

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**Tesis previa a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico Automotriz**

TITULO:

**ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO
FUNCIONAL CON SISTEMA DE
ALIMENTACIÓN DUAL GLP-GASOLINA EN UN
MOTOR CON GESTIÓN ELECTRÓNICA PARA
EL LABORATORIO DE MOTORES DE
COMBUSTION INTERNA.**

AUTORES:

- PABLO CÉSAR MARTÍNEZ MINGA
- BREINER FABIAN SIAVICHAY ROMERO
- JULIO CÉSAR TENESACA BUSTOS

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. Paúl Narváez

CUENCA – 2011

CERTIFICO

Yo, Ing. Paúl Narváez certifico que los estudiantes Pablo César Martínez Minga, Breiner Fabian Siavichay Romero, Julio César Tenesaca Bustos, han culminado con eficiencia el respectivo proyecto de tesis para la obtención del título de Ingeniero Mecánico Automotriz.

Ing. Paúl Narváez.

DECLARATORIA

El presente documento y su contenido, así como los resultados son de total responsabilidad de los Autores del presente proyecto, los firmantes.

Cuenca, 23 de febrero de 2011

ATENTAMENTE

Sr. Pablo Martínez Minga

Sr. Breiner Siavichay Romero

Sr. Julio Tenesaca Bustos

DEDICATORIA

Pablo César Martínez Minga

Después de terminar la tesis quiero expresar la dedicatoria las siguientes personas

A mis padres por depositarme su confianza durante toda mi carrera.

A mi prima Soraya y Leonardo que me brindaron su apoyo y ayuda en todo sentido.

A mis amistades que siempre supieron respaldarme para seguir adelante.

DEDICATORIA

Breiner Fabian Siavichay Romero

Al culminar mi proyecto de tesis deseo agradecer a las personas que hicieron posible esta meta:

A mis padres Sra. Blanca Romero Blacio y Sr. Virgilio Siavichay Mejia, por su apoyo y confianza, siendo pilares fundamentales en el éxito de este proyecto.

A mis hermanos Sra. Patricia Siavichay y Sr. Ruben Siavichay, por sus consejos y apoyo incondicional a lo largo de todo el tiempo de estudio.

A mis amigos y profesores, por compartir sus conocimientos y consejos en el presente proyecto de tesis.

Al Ing. Paul Narvaez, por su dedicación y guía en la culminación de la tesis.

Al Ing. Fabricio Espinoza, por la confianza y apoyo incondicional.

Al Ing. Oscar Tinoco por sus consejos y capacitación en la medición de gases.

DEDICATORIA

Julio César Tenesaca Bustos

Después de terminar mis estudios de tercer nivel, quiero expresar mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas.

- A mis padres: Dr. Julio Elías Tenesaca Aguilar y Dra. Beatriz Leonor Bustos León por brindarme la oportunidad de ser Ingeniero Automotriz
- A mis Abuelos: Raúl Bustos Bustos y María Olimpia León León por brindarme en todo momento el apoyo moral necesario para poder culminar mis estudios.
- A mis Hermanas Economista Andrea Elizabeth Tenesaca Bustos y Ing. Jacqueline del Rocío Tenesaca Bustos por brindarme en todo momento su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.
- A mi director de Tesis Ing. Paul Narváez, por dirigir nuestro proyecto por el camino correcto hasta la culminación del mismo.
- A mi director de Carrera Ing. Fabricio Espinoza por haber apoyado incondicionalmente a nuestro grupo de trabajo.

AGRADECIMIENTO

Después de un arduo trabajo para culminar nuestra tesis y cumplir con los objetivos planteados, queremos expresar gratitud con las empresas que nos brindaron su colaboración.

PETROECUADOR: Por facilitar información sobre el GLP y capacitación en el uso del mismo.

LOVATO: Por brindar catálogos de equipos, de los diferentes sistemas de alimentación GLP que existen en Ecuador.

UPS: por brindar sus instalaciones y equipamientos para la realización y culminación de nuestra tesis.

CUENCAIRE: Por facilitar los equipos para el análisis de gases, asesoramiento e interpretación de los mismos.

Un agradecimiento de manera particular a las personas que nos ayudaron para que esta tesis se concluya.

Ing. Paúl Narváez: Quien dedico su tiempo y formación profesional, experiencia que se utilizo como referencia para el desarrollo de la tesis.

Ing. Fabricio Espinoza: Quien nos brindo su mano amiga para resolver los inconvenientes que surgieron durante todo este proceso.

Ing. Raúl Luna: Por la colaboración incondicional, en el uso de las instalaciones y equipos que se encuentran bajo su cargo.

Ing. Oscar Tinoco: Por el manejo del analizador de Gases e interpretación de sus resultados.

INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	2
1. COMPONENTES DEL SISTEMA DUAL GLP-GASOLINA	3
1.1 SISTEMA DUAL-COMBUSTIBLE	3
1.1.1 Clasificación De Los Sistemas Duales	4
1.2 COMBURENTE.....	8
1.2.1 Aire.....	8
1.3 CARBURANTE.....	9
1.3.1 Gasolina.....	14
1.3.2 Gases Licuados de Petróleo (GLP).....	16
1.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.....	18
1.4.1 Elementos del sistema de alimentación.....	19
1.5 SISTEMA DE CONTROL DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE GASOLINA.....	25
1.5.1 Instrumentación.....	25
1.5.2 Sensores.....	28
1.6 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A GAS	41
1.6.1 Clasificación De Los Sistemas De Alimentación de GLP:	41
1.6.2 Elección Del Sistema De Alimentación GLP Para El Motor GA16DNE	43
1.7 COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	59
CAPITULO II.....	62
2. ESTUDIO DEL CICLO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA GLP-GASOLINA.....	63
2.1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.....	63
2.1.1 Motor de encendido provocado (MEP).....	64
2.2 PARAMETROS DE OPERACIÓN Y RENDIMIENTO.....	69

2.2.1 Propiedades geométricas motores MEP.....	69
2.2.2 Presión media efectiva (PME).....	69
2.2.3 Relaciones aire/combustible y combustible/aire	70
2.2.4 Consumo específico del combustible	71
2.2.5 Rendimiento volumétrico	71
2.3 PROPIEDADES Y PROCESOS TERMODINAMICOS.....	72
2.3.1 Propiedades termodinámicas.....	72
2.3.2 Procesos termodinámicos	79
2.4 FLUIDOS DE TRABAJO	81
2.4.1 Propiedades físicas-químicas del aire.....	82
2.4.2 Propiedades físicas-químicas de la Gasolina.....	83
2.4.3 Propiedades físicas-químicas de los Gases Licuados de Petróleo (GLP).....	84
2.4.3.1 Compatibilidad con los materiales:	86
2.5 CICLO REAL E IDEAL	87
2.5.1 Ciclo teórico:	89
2.5.2 Ciclo Real	91
2.6 ESTUDIO DE LOS PROCESOS EN UN MEP.....	93
2.6.1 Estudio de la fase de admisión	93
2.6.2 Estudio de la fase de compresión:	94
2.6.3 Estudio de la fase de combustión:	99
2.6.4 Estudio de la fase de expansión:.....	101
2.7 CÁLCULOS:.....	101
2.7.1 Temperatura inicial y presión inicial:.....	102
2.7.2 Ciclo Termodinámico Octano	104
2.7.3 Ciclo Termodinámico GLP.	113
2.8 RESULTADOS:.....	121
2.8.1 Eficiencia térmica:.....	121

2.8.2 Presión Media Efectiva:.....	122
2.8.3 Consumo de combustible:	122
2.8.4 Productos de Combustión:.....	124
CAPITULO III	126
3. ADAPTACION DEL SISTEMA DUAL GLP-GASOLINA.....	127
3.1 ESTRUCTURA DEL BANCO	127
3.1.1 Determinación Del Esfuerzo En Los Soportes.....	129
3.1.2 Selección De Las Ruedas	157
3.2 TABLERO DE INSTRUMENTOS.	158
3.3 MANGUERAS DEL RADIADOR:.....	159
3.4 ALTERNADOR:.....	159
3.5 MOTOR DE ARRANQUE:	162
3.6 TUBO DE ESCAPE:	163
3.7 ARNÉS DE CABLES:	164
3.8 PUESTA A PUNTO DE MOTOR.....	166
3.9 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA GLP.....	166
3.9.1 Ubicación Del Depósito De GLP	166
3.9.2 Filtro De GLP.	168
3.9.3 Ubicación Del Vaporizador	168
3.9.4 Adaptación Del Venturi.....	169
3.10 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO GLP.....	182
3.11 ABASTECIMIENTO DEL DEPÓSITO DE GLP	182
3.12 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GLP ..	184
3.13 AFINAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION GLP.....	185
3.13.1 Regulación de Caudal Máximo.	185
3.13.2 Regulacion Del Caudal Minimo.....	186
3.14 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GLP	186

CAPITULO IV.....	187
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE SISTEMA GLP-GASOLINA.....	188
4.1 PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	188
4.1.1 La combustión y sus productos	188
4.1.2 Características y efectos de las emisiones producidas por un motor de combustión interna ciclo Otto.....	189
4.2 LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA NORMA INEN DE GESTIÓN AMBIENTAL.....	192
4.3 Pruebas realizadas para el motor dual GLP-Gasolina a inyección electrónica. .	193
4.3.1 Pruebas de emisión de gases.....	193
4.3.2 Comparación de los resultados.....	196
4.3.2.1 Análisis del Monóxido de carbono (CO).....	196
4.3.2.2 Análisis del Dióxido de carbono (CO ₂).....	197
4.3.2.3 Análisis de Hidrocarburos (HC).....	198
4.3.2.4 Análisis de Oxígeno (O ₂).....	199
4.3.2.5 Análisis Lambda (λ).....	200
CONCLUSIONES.....	202
RECOMENDACIONES.....	204
BIBLIOGRAFIA:.....	206
ANEXOS	208

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

Figura 1.1: Sistema Dual-Combustible	3
Figura 1.2: Sistemas de gas convencional de primera generación	4
Figura 1.3: Sistema de gas convencional de segunda generación	5
Figura 1.4: Sistema de gas convencional de tercera generación	6
Figura 1.5: Sistema de gas convencional de cuarta generación	7
Figura 1.6 Sistema de gas convencional de quinta generación	7
Figura 1.7: Esquema de motores de combustión interna.....	10
Figura 1.8: Proceso de obtención de energía mediante el uso de combustible	11
Figura 1.9: Circuito de alimentación del carburante	19
Figura 1.10: Depósito de combustible.....	20
Figura 1.11: Pre-filtro.....	21
Figura 1.12: Bomba de Combustible.....	21
Figura 1.13: Filtro de combustible	22
Figura 1.14: Riel de inyectores.....	23
Figura 1.15: Inyector	23
Figura 1.16: Regulador de presión.	24
Figura 1.17: Unidad electrónica de control (ECU)	26
Figura 1.18: Sensor de temperatura en el refrigerante del motor ECT.....	28
Figura 1.19: Circuito del Sensor ETC	29
Figura 1.20: Medición del sensor ECT.....	30
Figura 1.21: Sensor del ángulo del giro.....	31
Figura 1.22: Placa del rotor	31
Figura 1.23: Circuito del Sensor del ángulo de giro.....	32
Figura 1.24: Medición del sensor del ángulo del cigüeñal.....	32
Figura 1.25: Sensor TPS.....	33
Figura 1.26: Ubicación del sensor TPS	34
Figura 1.27: Circuito del sensor TPS	34
Figura 1.28: Medición del sensor TPS	35
Figura 1.29: Sensor de hilo caliente	37
Figura 1.30: Ubicación del sensor de hilo caliente.....	37

