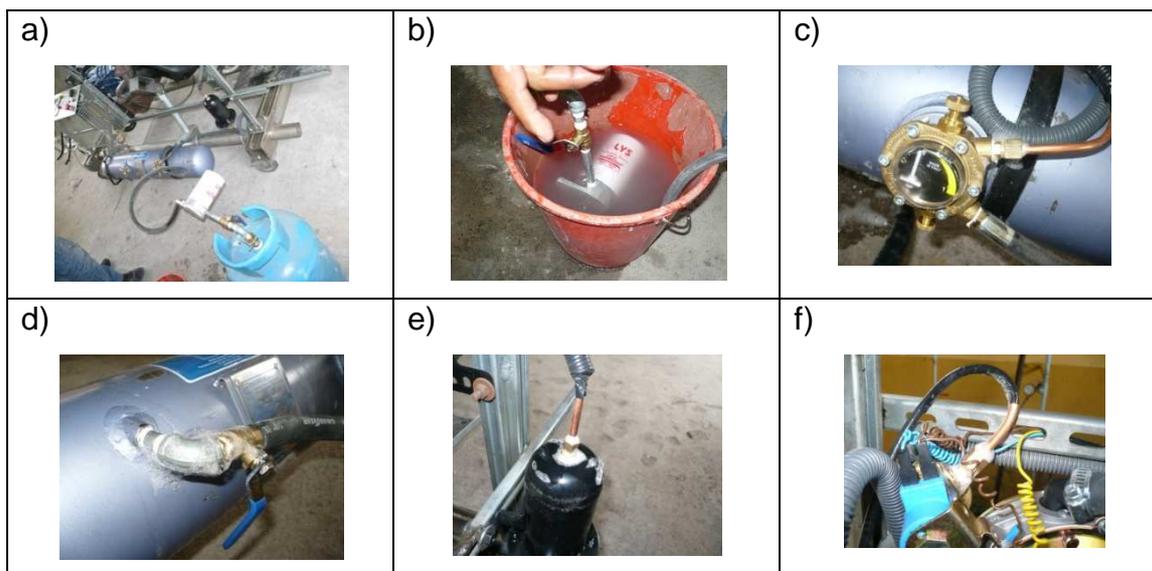


Figura 3.39 Verificación de las conexiones del sistema GLP para los motores de carburación e inyección electrónica.

3.3.1 LLENADO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GLP

Una vez realizada la verificación de las conexiones, se procede a cargar el tanque de almacenamiento para lo cual se siguen los siguientes pasos (Figura 3.40):

- Colocar la válvula industrial que se encuentra en el sistema de carga en el tanque doméstico.
- Abrir la llave de entrada de la multiválvula.
- Abrir la llave del sistema de desfogue, colocar una manguera en este caso sirve la de 16 mm. y sumergirla en un balde de agua, esto con el fin de que se minimice el ruido que se produce durante el proceso.
- Abrir la válvula by-pass del sistema de carga y poner el tanque doméstico boca abajo.
- El tiempo de duración de carga del GLP durará aproximadamente 5 – 7 minutos, verificando que el tanque de almacenamiento se llene solo en un 80 - 90 % como máximo, para que no exista sobre presión y evitar posibles accidentes.



Figura 3.40 Proceso de carga de GLP en el tanque de almacenamiento de los motores a carburación e inyección electrónica.

3.3.2 PUESTA EN MARCHA Y REGULACIÓN DE LOS MOTORES CON SISTEMA DUAL GLP/GASOLINA A CARBURACIÓN E INYECCIÓN ELECTRÓNICA

- Para la regulación del sistema GLP tanto del motor carburado como del motor a inyección electrónica se procede a regular el caudal de máxima y de mínima (capítulo II numerales 2.7.1 y 2.7.2).
- Para el cambio de gasolina a GLP y viceversa del motor a carburación ver capítulo II, numeral 2.7.3.
- Cambio de gasolina a GLP y viceversa del motor a inyección electrónica ver capítulo II, numeral 2.7.4

Luego de haber cumplido con los pasos mencionados anteriormente y una vez realizadas las pruebas de funcionamiento se puede observar que el sistema GLP instalado en los motores a carburación e inyección electrónica funciona correctamente.

3.3.3 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GLP INSTALADO

Para un buen funcionamiento de los motores a carburación e inyección electrónica que se encuentran funcionando de forma dual GLP/Gasolina, normalmente cada uno o dos meses se debe verificar principalmente que el sistema de bujías, cables eléctricos, tapa del distribuidor y sistema de refrigeración del motor estén en buen estado.

El mantenimiento del sistema GLP debe realizarse cada 90 tanques de consumo de combustible y sera:

- Chequeo y verificación del funcionamiento de todo el sistema.
- Cambio de filtro del sistema de alta presión.
- Desarmado del evaporador regulador de presión y limpieza adecuada.
- Revisar el sistema electrico del sistema GLP y del motor en general.
- Cambio del filtro del sistema de carga se hace cada 40 tanques de consumo.

Nota: Es muy importante recordar que el tanque de combustible se debe llenar solo en un 80%, para evitar posibles accidentes.

CAPITULO IV

PRUEBAS PARA LOS MOTORES DUAL GLP/GASOLINA Y ANALISIS DE RESULTADOS

Para evaluar el comportamiento de los motores a carburación e inyección electrónica, se realizan ensayos de potencia, torque y emisiones de gases en el CCICEV (Escuela Politécnica Nacional), en la ciudad de Quito, usando gasolina y GLP para su funcionamiento, bajo las normas NTE INEN 2203 Y 2204 (ANEXO E), siguiendo un protocolo establecido y desarrollado para dicha investigación (Anexo F). Para esto se utilizan los siguientes equipos:

- Dos equipos analizadores de gases marca MAHA MGT5 y NEXTECH (ANEXO G).
- Banco de pruebas o dinamómetro para motores, en el análisis de torque y potencia (ANEXO H).
- Motor de pruebas dual GLP/gasolina a carburación, marca Mitsubishi año 1996 (ANEXO I)
- Motor de pruebas dual GLP/gasolina a inyección electrónica, marca Lada año 2003 (ANEXO J).

La realización de las pruebas produce varios resultados que se los presenta en su totalidad en el ANEXO K.

Como se muestra en el ANEXO F, se evaluará los motores en dos pruebas, una aplicando la norma NTE INEN 2203 (Pruebas TIS) y otra de carga aplicada con la ayuda del banco de pruebas para motores.

La comparación del comportamiento de los motores, se realiza evaluando los resultados obtenidos en las emisiones de gases contaminantes (HC, %CO, %CO₂, O₂, NO_x y λ), el torque y la potencia del motor funcionando con gasolina y con GLP.

4.1 PRUEBAS REALIZADAS PARA EL MOTOR DUAL GLP/ GASOLINA A CARBURACIÓN

4.1.1 PRUEBAS DE EMISION DE GASES

La medición de gases de escape en el motor a carburación se lo hace usando gasolina y GLP para su funcionamiento, mediante varias pruebas y a diferentes velocidades como son:

- Marcha mínima o ralentí (1000 r.p.m.) y marcha de cruceo a revoluciones elevadas (2500 r.p.m.) conocidas con el nombre de pruebas TIS.
- Variables de: 1000, 1500, 2000, 2500 y 3000 r.p.m. con carga.

Los resultados obtenidos se presentan desde la tabla: 4.1 a la 4.6 y desde la figura: 4.1 a la 4.10. El análisis comparativo se presenta desde la tabla: 4.7 a la 4.17 y desde la figura: 4.11 a la 4.19.

Tabla 4.1 Datos promedio de las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Equipo MAHA MGT5).

PARÁMETRO	R.P.M.	
	Ralentí	Crucero
CO (%V)	1,20	1,47
CO ₂ (%V)	12,87	12,97
HC (ppm)	269,00	138,33
O ₂ (%V)	0,73	0,37
λ	0,99	0,97
CO corr	1,28	1,49
Temp. aceite °C	90,33	90,67
RPM	973,33	2503,33

[Elaboración propia]

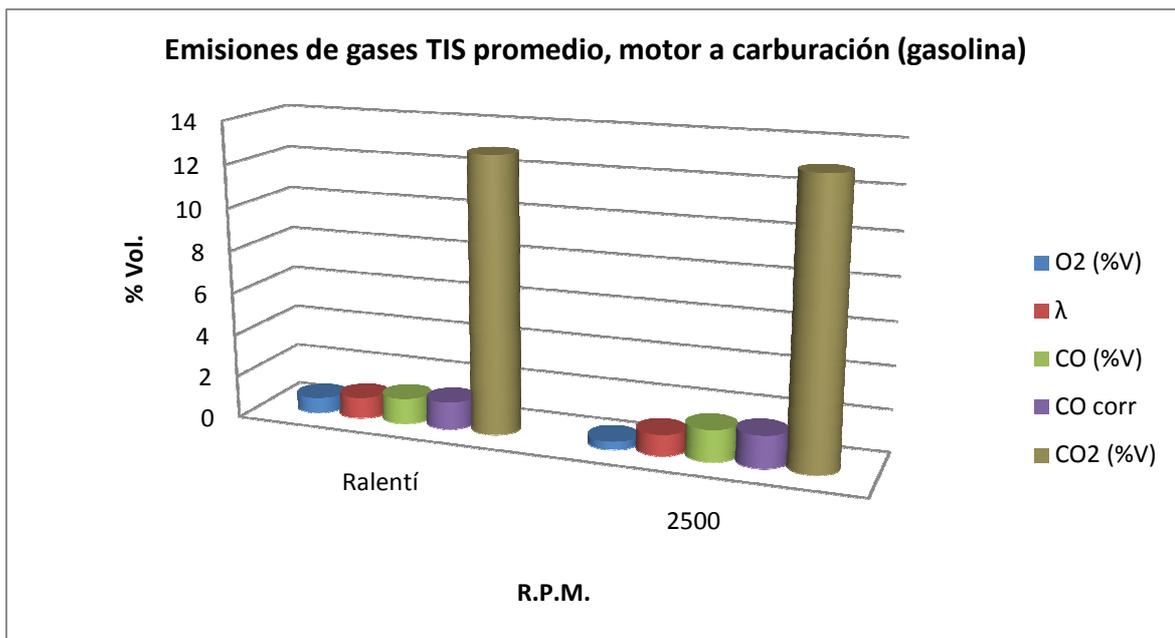


Figura 4.1 Emisión de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Pruebas TIS).

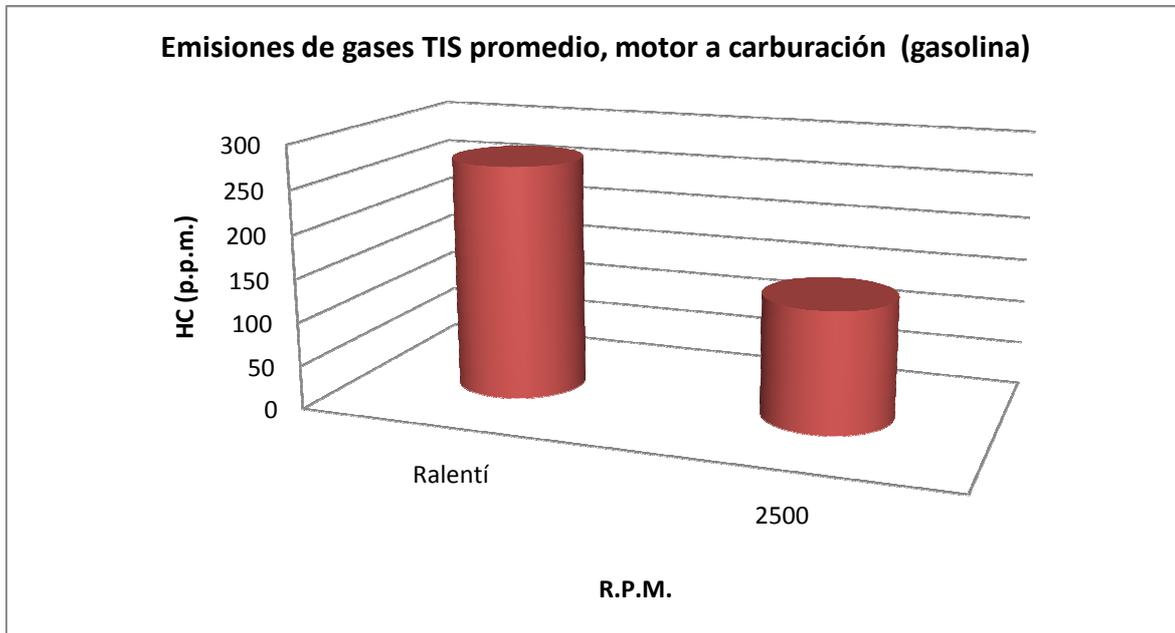


Figura 4.2 Emisión gases de HC en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (Pruebas TIS).

Tabla 4.2 Datos promedio de las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5).

PARÁMETRO	R.P.M.	
	Ralentí	Crucero
CO (%V)	0,07	1,71
CO ₂ (%V)	11,66	11,86
CO corr	0,08	1,76
HC (ppm)	316,00	178,80
O ₂ (%V)	3,13	0,44
λ	1,14	0,96
RPM	764,00	2512,00
Temp. aceite °C	80,40	81,20

[Elaboración propia]

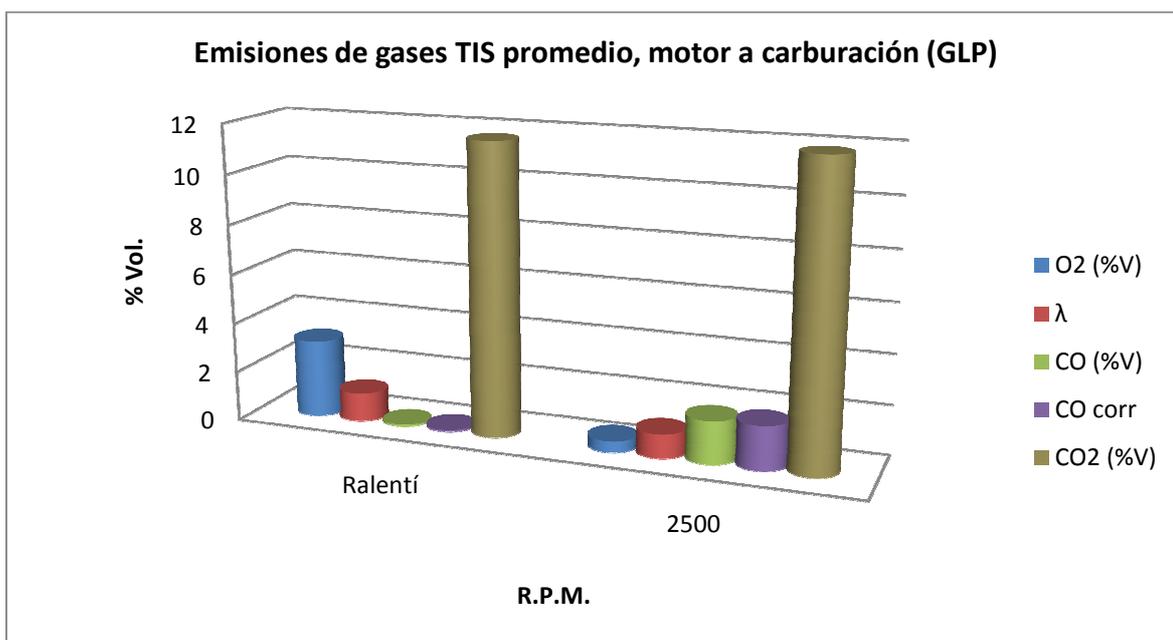


Figura 4.3 Emisión de gases, motor a carburador, utilizando GLP (Pruebas TIS).

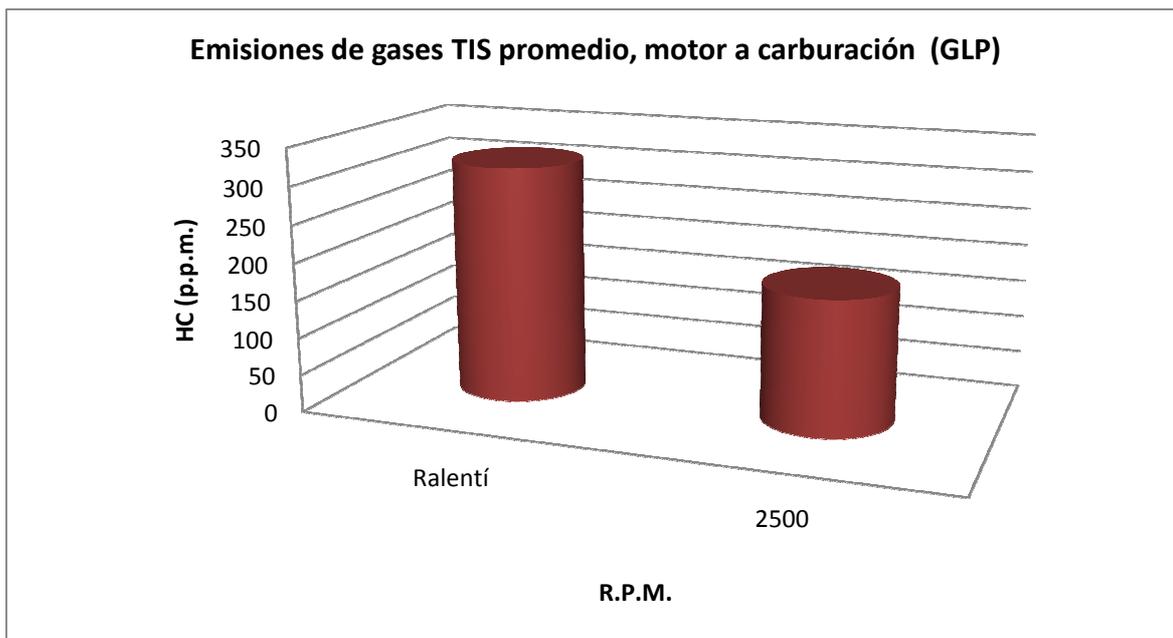


Figura 4.4 Emisiones gases de HC en el motor a carburador, utilizando GLP (Pruebas TIS).

Tabla 4.3 Datos promedio en las pruebas de análisis de gases, motor a carburador con velocidad variable, utilizando gasolina extra (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NO_x).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,84	0,78	1,03	1,13	1,32
CO ₂ (%V)	12,04	13,52	13,28	13,32	13,22
HC (ppm)	220,20	138,60	130,20	102,00	87,20
O ₂ (%V)	0,26	0,62	0,50	0,44	0,38
λ	0,92	1,00	1,00	0,98	0,97
CO corr	2,88	0,80	1,05	1,20	1,39
Temp. aceite °C	93,40	93,20	94,20	97,80	99,40
NO _x	372,20	672,60	546,40	399,60	286,20

[Elaboración propia]

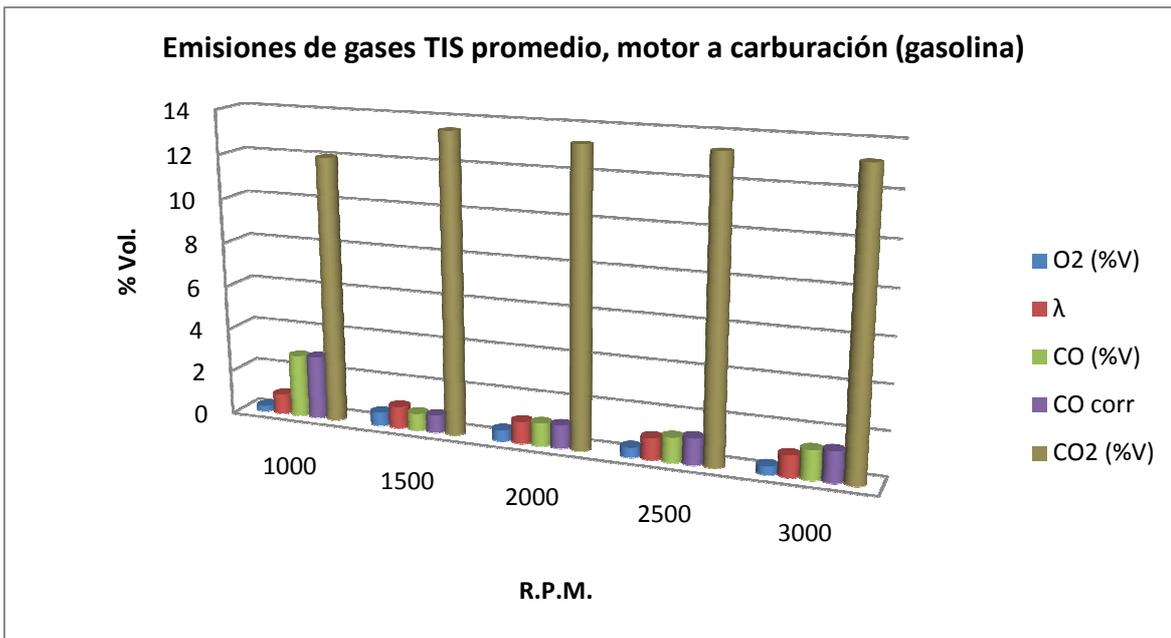


Figura 4.5 Emisiones de gases en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (velocidades variadas).