Figura 1.31: Circuito del sensor MAF	38
Figura 1.32: Medición del sensor MAF	38
Figura 1.33: Sistema Eléctrico	40
Figura 1.34: Sistema de alimentación a GLP	41
Figura 1.35: Válvula de llenado	44
Figura 1.36: Surtidor de llenado del sistema	45
Figura 1.37: Deposito GLP.....	45
Figura 1.38: Válvulas de cilindro	47
Figura 1.39: Válvulas de seguridad	48
Figura 1.40: Manómetro para GLP	48
Figura 1.41: Tuberías para GLP	49
Figura 1.42: Cañerías para GLP	50
Figura 1.43: Acoples y Tapones para GLP	51
Figura 1.44: Filtro fase líquido para GLP	52
Figura 1.45: Reductor para GLP	53
Figura 1.46: Esquema del reductor de GLP	54
Figura 1.47: Primera etapa del reductor de GLP	55
Figura 1.48: Segunda etapa del reductor de GLP	56
Figura 1.49: Tercera etapa del reductor de GLP	57
Figura 1.50: Manguera Flexible	57
Figura 1.51: Dosificadores para GLP	58
Figura 1.52: Ubicación del dosificador para GLP.....	59
Figura 1.53: Conmutador para GLP	60
Figura 1.54: Emulador de inyectores GLP	61

CAPITULO II

Figura 2.1: Ciclo de operación de 4 tiempos, TC es PMS y BC es PMI.....	65
Figura 2.2: Secuencia de eventos en un MEP de 4 tiempos en función del ángulo de giro del cigüeñal. RCA: Retraso al cierre de la válvula de admisión; AAA: Avance de Apertura de la válvula de Admisión; AAE: Avance de Apertura de la válvula de Escape; RCE: Retraso al cierre de la válvula de escape.	66
Figura 2.3: Integrando entre los límites 1 y 2 se obtiene el trabajo realizado en una carrera del pistón.	73

Figura 2.4: Diferencial de entropía en un diagrama TS.	74
Figura 2.5: Diagramas P-V y T-S de un proceso a volumen constante.....	80
Figura 2.6: Diagramas P-V y T-S de un proceso adiabático.	81
Figura 2.7: Esquema del proceso de funcionamiento de un MEP.....	81
Figura 2.8: Composición del GLP.....	85
Figura 2.9: Diagrama p-v de un ciclo termodinámico.....	87
Figura 2.10: Diagrama presión volumen ciclo Otto.(10).....	88
Figura 2.11: Diagrama p-v T-S de un ciclo Otto ideal.	90
Figura 2.12: Comparación entre el Ciclo Otto ideal y el real.....	92
Figura 2.13: Esquema de las zonas en un MEP durante el proceso de combustión: u zona no quemada, b zona quemada, W trabajo, Q flujo de calor transferido hacia las paredes (pistón, camisas y culata).	95
Figura 2.14: Grafica de la funciones de compresión isoentrópica. ($\Phi = Fr$).....	98
Figura 2.15: Determinación de la temperatura de compresión.....	104
Figura 2.16: Porcentajes de eficiencia térmica GLP – Octano.....	121
Figura 2.17: Presión media efectiva GLP – Octano.	122
Figura 2.18: Consumo de combustible GLP – Octano.....	123
Figura 2.19: Productos de combustión Octano.....	124
Figura 2.20: Productos de combustión GLP.....	125

CAPITULO III

Figura 3.1: Vista frontal	127
Figura 3.2: Vista Lateral.....	128
Figura 3.3: Vista Superior	128
Figura 3.4: Esfuerzo de las vigas.....	129
Figura 3.5: Diagrama de la fuerza	131
Figura 3.6: Esfuerzo del soporte 1.....	132
Figura 3.7: Esfuerzo del soporte 2.....	135
Figura 3.8: Esfuerzo del soporte 3.....	137
Figura 3.9: Esfuerzo del soporte del deposito de GLP.	139
Figura 3.10: Esfuerzo del soporte de la batería.	143
Figura 3.11: Esfuerzo de las soporte del depósito de gasolina.....	145
Figura 3.12: Esfuerzo de el soporte vertical 1.	148

Figura 3.13: Esfuerzo el soporte vertical 2.....	151
Figura 3.14: Esfuerzo del soporte vertical 3.....	153
Figura 3.15: Esfuerzo del soporte vertical 4.....	155
Figura 3.16: Ruedas.....	157
Figura 3.17: Tablero de Instrumentos	158
Figura 3.18: Mangueras del Radiador	159
Figura 3.19: Distribución de la bandas.....	160
Figura 3.20: Eliminación de la polea de la bomba de dirección Hidráulica.....	160
Figura 3.21: Adaptación de una polea en el Alternador	161
Figura 3.22: Posición Final de la Nueva Banda	162
Figura 3.23: Adaptación del Soporte del Motor de Arranque	162
Figura 3.24: Adaptación Del Tubo De Escape	163
Figura 3.25: Arnés de Cables	164
Figura 3.26: Diagrama eléctrico de la ECU.	165
Figura 3.27: Surtidor Industrial de Llenado	167
Figura 3.28: Deposito De GLP	167
Figura 3.29: Filtro de GLP Fase Líquido	168
Figura 3.30: Vaporizador de GLP	169
Figura 3.31: Comportamiento del flujo en una tobera convergente divergente según el match.	171
Figura 3.32: Numero de Reynolds – Diámetro de garganta	174
Figura 3.33: Presión en la garganta – Diámetro de la garganta.....	175
Figura 3.34: Velocidad –Diámetro de garganta.....	176
Figura 3.35: Reynolds – Diámetro de garganta en la sección de salida.	177
Figura 3.36: Presión en la Garganta – Diámetro de garganta en la sección de salida..	177
Figura 3.37: Tubo Venturi.....	178
Figura 3.38: Cono convergente	179
Figura 3.39: Triangulo en el Cono convergente.....	179
Figura 3.40: Triangulo en el Cono divergente.....	180
Figura 3.41: Triangulo en el Cono divergente.....	180
Figura 3.42: Venturi	181
Figura 3.43: Esquema eléctrico del sistema de alimentación a gas.....	182
Figura 3.44: Abastecimiento del GLP en el depósito.....	183
Figura 3.45: Afinamiento del sistema GLP.....	185

CAPITULO IV

Figura 4.1: Reacción en motores de combustión interna.....	189
Figura 4.2: Emisión de gases producidos por la combustión de gasolina extra.	194
Figura 4.3: Emisiones de hidrocarburos (HC ppm), combustión de gasolina.	194
Figura 4.4: Emisión de gases producidos por la combustión de GLP.	195
Figura 4.5: Emisiones de hidrocarburos (HC ppm), combustión de GLP.....	196
Figura 4.6: Comparación del CO usando gasolina y GLP como carburante.....	197
Figura 4.7: Comparación del CO ₂ usando gasolina y GLP como carburante.....	198
Figura 4.8: Comparación del HC usando gasolina y GLP como carburante.....	199
Figura 4.9: Comparación del O ₂ usando gasolina y GLP como carburante.	200
Figura 4.10: Comparación de lambda (λ) usando gasolina y GLP como carburante...	201

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

TABLA 1.1: Composición química del aire.....	9
TABLA 1.2: Temperatura de destilación de los diferentes derivados	13
TABLA 1.3: Especificaciones del motor GA16DNE	18
TABLA 1.4: Datos de bomba de combustible	22
TABLA 1.5: Comprobaciones del inyector.....	24
TABLA 1.6: Disposición de los terminales de la ECU.....	28
TABLA 1.7: Comprobaciones del sensor ECT	30
TABLA 1.8: Comprobación del sensor del ángulo de giro.....	33
TABLA 1.9: Comprobación del sensor TPS	36
TABLA 1.10: Comprobaciones del sensor MAF	39

CAPITULO II

TABLA 2.1: Coeficientes NASA de los elementos que forman parte del aire.....	76
TABLA 2.2: Coeficientes NASA de los elementos que forman parte del aire.....	76
TABLA 2.3: Coeficientes NASA de los combustibles.....	77
TABLA 2.4: Composición del aire.....	82
TABLA 2.5: Propiedades del aire.....	83
TABLA 2.6: Propiedades del combustible octano.....	84
TABLA 2.7: Propiedades de los gases Propano y butano.....	86
TABLA 2.8: Compatibilidad del GLP con algunos materiales.....	86
TABLA 2.9: Composición de la mezcla sin quemar.....	95
TABLA 2.10: Factores para relacionar las propiedades en base molar y másica.....	96
TABLA 2.11: Datos del motor.....	102
TABLA 2.12: Condiciones iniciales del ciclo.....	104
TABLA 2.13: Composición de los gases en la admisión.....	105

TABLA 2.14: Composición de la entalpia molar de los gases.....	106
TABLA 2.15: Energía interna del ciclo de combustión.	109
TABLA 2.16: Composición de los productos de combustión.....	110
TABLA 2.17: Entalpia molar de los productos de combustión.	111
TABLA 2.18: Producto de la entalpia por la fracción molar de las especies.....	111
TABLA 2.19: Composición de los gases en la admisión.	114
TABLA 2.20: Composición de la entalpia molar de los gases.....	114
TABLA 2.21: Energía interna del ciclo de combustión.	117
TABLA 2.22: Composición de los productos de combustión.....	118
TABLA 2.23: Entalpia molar de los productos de combustión.	118
TABLA 2.24: Producto de la entalpia por la fracción molar de las especies.....	119
TABLA 2.25: Comparación del costo de gasolina super y GLP.....	123

CAPITULO III

TABLA 3.1: Análisis de esfuerzos.....	130
TABLA 3.2: Perfiles en L	133
TABLA 3.3: Perfiles en L	136
TABLA 3.4: Perfiles en L	138
TABLA 3.5: Perfiles en L	141
TABLA 3.6: Perfiles en L	144
TABLA 3.7: Perfiles en L	147
TABLA 3.8: Pesos de los elementos.....	157
TABLA 3.9: Clasificación de los tipos de flujo según el Match.....	170
TABLA 3.10: Características del motor.	173
TABLA 3.11: Propiedades del aire	173
TABLA 3.12: Dimensiones del venturi.....	173

CAPITULO IV

TABLA 4.1: Limites máximos permitidos para fuentes móviles ciclo Otto propulsado por gasolina. Marcha mínima o ralentí. (Prueba estática).....	192
TABLA 4.2: Datos promedio del análisis de gases en el motor con alimentación a gasolina.....	193

TABLA 4.3: Datos promedio del análisis de gases en el motor con alimentación a GLP.	195
TABLA 4.4: Comparación del CO usando gasolina y GLP como carburante.....	196
TABLA 4.5: Comparación del CO ₂ usando gasolina y GLP como carburante.....	197
TABLA 4.6: Comparación del HC usando gasolina y GLP como carburante.....	198
TABLA 4.7: Comparación del O ₂ usando gasolina y GLP como carburante.	199
TABLA 4.8: Comparación de lambda (λ) usando gasolina y GLP como carburante..	200

INTRODUCCION

En busca de nuevas alternativas de combustible, la tecnología ha desarrollado sistemas duales de alimentación en el vehículo, con la finalidad de poder utilizar el combustible apropiado de acuerdo a las condiciones en términos de economía, disponibilidad, autonomía, etc.

El GLP (gas licuado de petróleo) es una mezcla del propano-butano que se utiliza sobre todo como combustible doméstico. El GLP doméstico es proporcionado por las compañías petroleras del sector público en las áreas urbanas. Hoy en día, el GLP es también un combustible alternativo favorito en algunos países donde el costo de la gasolina es elevado.

En el parque vehicular nacional se ha notado un aumento en el uso de GLP como combustible alternativo para unidades de transporte público, gracias a que también se ha legalizado el uso de este combustible, limitándose exclusivamente al gremio de los taxistas de la ciudad de Guayaquil, desde esta perspectiva resulta imperioso el estudio de las ventajas y limitaciones de este derivado del petróleo, y el uso en motores de combustión interna, que por excelencia han sido diseñados para usar gasolina como combustible.

El consiguiente estudio y demás material servirán como un aporte al laboratorio de motores de combustión interna de la Universidad Politécnica Salesiana en su afán por la formación profesional y académica de sus estudiantes.

CAPITULO I

1. COMPONENTES DEL SISTEMA DUAL GLP-GASOLINA

1.1 SISTEMA DUAL-COMBUSTIBLE

El sistema dual-combustible esta constituido por un conjunto de elementos (equipo completo de conversión), que hace posible operar el vehículo con gasolina según su diseño original, o alternativamente con gas licuado de petróleo. El cambio de uso de combustible se puede realizar aun con el vehículo en marcha. Véase la figura. 1.1.

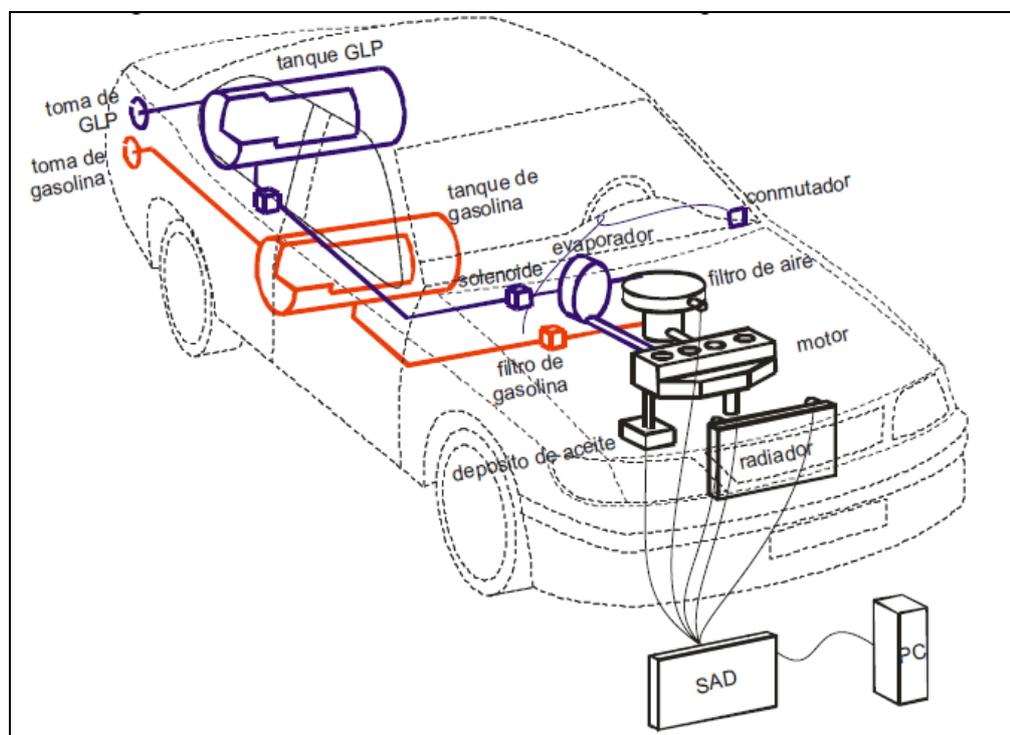


Figura 1.1: Sistema Dual-Combustible

Fuente: <http://www.ucsm.edu.pe>

En vista que nuestro parque automotriz ya cuenta con una creciente cantidad de vehículos públicos (taxis), estos cuentan con sistemas de alimentación que requieren para su correcto desempeño la gasolina súper, siendo este combustible costoso en nuestro país, por tal motivo existe la necesidad de implementar una nueva alternativa de combustible más económico, para ello los taxis que realizan grandes recorridos, han visto la necesidad de implementar el sistema dual (GLP-Gasolina) en sus vehículos.

Estos sistemas duales se adaptaban a cualquier sistema de alimentación, tanto en sistemas a carburador como en sistemas a inyección.

Estos sistemas duales son fabricados en Italia y España, representados por Lovato y Autogas respectivamente.

1.1.1 Clasificación De Los Sistemas Duales

La clasificación de los sistemas duales se dividió por generaciones:

Primera Generación.- Es el sistema formado por aquellos elementos que trae un equipo completo de conversión (Gasolina – GLP), que se adaptan técnicamente a un vehículo cuyo sistema de manejo de combustible es mediante un carburador. Véase en el figura.1.2



Figura 1.2: Sistemas de gas convencional de primera generación

Fuente: <http://www.gotpropane.com>

Segunda Generación.- Es el sistema formado por aquellos elementos que trae un equipo completo de conversión (Gasolina – GLP), que se adaptan técnicamente a un vehículo cuyo sistema de manejo de combustible es mediante inyección electrónica, sea mono punto o multipunto, pero que no requiere de verificación final de la mezcla con el uso de un sensor de oxígeno, o sea sistema de inyección lazo abierto (Open Loop). El suministro del gas al motor es a través de un mezclador. Véase en la figura. 1.3.



Figura 1.3: Sistema de gas convencional de segunda generación

Fuente: <http://www.bon-gas.com>

Tercera Generación.- Es el sistema formado por aquellos elementos que trae un equipo completo de conversión (Gasolina – GLP), que se adaptan técnicamente a un vehículo cuyo sistema de manejo de combustible es mediante inyección electrónica, sea mono punto o multipunto, pero que utiliza la verificación final de la mezcla con el uso de un sensor de oxígeno, o sea sistemas de inyección lazo cerrado (Close Loop). Véase en la figura. 1.4.



Figura 1.4: Sistema de gas convencional de tercera generación

Fuente: <http://www.bon-gas.com>

Cuarta Generación.- Ya con esta generación se deja de usar mezclador, evitando inundar el múltiple de admisión con GLP, buscando aumentar la rapidez en la entrega del GLP y evitar las famosas contra explosiones. Ya se comienza a introducir el concepto de entrega directa de GLP a cada cilindro. Los equipos utilizados se asemejan a un sistema de inyección Mono punto con entregas posteriores individuales a cada cilindro. Algunos usan motores de paso convencionales con sistemas de distribución circular, otros distribuidores con válvulas mecánicas dispuestas sobre un colector rectangular. También suelen usarse uno o dos motores de paso.

Se maneja una presión mayor de entrega que en los reductores convencionales pero se envía una presión igual en todas las mangueras conectadas al múltiple de admisión, tratando de asemejarse a un sistema multipunto, pero sin respetar secuencialidad ya que su ordenamiento es mecánico y no electrónico. Véase en la figura. 1.5.



Figura 1.5: Sistema de gas convencional de cuarta generación

Fuente: <http://www.bon-gas.com>

Quinta Generación.- Esta es la última generación de equipos de conversión hasta el momento. Y sus principales diferencias con la cuarta generación radican en que ya se empieza a manejar inyectores individuales por cilindro, que suministran el gas de manera secuencial a cada cilindro del motor, y que estos equipos se montan en serie con el sistema original de gasolina, obedeciendo fielmente las órdenes de pulso de inyección enviadas por la computadora de gasolina. Véase en la figura. 1.6.



Figura 1.6 Sistema de gas convencional de quinta generación

Fuente: <http://www.bon-gas.com>

1.2 COMBURENTE.

Se denomina comburente, a la sustancia que participa en la combustión oxidando al combustible (y por lo tanto siendo reducido por este último).

El comburente más habitual es el oxígeno, que se encuentra normalmente en el aire con una concentración porcentual en volumen aproximada del 21%. Para que se produzca la combustión es necesaria la presencia de una proporción mínima de oxígeno, que por regla general va de un 15% hasta en casos extremos de un 5%.

1.2.1 Aire.

El aire es un componente esencial del proceso de funcionamiento de los motores alternativos de combustión interna, debido a la proporción de oxígeno contenida en él que actuará como comburente en la reacción de combustión del hidrocarburo. Gracias a este comburente (oxígeno), los combustibles son capaces de reaccionar y transmitir su contenido energético al motor si se realiza un ciclo termodinámico. Por esta razón a continuación se describen las características más significativas del aire.

La composición del aire es variable dependiendo de las condiciones en las que se encuentra y su localización. A pesar de esta variabilidad, en la siguiente Tabla 1.1.se muestra la composición aproximada del aire puro.

COMPONENTE		CONCENTRACIÓN (% vol.)
Nitrógeno	N ₂	78,03
Oxígeno	O ₂	20,99
Dióxido de Carbono	CO ₂	0,03
Argón	Ar	0,94
Neón	Ne	0,00123
Helio	He	0,0004
Criptón	Kr	0,00005
Xenón	Xe	0,000006
Hidrógeno	H ₂	0,01
Metano	CH ₄	0,0002
Óxido nitroso	N ₂ O	0,00005
Vapor de agua	H ₂ O	Variable
Ozono	O ₃	Variable
Partículas	-	Variable

TABLA 1.1: Composición química del aire

Fuente: www.biblioteca.universia.net

El aire es un fluido incoloro, inodoro e insípido y mal conductor del calor y la electricidad especialmente cuando está seco. Desprovisto de vapor de agua su comportamiento se aproxima al de los gases ideales y sus propiedades dependen de la presión y la temperatura.