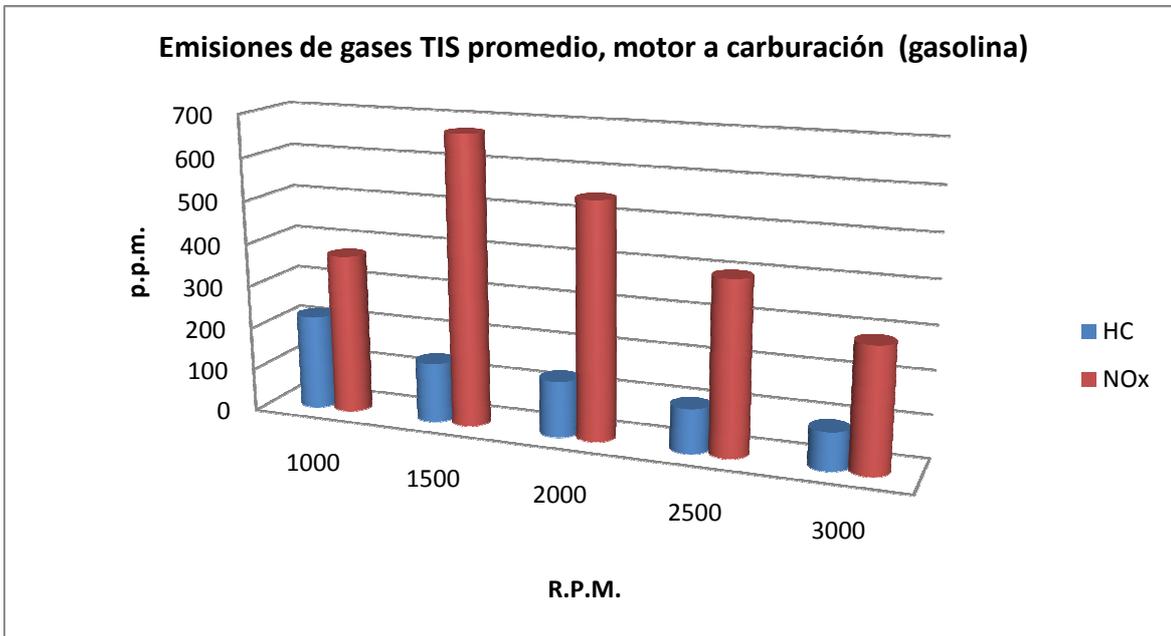


Figura 4.6 Emisiones de gases HC y NO_x en el motor a carburador, utilizando gasolina extra (velocidades variadas).

Tabla 4.4 Datos promedio en las pruebas de análisis de gases, motor a carburador con velocidad variable, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	1,95	2,19	2,30	2,42	2,45
CO ₂ (%V)	11,62	11,56	11,36	11,24	11,20
HC (ppm)	272,60	251,40	256,20	231,40	174,60
O ₂ (%V)	0,18	0,14	0,13	0,14	0,17
λ	0,82	0,93	0,92	0,92	0,92
CO corr	2,02	2,11	2,34	2,44	2,54
Temp. aceite °C	83,60	83,00	85,80	87,20	88,60
NOx	424,00	347,60	321,80	247,40	178,80

[Elaboración propia]

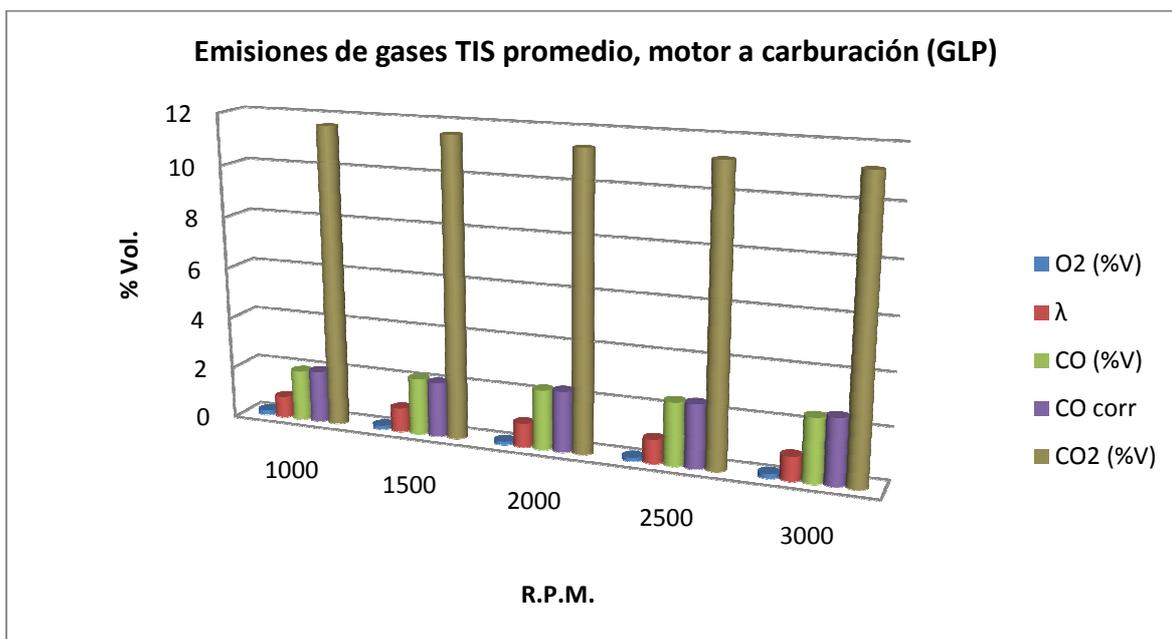


Figura 4.7 Emisiones de gases en el motor a carburador, utilizando GLP (velocidades variadas).

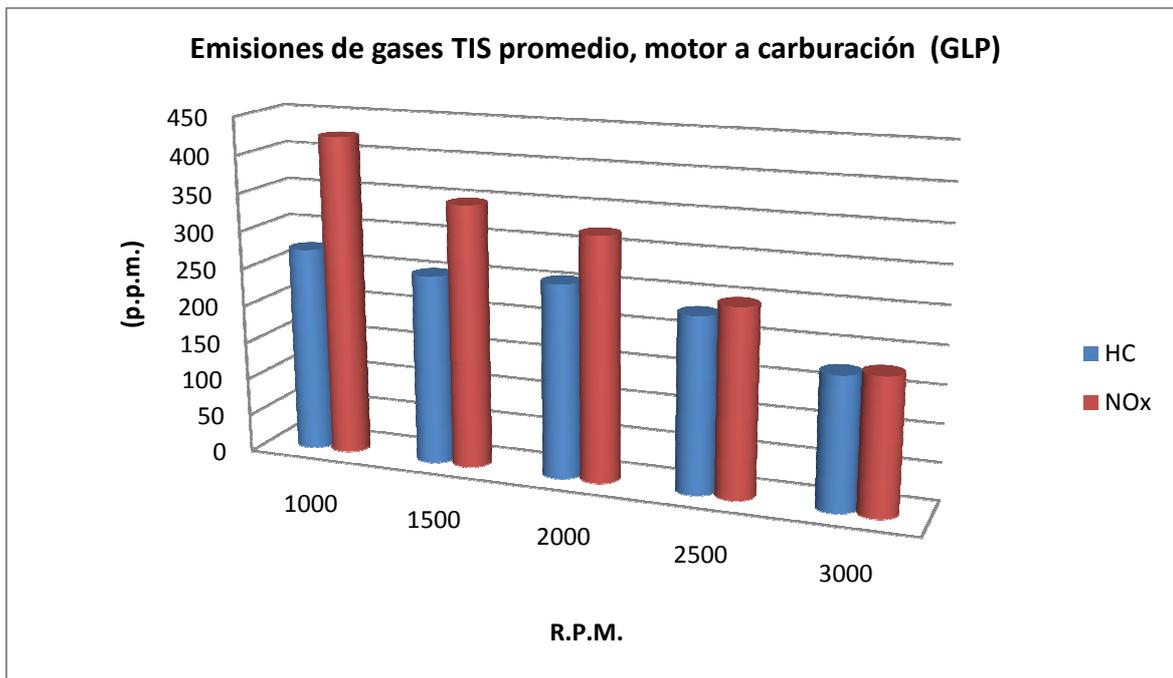


Figura 4.8 Emisiones de gases HC y NO_x en el motor a carburador, utilizando GLP (velocidades variadas).

4.1.2 PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

Para ésta prueba se siguen los pasos detallados en el ANEXO F, utilizando gasolina y GLP para el funcionamiento del motor. Los resultados se exponen a continuación:

Tabla 4.5 Datos promedio de las pruebas de torque y potencia en el motor a carburador, utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	49,40	40,90	35,20	24,10	12,60
Potencia (Kw)	5,06	6,30	7,32	6,26	3,76

[Elaboración propia]

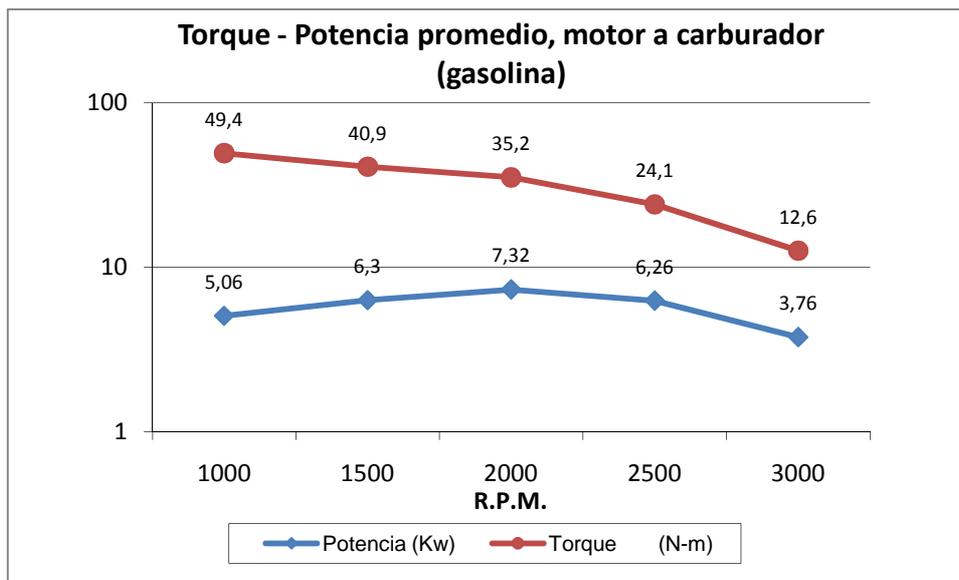


Figura 4.9 Torque – potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

Tabla 4.6 Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	47,50	40,50	33,40	21,40	8,10
Potencia (Kw)	4,88	6,32	6,96	5,52	2,54

[Elaboración propia]

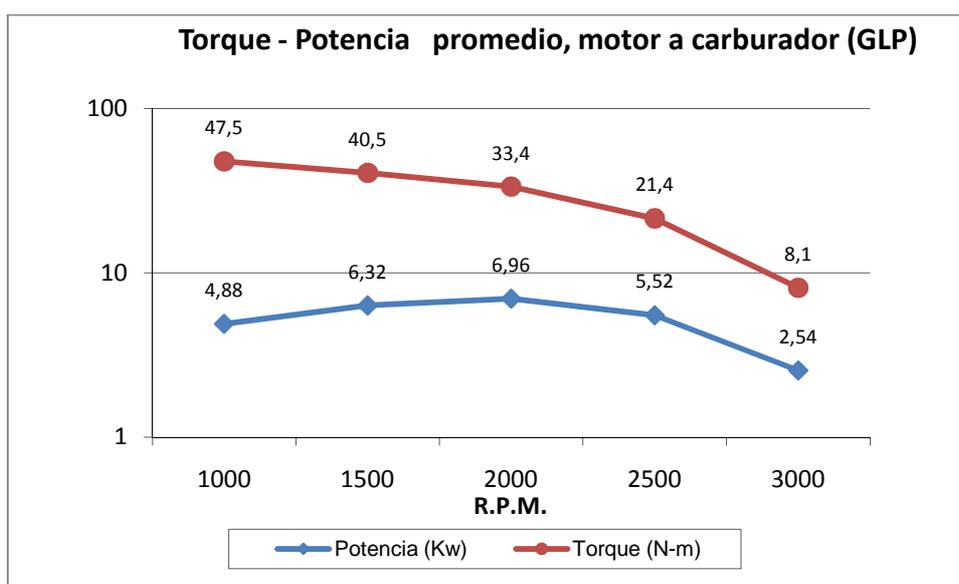


Figura 4.10 Torque – potencia en el motor a carburador usando combustible GLP.

4.1.3 ANALISIS DE RESULTADOS

4.1.3.1 Emisiones de gases obtenidos en las pruebas TIS

Análisis de hidrocarburos HC (p.p.m.)

Tabla 4.7 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	HC (Ralentí)	HC (Crucero)
GASOLINA EXTRA	269	138,33
GLP	316	178,80

[Elaboración propia]

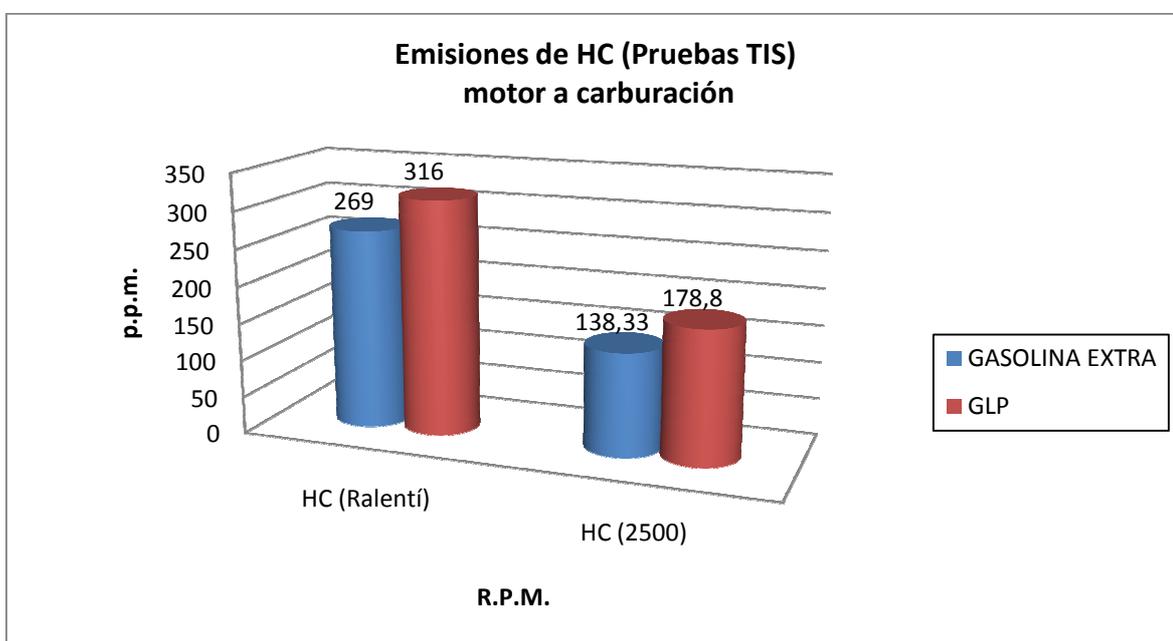


Figura 4.11 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando combustible gasolina o GLP (Pruebas TIS).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor con carburador, se aprecia en la Figura 4.11 una mayor emisión de HC cuando funciona con GLP, en ralentí aumenta 47 (17,5%) y a velocidad crucero 40,47 (29,26%). Como dato adicional se puede ver que las emisiones de HC, tanto para gasolina como para GLP, cumplen con lo establecido en la norma ecuatoriana NTE 2204 (ANEXO E).

Análisis de CO (%V):

Tabla 4.8 Emisión de %CO en el motor a carburación (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	CO (Ralenti)	CO (Crucero)
GASOLINA EXTRA	1,20	1,47
GLP	0,07	1,71

[Elaboración propia]

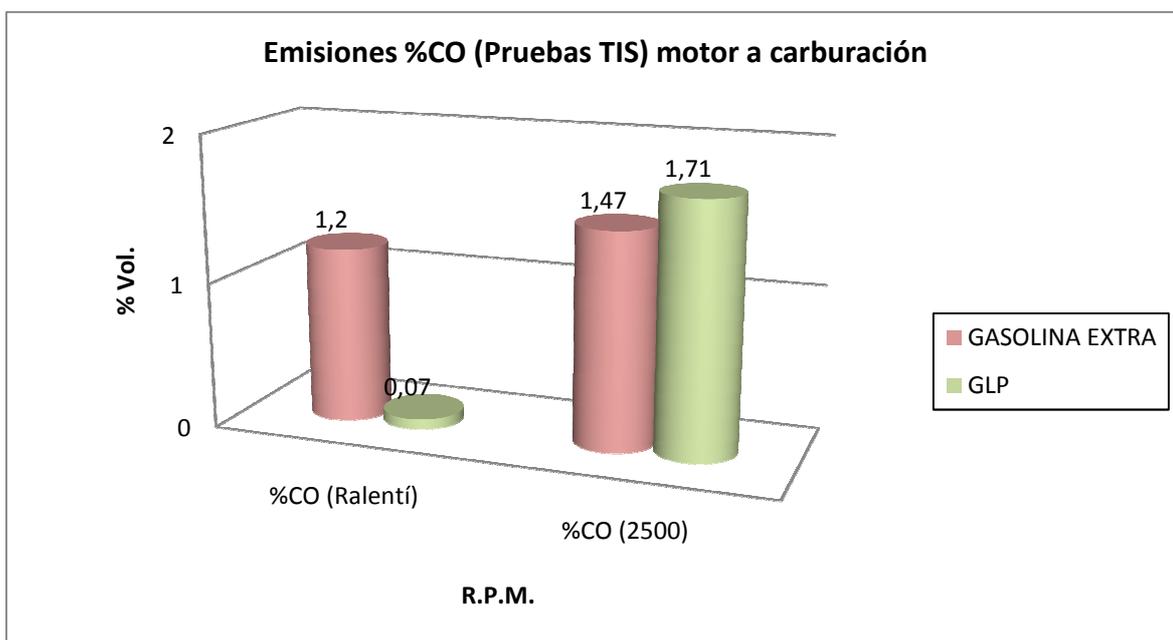


Figura 4.12 Emisión %CO en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (Pruebas TIS).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a carburador, se puede apreciar en la figura 4.12 que cuando el motor funciona con GLP, en ralenti la emisión de %CO es menor y disminuye 1,13 (94,16%), mientras que a velocidad crucero (2500 r.p.m.) la emisión de %CO es mayor y aumenta 0,24 (14,04%), Como dato adicional se puede ver que las emisiones de %CO también cumplen con lo establecido en la norma ecuatoriana NTE 2204 (ANEXO E).

Análisis de CO₂ (%V):

Tabla 4.9 Emisión de %CO₂ en el motor a carburación (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	%CO ₂ (Ralentí)	%CO ₂ (Crucero)
GASOLINA EXTRA	12,87	12,97
GLP	11,66	11,86

[Elaboración propia]

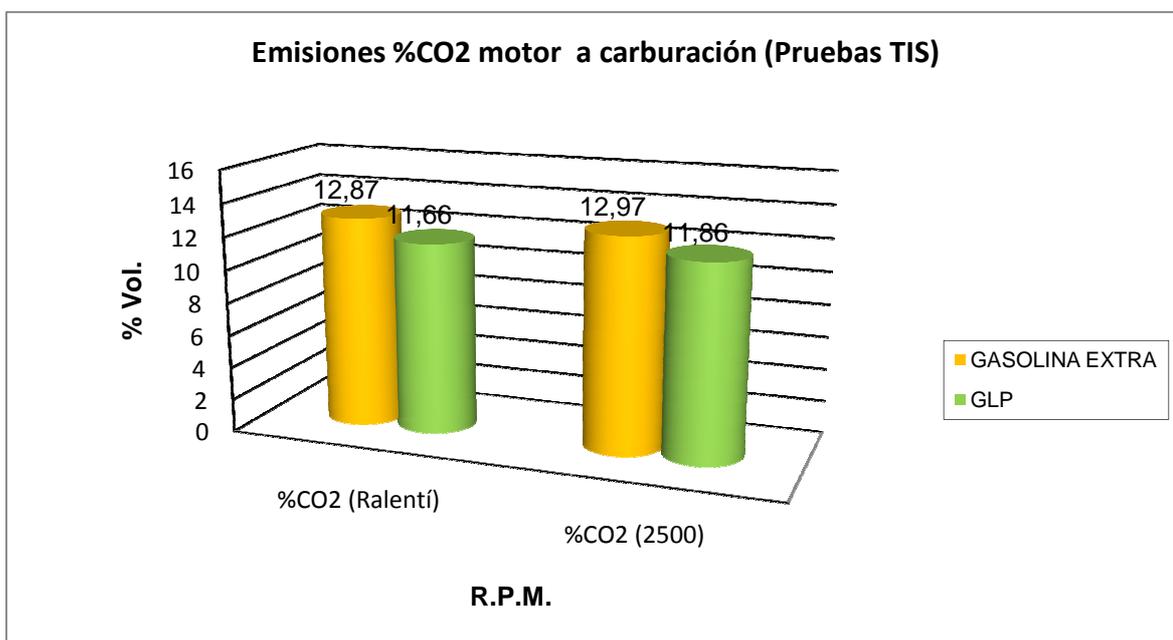


Figura 4.13 Emisión %CO₂ en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (Pruebas TIS).

Realizando una comparación y de acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a carburador, en la figura 4.13 se aprecia que cuando el motor funciona con GLP en ralentí las emisiones de %CO₂ son menores y bajan un valor de 1,21 (9.4%), de igual forma en marcha crucero el %CO₂ es menor y baja un valor de 1,11 (8,56%).

Análisis del factor lambda (λ):

El factor lambda o coeficiente de exceso de aire, se puede determinar dividiendo la relación aire/combustible con la que el motor está trabajando y la ideal con la que debería trabajar el motor para que la combustión sea completa

Esto quiere decir que el factor lambda es una representación numérica que indica la riqueza o pobreza de la mezcla aire/combustible. Se puede verificar la importancia del factor lambda en el consumo de combustible y las emisiones de gases en la tabla 4.10:

Tabla 4.10 Factor lambda.

Factor lambda (λ)	Causas
=1	El volumen de aire aspirado corresponde con el teórico necesario.
<1	Falta de aire (mezcla rica).
>1	Exceso de aire (mezcla pobre).
>1.3	Mezcla ya no es inflamable.
0,9 – 1,1	Valores de lambda más adecuados.

Tabla 4.11 Factor lambda λ en el motor a carburación (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	λ (Ralentí)	λ (Crucero)
GASOLINA EXTRA	0,99	0,97
GLP	1,14	0,96

[Elaboración propia]

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a carburador, se puede observar en la tabla anterior que el valor de λ con el uso de GLP en ralentí aumenta 0.15 (15%), mientras que a velocidad crucero aumenta 0.01 (1%). Según la tabla 4.10, cuando el motor funciona con gasolina λ es el más adecuado, mientras que cuando funciona con GLP en ralentí λ indica un exceso de aire en la mezcla.