1.3 CARBURANTE.

Todos los combustibles deben cumplir un ciclo, para transformar la energía química en energía mecánica, en todo este proceso se toman en cuenta muchos parámetros para escoger cual de todos los posibles combustibles es el más idóneo para los motores de combustión interna, el ciclo que cumplen se encuentra esquematizado en la figura. 1.7.

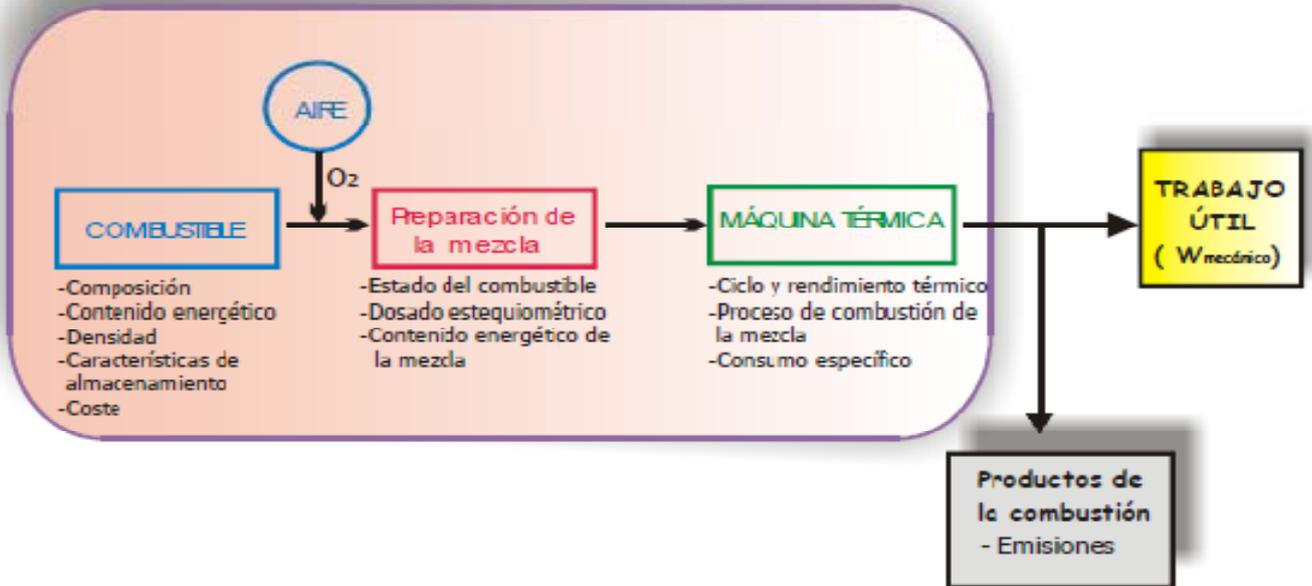


Figura 1.7: Esquema de motores de combustión interna

Fuente: <http://biblioteca.universia.net>

La obtención de energía mecánica (W útil) en motores alternativos de combustión interna, se logra como resultado del proceso de combustión del combustible con aire. Obviamente la combustión no es continua, como en un motor de flujo continuo, o como una turbina de gas, sino que el proceso es intermitente. Por ello, los combustibles deben cumplir una serie de requisitos.

- En motores de encendido provocado (que se explican posteriormente), el combustible debe evaporarse fácilmente y formar una mezcla homogénea con el aire previamente a su introducción en el cilindro (combustión de pre- mezcla).
- El combustible, independientemente de la temperatura ambiente, debe facilitar un arranque rápido y seguro del motor; la evaporación en motores ciclo Otto y viscosidad adecuada en motores ciclo diesel.
- Para asegurar una combustión completa con las menores emisiones posibles, los combustibles deben poseer unas características adecuadas.

- El combustible debe contribuir a evitar el desgaste y la corrosión de las partes internas del motor.

Por lo tanto, los Motores Alternativos de Combustión Interna, reflejados en el esquema como máquina térmica, permiten el uso de casi todo tipo de combustibles, líquidos, sólidos o gaseosos, siempre y cuando cumplan las características mencionadas con anterioridad, es decir, los combustibles líquidos y gaseosos.

En la Figura 1.8, se representan esquemáticamente los requisitos y operaciones de preparación necesarias e inherentes al estado físico de los combustibles para obtener una combustión correcta, es decir, rápida y completa, así como el calor aportado (Q_e), al ciclo termodinámico que se suministra mediante el proceso de combustión, el cual se realiza en la cámara de combustión del motor.

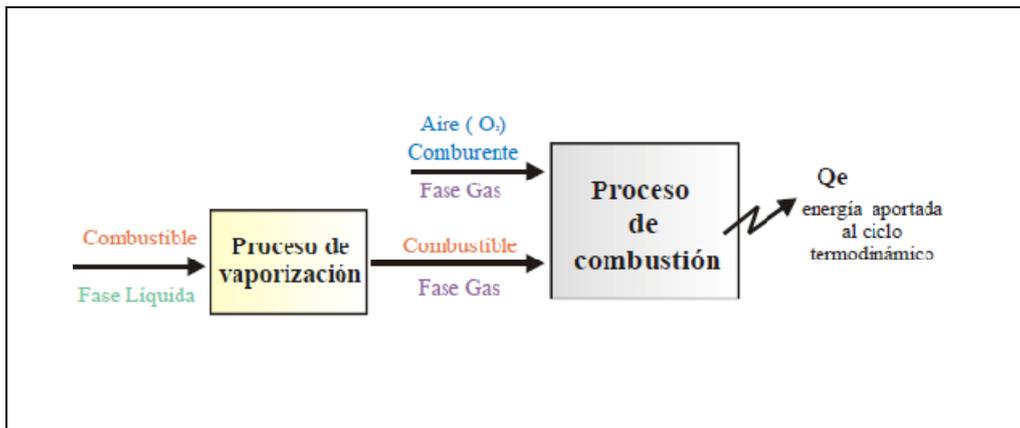


Figura 1.8: Proceso de obtención de energía mediante el uso de combustible

Fuente: <http://biblioteca.universia.net>

Combustibles Tradicionales Aplicados En Motores De Combustión Interna Ciclo Otto.

Los motores de combustión interna poseen dos ciclos de funcionamiento termodinámico, uno es el ciclo Otto y el otro ciclo diesel.

Con frecuencia se han utilizado derivados del petróleo como combustible para el funcionamiento de los motores con combustión interna, millones de automóviles

circulan con estos tipos de combustibles de carácter fósil, ante esta situación, es necesario hacer una breve explicación sobre el petróleo, a partir del cual derivan muchos combustibles fósiles, no renovables.

Derivados Del Petróleo

Se considera petróleo crudo al petróleo en su estado natural, cuando aún contiene gas y no ha sufrido ningún tipo de tratamiento, tal y como se ha descrito en su definición.

Este tipo de petróleo no es directamente utilizable, salvo raras veces como combustible. El petróleo se somete a diversos procesos o tratamiento para obtener sus diversos subproductos, donde resultan productos acabados y las materias químicas más diversas. Este conjunto de procesos recibe el nombre refino o refinación. Este proceso se inicia con la destilación a presión atmosférica en la que se separan los componentes de la mezcla. Esta operación se realiza en un cilindro de más de 50m de altura, en el cual se introduce el petróleo, que previamente ha sido calentado hasta 400°C, el petróleo crudo va entrando continuamente y van saliendo los diferentes productos destilados según sus puntos de ebullición. A continuación los compuestos obtenidos son refinados nuevamente en otras unidades de proceso, donde se modifica su composición molecular o se eliminan los compuestos no deseados, como puede ser el azufre.

Por lo tanto, mediante la destilación del petróleo, se obtienen progresivamente todos aquellos compuestos de temperatura de ebullición, entre los cuales tenemos:

Gases: metano, etano, propano y butano. Al propano y al butano también se denomina gases licuados del petróleo o GLP.

- Éter de petróleo: contiene principalmente pentanos y hexanos, consiste en una fracción volátil.
- Gasolinas y naftas: mezclas formadas por hidrocarburos de cuatro a doce átomos de carbono.

- Queroseno: se usa como combustibles en algunos motores, como el de los aviones. Es una fracción del petróleo formada por una cadena de doce a dieciséis carbonos.
- Gasoil: compuesto formado por cadenas de quince a dieciocho carbonos. Se utiliza para motores diesel y de calefacción.
- Fuel-oil residual: productos pesados obtenidos de los residuos de la destilación atmosférica. Se usan en grandes instalaciones como son las centrales térmicas.
- Aceites lubricantes: fracción que contiene entre 16 y 30 carbonos, cuyas propiedades lo hacen muy útil como lubricante en el mundo de la mecánica.
- Residuos sólidos: ceras minerales, productos farmacéuticos, alquitranes, betunes y plásticos para centenares de aplicaciones útiles.

En la siguiente Tabla 1.2 se muestran aproximadamente las diferentes temperaturas de ebullición a las que destilan los diferentes derivados del petróleo.

Cantidad (% Volumen)	Punto de ebullición (°C)	Atomos de carbono	Productos
1-2	<30	1-4	gas natural, metano, butano, gas licuado
15-30	30-200	4-12	Eter de petróleo, nafta, ligroína, gasolina cruda
5-20	150-300	12-15	queroseno
10-40	300-400	15-25	gas-oil, fuel-oil, aceites lubricantes, ceras, asfaltos
8-69	>400	>25	aceite residual, parafinas, breas

TABLA 1.2: Temperatura de destilación de los diferentes derivados

Fuente: www.biblioteca.universia.net

De todos los derivados, nos vamos a centrar en dos de los compuestos que van a ser objeto de estudio, la gasolina y el gas licuado de petróleo (GLP).

1.3.1 Gasolina.

La gasolina no se encuentra en estado natural, se necesita procesarlo, siendo el combustible para el cual fueron diseñados los motores ciclo Otto o de encendido por chispa, es un líquido pardo pálido o rosado, y es sumamente inflamable.

Parámetros-. Las principales propiedades de la gasolina se describen a continuación:

- Número de octano: es la principal propiedad ya que está altamente relacionada con el rendimiento del motor del vehículo. Es la medida de su calidad antidetonante, es decir habilidad de resistir las detonaciones del motor. La gasolina tiene un número de octano entre 90 y 100 dependiendo del tipo de gasolina.
- Curva de destilación: esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Por lo tanto se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70°C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío. A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140°C, se asegura una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor. A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible.
- Volatilidad: la gasolina es muy volátil. Esta propiedad representa de forma indirecta el contenido de los componentes volátiles que brindan la seguridad, en este caso de la gasolina, en su transporte y almacenamiento. Esta propiedad de la gasolina se mide como la presión de vapor la cual tiene un valor de 0.7-0.85mmHg.
- Contenido de azufre: Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto. Si esta cantidad sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape. También se relaciona con efectos nocivos sobre el ambiente, siendo un factor importante en la producción de lluvia ácida.

Además de ser un líquido fácilmente inflamable, de una densidad relativa de 0.7 a 0.77 menor a la del agua, posee un gran poder antidetonante, medido por el índice de octano.

La gasolina se caracteriza por proporcionar al motor del vehículo un arranque fácil en frío, una potencia máxima durante la aceleración, la no dilución del aceite y un funcionamiento normal y silencioso bajo las condiciones de funcionamiento del motor. Esto es debido a sus buenas propiedades de octanaje y volatilidad.

Actualmente existen diversos tipos de gasolinas, en función del número de octanos, por lo tanto debe de usarse aquella que sea apropiada al motor del vehículo, en función de su relación de compresión, ya que cuanto mayor sea la relación de compresión del motor, mayor tiene que ser el octanaje de la gasolina. En el caso de utilizarse una gasolina de menor número de octanaje que el adecuado, se produce un fenómeno denominado detonación o pre-encendido (expansión muy brusca y descontrolada).

Combustibles alternativos aplicados en motores de combustión interna ciclo Otto.

Durante las últimas décadas, se han realizado grandes esfuerzos hacia un avance tecnológico y mejoras en el ahorro de combustible, permitiendo disponer de vehículos mejores y más eficientes. Pero estos no han sido suficientes para resolver los problemas de disponibilidad, dependencia del petróleo y contaminación asociada al transporte.

A nivel mundial, es conocido que el petróleo y sus derivados no tienen un buen pronóstico, ya sea por el hecho de no ser un recurso renovable, o por la contaminación que se ve desmesuradamente acrecentada por el aumento en el parque vehicular actual, estos problemas conllevan la necesidad de elaborar una estrategia para reducir el impacto medioambiental, económico y social.

Las acciones se han contemplado en la mejoría de la tecnología para la alimentación de motores de combustión interna, creación de nuevos automóviles que ya no utilicen a los derivados del petróleo como sustento de movilidad además de ello, se buscan nuevos combustibles que puedan reducir estos problemas, en países como el nuestro existen

alternativas de energía que todavía no han sido explotadas, entre algunas de las nuevas alternativas de energía para motores de combustión interna se destacan:

- Biogás
- Biocarburantes
- Gases licuados del petróleo (GLP)
- Gas natural
- Hidrógeno

Todas estas alternativas son viables, pero el combustible que va a ser objeto de nuestro estudio es el GLP.

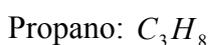
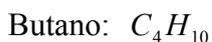
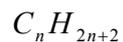
1.3.2 Gases Licuados de Petróleo (GLP)

Las siglas GLP designan una serie de gases que se obtienen en la destilación del petróleo.

El GLP es subproducto o derivado del petróleo, que se almacenan y transportan en forma líquida (de ahí el nombre) aunque van siempre acompañados de una bolsa o cámara de fase gaseosa.

Composición.- Es un combustible que tiene una composición química donde predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas, la cual contiene impurezas principales, como son el propileno o butileno o una mezcla de estos.

Los gases butano y propano, en estado puro, son hidrocarburos del tipo:



La composición más habitual de los GLP, es un 40% de butano y un 60% de propano, aunque en este estudio también se analizarán las propiedades de cada compuesto por separado.

Parámetros.- El petróleo se somete a una operación denominada destilación, mediante la cual se van separando ordenadamente, de acuerdo con sus densidades y puntos de ebullición, los diversos componentes: gasolinas ligeras, kerosenos, butano, propano, gas-oil, fuel-oil y aceites pesados.

Los gases derivados de esta destilación que forman el grupo de los GLP son el butano (40%) y el propano (60%), que se distinguen entre sí por su composición química, presión, punto de ebullición y en su poder calorífico.

Para facilitar su transporte y almacenamiento, el gas licuado del petróleo que se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales de presión y temperatura, se licua y se utiliza a bajas presiones (entre 5 y 9 bar) para así mantenerla en su estado. El almacenamiento se realiza en tanques o en depósitos.

Algunas de sus propiedades más significativas son las siguientes:

- No son tóxicos ni corrosivos, solo se desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.
- No contiene plomo ni ningún aditivo añadido.
- Contiene pocas cantidades de azufre en su composición.
- Son inodoros e incoloros, sin embargo para detectar su fuga se le añaden sustancias que producen un olor fuerte y desagradable.
- Son más pesados que el aire, si tienen alguna pequeña fuga pueden extenderse por el suelo y los fosos de inspección.
- El GLP es un combustible económico, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- Es excesivamente frío, porque cuando se ha licuado se le ha sometido a muy bajas temperaturas de bajo 0°. Por lo tanto el contacto con la piel produce quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.

1.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.

El motor GA16DNE es uno de los motores que fabrica la marca NISSAN, que posee un sistema de alimentación con gestión electrónica, es el motor que se logro conseguir de acuerdo a las exigencias del tema de tesis planteado, y a nuestras posibilidades económicas. Entre las características y especificaciones detallamos lo siguiente:

Motor modelo: GA16DNE

Significado del modelo:

GA: Tipo de motor.

16: Desplazamiento del motor (1600cc).

D: Doble árbol de levas en cabeza.

N: Nuevo EGI.

E: Inyección electrónica.

Especificaciones:

Motor	GA16DNE
Clasificación	Gasolina
Disposición de los cilindros	Cuatro en línea
Cilindrada cm^3 (pulg ³)	1597cc (97.45pc)
Diámetro por carrera mm (pulg)	76.0x88.0 (2992x3465)
Disposición de las válvulas	Doble árbol de levas en el cabezote (DOHC)
Orden de encendido	1-3-4-2
Relación de compresión	9.5 : 1

TABLA 1.3: Especificaciones del motor GA16DNE

Fuente: Manual de motor GA16DNE

1.4.1 Elementos del sistema de alimentación.

Es el inicio en el encendido, el combustible debe llegar desde el depósito hasta el inyector, entre los elementos que forman parte del circuito de inyección de combustible se encuentran:

- Pre filtro de combustible
- Bomba de combustible
- Filtro de combustible
- Rampa de inyección
- Inyectores
- Regulador de la presión del combustible.

La disposición de estos elementos la podemos observar en la figura 1.9.

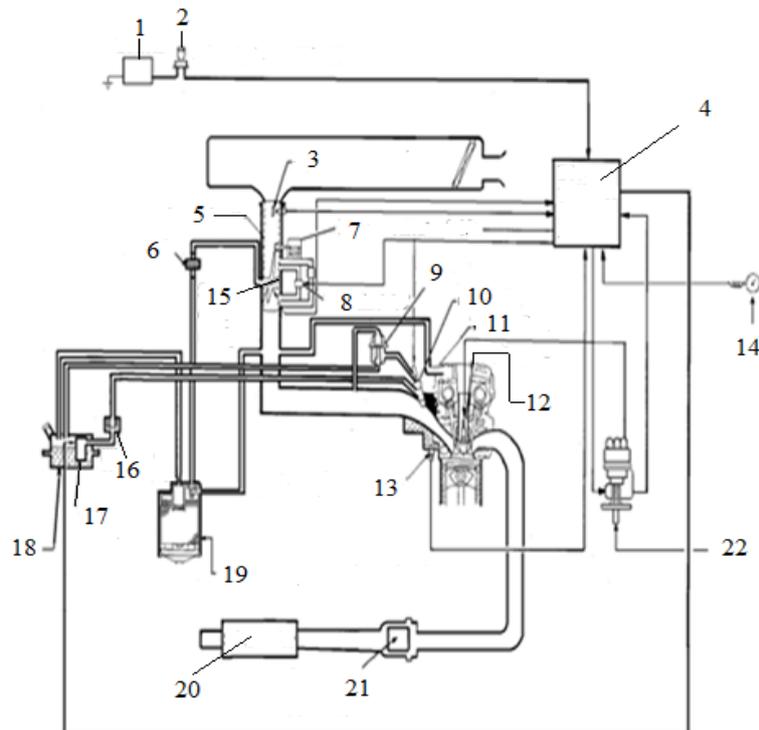


Figura 1.9: Circuito de alimentación del carburante

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Descripción del sistema, de acuerdo al orden de los elementos por medio del cual circula el combustible: 1.-Batería; 2.- Interruptor de arranque; 3.- Medidor de flujo de aire; 4.- ECU (unidad de control ECCS); 5.- Cámara de la mariposa; 6.- Válvula retardadora de vacío; 7.- Leva de ralentí rápido; 8.- Válvula AAC; 9.- Regulador de presión; 10.- Inyector; 11.- Válvula PCV; 12.- Bujía; 13.- Sensor de temperatura del motor; 14.- Sensor de velocidad del vehículo; 15.- Sensor de la mariposa; 16.- Filtro de Combustible; 17.- Bomba de Combustible; 18.- Tanque de Combustible; 19.- Cartucho de Carbón Activado; 20.- Silenciador; 21.- Catalizador de 3 vías; 22.- Bobina de encendido transistor de potencia y sensor de ángulo de giro incorporado en el distribuidor.

Depósito De Combustible.- El depósito de combustible o tanque de combustible, es un contenedor seguro para líquidos inflamables, suele formar parte del sistema de alimentación del motor, en el cual se almacena el combustible, que es propulsado (mediante la bomba de combustible) o liberado (mediante válvulas como gas a presión) en el motor. El depósito está compuesto de acero o aluminio a partir de la soldadura de láminas estampadas.Fig.1.1

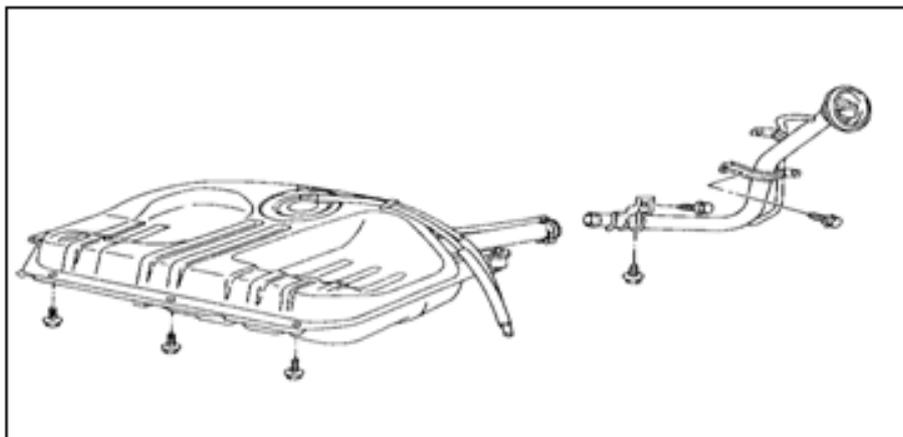


Figura 1.10: Depósito de combustible

Fuente: Manual del motor 16GADNE

Pre-Filtro.- El pre-filtro está ubicado dentro del depósito de combustible, evitando que los sedimentos que se forman por el combustible sucio, dañen la bomba de combustible.