4.1.3.2 Emisión de gases obtenidos en marcha variable

Análisis de hidrocarburos HC (ppm):

Tabla 4.12 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
HC (ppm) (gasolina)	220,20	138,60	130,20	102,00	87,20
HC (ppm) (GLP)	272,60	251,40	256,20	231,40	174,60

[Elaboración propia]

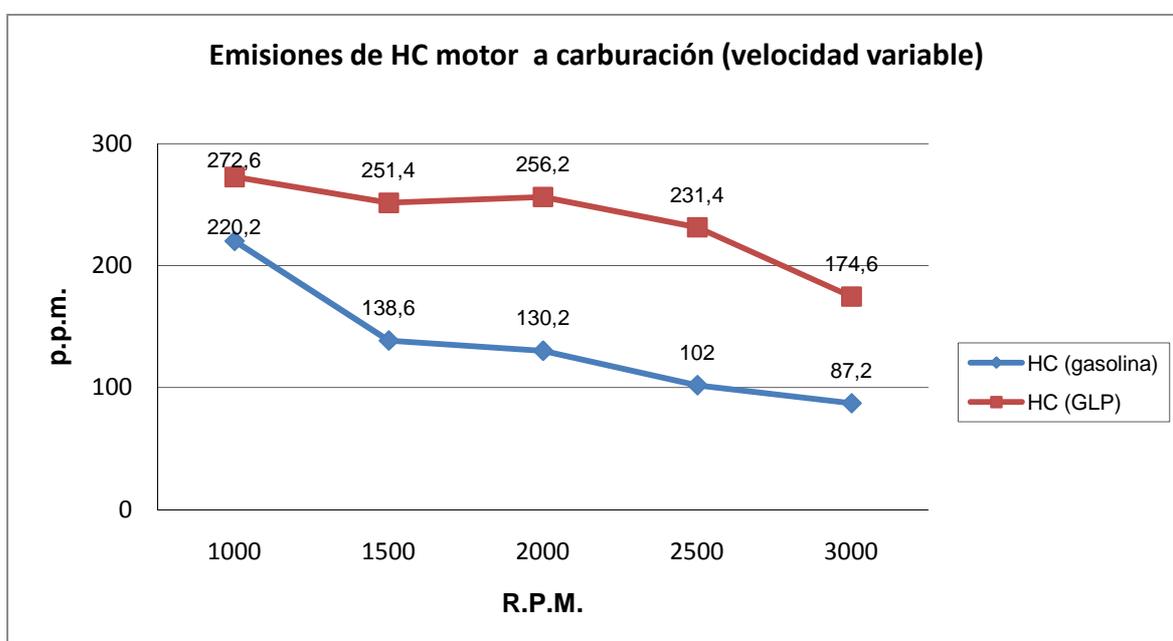


Figura 4.14 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).

De acuerdo a los datos obtenidos para la emisión de gases en el motor a carburador, se puede apreciar en la figura 4.14 una mayor emisión de HC cuando el motor funciona con GLP en comparación a cuando funciona con gasolina, esta mayor emisión produce un aumento de 52,4 (23,79%) en 1000 r.p.m., 112,8 (81,38%) en 1500 r.p.m., 126 (96,77%) en 2000 r.p.m., 129,4 (127%) en 2500 r.p.m. y 87,4 (100,23%) en 3000 r.p.m. En promedio el aumento es de 74,9%.

Análisis de CO (%V):

Tabla 4.13 Emisión %CO en el motor a carburación (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V) (gasolina)	2,84	0,78	1,03	1,13	1,32
CO (%V) (GLP)	1,95	2,19	2,30	2,42	2,45

[Elaboración propia]

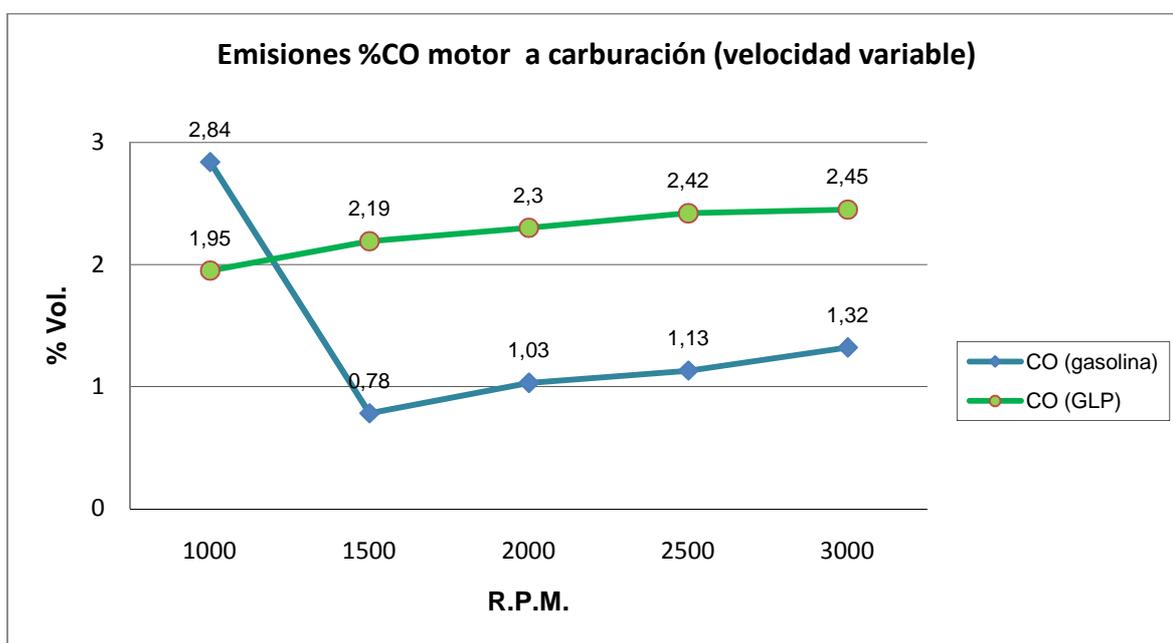


Figura 4.15 Emisión de %CO en el motor a carburación usando combustible gasolina o GLP (velocidad variable).

Haciendo una comparación y de acuerdo a los datos obtenidos en las pruebas del motor a carburador, se puede apreciar en la figura 4,15 que cuando el motor funciona con GLP, a 1000 r.p.m. existe una menor emisión de %CO y baja 0,89 (31,34%), pero en general la emisión de %CO es mayor y sube 0,78 (180,77%) en 1500 r.p.m., 1,27 (123,3%) en 2000 r.p.m., 1,29 (114,16 %) en 2500 r.p.m. y 1,13 (85,6%) en 3000 r.p.m. En promedio existe un aumento de 59,3%.

Análisis de CO₂ (%V):

Tabla 4.14 Emisión %CO₂ en el motor a carburación (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO ₂ (%V) (gasolina)	12,04	13,52	13,28	13,32	13,22
CO ₂ (%V) (GLP)	11,62	11,56	11,36	11,24	11,20

[Elaboración propia]

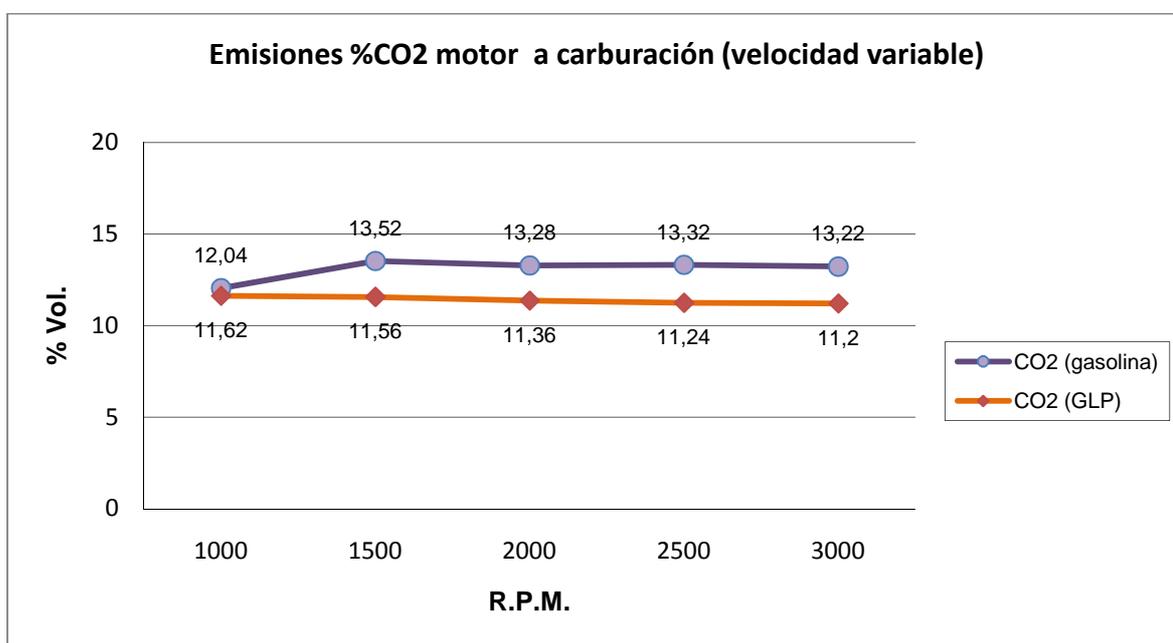


Figura 4.16 Emisión de %CO₂ en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).

En la figura 4.16 se puede apreciar que cuando el motor funciona con GLP, hay tendencia a una menor emisión de %CO₂ mientras aumenta la velocidad y baja el %CO un valor de 0,42 (3,5%) en 1000 r.p.m., 1,96 (14,49 %) en 1500 r.p.m., 1,92 (14,46 %) en 2000 r.p.m., 2,08 (15,6%) en 2500 r.p.m. y 2,02 (15,28 %) en 3000 r.p.m. En promedio existe una disminución de 12,85%.

Análisis de emisión de NO_x:

Tabla 4.15 Emisión de NO_x en el motor a carburación (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
NO _x (gasolina)	372,20	672,60	546,40	399,60	286,20
NO _x (GLP)	424,00	347,60	321,80	247,40	178,80

[Elaboración propia]

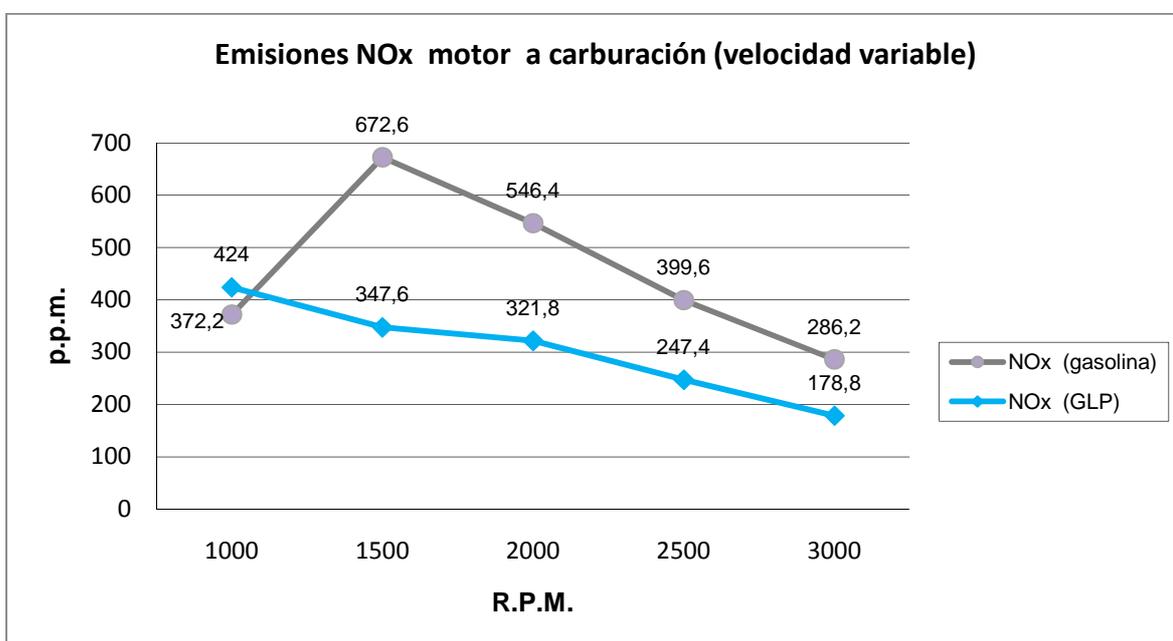


Figura 4.17 Emisión de NO_x en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a carburador se puede apreciar en la figura 4.20, que cuando el motor funciona con GLP, el NO_x es mayor y aumenta 51,8 (13,9%) en 1000 r.p.m., pero en las demás velocidades la emisión de NO_x es menor y baja 325 (48,32%) en 1500 r.p.m., 224,6 (41,11) 2000 r.p.m., 152,2 (38,08%) en 2500 r.p.m. y 107,4 (37,53%) en 3000 r.p.m. En promedio el NO_x disminuye un 33,3%

4.1.3.3 Análisis de torque y potencia obtenidos en marcha variable

Análisis de torque:

Tabla 4.16 Datos de las pruebas de torque en el motor a carburador utilizando gasolina extra o GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m) (gasolina)	49,40	40,90	35,20	24,10	12,60
Torque (N-m) (GLP)	47,50	40,50	33,40	21,40	8,10

[Elaboración propia]

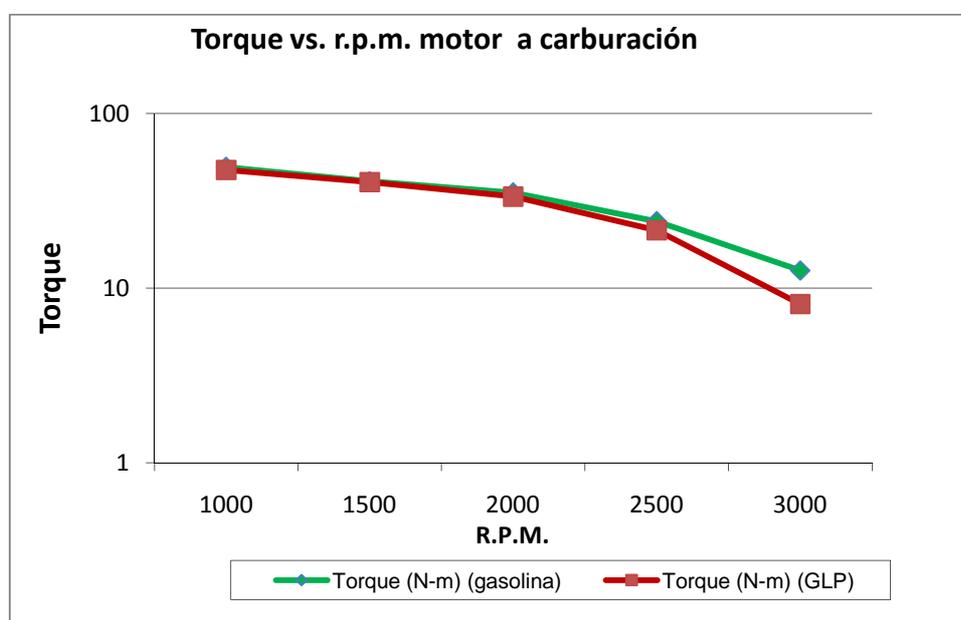


Figura 4.18 Torque en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).

De acuerdo a los datos obtenidos en el motor a carburador, en la figura 4.18 se observa una tendencia a la disminución del torque mientras aumenta la velocidad a menor carga, esta disminución en los puntos de medición es de 1,9 (3,85%) en 1000 r.p.m., 0,4 (0,99%) en 1500 r.p.m. 1,8 (5,11%) en 2000 r.p.m., 2,7 (11,2%) en 2500 r.p.m. y 4,5 (35,7%) en 3000 r.p.m. En promedio existe una disminución del 7%.

Análisis de potencia:

Tabla 4.17 Datos de las pruebas de potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra o GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Potencia (Kw) (gasolina)	5,06	6,30	7,32	6,26	3,76
Potencia (Kw) (GLP)	4,88	6,32	6,96	5,52	2,54

[Elaboración propia]

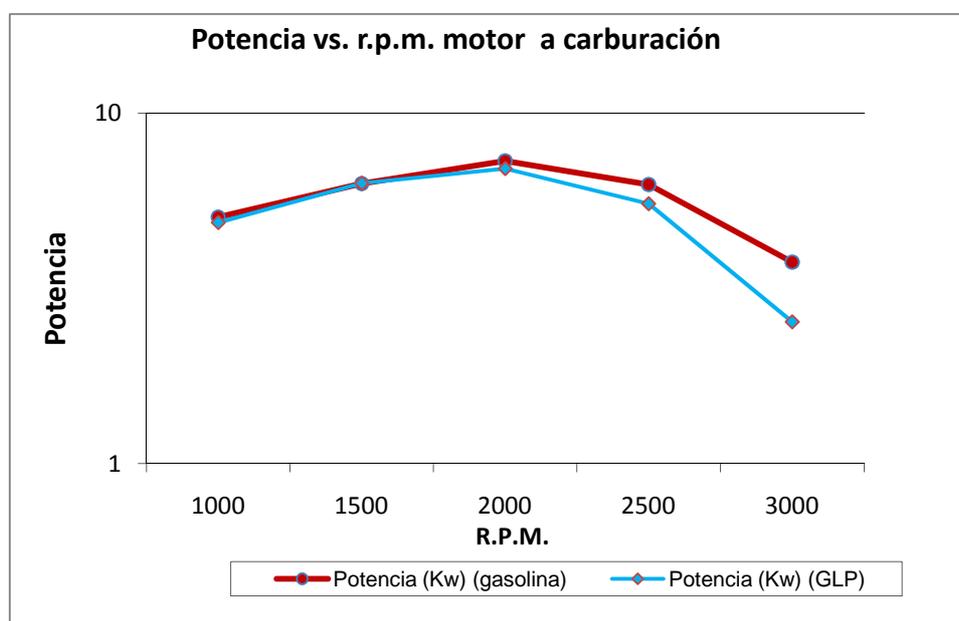


Figura 4.19 Potencia en el motor a carburación utilizando gasolina o GLP (velocidad variable).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, se puede apreciar en la Figura anterior una pérdida de potencia mientras aumenta la velocidad a menor carga. Con GLP, en los 1500 hay un pequeño aumento de potencia de 0,02 (0,3%), pero en general existe una pérdida de potencia de 0,18 (3,56%) en 1000 r.p.m., 0,36 (4,92%) en 2000 r.p.m., 0,74 (11,82%) en 2500 r.p.m. y 1,22 (32, 45%) en 3000 r.p.m. En promedio existe una pérdida de potencia de 8,6%.

4.2 PRUEBAS REALIZADAS PARA EL MOTOR DUAL GLP/ GASOLINA A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

4.2.1 PRUEBAS DE EMISION DE GASES

De igual forma para la medición de gases de escape en el motor a inyección electrónica se lo hace mediante varias pruebas, usando gasolina y GLP para su funcionamiento. Esto se realiza a varias velocidades como son:

- Marcha mínima o ralentí (1000 r.p.m.) y marcha de cruce a revoluciones elevadas (2500 r.p.m.) conocidas con el nombre de pruebas TIS.
- Variables de: 1000, 1500, 2000, 2500 r.p.m. con carga.

Los resultados obtenidos se presentan desde la tabla: 4.18 a la 4.23 y desde la figura: 4.20 a la 4.28. El análisis comparativo se presenta desde la tabla: 4.24 a la 4.33 y desde la figura: 4.29 a la 4.37.

Tabla 4.18 Datos promedio de las pruebas TIS, análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (Equipo MAHA MGT5).

PARÁMETRO	R.P.M.	
	Ralentí	Crucero
CO (%V)	0,000	0,010
CO ₂ (%V)	14,400	14,870
HC (ppm)	17,000	10,000
O ₂ (%V)	8,720	5,010
λ	1,092	0,836
CO corr	0,350	0,340
Temp. aceite °C	92,000	93,000
RPM	903,000	2510,000

[Elaboración propia]

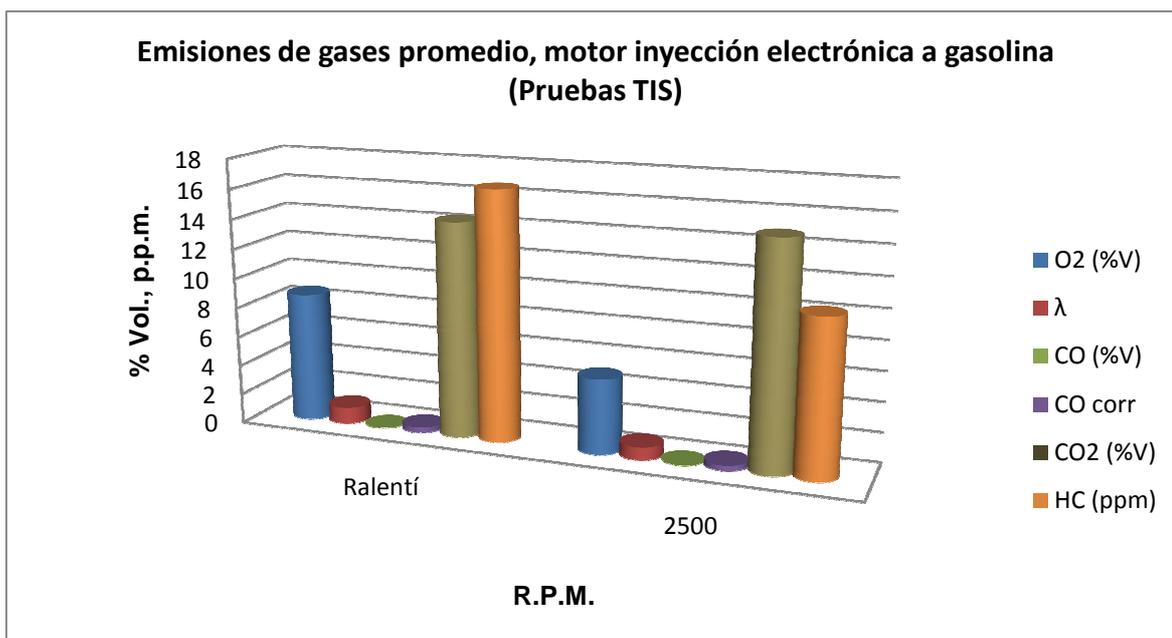


Figura 4.20 Emisiones de gases promedio en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (Pruebas TIS).

Tabla 4.19 Datos promedio de las pruebas TIS, análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5).

PARÁMETRO	R.P.M.	
	Ralentí	2500
CO (%V)	0,454	1,218
CO ₂ (%V)	12,460	12,140
CO corr	0,490	1,550
HC (ppm)	210,400	264,400
O ₂ (%V)	1,002	0,028
λ	1,026	0,918
RPM	1152,000	2524,000
Temp. aceite °C	95,800	95,600

[Elaboración propia]

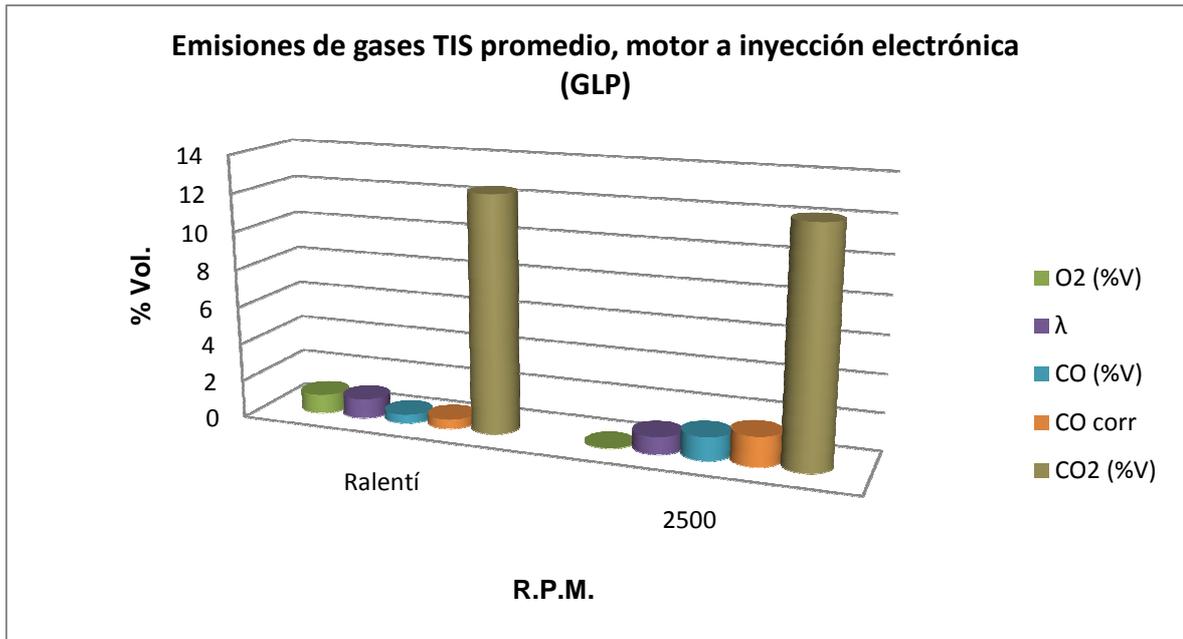


Figura 4.21 Emisiones de gases promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Pruebas TIS).

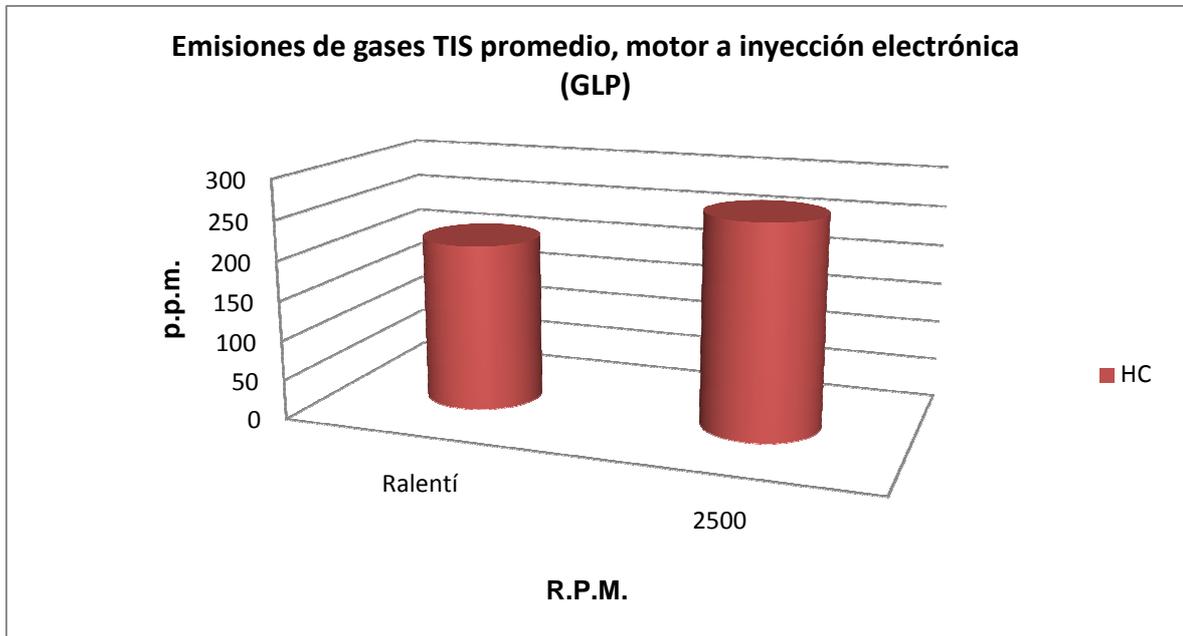


Figura 4.22 Emisiones de gases HC promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (Pruebas TIS).

Tabla 4.20 Datos promedio de las pruebas de análisis de gases, motor a inyección electrónica con velocidad variable, utilizando gasolina super (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,050	0,030	0,010	0,010
CO ₂ (%V)	14,980	14,920	14,820	14,760
HC (ppm)	13,000	12,000	12,000	12,000
O ₂ (%V)	0,030	0,000	0,020	0,000
λ	0,999	0,998	1,000	0,999
CO corr	0,050	0,020	0,010	0,000
Temp. aceite °C	95,000	95,000	96,000	97,000
NOx	13,000	15,000	9,000	8,000

[Elaboración propia]

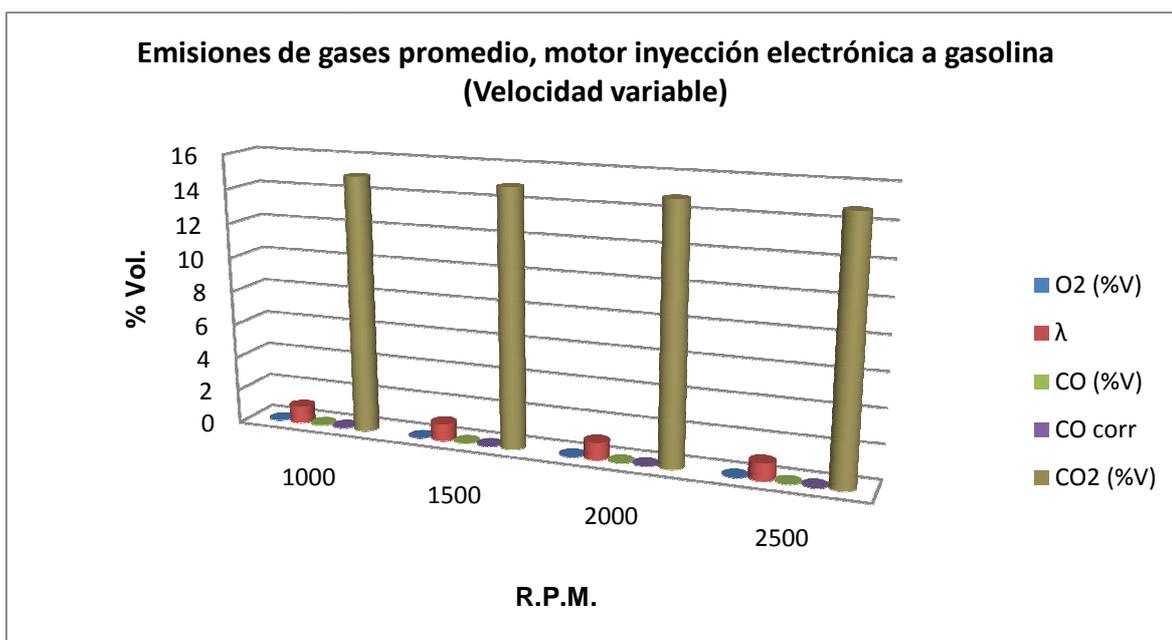


Figura 4.23 Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (velocidad variable).

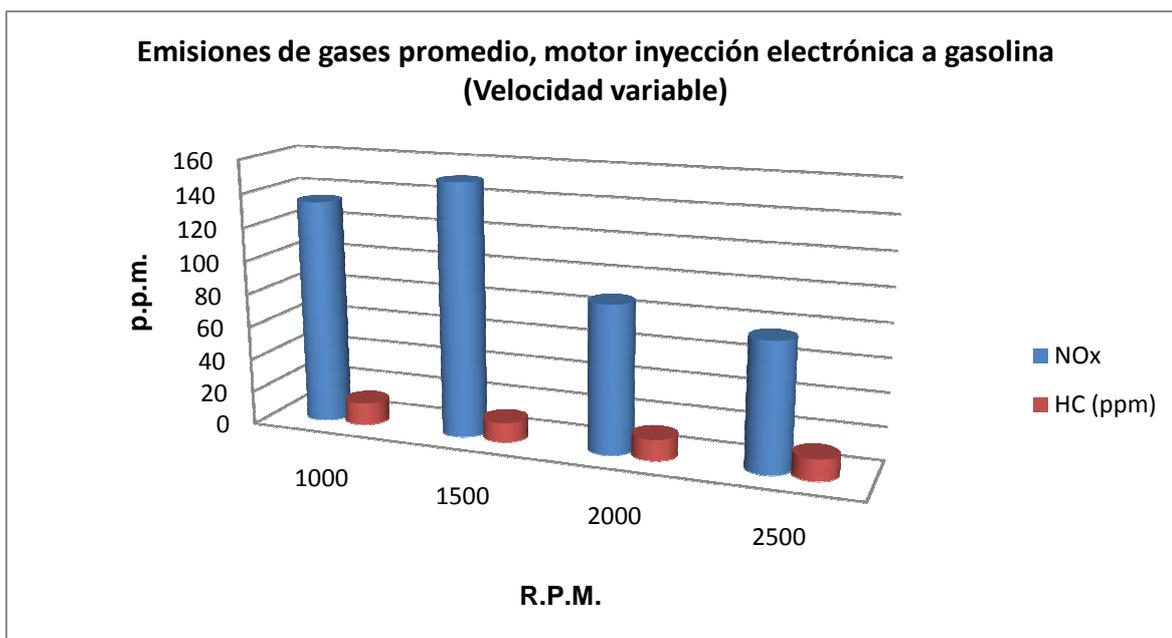


Figura 4.24 Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super (velocidad variable).

Tabla 4.21 Datos promedio de las pruebas análisis de gases, motor a inyección electrónica con velocidad variable, utilizando GLP (Equipo MAHA MGT5 y NEXTECH para NOx).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	1,890	1,800	1,610	2,170
CO ₂ (%V)	11,660	11,880	12,080	11,540
HC (ppm)	483,000	430,000	395,000	315,000
O ₂ (%V)	0,060	0,020	0,010	0,010
λ	0,924	0,928	0,932	0,931
CO corr	1,940	1,750	1,680	2,200
Temp. aceite °C	95,000	96,000	96,000	97,000
NOx	4,000	1,000	1,000	0,000

[Elaboración propia]

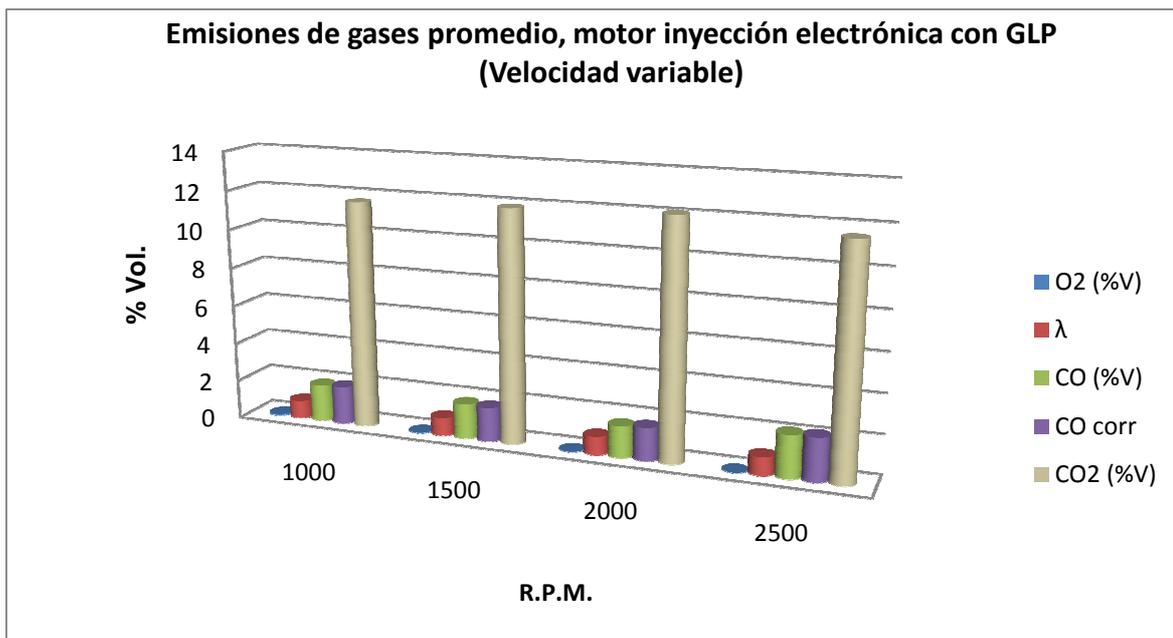


Figura 4.25 Emisiones de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP (velocidad variable).

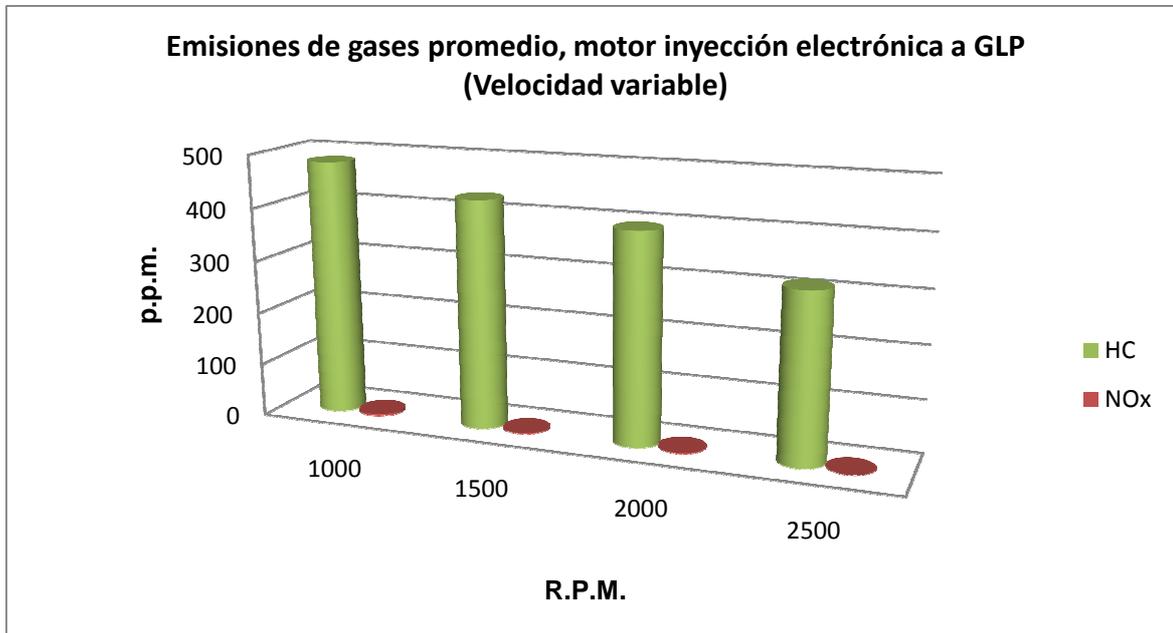


Figura 4.26 Emisiones de gases HC y NO_x (velocidades variadas) promedio en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

4.2.2 PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

En esta prueba se siguen los pasos detallados en el ANEXO F, utilizando gasolina y GLP para el funcionamiento del motor, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.22 Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,30	30,00	19,50	7,80
Potencia (Kw)	4,70	5,70	4,90	2,50

[Elaboración propia]

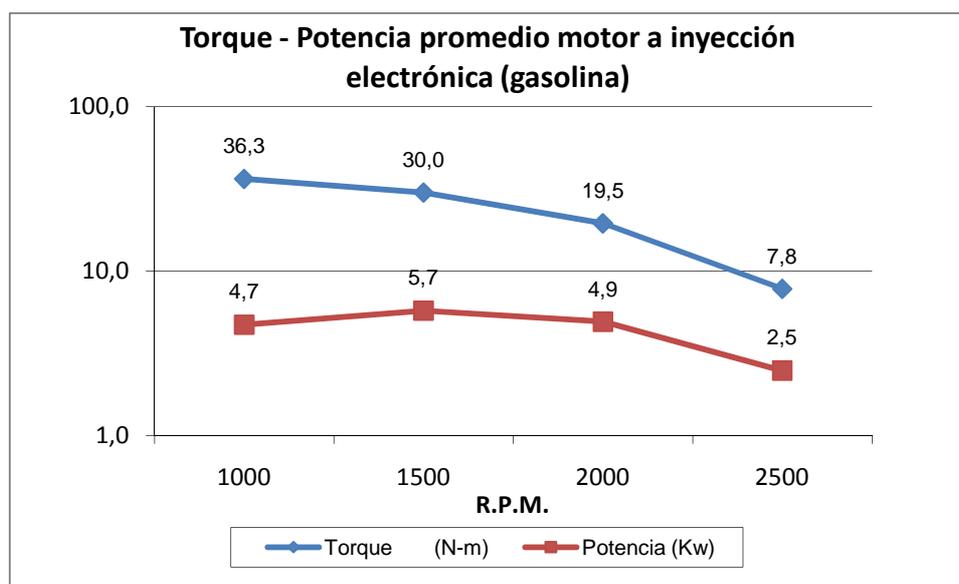


Figura 4.27 Torque – potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

Tabla 4.23 Datos promedio de las pruebas de análisis torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,80	25,70	17,20	7,40
Potencia (Kw)	4,64	4,82	4,32	2,32

[Elaboración propia]

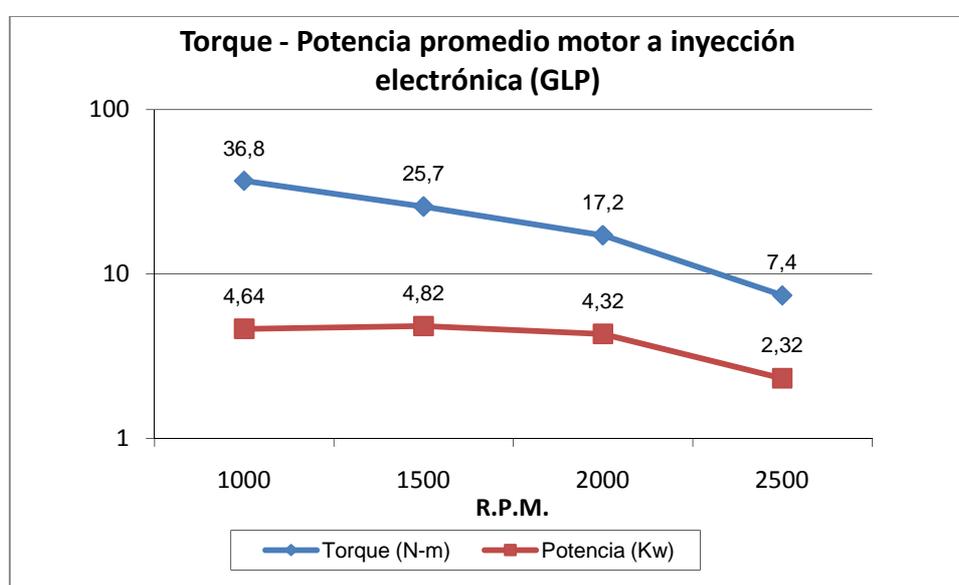


Figura 4.28 Torque – potencia en el motor a inyección electrónica usando GLP.