Figura 1.11: Pre-filtro

Fuente: www.boschchile.cl

Bomba De Combustible.- La bomba de gasolina es el componente encargado de transportar la gasolina, desde el tanque de combustible hasta la cámara de combustión y puede generar una presión de 4 bares. Es de tipo turbina, está instalada dentro del tanque de combustible (Fig. 1.12)

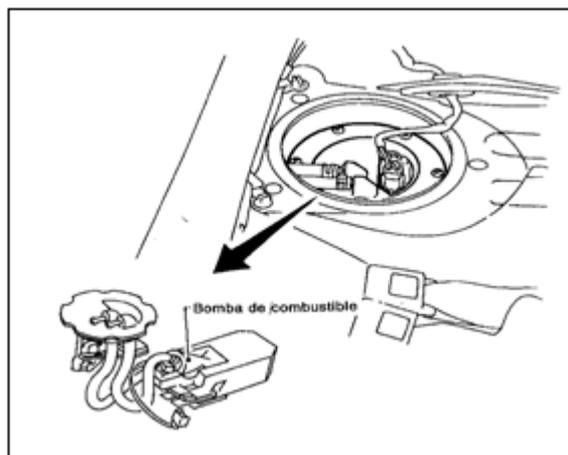


Figura 1.12: Bomba de Combustible

Fuente: Manual del motor GA16DN

Datos de bomba de combustible del motor GA16DNE

Presión de Combustible:

Presión de combustible	Valor
Con manguera de vacío conectada	3bares
Con manguera de vacío desconectada	4bares

TABLA 1.4: Datos de bomba de combustible

Fuente: Manual de motor GA16DNE

Filtro De Combustible.- El filtro de gasolina, sirve para retener las macropartículas que logran pasar el Pre-filtro, para que estos no tapen y dañen los inyectores. El filtro puede ser fabricado de papel, mallas metálicas, fibra de vidrio, el mismo se encuentra recubierto de un cuerpo metálico que soporta las presiones que genera la bomba. Fig. 1.13

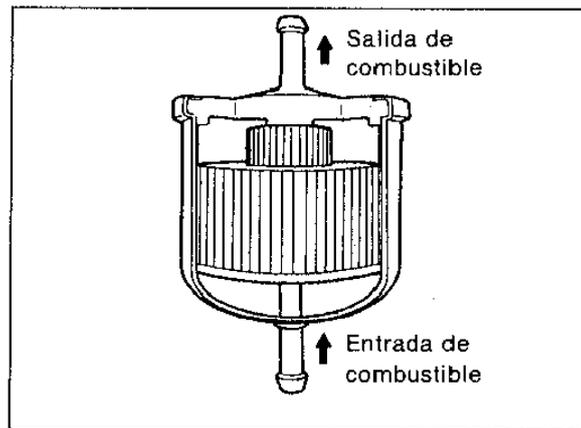


Figura 1.13: Filtro de combustible

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Riel De Inyectores.- La gasolina llega al riel de inyectores, que hace las veces de acumulador. La presión que se genera dentro de esta, es la necesaria para que el motor funcione a toda marcha; esta presión es regulada por una válvula reguladora de presión, el combustible excedente, retorna nuevamente al depósito de combustible.



Figura 1.14: Riel de inyectores

Fuente: www.mercadolibre.com

El Inyector.- El inyector es de tipo aguja, y está encargado de pulverizar la gasolina dentro del múltiple de admisión, es capaz de abrirse y cerrarse miles de veces por minuto, sin permitir el escape de combustible cuando esta se cierra, y reacciona muy rápidamente al pulso eléctrico que la acciona.(fig.1.15).

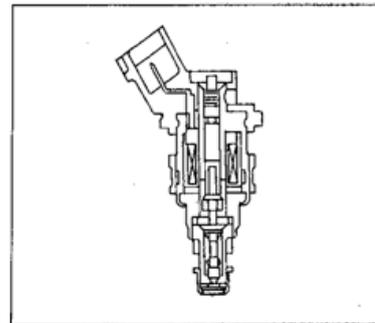


Figura 1.15: Inyector

Fuente: Manual del motor 16GADNE

Los pulsos de inyección son administrados por la unidad de control electrónica, la misma que después recibir las diferentes señales de los sensores, da el tiempo de inyección más idóneo para el régimen al que se encuentra el motor.

Comprobaciones:

Descripción	Valor
Resistencia interna(Ω)	3 Ω
Resistencia conectado en serie(Ω)	6 Ω
Resistencia total del inyector(Ω)	9 Ω
Alimentación(V)	12 V
Velocidad de Alimentación de combustible	0.025 litros/60seg
Angulo de Pulverización	45°

TABLA 1.5: Comprobaciones del inyector.

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Regulador De Presión De Combustible.- Está conectado al final del riel de inyectores y limita la presión de combustible a 3 bares en nuestro motor. La cantidad de combustible que se inyecta en el motor, depende de la duración del pulso de inyección. Fig. 1.16.

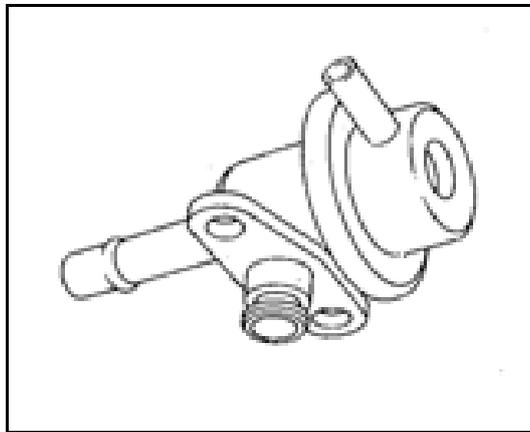


Figura 1.16: Regulador de presión.

Fuente: Manual del motor GA16DNE

1.5 SISTEMA DE CONTROL DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA DE GASOLINA.

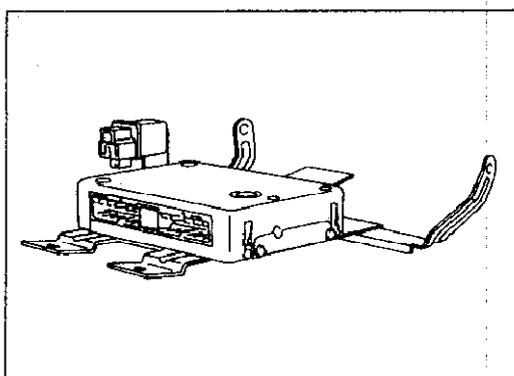
La inyección de nuestro motor es multipunto, es decir un inyector por cada cilindro. Su funcionamiento se basa en la evaluación de ciertos parámetros de funcionamiento del motor, como son el caudal de aire, la temperatura de refrigerante, revoluciones del motor, entre otras; estas señales son procesadas en el módulo de control, dando como resultado señales que se transmiten a los actuadores, que controlan la inyección de combustible y a otras partes del motor, para obtener un óptimo rendimiento de funcionamiento del mismo.

1.5.1 Instrumentación.

Para la alimentación de combustible del motor se necesitan de muchos elementos que interactúan alternadamente, con el fin de suministrar la correcta cantidad de carburante en el encendido y puesta en marcha del motor.

La alimentación de combustible y el control de la dosificación constituyen los elementos primarios para este fin.

Unidad De Control Electrónica (ECU).- Se puede nombrar como: ECC, ECM, ECU, ECCS, CPU; las señales que recibe pueden ser analógicas o digitales, la computadora las procesa y envía señales a los diferentes actuadores, así mismo mantiene un sistema de auto diagnóstico para el correcto funcionamiento, tanto en eficiencia del motor como en emisiones de gases nocivos al medio ambiente.



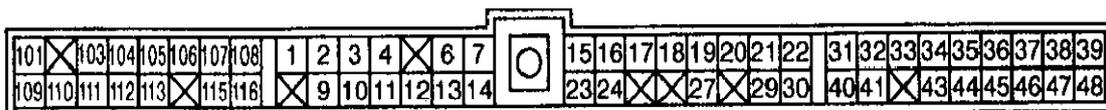


Figura 1.17: Unidad electrónica de control (ECU)

Fuente: Manual de motor GA16DNE

Disposición de los terminales en la ECU

Nº	Punto	Estado	Datos
1	Señal de Encendido	Motor está funcionando "ralentí"	0.2-0.3V
		Motor está funcionando "2000 rpm"	0.7V aprox
3	Comprobación Del encendido	Motor está funcionando "ralentí"	13V aprox
4	Relé del ECCS	Motor está funcionando "interruptor en off"	0-1V
		Interruptor en off	Voltaje de Batería
9	Relé del Ventilador	Motor está funcionando "ventilador en off"	Voltaje de Batería
		Motor está funcionando "ventilador en on"	0V
16	Flujometro de aire	Motor está funcionando "ralentí"	1.2-1.8V
		Motor está funcionando "2000 rpm"	1.7-2.3V
18	Sensor de Temperatura	Motor está funcionando	0-5V El Voltaje de salida varía de acuerdo con la temperatura del motor
20	Sensor de la mariposa	Interruptor en ON "pedal del acelerador liberado"	0.4-0.6V
		Interruptor en ON "pedal del acelerador pisado a fondo"	4.5V aprox

N°	Punto	Estado	Datos
22 30	Sensor del ángulo de cigüeñal “señal de referencia”	Motor está funcionando	Modelo sin catalizador 1.5-3V
			Modelo con catalizador 0.1-0.4V
24	Compruebe la luz del motor	Interruptor de encendido en ON	1.5V aprox
		El motor está funcionando	Voltaje de Batería
31 40	Sensor de ángulo de giro “señal de posición”	El motor está funcionando	2-3V
33	Interruptor de carga eléctrica	El motor está funcionando “interruptor de luces ON”	Voltaje de Batería
		El motor está funcionando “interruptor de luces ON”	0V
34	Señal de arranque	Interruptor de encendido en “ON”	0V
		Interruptor de encendido en “START”	Voltaje de Batería
36	Interruptor de encendido	Interruptor de encendido en “OFF”	0V
		Interruptor de encendido en “ON”	Voltaje de Batería
37	Alimentación eléctrica del sensor de la mariposa	Interruptor de encendido en “ON”	5V aprox
38 47	Alimentación eléctrica para la ECU	Interruptor de encendido en “ON”	Voltaje de Batería
46	Alimentación eléctrica	Interruptor de encendido en “OFF”	Voltaje de Batería
109	Retorno de Corriente	Interruptor de encendido en “OFF”	Voltaje de Batería
101	Inyector N°1	El motor está funcionando	Voltaje de Batería
103	Inyector N°2		

110	Inyector N°3		
112	Inyector N°4		
104	Relé de la bomba de combustible	Interruptor de encendido en “ON” Durante 5seg después de girar el interruptor de encendido a la posición “ON” El motor está funcionando	0V aprox
		Interruptor de encendido en “ON” Durante 5seg después de girar el interruptor de encendido y después de eso	Voltaje de Batería

TABLA 1.6: Disposición de los terminales de la ECU

Fuente: Manual del motor GA16DNE

1.5.2 Sensores

Sensor De Temperatura ECT .- La función del ECT (Engine Coolant Temperature) es medir la temperatura del refrigerante que está en el interior de motor. Este sensor se encuentra ubicado en el sistema de enfriamiento del motor cerca del termostato como se observa en la figura. 1.18.