4.2.3 ANALISIS DE RESULTADOS

4.2.3.1 Emisiones de gases obtenidos en las pruebas TIS

Análisis de hidrocarburos HC:

Tabla 4.24 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	R.P.M.	
	HC (Ralentí)	HC (Crucero)
GASOLINA SUPER	17,00	10,00
GLP	210,40	264,40

[Elaboración propia]

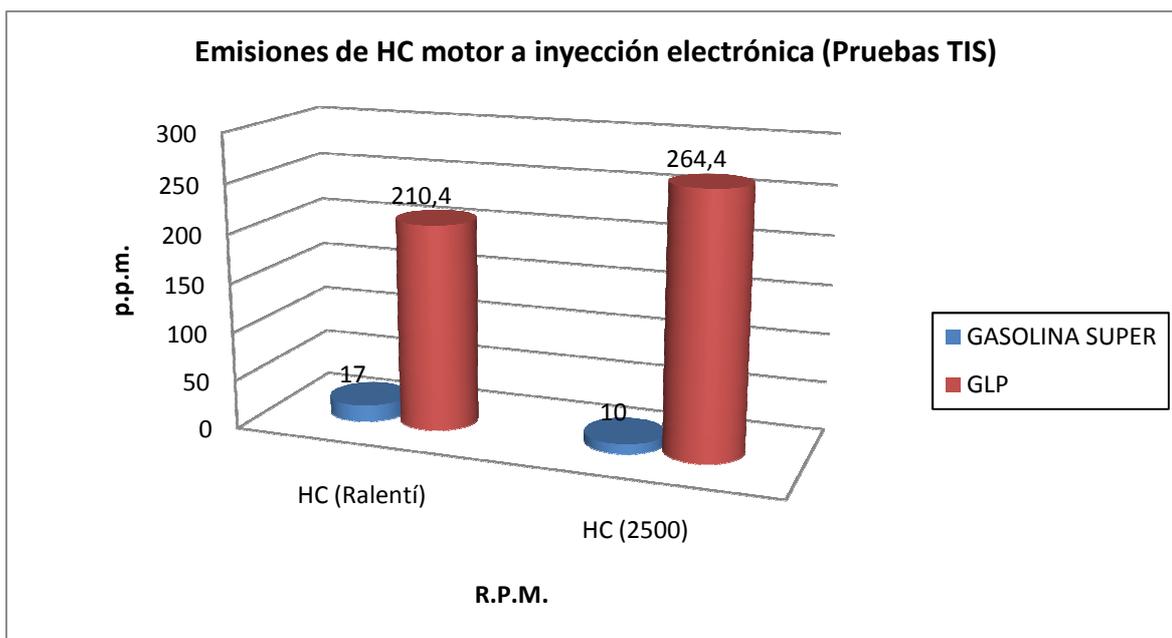


Figura 4.29 Comparación de la emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (Pruebas TIS).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en el gráfico anterior se puede apreciar que con GLP hay un aumento brusco de HC, en ralentí es 193,4 ppm (1137,65%) y en marcha cruceo 254,4 ppm (2544%). Como dato adicional se observa que solo el motor que funciona con gasolina cumple con lo establecido en la norma ecuatoriana NTE INEN 2204 (ANEXO E).

Análisis de CO (%V):

Tabla 4.25 Emisión de %CO en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	R.P.M.	
	%CO (Ralentí)	%CO (Cruceo)
GASOLINA SUPER	0,000	0,010
GLP	0,454	1,218

[Elaboración propia]

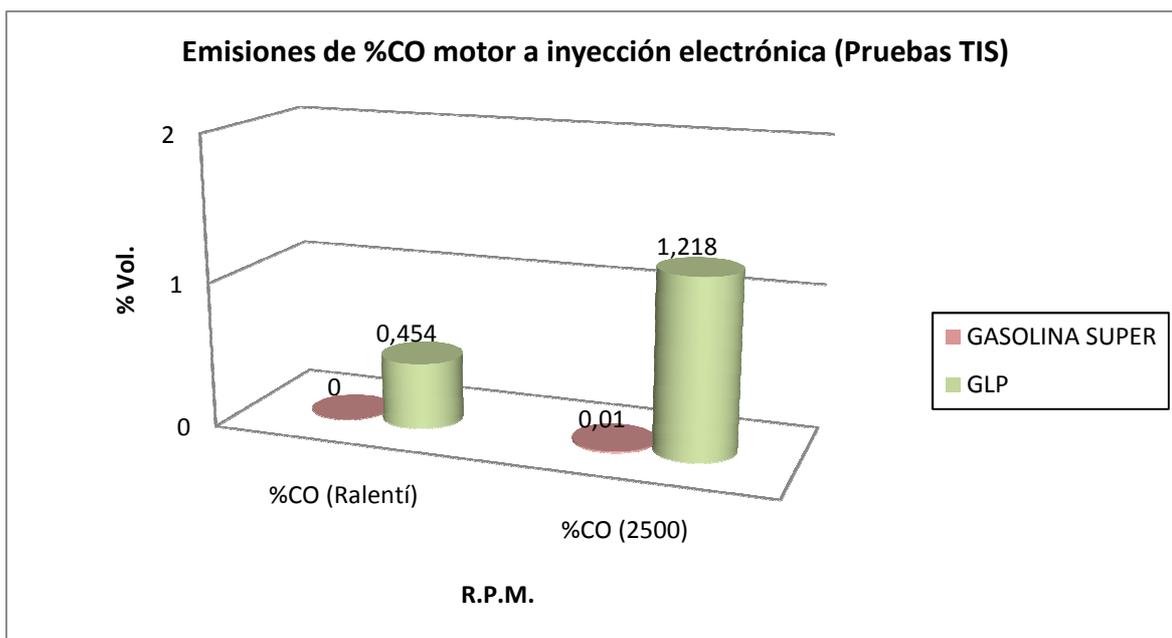


Figura 4.30 Comparación emisión de %CO en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (Pruebas TIS).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en la Figura anterior se puede apreciar que con GLP, las emisiones de %CO son mayores y suben 0,454 en ralentí y 1,208 en marcha cruceo. Como dato adicional se puede ver que solo el motor que funciona con gasolina cumple con lo establecido en la norma ecuatoriana, mientras que cuando funciona con GLP, solo cumple para marcha ralentí.

Análisis de CO₂ (%V):

Tabla 4.26 Emisión de %CO₂ en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	R.P.M.	
	%CO ₂ (Ralentí)	%CO ₂ (Cruceo)
GASOLINA SUPER	14,40	14,87
GLP	12,46	12,14

[Elaboración propia]

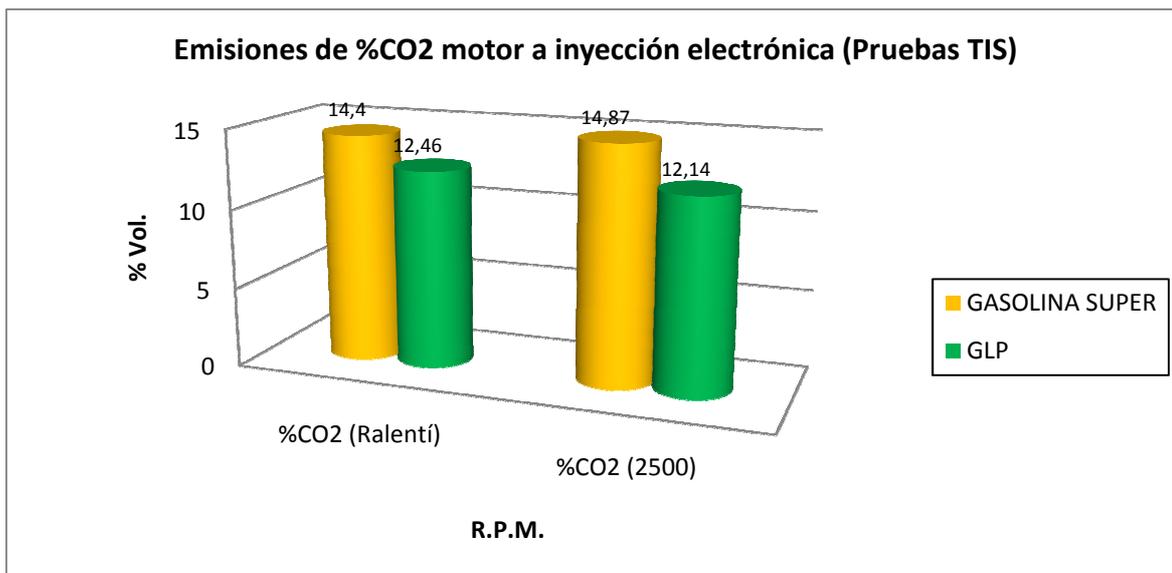


Figura 4.31 Emisión %CO₂ en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (marcha mínima).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en el gráfico anterior se puede apreciar que con GLP las emisiones de %CO₂ son menores y disminuyen en comparación a cuando funcionan con gasolina extra, esta disminución es 1,94 (13,47%) en ralentí y 2,73 (18,36%) en marcha crucero.

Análisis del factor lambda (λ):

Tabla 4.27 Factor lambda λ en el motor a inyección electrónica (Pruebas TIS).

COMBUSTIBLE	λ (Ralentí)	λ (Crucero)
GASOLINA SUPER	1,092	0,836
GLP	1,026	0,918

[Elaboración propia]

Se aprecia en la tabla anterior de acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, que con GLP el valor de λ en ralentí disminuye 0,066 (6,04%), mientras a velocidad crucero aumenta 0,082 (9,8%). Según la tabla 4.10 el valor de λ (Ralentí) con el uso de gasolina o GLP es el más adecuado; mientras que λ (crucero) con el uso de gasolina la mezcla es rica y con GLP el factor lambda es el más adecuado.

4.2.3.2 Emisión de gases obtenidos en marcha variable

Análisis de hidrocarburos HC:

Tabla 4.28 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
HC (ppm) (gasolina)	13	12	12	12
HC (ppm) (GLP)	483	430	395	315

[Elaboración propia]

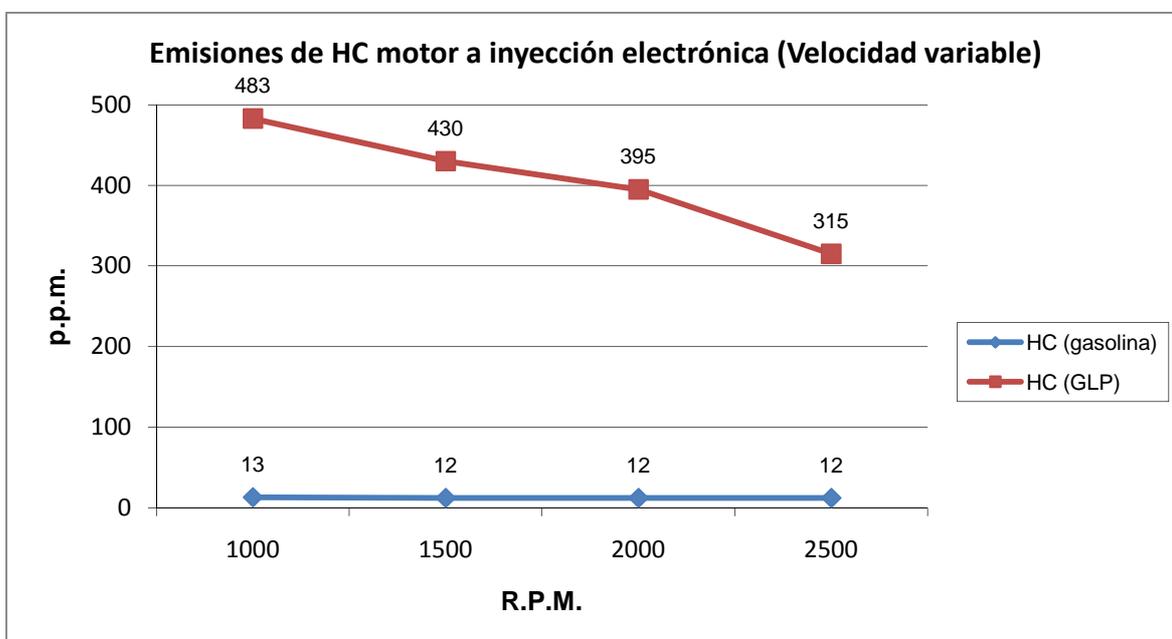


Figura 4.32 Emisión de hidrocarburos HC en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor de inyección electrónica, en la Figura 4.32 se aprecia que cuando funciona con gasolina, la emisión de HC es baja y estable, mientras que cuando funciona con GLP hay una emisión mayor de HC que tiende a ser menor con el aumento de la velocidad y produce un incremento que es variado de acuerdo a la velocidad, pero en promedio es 393,5 ppm (3279,2%).

Análisis de CO (%V):

Tabla 4.29 Emisión %CO en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V) (gasolina)	0,05	0,03	0,01	0,01
CO (%V) (GLP)	1,89	1,80	1,61	2,17

[Elaboración propia]

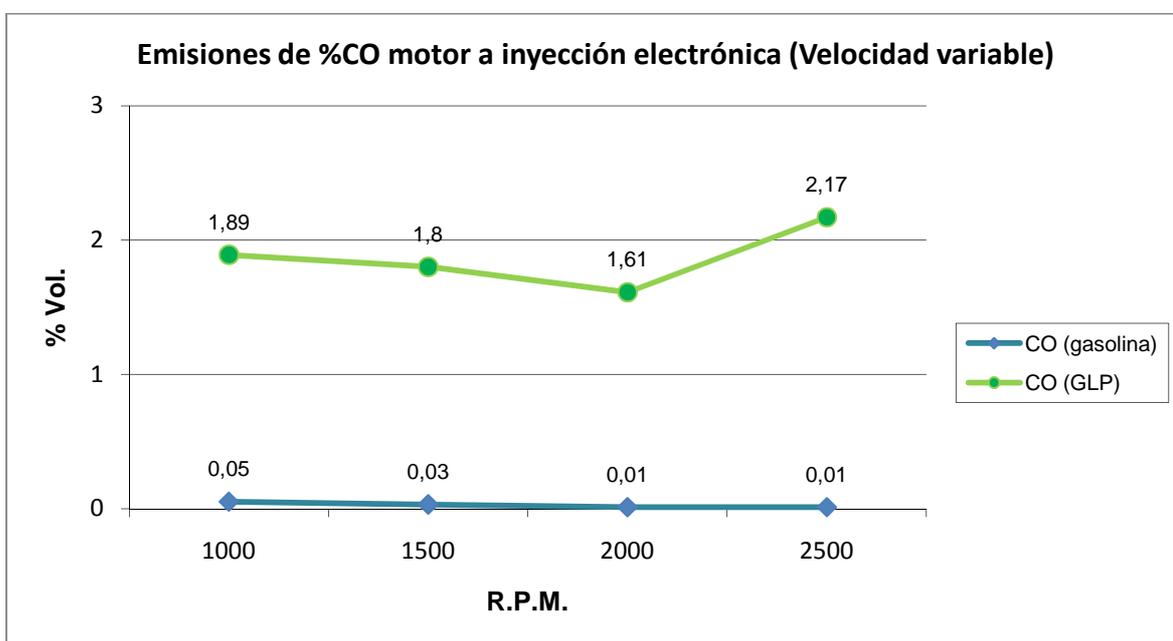


Figura 4.33 Emisión de %CO en el motor a inyección electrónica gasolina o GLP (velocidad variable).

Haciendo un análisis comparativo de acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en la Figura 4.33 se puede apreciar que con GLP hay una mayor emisión de %CO que produce una subida de 1,80 en 1000 r.p.m., 1,77 en 1500 r.p.m., 1,60 en 2000 r.p.m., como su punto mas bajo y 2,16 a 2500 r.p.m. como su punto más alto. En promedio el %CO sube un valor de 1,84 (7360%).

Análisis de % CO₂:

Tabla 4.30 Emisión %CO₂ en el motor a inyección electrónica (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO ₂ (%V) (gasolina)	14,98	14,92	14,82	14,76
CO ₂ (%V) (GLP)	11,66	11,88	12,08	11,54

[Elaboración propia]

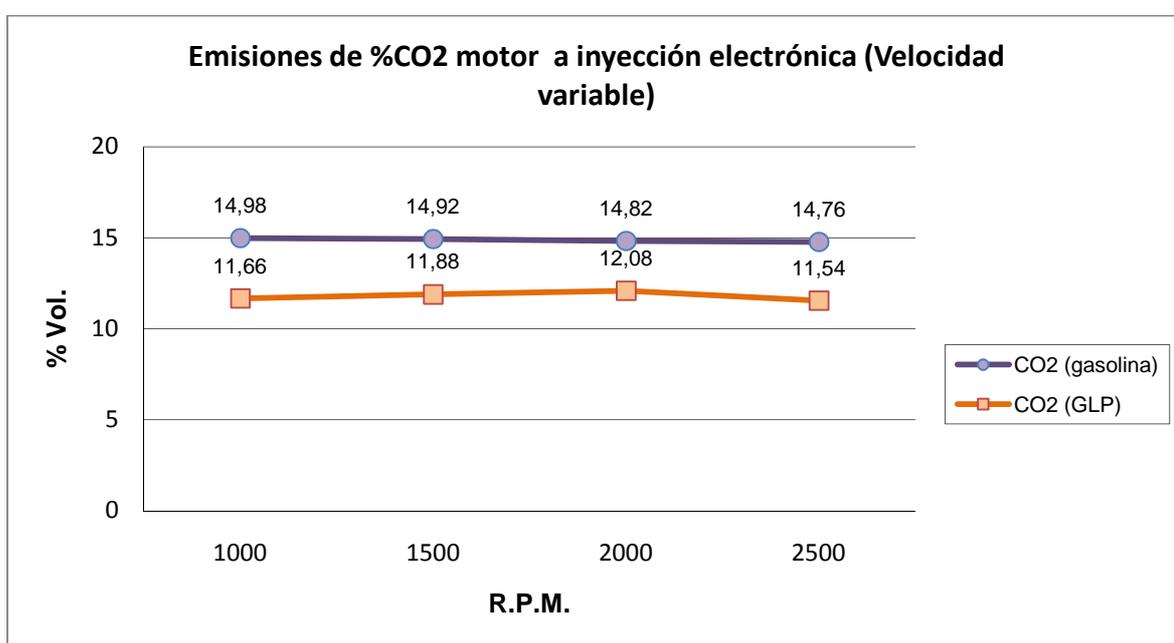


Figura 4.34 Emisión de %CO₂ (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en la figura anterior se puede observar una tendencia a disminuir la emisión de %CO₂ mientras aumenta la velocidad a menor carga. Se aprecia también que con GLP, hay una menor emisión de %CO₂, que disminuyen 3,32 (22,16%) en 1000 r.p.m., 3,04 (20,37%) en 1500 r.p.m., 2,74 (18,48%) en 2000 r.p.m. y 3,22 (21,81%). En promedio hay una disminución de 20,71%.

Análisis de emisión de NO_x:

Tabla 4.31 Emisión de NO_x (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
NOx (gasolina) (ppm)	13	15	9	8
NOx (GLP) (ppm)	4	1	1	0

[Elaboración propia]

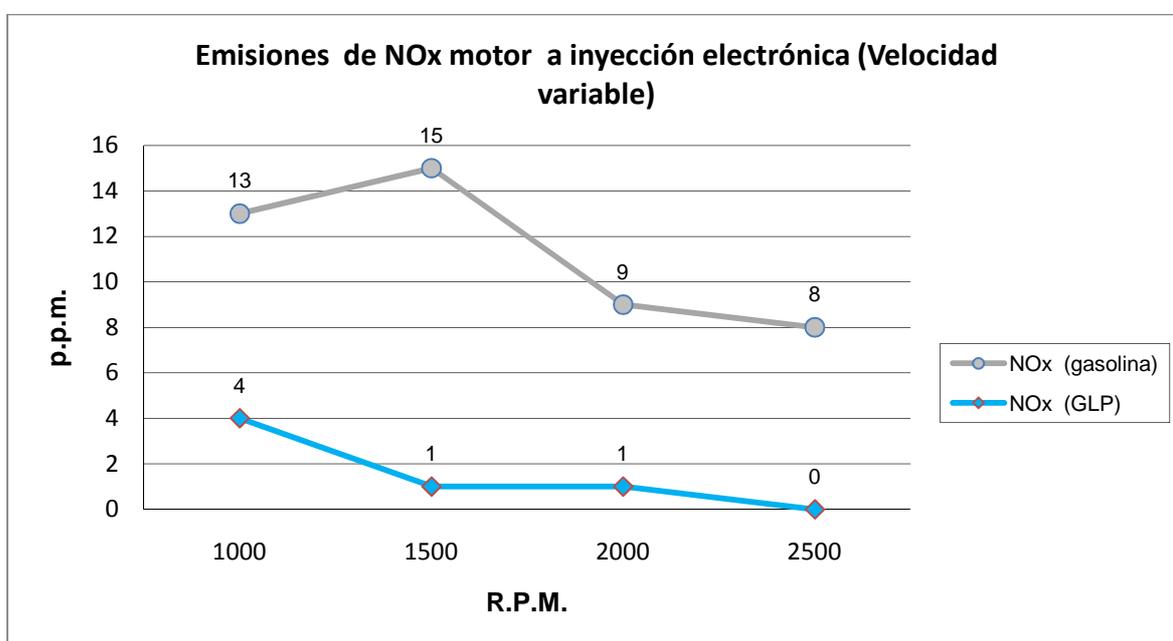


Figura 4.35 Emisión de NO_x (velocidad variable) en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP.

Con los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en la figura anterior se aprecia que hay una tendencia a bajar las emisiones de NO_x mientras aumenta la velocidad a menor carga. Se puede ver también que con GLP hay una menor emisión de NO_x en comparación a la gasolina, y disminuye 9 (69,2%) en 1000 r.p.m., 14(93,3%) en 1500 r.p.m., 8 (88,88%) en 2000 r.p.m. y 10 (100%) en 2500 r.p.m. En promedio hay una disminución de 87,4%.

4.2.3.3 Análisis de torque y potencia obtenidos en marcha variable

Análisis de torque:

Tabla 4.32 Datos de las pruebas de torque en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super o GLP (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m) (gasolina)	36,3	30,0	19,5	7,8
Torque (N-m) (GLP)	36,8	25,7	17,2	7,4

[Elaboración propia]

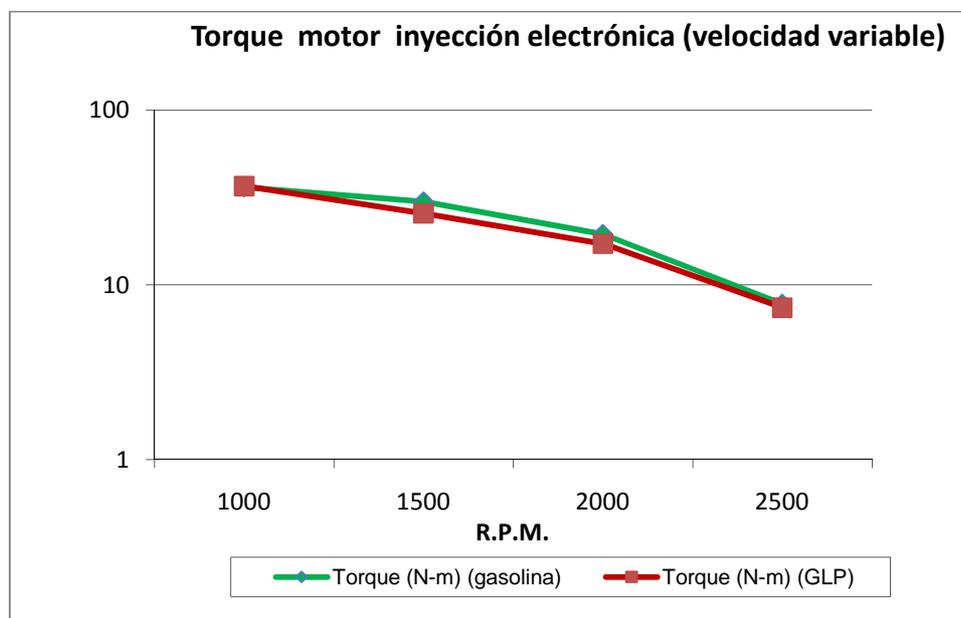


Figura 4.36 Torque en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).

Haciendo una comparación y de acuerdo a los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, se observa una tendencia a la disminución del torque mientras aumenta la velocidad a menor carga, en ralentí (1000 r.p.m.) hay un aumento de torque de 0,5 (1,37%), mientras que hay una disminución de 4,3 (14,33%) en 1500 r.p.m., 2,3 (11,8%) en 2000 r.p.m. y 0,4(5,13%) en 2500 r.p.m. En promedio hay una pérdida de torque de 6,94% del motor cuando funciona con GLP en comparación a cuando funciona con gasolina.

Análisis de potencia:

Tabla 4.33 Datos de las pruebas de potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super o GLP (velocidad variable).

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Potencia (Kw) (gasolina)	4,70	5,70	4,90	2,50
Potencia (Kw) (GLP)	4,64	4,82	4,32	2,32

[Elaboración propia]

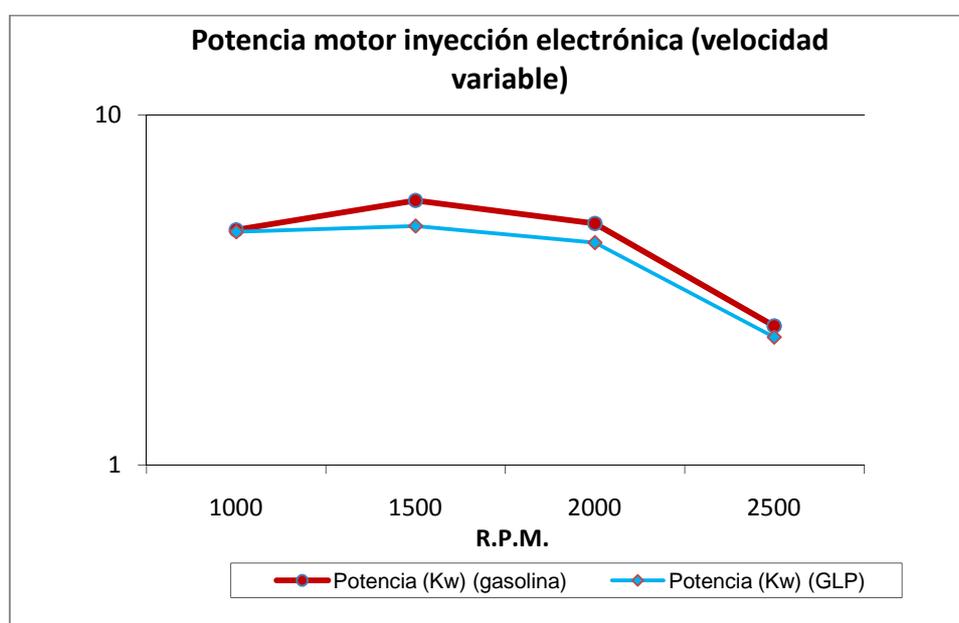


Figura 4.37 Potencia en el motor a inyección electrónica usando gasolina o GLP (velocidad variable).

Con los resultados obtenidos en el motor a inyección electrónica, en la Figura 4.37 se puede apreciar que la potencia a mayor velocidad y menor carga va decreciendo. Se ve además, que la potencia baja cuando el motor funciona con GLP en comparación a cuando funciona con gasolina, esta disminución es de 0,06 (1,7%) en 1000 r.p.m., 0,88 (15,44%) en 1500 r.p.m., 0,58 (11,84%) en 2000 r.p.m. y 0,18 (7,2%) en 2500 r.p.m. En promedio hay una pérdida de potencia de 9,55%.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de haber ejecutado las diferentes pruebas, se notan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- La emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂ es menor cuando se utiliza GLP en comparación con la gasolina, esto se muestra en los resultados obtenidos: en el motor a carburación disminuyen un 12,85%, mientras que a inyección electrónica 20,71% a velocidad variable.
- El comportamiento del motor a carburación con el uso de GLP en las pruebas TIS, nos da como resultado que en regímenes de marcha mínima las emisiones de hidrocarburos HC aumenta, mientras que las emisiones de CO y CO₂ disminuyen. En regímenes de marcha de crucero, las emisiones de hidrocarburos HC aumenta, CO aumentan y CO₂ disminuyen. En condiciones de carga a marcha variable, las emisiones de hidrocarburos HC aumentan considerablemente, mientras que las emisiones de NOx y CO₂ disminuyen.
- El comportamiento del motor a inyección electrónica según los análisis realizados nos dan mucho menores emisiones de HC, CO, CO₂ y NOx en comparación con el de carburación, lo que nos hace ver las ventajas de la inyección electrónica. Además se sabe que este motor tiene un convertidor catalítico en el sistema de escape del motor que hace posible menores emisiones de gases contaminantes. Cuando funciona con GLP las emisiones de NOx, CO₂, son menores en comparación a cuando funciona con gasolina.
- La potencia y torque de los motores que funcionan con GLP en comparación con los que funcionan con gasolina es ligeramente menor: para el motor a gasolina el torque disminuye en un 7% y la potencia en un 8,6 %, mientras que para el motor a inyección electrónica el torque disminuye un 6,54 % y la potencia un 9,55 %.

- La instalación de los sistemas de GLP a los motores de carburación e inyección electrónica del CCICEV, no duró mas de 8 horas, no presento complicaciones técnicas, son sencillos de operar y además se lo hizo en forma que los motores pueden funcionar de manera dual, es decir con gasolina o con GLP.
- El uso del GLP en motores de ciclo Otto tiene ventajas como: La mezcla homogénea, controlada y bien distribuida con el aire comburente en los cilindros del motor que facilita una combustión más completa. La combustión del gas ocurre a mayores temperaturas, y por ser mas limpia no ensucia el aceite tanto como lo hace la gasolina.
- El alto índice de octano del GLP permitiría elevar la relación de compresión sin necesidad de aditivos especiales.
- EL peligro del uso del GLP en motores de combustión interna, por ser un combustible almacenado a presión, ya no es problema, ya que en los últimos años se han venido desarrollando equipos de GLP que son seguros, de fácil instalación y manejo.
- En nuestro país el uso del GLP tiene una ventaja económica ya que este es subsidiado por el estado, siendo mas barato que la gasolina y el diesel.
- Si se quiere que un vehículo funcione con GLP, no es necesario modificar la estructura del sistema de combustible de gasolina, solo se debe adaptar un nuevo equipo de acuerdo a las necesidades del motor.
- Cuando se adapta un equipo de GLP en un motor de ciclo Otto, el vehículo pasa a la categoría de híbrido, es decir, aunque se utilice GLP para beneficiarse de las ventajas que ofrece, también puede funcionar con gasolina.
- En un motor que funciona de forma dual GLP/gasolina, se puede elegir de forma fácil que combustible se quiere usar con solo presionar un interruptor (conmutador) en el momento deseado.
- La mezcla aire - gas es muy importante y se realiza de acuerdo al tipo de motor, determinado por la medición de gases de escape con analizadores de gases.

5.2 RECOMENDACIONES

- A pesar de crecer los HC y CO, en los resultados obtenidos se puede observar que no sobrepasan la norma ecuatoriana, en cambio disminuyen las emisiones de CO₂ y NO_x, por lo que es recomendable instalar este sistema de GLP por lo menos a vehículos de servicio público, ya que su costo final no es elevado, teniendo facilidades de mantenimiento y de operación.
- La instalación de un sistema de GLP, debe ser hecho por profesionales, en talleres calificados y que cumplan con la norma ecuatoriana NTE INEN 2310 y NTE INEN 2311, para garantizar un óptimo funcionamiento del sistema.
- Para instalar un sistema de GLP, el motor debe estar en buen estado: tener buena compresión y sistema de refrigeración funcionando correctamente. Además debe estar en constante mantenimiento: revisión de bujías, aceite, etc.
- Realizar una correcta calibración de la mezcla aire – gas para evitar daños y mal funcionamiento del motor.
- Adelantar el encendido ligeramente debido al poder detonante del GLP, ya que la velocidad de propagación de la llama del GLP es inferior al de la gasolina.
- Se recomienda el uso de aceite API SL que puede resistir la nitruración y la oxidación por mucho más tiempo que un aceite que cumple con las especificaciones API SF, SG, SH, o SJ.
- Se deben limpiar los filtros con frecuencia, ya que las suciedades e impurezas dificultan el buen funcionamiento del sistema, provocando una mala carburación bajando el rendimiento del motor y aumentando los niveles de contaminación.
- Usar bujías de un grado inmediato más frías que las aconsejadas por el fabricante del motor, para evitar los efectos de temperatura de explosión del GLP con respecto a la gasolina.
- Se debe tener siempre en cuenta que el tanque de almacenamiento de GLP no se debe llenar completamente, para evitar posibles accidentes.

- Impulsar el reemplazo de los combustibles convencionales por otros de combustión más limpia y menor contaminación.
- Seguir realizando estudios sobre el comportamiento de los motores con el uso de combustibles alternativos, proponiendo nuevas metodologías para su investigación y así, tener una idea clara de los beneficios que nos conlleva al uso de estos en los vehículos.
- Realizar cursos o talleres de conversión de gasolina a GLP en la ciudad de Quito, para poder informar de los beneficios que tiene este sistema en la altura. Este puede ser dirigido a empresas, talleres mecánicos y mecánicos artesanales para que se capaciten en montaje, calibración y mantenimiento del sistema dual GLP/gasolina. Este tipo de taller ayudará al usuario final, en este caso transporte público, para que se sienta seguro de que este sistema es confiable y que cumple con todas las especificaciones que rigen en el país.

BIBLIOGRAFIA

- Alvares C., Balseca A., Canchignia D., 2002, "Investigación, adaptación y pruebas de los sistemas GLP en los motores a gasolina", Proyecto previo a la obtención de ingeniería mecánica, EPN, Quito, Ecuador.
- AUVASA Argentina, 2006, Gas Licuado de Petróleo", <http://www.auvasa.es/glp.htm>, (octubre de 2008).
- CEGLA España, 2004, "Motor GLP", <http://www.cegla.org> (enero 2009)
- Cengel-Boles, 1996, Termodinámica tomo II", Editorial Mcgraw Hill, México, 866 pg.
- Cuenca Mendieta, Padilla Coronel, "Puesta en marcha de un banco analizador para motores de combustión interna", Proyecto previo a la obtención del título de ingeniería mecánica, 1999, EPN, Quito, Ecuador.
- Dani Meganeboy, 31 de Julio 2007, "Curso de carburadores", <http://www.mecanicavirtual.org/carburador.htm> (Octubre de 2008).
- Dani Meganeboy, 22 de Agosto 2007, "Curso básico de mecánica", <http://www.mecanicavirtual.org/indices-cursos.html> (Octubre de 2008).
- Dani Meganeboy, 22 de Julio 2007, "Puesta a punto del encendido", <http://www.mecanicavirtual.org/hazlo.htm> (Octubre de 2008).
- Dani Meganeboy, 31 de Julio 2007, "Inyección directa de gasolina", <http://www.mecanicavirtual.org/inyec-gasoli-direc.htm> (Octubre de 2008).
- Dani Meganeboy, 22 de Agosto 2007, "Curso de inyección electrónica", <http://www.mecanicavirtual.org/indices-cursos.html#inyeccion> (Octubre de 2008).
- Espinosa Luis Lastra, "Motores a gas de encendido por chispa", Expositor, Lima-Perú, 22 pg.
- Madrid Cultural S.A., "Manual Práctico del Automóvil (Motor de gasolina)", 2002, Madrid, España, 297 pg.
- Mendez García José, "Rehabilitación, calibración y prueba del banco de pruebas para motores de gasolina", Proyecto previo a la obtención del título de ingeniería mecánica, 1996, EPN, Quito, Ecuador.

- Moreta Francisco, Loaiza Jorge, “Construcción y adaptación de un carburador a gas para un motor a gasolina”, Proyecto previo a la obtención del título de ingeniería mecánica, 1984, EPN, Quito, Ecuador.
- *Patrakhaltsev Nicolai*, “Utilidad de combustibles gaseosos en motores de combustión interna”, Universidad de Lima-Perú, 45 pg.
- Portilla Ángel, 2004, “Inyección electrónica de motores a gasolina”, Departamento de conversión y usos de la energía, Quito-Ecuador, 71 pg.
- Portilla Ángel, 2005, “Curso básico de automóviles”, Departamento de conversión y usos de la energía, Quito-Ecuador, 143 pg.
- Refinor Gas Energía que crece, 2008, “GLP”, <http://www.refinor.com>. (octubre de 2008).
- Rojas Leonardo M., “Mecánica Automotriz”, 2001, Edición N°1 INACAP, serie MAT-0900-00-003, Perú, 137 pg.
- Stuttgart Gerschlerl, Tecnología del automóvil, TOMO 2, Madrid España, 1980, 125 pg.
- Wikipedia, la enciclopedia libre, 2008, “Motor de combustión interna”, http://es.wikipedia.org/wiki/motor_de_combusti%C3%B3n_interna (octubre de 2008).
- Wikipedia, “Unidades del Sistema Internacional”, <http://es.wikipedia.org> (enero 2010)
- Wasdike-Snyper, 1991, “Motor de gasolina de 4 tiempos”, Editorial Mcgraw Hill, España, 384 pg.
- Zurita Saldumbide M. G., 2007, “Creación de un Software para el reconocimiento de las prácticas de motores diesel y gasolina en el laboratorio de termodinámica de ingeniería mecánica”, Proyecto previo a la obtención de ingeniería mecánica, EPN, Quito, Ecuador.

ANEXO A

**TABLAS DE PROPIEDADES DEL GLP Y COMPARACIÓN CON
OTROS COMBUSTIBLES**

Tabla A.1 Propiedades Físico Químicas de combustibles de gas y comparación de ellos con combustibles líquidos^{A1}.

PROPIEDAD	GASOLINA	PETR./DIESEL	GLP	GAS NAT.	H ₂
Densidad g/cm ³	0,71 – 0,76	0,82 – 0,87	0,54	0,68x10 ⁻³ (0,415)*	0,09x10 ⁻³ (0,07)*
Temperatura ebullición (°C)	35 – 195	180 – 360	-42	-162	-252,7
Presión de vapor, KPa.	65 – 92	0,3 – 0,35	-	-	-
Calor lat. de vaporización KJ./Kg.	289 – 306	210 – 150	412	-	-
Relación estequiométrica Kg.(aire)/Kg.	14,5 – 15,0	14,1 – 14,3	15,2	16,8 – 17,4	34,8
Poder calorífico, MJ./Kg., Hu	44,0	42,5	46,0	48,9 – 50,1	120
Poder calorífico, MJ./Kg., H ^v u	32,56	36,55	24,3	(33,3 – 34,1) (20,9)*	(10,8)**
Poder calorífico mezcla aire-combustible MJ./m ³ , Hu _m	3,5	3,4	3,4 – 3,5	3,1	2,99
Número de octano**	72,85	-	90 – 100	105 – 1120	30 – 40
Número de Cetano	-	45 – 55	≈20	-	-
Concentración máxima permisible Vapores en aire Mg/m ³	100	300	-	-	-
Condiciones de almacenamiento	Normales	Normales	1,6 MPa.	20 – 40 MPa. (-163 °C)	20 – 40 MPa. (254 °C)

En estado Líquido, ** Método Motor, * MJ/m³**^{A1}Dr. Nicolai PATRAKHALTSEV, CURSO “CONVERSIÓN A GAS”, Lima 2002.

Tabla A.2 Comparación de las propiedades del GLP con la gasolina^{A2}.

PROPIEDADES	GLP			Gasolina
	Etano	Propano	Butano	
Masa respecto de la del aire, kg/m ³ .	1,083	1,523	2,0007	3,094
Densidad en estado líquido, kg/l.	0,446	0,509	0,582	0,740
Densidad en estado gaseoso, kg/m ³ .	1,273	1,867	2,460	5,08
Poder calorífico, MJ/m ³ .	60,085	85,832	11,785	212,852
Poder calorífico, MJ/kg.	47,197	45,970	45,440	44,00
Poder calorífico de la mezcla Carburante, MJ/m ³ .	3,403	3,460	3,500	3,560
Cantidad estequiométrica de Aire, m ³ (aire)/m ³ (combustible).	16,66	23,91	30,95	58,6
Temp. de encendido, °C.	650...580	510...580	475...510	470...530
Número de octanaje.	125	120	93	76

Tabla A.3 Cuadro comparativo del comportamiento de un motor de ciclo Otto^{A3}.

PARAMETROS DE COMPORTAMIENTO DEL MOTOR	COMBUSTIBLE	
	GASOLINA	GLP
Presión en el sistema de alimentación, MPa.	0,003	<1,6
Número de octanaje	84 - 97	110
Calor de combustión específico de la mezcla, kJ/kg.	111	110
Disminución de la potencia del motor sin variar la relación de compresión, %.	-	5 - 7
Adelanto de la chispa eléctrica.	4 - 6°	5 - 7°

^{A2, A3} Ing. Luis Lastra, Perú, 2002.

ANEXO B

**REGLAMENTO TÉCNICO ECUATORIANO PARA EL
FUNCIONAMIENTO DE VEHÍCULOS CON GAS LICUADO DE
PETRÓLEO (GLP)**

(Ver carpeta de anexos)

ANEXO C

TIPOS DE EVAPORADORES Y SU FUNCIONAMIENTO

C.1 EVAPORADOR DE 3 ETAPAS

El funcionamiento de un evaporador de 3 etapas (Figura C.1) es el siguiente:

- *Primera etapa:* El GLP ingresa al reductor (1) (Entrada de gas) a través de la válvula (A), asociada por medio de un sistema de palanca a una membrana. Sobre la misma hay un resorte que junto con las deformaciones de la membrana se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumulará en la primera cámara, en caso de existir una sobrepresión dentro de esta, hay un resorte (5) solidario al eje y paralelo al resorte (4) que se encargará de liberar la presión por exceso al exterior. Una vez alcanzada la presión de trabajo de la primera etapa, la válvula (A) se cerrará.
- *Segunda etapa:* La primera y la segunda etapa se encuentran comunicadas por el pasaje (6). Al igual que en la primera etapa existe una válvula de cierre (B). solidaria por medio de un sistema de palanca a la membrana (2). Sobre la misma hay un resorte (7) que junto con las deformaciones de la membrana se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumula en la segunda etapa. Una vez alcanzada la presión de trabajo de la segunda etapa, la válvula (B) se cerrará.
- *Tercera etapa:* La segunda y la tercera etapa se encuentran comunicadas por medio del pasaje (8). En él actúa una electroválvula que corta el pasaje de gas en caso de quitar el contacto, a su vez ésta etapa se encuentra dividida por medio de una membrana (9) que divide la presión atmosférica de la depresión generada en el sistema de admisión del motor entre el filtro de aire y la mariposa (censada por medio de un pico dosificador o un mezclador de gas). El gas que ingresa a la tercera etapa será suministrado directamente al motor en función de la depresión que éste genere en el elemento dosificador.

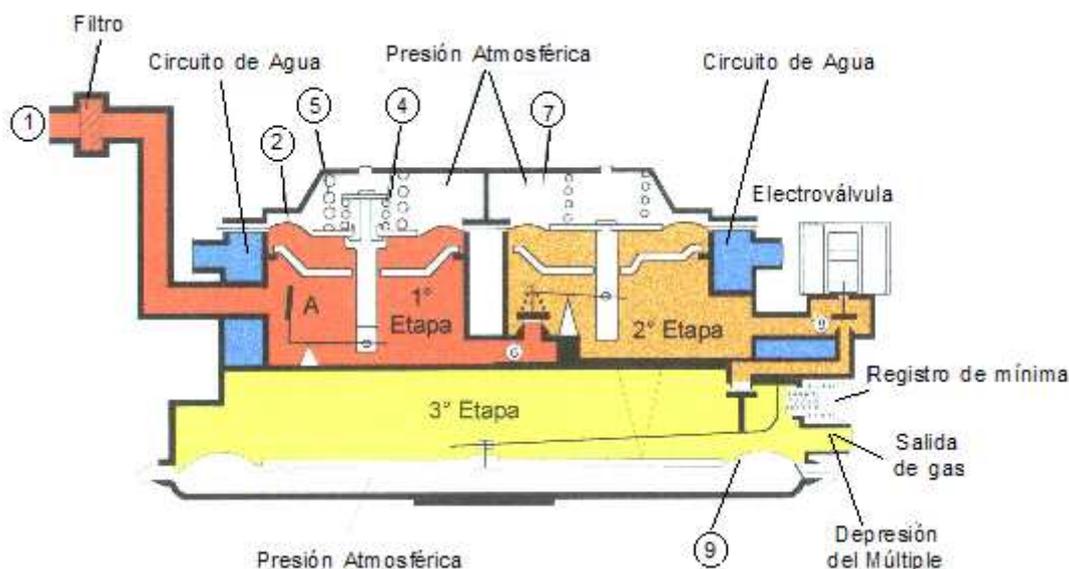
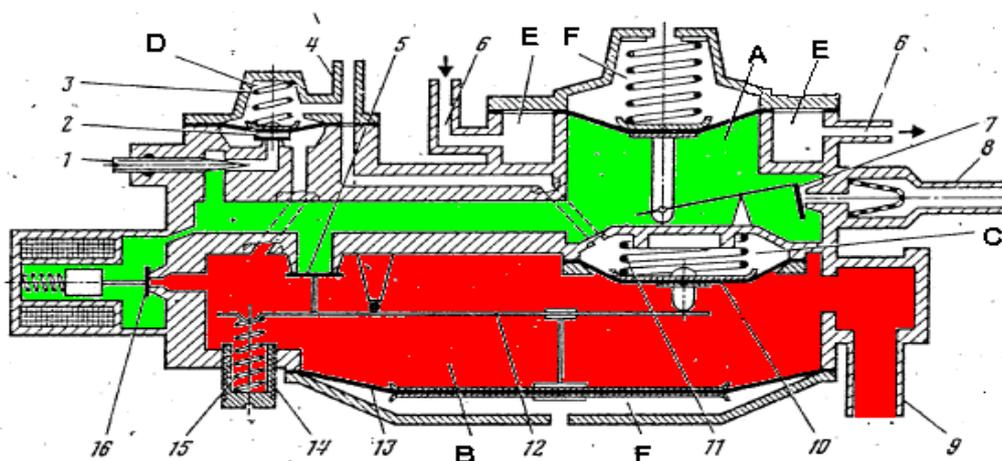


Figura C.1 Esquema de un evaporador reductor de presión de 3 etapas^{C1}.