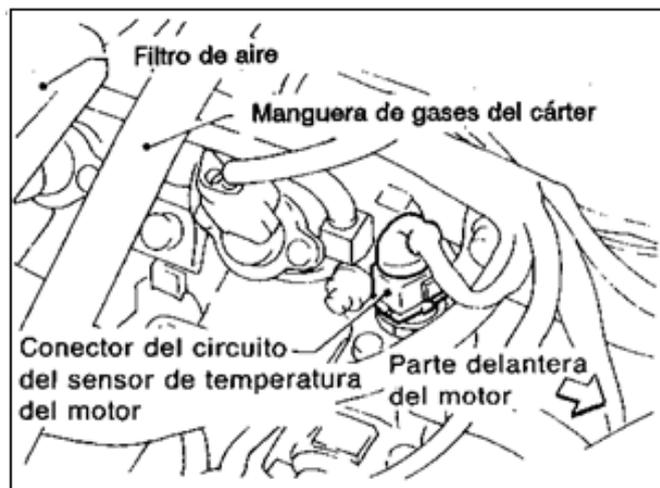


Figura 1.18: Sensor de temperatura en el refrigerante del motor ECT

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Los termistores se dividen principalmente en dos tipos, termistores con coeficiente de temperatura negativo NTC (Negative Temperature Coefficient) y con coeficiente de temperatura positivo PTC (Positive Temperature Coefficient).

El ECT es una resistencia NTC, lo que significa que es una resistencia eléctrica variable cuyo valor cambia en función de la temperatura por lo cual su valor en ohmios va decreciendo a medida que aumenta la temperatura, la forma en que varía esta relación es exponencial decreciente.

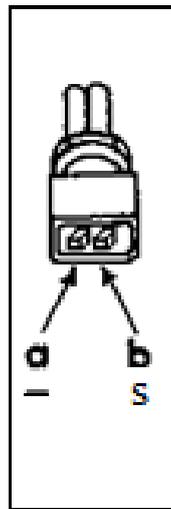


Figura 1.19: Circuito del Sensor ETC

Fuente: Manual del motor GA16DNE

En este grafico podemos observar el terminal (a) que va conectada a la tierra suministrada por la ECU, y el terminal (b) es el voltaje de referencia (5V) que también es suministrada por la ECU.

El rango de voltaje depende de la alimentación del divisor, la ECU lo alimenta a +5V, por lo que el rango puede oscilar desde unos pequeños mili voltios cuando el motor esta frio, porque la resistencia del ECT es alta, y cuando el motor está caliente esta a 5V con una resistencia baja o casi nula.

Comprobación del Sensor de Temperatura del motor

1. Desconecte el conector del circuito del sensor de temperatura del motor.
2. Compruebe la resistencia como muestra en la figura. 20.

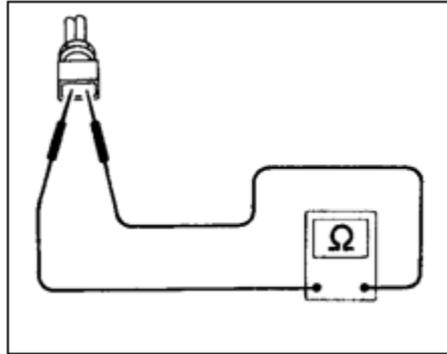


Figura 1.20: Medición del sensor ECT

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Temperatura °C	Resistencia kΩ
20	2.1-2.9
90	0.24-0.26
110	0.14-0.15

TABLA 1.7: Comprobaciones del sensor ECT

Fuente: Manual del motor GA16 DNE

Sensor Del Ángulo De Giro.- El sensor del ángulo de giro comprueba la velocidad del motor, la posición del pistón, y envía señales a la ECU para controlar la inyección de combustible, tiempo de encendido, otras funciones y se encuentra dentro del distribuidor.

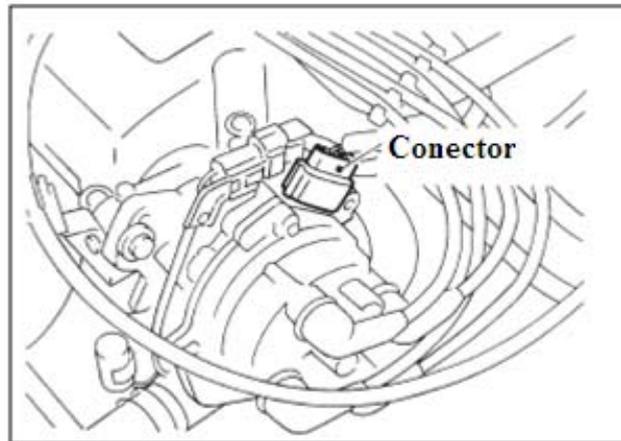


Figura 1.21: Sensor del ángulo del giro

Fuente: Manual de motor GA16DNE

Cuando la placa rotor pasa el espacio que hay entre el led y el fotodiodo, las ranuras de la placa del rotor cortan continuamente la luz enviada al fotodiodo por el led. Esto provoca la generación de impulsos de voltaje alterno. Estos se convierten en impulsos de activación-desactivación en el circuito formador de ondas y se envían a la ECU.

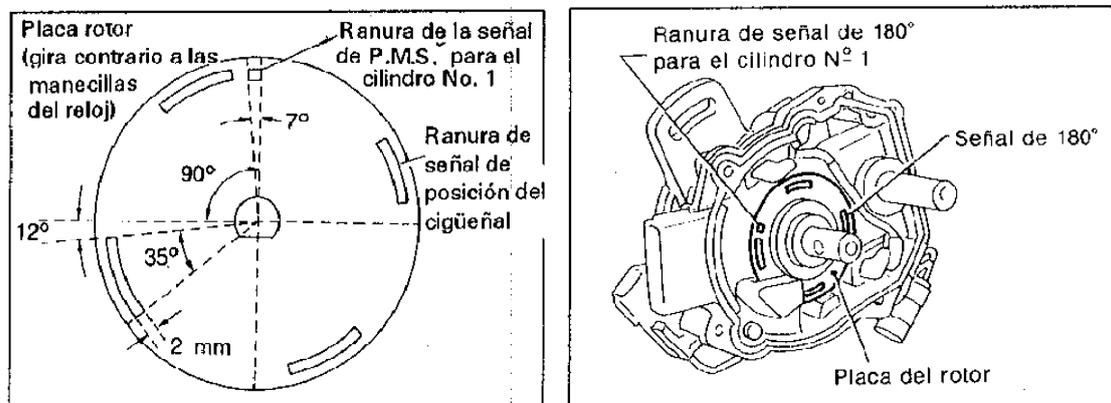


Figura 1.22: Placa del rotor

Fuente: Manual del motor GA16DNE

En este grafico siguiente podemos observar los terminales 2 y 1, los cuales pertenecen al transistor (foto diodo), la comprobación de la señal de voltaje se lo realiza en terminal 2, y en el terminal 1 se comprueba la continuidad de tierra con respecto al motor, en el terminal 4 se comprueba la señal de rpm, en terminal 5 comprobamos el positivo, en el terminal 6 negativo.

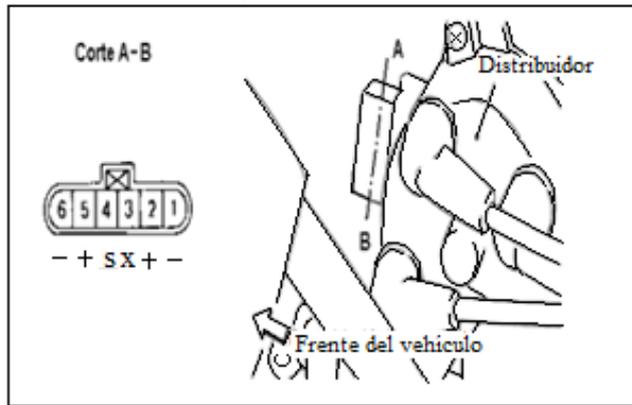


Figura 1.23: Circuito del Sensor del ángulo de giro

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Comprobación de Sensor de ángulo del cigüeñal

1. Quite el distribuidor del motor. (El conector del sensor del ángulo del cigüeñal debe permanecer conectado.)
2. Desconecte los cables de encendido.
3. Gire el interruptor de encendido a "ON"
4. Gire el eje del distribuidor lentamente con la mano y compruebe el voltaje entre los terminales 4 y tierra.

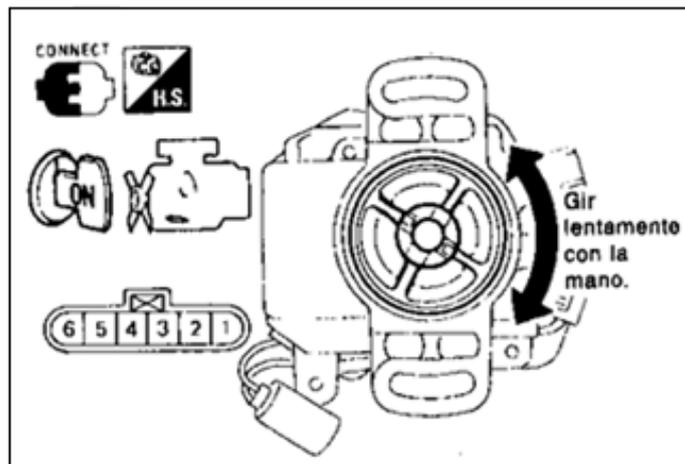


Figura 1.24: Medición del sensor del ángulo del cigüeñal.

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Terminal	Voltaje
4(Señal de 1°)	La punta del probador fluctúa entre 5V y 0V

TABLA 1.8: Comprobación del sensor del ángulo de giro

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Sensor de Posición del Acelerador TPS.- La función del TPS (Throttle - Position - Sensor) es indicarle a la computadora la posición de la mariposa de aceleración a través de una señal de voltaje variable; la ECU toma esta información para el control de relación de mezcla aire-combustible.