C.2 EVAPORADOR DE 2 ETAPAS

Un evaporador reductor de presión de 2 etapas se puede observar en la Figura C.2 y Figura C.3:



A – Cavidad de la 1a etapa; B – cavidad de la 2a etapa; C – cavidad del dispositivo de descarga; D – cavidad del sistema de marcha en vacío; E – cavidad del evaporador; F – cavidad de presión atmosférica;

1 – tornillo de regulación de marcha en vacío; 2 – válvula del sistema de marcha en vacío; 3 – resorte del diafragma del sistema de marcha en vacío; 4 – conexión con el vacío del ducto de admisión; 5 – válvula de la 2a etapa; 6 – entrada y salida del líquido refrigerante del motor; 7 – válvula de la 1a etapa; 8 – racor de entrada; 9 – tubo de salida; 10 – disco tope del dispositivo de descarga; 11 – resorte del dispositivo de descarga; 12 – palanca de la válvula de la 2a etapa; 13 – diafragma de la 2a etapa; 14 – tornillo de regulación de presión en la 2a etapa; 15 – resorte de la válvula en la 2a etapa; 16 – válvula de arranque.

Figura B.2 Esquema de un evaporador reductor de presión de 2 etapas^{C2}.

^{C1} GREPPI, Lima-Perú, 2001,

^{C2} Ing. Luis Lastra, Perú, 2002.

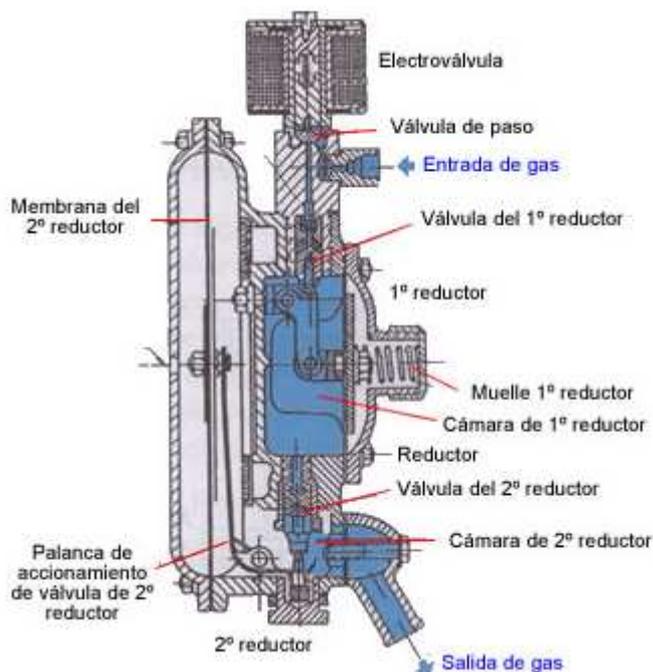


Figura C.3 Estructura de un evaporador reductor de presión de 2 etapas con electroválvula^{C3}.

Existen varias empresas que fabrican estos equipos. Por ejemplo y según el tipo de motor, la empresa LOVATO tiene adecuados distintos tipos de reductores o evaporadores para su correcto funcionamiento. Entre estos se tiene:

Reductor Aspirado para GLP (Figura C.4): para su funcionamiento en vehículos carburados, se lo encuentra en diferentes versiones que van desde motores de 50 cc hasta los 7000 cc. De cilindrada, es la parte más importante del sistema que para un correcto funcionamiento su principal trabajo es de reducir la presión del gas y vaporizarlo para luego alimentar al motor consta de 2 etapas y un regulador de presión en la segunda etapa.

^{C3} AUVASA, "Aplicación del GLP al automóvil", España, 2007.



Figura C.4 Reductor Aspirado para GLP.

Reductor Electrónico para GLP (Figura C.5): este reductor se instala en vehículos tanto carburados como a inyección, su principal función es la de reducir la presión del gas y vaporizarlo y a diferencia del Kit aspirado este tiene un solenoide que controla el paso del gas y además tiene dos reguladores, uno que regula la presión en la segunda etapa y el segundo gradúa el paso de gas para ajustar al vehículo en ralentí.



Figura C.5 Reductor Electrónico para GLP.

Reductor Electrónico para GLP (Figura C.6): diseñado para motores a gasolina con sistemas Turbo, su función principal es la de alimentar de manera correcta estos sistemas para un correcto y normal funcionamiento de estos motores de alto rendimiento



Figura C.6 Reductor Electrónico para GLP.

Reductor Electrónico de GLP (Figura C.7): para vehículos de gran cilindrada con motores que están por encima de los 7000 cc.



Figura C.7 Reductor Electrónico de GLP.

ANEXO D

**TIPOS Y FORMAS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GLP
PARA AUTOMOVILES**

Los depósitos de acero para almacenar GLP, se pueden importar de Perú, tres empresas los fabrican, ellas son: Construcciones Metálicas Unión S.A. y Envases Metálicos Inca S.A (depósitos cilíndricos), y Livabu Ingenieros S.A. (depósitos cilíndricos y toroidales, todas ellas cuentan con el respectivo Certificado de Calidad de acuerdo a la Norma ASME Secc. VIII, Div. 1 y el Anexo 10 de la Regulación 67 E/ECE/324 E/ECE/TRANS/505.

Los depósitos o tanques de almacenamiento de GLP pueden ser de diferente forma (Figura D.1) y distinta capacidad (Tabla D.1, D.2 y D.3):

a)



b)



Figura D.1 Tipos de depósitos o tanques de almacenamiento: a) Cilíndrico y b) Toroidal.

Tabla D.1 Capacidades de los tanques de almacenamiento de GLP tipo cilíndrico.

TIPO CILINDRICO				
Capacidad Bruta (litros)	Capacidad Neta (litros)	Diámetro (mm.)	Longitud (mm.)	Peso (Kg.)
33.12	26.50	244	750	15.50
42.58	34.06	244	950	20.00
52.04	41.63	300	800	20.50
66.24	53.00	300	990	25.00
80.43	64.34	360	850	26.50
94.63	75.70	360	1000	31.00

Tabla D.2 Capacidades de los tanques de almacenamiento de GLP tipo toroidal.

TIPO TOROIDAL				
Capacidad Bruta (litros)	Capacidad Neta (litros)	Diámetro (mm.)	Longitud (mm.)	Peso (Kg.)
28.39	22.71	500	190	23.00
33.12	26.5	570	180	28.00
37.85	30.28	600	180	31.00
70.97	56.78	700	250	40.00
89.80	71.84	750	250	47.00

Tabla D.3 Capacidades de los tanques de almacenamiento de GLP tipo lenteja.

TIPO LENTEJA				
Capacidad Bruta (litros)	Capacidad Neta (litros)	Diámetro (mm.)	Longitud (mm.)	Peso (Kg.)
18.93	15.14	360	240	8.50

En el Ecuador la empresa SIDEC en convenio con Petro-Ecuador y el gobierno nacional se fabricaron estos depósitos para GLP en el año 2008 para la ciudad de Guayaquil. Todo el equipo para la conversión así como los talleres y estaciones de servicio, están regidos por el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 0.39 (ANEXO B).

ANEXO E

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA 2203 Y 2204: 2000 PARA LA
REALIZACIÓN DE PRUEBA ESTÁTICA Y EMISIÓN DE GASES
PERMITIDOS.**

(Ver carpeta de anexos)

ANEXO F
PROTOCOLO DE PRUEBAS

El protocolo contempla los siguientes aspectos:

- Determinar las concentraciones de los diferentes contaminantes en los gases de escape de los motores a carburación e inyección electrónica funcionando con gasolina o GLP, en condiciones de marcha mínima o ralentí, de acuerdo a la norma NTE INEN 2203 (ANEXO E).
- Determinar las concentraciones de los gases de escape del motor funcionando con gasolina o con GLP, en condiciones de marcha variable de 1000 r.p.m., 1500 r.p.m., 2000 r.p.m., 2500 r.p.m. y 3000 r.p.m. para el motor carburado y 1000 r.p.m., 1500 r.p.m., 2000 r.p.m., y 2500 r.p.m. para el motor a inyección electrónica.
- Pruebas de torque y potencia para los motores a carburación e inyección electrónica que funcionan con gasolina o con GLP.

A.1 PRUEBAS DE ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE

En la determinación de las emisiones de gases en los motores tanto a carburación como a inyección electrónica se realiza dos tipos de pruebas: ralentí y a 2500 r.p.m., para determinar las concentraciones de CO, CO₂, HC, O₂ y NO_x.

Para la realización de estas pruebas en esta investigación se utilizan dos analizadores de gases: el MAHA MGT5 y el Nextech NGA 6000 (ANEXO G). El procedimiento sirve para las pruebas del motor a carburador e inyección electrónica, funcionando con combustible gasolina o GLP.

A.1.1 PROCEDIMIENTO

Puesta a punto del analizador de gases:

- Encender e inicializar el analizador de gases asegurándose del correcto estado de mantenimiento y calibración del mismo, esto de acuerdo con las instrucciones del manual de operación provisto por el fabricante.
- Instalar el equipo conectando la sonda de prueba a la entrada de los filtros en la parte posterior del equipo, medidor de temperatura y el medidor de velocidades (ANEXO I, ANEXO J).

- Retirar de los filtros y de la sonda todo material en forma de partículas, el agua o la humedad y toda sustancia extraña que puedan alterar las lecturas de las pruebas.
- Someter el equipo a la prueba de fuga según el manual.
- Antes de efectuar una nueva medición se debe esperar a que las lecturas del analizador de gases vuelvan al mínimo.
- Preparar el analizador de acuerdo a las características del motor, seleccionando el tipo de combustible con el que está funcionando (gasolina o GLP).
- Encender el motor en marcha mínima.
- Conectar la sonda de toma de gases al tubo de escape cuando este listo para tomar la muestra.

Puesta a punto del motor:

- Asegurarse que el motor llegue a su temperatura normal de operación, lo que se comprueba con las lecturas de la sonda de temperatura del aceite del motor que posee el analizador de gases.
- Verificar que el tubo de escape esté en perfectas condiciones.
- Revisar que la transmisión esté en neutro.
- Conectar el tacómetro o medidor de r.p.m. al motor.
- Limpiar el tubo de escape (purgar la menos 3 veces).
- Introducir la sonda de prueba a la salida del sistema de escape, asegurándose que esta permanezca fija mientras dure la prueba.
- Esperar el tiempo de respuesta del equipo, aproximadamente 20 segundos.
- Se acelera el motor hasta condiciones de velocidad crucero, es decir hasta 2500 r.p.m. \pm 250 r.p.m. Registrar las concentraciones de los gases de escape que serán registrados en el respectivo documento.
- Retornar a la marcha mínima o ralenti especificado por el fabricante o en su defecto a un máximo de 1000 r.p.m., manteniendo esta condición por lo menos por 30 segundos. Los datos de igual forma serán registrados en el respectivo documento.

- Para las mediciones de gases emitidos por el motor a marcha variable, se deberá acelerar el motor primero 1000 r.p.m. y registrar los datos emitidos por el analizador de gases. Se seguirá el mismo procedimiento para 1500 r.p.m., 2000 r.p.m., 2500 r.p.m. y 3000 r.p.m.
- Al final de la prueba se deberá sacar la sonda del tubo de escape, el medidor de r.p.m. y el medidor de temperatura del motor y enrollar las manqueras.

A.2 PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA

Para la realización de estas pruebas en la investigación se utiliza el banco de pruebas para motores (equipo de medición de torque y potencia) WEINLICH STEUERUNGEN (ANEXO J).

A.2.1 PROCEDIMIENTO

Este procedimiento sirve para los motores de banco de pruebas a carburación e inyección electrónica. Las mediciones de torque y potencia se las realizará a cada motor cuando funcionan con gasolina, y luego con GLP.

- Instalar el motor al que se le van a realizar las pruebas, adaptándolo al equipo medidor de torque y potencia (ANEXO I, ANEXOJ).
- Encender el equipo de pruebas de torque y potencia.
- Poner a la caja de cambios en marcha (segunda).
- Aplicar una carga inicial para la prueba al dinamómetro del equipo de pruebas de torque y potencia (esta carga irá variando de acuerdo a la velocidad del motor, para poder realizar las curvas de velocidad vs. potencia y velocidad vs. torque).
- Acelerar progresivamente hasta 1000 r.p.m. y tomar los datos. Desacelerar el motor.
- Repetir el mismo procedimiento para valores de 1500 r.p.m., 2000 r.p.m., 2500 r.p.m. y 3000 r.p.m.
- Desacelerar el equipo y descargar el dinamómetro del equipo de pruebas de torque y potencia.

NOTA: Los valores de las cargas aplicadas al dinamómetro del banco de pruebas para motores, serán las mismas tanto para gasolina como para GLP; esto nos permitirá realizar la evaluación y comparación de los motores.

A.3 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Estas reglas deben ser observadas en toda prueba:

- El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro pero letal; procurar que el local tenga buena ventilación.
- No fumar cerca de la gasolina o GLP gas líquido.
- Chequear el nivel de aceite del motor antes de la prueba.
- Chequear el nivel de refrigerante del radiador.
- No usar ropa floja, corbata o pelo largo cerca al motor en movimiento.
- No usar la lámpara de tiempo muy cerca del ventilador, su luz produce la ilusión óptica de estar quieto y causar un accidente.
- Usar anteojos de seguridad y evitar la caída de gasolina.
- Nunca estar cerca del carburador.
- Evitar el uso de joyas, relojes o anillos, pueden producir corto circuitos o bien enredarse con el motor.
- No tocar las superficies calientes como múltiple de salida, radiador, mangueras, conversor catalítico etc.
- No colocar herramientas sobre la batería puede causar cortos o dañarla internamente.
- EL ácido de batería produce quemaduras, si se tiene contacto neutralizarlo con: Soda o bicarbonato de calcio y abundante agua.
- Mantener un extintor de incendios que apague la gasolina, químicos y/o elementos eléctricos. El hidrógeno producido por la batería es explosivo
- En el sistema secundario de encendido existen altos voltajes. Usar pinzas aisladas para cualquier desconexión que se requiera.

ANEXO G

EQUIPO ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE PARA MOTORES DE CICLO OTTO

G.1 EQUIPO MAHA MGT5

CARACTERÍSTICAS:

- Equipo: MAHA MGT5. Analizador de gases de escape con carcasa de acero y revestimiento protector plástico (Figura G1).
- Selector de combustible para: Gasolina, GLP, GNC y Alcohol.
- Gases analizables:
 - CO : 0 – 15,0 Vol. %, resolución 0,001 Vol. %.
 - CO₂: 0 – 20,0 Vol. %, resolución 0,01 Vol. %.
 - HC : 0 – 20000 ppm. Vol. (Hexan); 0 – 40000 ppm. Vol. (Propan).
 - O₂ : 0 – 25,0 Vol. %, resolución 0,01 Vol. %.
 - NO_x (opcional): 0 – 5000 ppm. Vol., resolución 1 ppm. Vol.
- Valores de lambda: 0,500 – 9,999 resolución 0,001.
- Pre calentamiento: min. 30 seg., max. 10 min., media 2,5 min. (termoregulado).
- Cantidad total de flujo: max. 3,5 l/min - min. 1,5 l/min.
- Caudal - gas de medición: max. 2,5 l/min - bomba de membrana.
- Caudal – condensado: max. 1 l/min - derivación permanente y automática mediante bomba separada.
- Separación – condensado: sistema separador de agua con plaviómetro
- Presión de servicio: 750 - 1100 mbar.
- Fluctuación de la presión: max. Errores 0,2 % con fluctuaciones de 5 kPa
- Alimentación de corriente: 85 V - 280 V, 50/60 Hz, 65 W/12 V - 24 DC.
- Temperatura de servicio: + 5° - + 45°C, tolerancia ± 2°C.
- Temperatura de almacenaje: - 10° - + 60°C, tolerancia ± 2°C.
- Test de residuos HC: automático.
- Balance de cero: automático - por filtro de carbón activado.
- Calibración: mediante PC - gas especial de calibración imprescindible.
- Intervalo de calibración: según normas vigentes en cada país
- Dimensiones: 560 x 240 x 300 mm.
- Peso: apróx. 10 kg.

- Cuentarrevoluciones (opción): 100 – 10 000 rpm, resolución: 1, 5, 10, 50 U/min, sensores diversos.
- Termómetro de aceite (opción): + 0° - + 150°C, resolución 1°C
- Filtros principales combinados/separador activo de agua, sensor extremo de oxígeno, filtro de carbón activado, conexión de calibración de gases.
- Tubo de sonda flexible y de alta calidad (longitud 8 metros) con tubo de forma flexible de acero trenzado y con grupo reten y pieza de cierre.
- Sonda medidora de temperatura.
- Medidor de velocidad o r.p.m.
- Manguera de escape del condensado (longitud 500 mm.).



Figura G.1 Equipo analizador de gases de escape MAHA MGT5.

G.2 EQUIPO Nextech NGA 6000

CARACTERÍSTICAS:

- Equipo: Nextech NGA 6000. Analizador de gases de escape con carcasa de acero e impresora de resultados (Figura G2).
- Gases analizables:
 - CO : 0 – 9,99 % Vol., resolución 0,01 %
 - CO₂: 0 – 20,00 % Vol., resolución 0,10%
 - HC : 0 – 9999 O 20000 ppm., resolución 1 ppm.
 - O₂ : 0,00 – 25,00 % Vol., resolución 0,01%
 - NOx: 0 – 5000 ppm., resolución 1 ppm.

- Valores de lambda: 0 – 2,000, resolución 0,001.
- Tiempo de respuesta: menos de 10 segundos.
- Alimentación de corriente: 110 V. o 220 V, 60 Hz, 50 W.
- Temperatura de operación: 0 °C – 401 °C
- Ajuste automático de tiempo de precalentamiento: 2 ~ 8 minutos.
- 5 sistemas de filtración de fase para protección del banco.
- Dimensiones: 420x298x180 mm.
- Filtros principales combinados/separador activo de agua, sensor de oxígeno, filtro de carbón activado.
- Selector de combustible para: Diesel, Gasolina, GLP, CNG y Alcohol.
- Puede ser conectado al PC con un programa adicional.
- Tubo de sonda flexible y de alta calidad (longitud 8 metros) con tubo de forma flexible de acero trenzado y con grupo reten y pieza de cierre.
- Manguera de escape del condensado (longitud 500 mm.).



Figura G.2 Equipo analizador de gases de escape Nextech NGA 6000.

ANEXO H

**BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES (MEDIDOR DE TORQUE Y
POTENCIA)**

El equipo es de marca WEINLICH STEUERUNGEN que pertenece al CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional. Para la instalación y funcionamiento del equipo, se detalla a continuación los siguientes requerimientos (Figura H.1):

Datos de placa banco de pruebas:

Corriente alterna: 220 V

Intensidad: 15.5 A

Frecuencia: 60 Hz

Espacio físico: Para el funcionamiento del banco de pruebas, se recomienda instalarlo en un área de 25 metros cuadrados, debido a que las dimensiones del equipo son 1.5 metros de ancho, 3 metros de largo y 2 metros de altura; para tener el espacio suficiente para poder realizar las pruebas en el banco.

Se recomienda instalarlo en un ambiente donde haya suficiente ventilación, debido a los gases emitidos por los motores a gasolina.



Figura H.1 Banco de pruebas para motores (medidor de torque y potencia).

Calibración del equipo:

- Encienda el interruptor principal y esperar el tiempo necesario para que la unidad de control alcance la temperatura de funcionamiento.
- Presionar la tecla "0 Nm."
- Instalar la palanca de calibración y esperar a que deje de vibrar (Figura H.2).
- Presione la tecla "valor de calibración". La pantalla muestra el par de la palanca de calibración, es decir, "250 Nm.", siempre y cuando la palanca está instalada.
- Retire la palanca de calibración.

Nota: Por lo general, los valores de calibración son almacenados en la unidad de control. Si la información de la memoria ha sido borrada después de una larga pausa en su funcionamiento, y los valores de torque y potencia no se visualizan en el panel de control, seguir el procedimiento de calibración.



Figura H.2 Palanca de calibración 250 Nm.

Valores de medición:

- Torque (Nm.).
- Potencia (Kw).
- Revoluciones por minuto (r.p.m.).

Información técnica del equipo: se lo puede conectar a una computadora y cuenta con un dinamómetro que dependiendo de los requerimientos permite determinar curvas de potencia, trabajo, etc., respecto al tiempo y también a las r.p.m. Se pueden realizar pruebas de hasta 6000 r.p.m. por un tiempo de un minuto, mientras las r.p.m. sean mas bajas, se puede aumentar el tiempo de funcionamiento del motor hasta 30 minutos de trabajo continuo.

Capacidad de carga en una temperatura ambiental máx. De 30° C. Carga permanente máxima admisible:

$$\text{Hasta 3000 r.p.m.: } P = 29Kw \frac{n}{3000r.p.m.}$$

$$\frac{n}{P} * \frac{4000}{36} * \frac{5000}{38} * \frac{6000}{40} * \frac{r.p.m.}{Kw}$$

El dinamómetro, permite aplicar una carga de frenado al motor con lo que se consigue simular condiciones de trabajo que tendrá el motor ya instalado en un automóvil. Las cargas máximas admisibles se detallan en la tabla H.1:

Tabla H.1 Cargas máximas admisibles durante corto tiempo.

P/KW.	3000 r.p.m.	4000 r.p.m.	5000 r.p.m.	6000 r.p.m.
30	20 min.			
35	6 min			
40	2,5 min.	16 min.	16 min.	
50	1,9 min.	8 min.	3 min.	3 min.
70	1,0 min	1,4 min.	1,3 min.	1,1 min.
100	30 seg.	43 seg.	36 seg.	30 seg.
150	13 seg.	20 seg.	12 seg.	14 seg.

Tipos de pruebas: El dinamómetro permite obtener curvas en las cuales se puede mantener constante la velocidad (en cualquier valor que no sobrepase los 6000 r.p.m.) y variar la carga con lo que se obtiene el comportamiento de la potencia, trabajo, torque, temperaturas del motor. También se puede variar la carga y la velocidad. Dependiendo del requerimiento se pueden eliminar algunas variables y realizar gráficas solamente con los parámetros necesarios.

Potencia: Por ser la potencia uno de los parámetros fundamentales en la consideración de un motor, el equipo puede determinar curvas de esta respecto al tiempo (en segundos) y la velocidad (r.p.m.). Los valores de potencia pueden ser visualizados directamente en el equipo o mediante una conexión a un computador con un programa diseñado para este objeto.

Torque o par: Al igual que la potencia, el torque o par puede ser graficado en función del tiempo (segundos y la velocidad (r.p.m.)). También los valores de par pueden ser visualizados en el banco de pruebas o en el computador.

ANEXO I

MOTOR DE PRUEBAS A CARBURACIÓN

CARACTERÍSTICAS:

Marca	:	Mitsubishi.
Año	:	1996.
Serie	:	L 200.
Nº de Cilindros	:	4 en línea.
Cilindraje	:	2000 c.c.
Tipo de combustible	:	GLP/gasolina.

En el motor de pruebas a carburación se instala al equipo medidor de gases escape y también se lo adapta al banco de pruebas para motores (medidor de torque y potencia), Figura I.1, Figura I.2 y Figura I.3.



Figura I.1 Adaptación del motor a carburación con el banco de pruebas para medir la potencia y el torque.



Figura I.2 Instalación de los analizadores de gases MAHA MGT5 y Nextech NGA 6000 en el motor a carburador.



Figura I.3 Ubicación de las sondas del equipo MAHA y Nextech en el tubo de escape del motor a carburador, para medir las emisiones de gases.

ANEXO J

MOTOR BANCO DE PRUEBAS A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

CARACTERÍSTICAS:

Marca	:	Lada.
Año	:	2003.
Nº de Cilindros	:	4 en línea.
Cilindraje	:	17L c.c.
Tipo de combustible	:	GLP/gasolina.
Accesorios extra	:	Convertidor catalítico en el sistema de escape del motor.

En el motor de pruebas a inyección electrónica se instala el equipo medidor de gases escape y también se lo adapta al banco de pruebas para motores (medidor de torque y potencia), Figura J.1, Figura J.2 y Figura J.3.



Figura J.1 Adaptación del motor a inyección electrónica en el banco de pruebas para medir la potencia y el torque.



Figura J.2 Instalación de los analizadores de gases MAHA MGT5 y Nextech NGA 6000 en el motor a inyección electrónica.



Figura J.3 Ubicación de las sondas del equipo MAHA y Nextech en el tubo de escape del motor a inyección electrónica, para medir las emisiones de gases.

ANEXO K

TABLAS DE DATOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

K.1 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURACIÓN

K.1.1 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURACIÓN USANDO COMBUSTIBLE GASOLINA EXTRA

K.1.1.1 Tablas de datos de emisión de gases

Tabla K.1 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	3,630	1,060	1,370	1,160	1,650
CO ₂ (%V)	11,600	13,60	13,300	13,200	13,000
HC (ppm)	224,000	148,00	148,000	132,000	119,000
O ₂ (%V)	0,120	0,190	0,190	0,190	0,190
λ	0,890	0,974	0,963	0,959	0,953
CO corr	3,380	0,940	1,290	1,540	1,720
Temp. aceite °C	94,000	89,000	92,000	94,000	97,000
NOx	262,000	613,000	506,000	395,000	288,000

Tabla K.2 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,680	0,950	1,220	1,510	1,580
CO ₂ (%V)	12,300	13,600	13,400	13,200	13,100
HC (ppm)	203,000	149,000	149,000	112,000	102,000
O ₂ (%V)	0,140	0,270	0,230	0,270	0,170
λ	0,916	0,976	0,967	0,964	0,953
CO corr	2,750	1,000	1,260	1,480	1,750
Temp. aceite °C	97,000	97,000	97,000	101,000	100,000
NOx	387,000	650,000	530,000	378,000	303,000

Tabla K.3 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,830	0,100	0,140	0,100	0,130
CO ₂ (%V)	12,000	13,500	13,600	13,800	13,900
HC (ppm)	227,000	76,000	51,000	22,000	14,000
O ₂ (%V)	0,400	1,650	1,440	1,250	1,140
λ	0,918	1,079	1,067	1,057	1,052
CO corr	3,000	0,110	0,150	0,120	0,140
Temp. aceite °C	88,000	92,000	94,000	97,000	100,000
NOx	387,000	650,000	530,000	378,000	303,000

Tabla K.4 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,930	0,830	1,150	1,490	1,560
CO ₂ (%V)	11,700	13,400	12,800	13,200	13,100
HC (ppm)	236,000	153,000	150,000	118,000	98,000
O ₂ (%V)	0,480	0,740	0,400	0,270	0,200
λ	0,922	1,002	1,028	0,966	0,957
CO corr	3,030	0,980	1,230	1,400	1,620
Temp. aceite °C	94,000	94,000	94,000	100,000	100,000
NOx	355,000	701,000	577,000	421,000	283,000

Tabla K.5 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,150	0,950	1,290	1,380	1,680
CO ₂ (%V)	12,600	13,5000	13,30	13,200	13,000
HC (ppm)	211,000	167,000	153,000	126,000	103,000
O ₂ (%V)	0,150	0,260	0,230	0,220	0,200
λ	0,931	0,977	0,967	0,962	0,954
CO corr	2,230	0,960	1,310	1,480	1,720
Temp. aceite °C	94,000	94,000	94,000	97,000	100,000
NOx	470,000	749,000	589,000	426,000	254,000

Tabla K.6 Datos obtenidos en las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	Ralentí	2500	Ralentí	2500	Ralentí	2500
CO (%V)	1,170	1,450	1,250	1,530	1,180	1,440
CO ₂ (%V)	12,900	13,000	12,800	13,000	12,900	12,900
HC (ppm)	271,000	151,000	265,000	128,000	271,000	136,000
O ₂ (%V)	0,790	0,420	0,730	0,330	0,660	0,370
λ	0,991	0,971	0,985	0,964	0,984	0,967
CO corr	1,250	1,470	1,330	1,500	1,260	1,510
Temp. aceite °C	89,000	89,000	90,000	92,000	92,000	91,000
R.P.M	1000,000	2500,000	920,000	2510,000	1000,000	2500,000

K.1.1.2 Tablas de datos de torque y potencia

Tabla K.7 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	47,5	40,0	35,0	24,0	12,5
Potencia (Kw)	4,8	6,2	7,3	6,3	3,9

Tabla K.8 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

PARAMETRO	R.P.M				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	48,0	40,5	34,5	23,0	12,0
Potencia (Kw)	5,0	6,2	7,1	6,0	3,5

Tabla K.9 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando gasolina extra.

R.P.M.	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	49,5	40,5	35,5	25,5	13,5
Potencia (Kw)	5,1	6,3	7,3	6,5	4,0

Tabla K.10 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando como combustible gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	51,5	42,5	35,0	24,5	12,5
Potencia (Kw)	5,3	6,4	7,4	6,4	3,9

Tabla K.11 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando como combustible gasolina extra.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	50,5	41,0	36,0	23,5	12,5
Potencia (Kw)	5,1	6,4	7,5	6,1	3,5

K.1.2 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURACIÓN USANDO COMBUSTIBLE GLP

K.1.2.1 Tablas de datos de emisión de gases

Tabla K.12 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,140	2,90	2,600	2,620	2,620
CO ₂ (%V)	11,600	11,50	11,20	11,200	11,100
HC (ppm)	281,000	266,000	261,000	253,000	211,000
O ₂ (%V)	0,160	0,120	0,110	0,110	0,110
λ	0,932	0,922	0,915	0,912	0,913
CO corr	2,220	2,210	2,510	2,560	2,670
Temp. aceite °C	84,000	83,000	84,000	85,000	88,000
NOx	382,000	318,000	278,000	237,000	204,000

Tabla K.13 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	1,930	2,000	2,270	2,410	2,380
CO ₂ (%V)	11,400	11,500	11,400	11,300	11,300
HC (ppm)	258,000	224,000	263,000	235,000	166,000
O ₂ (%V)	0,220	0,180	0,130	0,170	0,330
λ	0,937	0,934	0,922	0,921	0,929
CO corr	2,150	2,110	2,330	2,470	2,490
Temp. aceite °C	85,000	83,000	92,000	92,000	89,000
NOx	398,000	344,000	345,000	240,000	168,000

Tabla K.14 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	1,970	2,100	2,300	2,410	2,440
CO ₂ (%V)	11,600	11,500	11,300	11,200	11,100
HC (ppm)	275,000	246,000	247,000	231,000	173,000
O ₂ (%V)	0,160	0,120	0,110	0,110	0,120
λ	0,932	0,931	0,921	0,919	0,918
CO corr	2,040	2,070	2,340	2,500	2,570
Temp. aceite °C	83,000	83,000	83,000	85,000	88,000
NOx	416,000	328,000	304,000	242,000	163,000

Tabla K.15 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de gases en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	1,650	1,940	2,150	2,250	2,390
CO ₂ (%V)	11,900	11,700	11,500	11,300	11,300
HC (ppm)	262,000	258,000	252,000	222,000	162,000
O ₂ (%V)	0,180	0,160	0,150	0,150	0,150
λ	0,943	0,934	0,926	0,925	0,925
CO corr	1,850	2,030	2,290	2,360	2,430
Temp. aceite °C	83,000	83,000	85,000	86,000	89,000
NOx	452,000	378,000	325,000	252,000	170,000

Tabla K.16 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de gases en el motor a carburador combustible GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
CO (%V)	2,080	2,020	2,180	2,430	2,440
CO ₂ (%V)	11,600	11,600	11,400	11,200	11,200
HC (ppm)	287,000	263,000	258,000	216,000	161,000
O ₂ (%V)	0,170	0,140	0,140	0,140	0,140
λ	0,960	0,930	0,925	0,924	0,919
CO corr	1,830	2,120	2,250	2,320	2,550
Temp. aceite °C	83,000	83,000	85,000	88,000	89,000
NOx	472,000	370,000	357,000	266,000	189,000

Tabla K.17 Datos obtenidos en las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	Ralentí	2500	Ralentí	2500	Ralentí	2500
CO (%V)	0,070	1,960	0,070	1,660	0,070	1,630
CO ₂ (%V)	11,500	11,600	11,500	11,900	12,000	12,000
CO corr	0,080	2,020	0,080	1,710	0,080	1,670
HC (ppm)	338,000	197,000	333,000	175,000	313,000	203,000
O ₂ (%V)	3,630	0,480	3,730	0,450	2,540	0,500
λ	1,169	0,950	1,174	0,960	1,109	0,962
R.P.M	750,000	2520,000	760,000	2520,000	760,000	2550,000
Temp. aceite °C	73,000	74,000	76,000	79,000	85,000	85,000
PARÁMETRO	Prueba 4		Prueba 5			
	Ralentí	2500	Ralentí	2500		
CO (%V)	0,070	1,650	0,070	1,660		
CO ₂ (%V)	11,700	11,900	11,600	11,90		
CO corr	0,080	1,700	0,080	1,710		
HC (ppm)	309,000	161,000	287,000	158,000		
O ₂ (%V)	2,890	0,380	2,860	0,380		
λ	1,130	0,958	1,130	0,958		
R.P.M	770,000	2450,000	780,000	2520,000		
Temp. aceite °C	83,000	83,000	85,000	85,000		

K.1.2.2 Tablas de datos de torque y potencia

Tabla K.18 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	48,5	39,5	32,5	20,0	8,0
Potencia (Kw)	4,8	6,0	6,8	5,2	2,5

Tabla K.19 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	46,5	40,0	33,5	20,5	7,50
Potencia (Kw)	4,8	6,3	7,0	5,3	2,2

Tabla K.20 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	46,0	40,5	33,5	22,5	8,5
Potencia (Kw)	4,8	6,5	7,0	5,8	2,7

Tabla K.21 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	48,0	42,0	33,5	21,5	8,0
Potencia (Kw)	5,0	6,5	7,0	5,5	2,5

Tabla K.22 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.				
	1000	1500	2000	2500	3000
Torque (N-m)	48,5	40,5	34,0	22,5	8,5
Potencia (Kw)	5,0	6,3	7,0	5,8	2,8

K.2 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL MOTOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA

K.2.1 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DEL MOTOR A CARBURACIÓN USANDO COMBUSTIBLE GASOLINA SUPER

K.2.1.1 Tablas de datos de emisión de gases

Tabla K.23 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,060	0,050	0,010	0,010
CO ₂ (%V)	15,100	15,000	14,900	14,800
HC (ppm)	16,000	13,000	14,000	12,000
O ₂ (%V)	0,020	0,000	0,000	0,000
λ	0,998	0,998	0,999	0,999
CO corr	0,060	0,030	0,010	0,000
Temp. aceite °C	94,000	94,000	94,000	96,000
NOx	7,000	11,000	4,000	4,000

Tabla K.24 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,020	0,020	0,010	0,000
CO ₂ (%V)	14,900	14,900	14,800	14,700
HC (ppm)	8,000	8,000	10,000	9,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,000	0,000
λ	0,998	0,999	0,999	0,999
CO corr	0,020	0,010	0,010	0,000
Temp. aceite °C	96,000	96,000	97,000	98,000
NOx	58,000	185,000	0,000	95,000

Tabla K.25 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,080	0,040	0,010	0,010
CO ₂ (%V)	15,100	15,000	14,800	14,800
HC (ppm)	18,000	10,000	12,000	13,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,000	0,000
λ	0,997	0,998	0,999	0,999
CO corr	0,070	0,030	0,010	0,000
Temp. aceite °C	94,000	94,000	96,000	96,000
NOx	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla K.26 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,050	0,020	0,010	0,000
CO ₂ (%V)	14,900	14,800	14,800	14,800
HC (ppm)	12,000	12,000	11,000	12,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,090	0,000
λ	0,998	0,998	1,003	0,999
CO corr	0,040	0,020	0,010	0,000
Temp. aceite °C	95,000	96,000	97,000	98,000
NOx	179,000	138,000	130,000	102,000

Tabla K.27 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	0,040	0,030	0,010	0,010
CO ₂ (%V)	14,900	14,900	14,800	14,700
HC (ppm)	12,000	15,000	15,000	16,000
O ₂ (%V)	0,120	0,000	0,000	0,000
λ	1,002	0,998	0,999	0,999
CO corr	0,040	0,020	0,010	0,000
Temp. aceite °C	96,000	96,000	96,000	97,000
NOx	292,000	269,000	130,000	103,000

Tabla K.28 Datos obtenidos en las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	Ralentí	2500	Ralentí	2500	Ralentí	2500
CO (%V)	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000
CO ₂ (%V)	14,300	14,900	14,600	14,800	14,300	14,900
HC (ppm)	25,000	15,000	13,000	9,000	12,000	7,000
O ₂ (%V)	1,220	0,510	0,440	0,010	0,730	0,010
λ	1,058	1,023	1,020	0,999	1,035	1,000
CO corr	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000
Temp. Aceite °C	89,000	91,000	93,000	94,000	93,000	94,000
R.P.M	890,000	2500,000	910,000	2540,000	910,000	2490,000

K.2.1.2 Tablas de datos obtenidos en la prueba de torque y potencia

Tabla K.29 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	37,5	31,5	20,0	7,5
Potencia (Kw)	5,0	6,0	5,1	2,4

Tabla K.30 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,5	28,5	17,5	7,0
Potencia (Kw)	4,8	5,5	4,3	2,1

Tabla K.31 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de torque y potencia en el motor a carburador utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	35,5	30,5	20,5	8,0
Potencia (Kw)	4,5	5,9	5,2	2,6

Tabla K.32 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,5	28,5	19,5	8,5
Potencia (Kw)	4,8	5,4	4,9	2,7

Tabla K.33 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando gasolina super.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	35,5	31,0	20,0	8,0
Potencia (Kw)	4,5	5,9	5,1	2,6

K.2.2 TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS PARA EL MOTOR A INYECCIÓN ELECTRÓNICA UTILIZANDO COMBUSTIBLE GLP

K.2.2.1 Tablas de datos obtenidos en la prueba de emisiones de gases

Tabla K.34 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando como combustible GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	1,760	1,900	1,650	3,030
CO ₂ (%V)	11,900	11,900	12,200	10,900
HC (ppm)	487,000	438,000	401,000	376,000
O ₂ (%V)	0,240	0,080	0,070	0,030
λ	0,933	0,933	0,932	0,893
CO corr	1,810	1,650	1,850	2,970
Temp. aceite °C	94,000	94,000	94,000	95,000
NOx	11,000	5,000	7,000	0,000

Tabla K35 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	1,880	1,710	1,590	2,640
CO ₂ (%V)	11,800	11,900	12,100	11,100
HC (ppm)	473,000	418,000	392,000	361,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,000	0,000
λ	0,927	0,926	0,933	0,960
CO corr	1,830	1,750	1,560	2,730
Temp. aceite °C	96,000	96,000	97,000	98,000
NOx	3,000	2,000	0,000	0,000

Tabla K.36 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	2,020	1,830	1,600	1,640
CO ₂ (%V)	11,600	11,800	12,000	12,000
HC (ppm)	478,000	427,000	404,000	283,000
O ₂ (%V)	0,070	0,010	0,000	0,000
λ	0,922	0,925	0,930	0,938
CO corr	2,110	1,890	1,770	1,670
Temp. aceite °C	95,000	96,000	96,000	97,000
NOx	4,000	0,000	0,000	0,000

Tabla K.37 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	1,710	1,760	1,690	1,740
CO ₂ (%V)	11,400	11,900	12,000	11,800
HC (ppm)	487,000	425,000	392,000	271,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,000	0,000
λ	0,923	0,929	0,928	0,933
CO corr	1,850	1,710	1,740	1,800
Temp. aceite °C	96,000	96,000	97,000	98,000
NOx	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla K.38 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
CO (%V)	2,100	1,780	1,510	1,780
CO ₂ (%V)	11,600	11,900	12,100	11,900
HC (ppm)	489,000	443,000	388,000	286,000
O ₂ (%V)	0,000	0,000	0,000	0,000
λ	0,915	0,927	0,938	0,932
CO corr	2,090	1,770	1,490	1,820
Temp. aceite °C	96,000	96,000	96,000	96,000
NOx	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla K.39 Datos obtenidos en las pruebas TIS de análisis de gases en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
	Ralentí	2500	Ralentí	2500	Ralentí	2500
CO (%V)	0,010	1,390	0,000	1,380	0,010	1,450
CO ₂ (%V)	12,000	12,300	13,500	12,200	12,000	12,100
CO corr	0,010	1,420	0,000	1,420	0,010	1,500
HC (ppm)	144,000	219,000	58,000	226,000	229,000	218,000
O ₂ (%V)	2,340	0,080	0,030	0,000	2,520	0,000
λ	1,111	0,951	0,998	0,947	1,115	0,945
R.P.M	1010,000	2530,000	1190,000	2550,000	1080,000	2470,000
Temp. aceite °C	96,000	94,000	95,000	95,000	95,000	96,000
PARÁMETRO	Prueba 4		Prueba 5			
	Ralentí	2500	Ralentí	2500		
CO (%V)	0,780	1,650	1,470	0,200		
CO ₂ (%V)	12,700	11,900	12,100	1,200		
CO corr	0,810	1,700	1,620	1,710		
HC (ppm)	394,000	161,000	227,000	427,000		
O ₂ (%V)	0,030	0,380	0,090	0,060		
λ	0,960	0,958	0,947	0,810		
R.P.M	1240,000	2450,000	1240,000	2460,000		
Temp. aceite °C	97,000	97,000	96,000	96,000		

K.2.2.2 Tablas de datos obtenidos en la prueba de torque y potencia

Tabla K.40 Datos obtenidos en la prueba N° 1 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,0	25,5	16,5	7,5
Potencia (Kw)	4,6	4,8	4,1	2,3

Tabla K41 Datos obtenidos en la prueba N° 2 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	38,5	26,0	18,0	7,5
Potencia (Kw)	4,9	5,0	4,6	2,4

Tabla K.42 Datos obtenidos en la prueba N° 3 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,5	26,5	19,0	7,5
Potencia (Kw)	4,6	5,1	4,8	2,3

Tabla K.43 Datos obtenidos en la prueba N° 4 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,5	25,0	16,0	7,0
Potencia (Kw)	4,5	4,5	4,0	2,1

Tabla K.44 Datos obtenidos en la prueba N° 5 de análisis de torque y potencia en el motor a inyección electrónica utilizando GLP.

PARÁMETRO	R.P.M.			
	1000	1500	2000	2500
Torque (N-m)	36,5	25,5	16,5	7,5
Potencia (Kw)	4,6	4,7	4,1	2,5