Actualmente el tipo de TPS más utilizado es el potenciómetro. Este consiste en una pista resistiva, que es barrida con un cursor y alimentada con una tensión de 5 voltios desde la ECU.

Los TPS de este tipo suelen tener 3 cables de conexión y en algunos casos pueden tener 4 cables, este último caso incluye un switch, utilizado como contacto de marcha lenta. En la figura 24 podemos observar un sensor TPS.

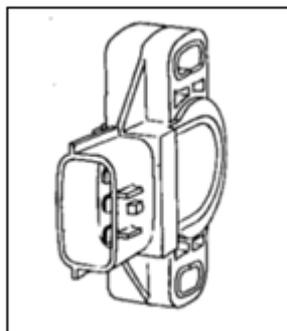


Figura 1.25: Sensor TPS

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Este se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración y tendrá movimiento a través del eje de la mariposa de aceleración como observamos en la figura. 26

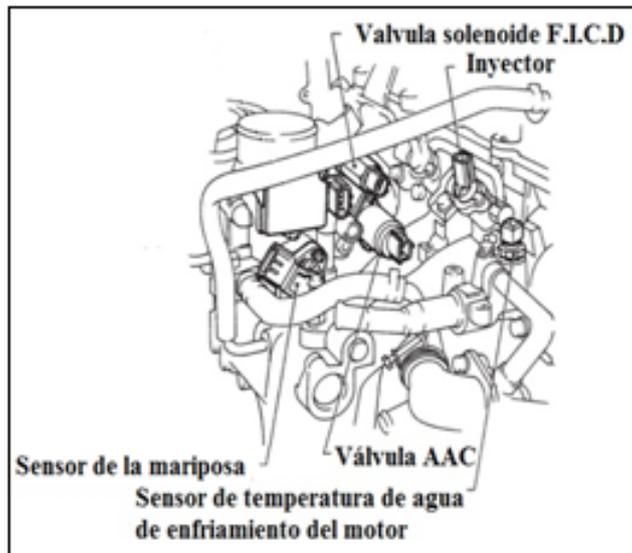


Figura 1.26: Ubicación del sensor TPS

Fuente: Manual del motor GA16DNE

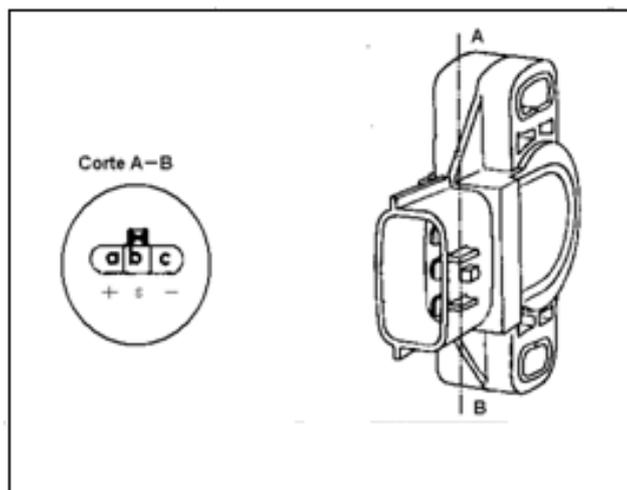


Figura 1.27: Circuito del sensor TPS

Fuente: Manual del motor GA16DNE

En este grafico podemos observar que al terminal (a) se le aplica un voltaje de referencia, ya que recibe el voltaje de la ECU, el terminal (c) se conecta a tierra y el terminal b se conecta a un contacto deslizante, que se desplaza a través de la resistencia siendo este la señal que recibe la computadora.

Cuando la mariposa de aceleración se encuentra en la posición de reposo, la cantidad de tensión que se envía como señal, será de unas cuantas décimas de voltio, esta señal se irá incrementado progresivamente, de acuerdo al incremento en el movimiento de la mariposa, hasta llegar al tope del terminal, lo cual nos dará un valor cercano a los 5 v de la referencia.

Comprobación De La Mariposa De Aceleración

1. Arranque el motor y caliéntelo lo suficiente.
2. Compruebe el voltaje de salida del sensor: 0,4V - 0,6V
3. Pare el motor y desconecte el conector del circuito del sensor de la mariposa.
4. Asegúrese del que la resistencia entre los terminales a y b cambia cuando se abre la válvula del mariposa manualmente.

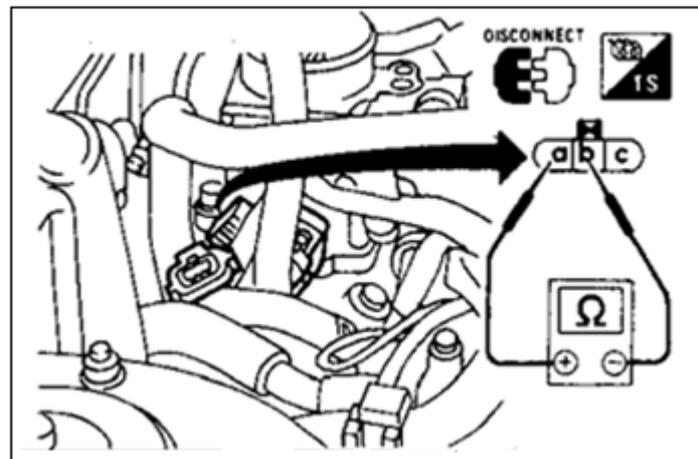


Figura 1.28: Medición del sensor TPS

Fuente: Manual de motor GA16DNE

Condiciones de la válvula de aceleración	Voltaje (en temp. normal de operación, motor apagado, int. de encendido en "ON")
Completamente cerrada (a)	0.2 -0.8 V
Parcialmente abierta (b)	Entre (a) y (b)
Completamente abierta	3.5 - 4.5V

TABLA 1.9: Comprobación del sensor TPS

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Ajuste

Si se cambia o se quita el sensor de la mariposa, es necesario instalarlo en la posición adecuada siguiendo el procedimiento de la siguiente manera.

1. Instale el sensor de la mariposa en la cámara de aceleración. No apriete los tornillos. Déjelos aflojados.
2. Conecte el conector del circuito del sensor de la mariposa.
3. Arranque el motor y caliéntelo lo suficiente
4. Realice "AJUSTE SEN MARIPOSA" en la modalidad "SOPORTE TRABAJO"
Mida el voltaje de salida del sensor de la mariposa usando un voltímetro.
5. Ajuste el cuerpo del sensor de la mariposa girándolo de la manera que el voltaje de salida sea de 0,45 a 0,55V
6. Apriete los tornillos de montaje
7. Desconecte el conector del sensor de la mariposa durante unos segundos y luego vuelva a conectarlo.

Sensor Medidor De Flujo De Aire (MAF).- El MAF mide la relación de flujo aire de admisión tomando una parte del flujo completo. Las medidas se hacen de manera que la ECU reciba señales eléctricas de salida que varían por la cantidad de calor emitido por el cable caliente instalado en la corriente de aire de admisión. Cuando el aire de admisión fluye al interior del múltiple de admisión a través de un conducto alrededor del cable caliente, el calor generado por el cable caliente es disipado por el aire.

Por lo tanto, es necesario suministrar más corriente al cable caliente para conservar su temperatura. La ECU conoce el flujo de aire mediante el cambio de la corriente eléctrica.

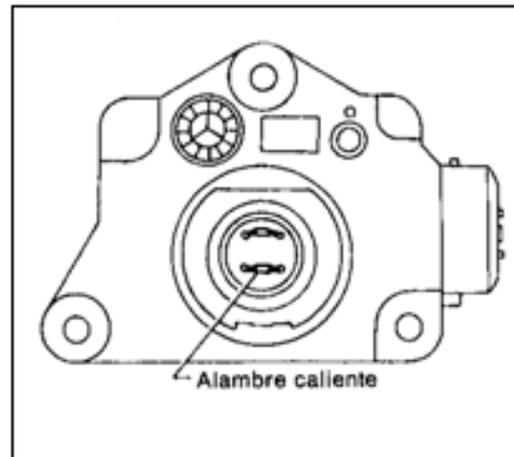


Figura 1.29: Sensor de hilo caliente

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Este se encuentra ubicado en el cuerpo de aceleración.

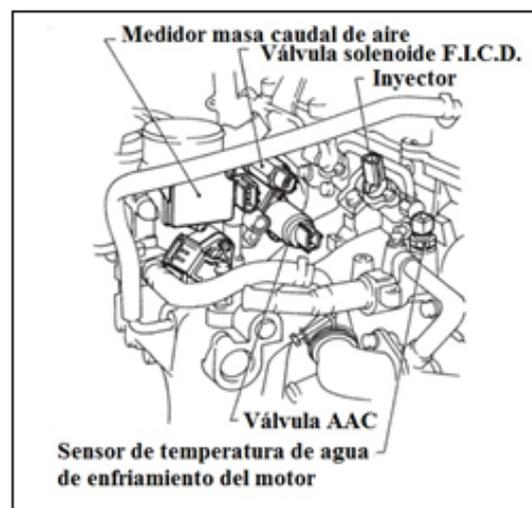


Figura 1.30: Ubicación del sensor de hilo caliente

Fuente: Manual del motor GA16DNE

En este grafico podemos observar que el terminal (a) es positivo, por que recibe el voltaje de la ECU, el terminal (b) es el negativo, y el terminal (c) es la señal del sensor.

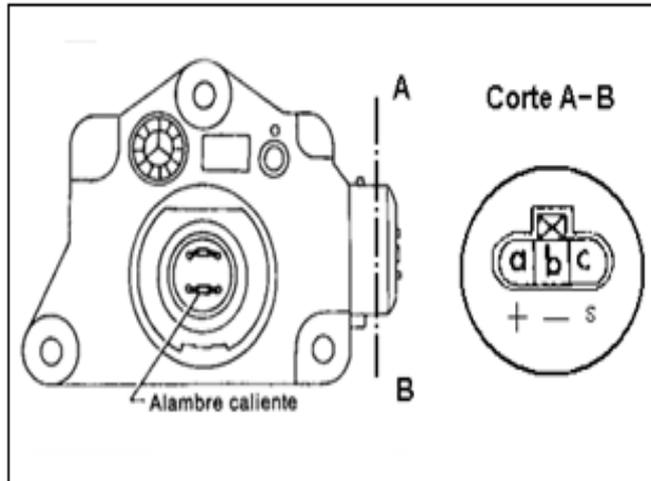


Figura 1.31: Circuito del sensor MAF

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Comprobación Del Sensor Medidor De Flujo De Aire (MAF)

1. Gire el interruptor de encendido a “ON”.
2. Arranque el motor y caliéntelo a su temperatura normal de operación.
3. Compruebe el voltaje entre la terminal c (señal del sensor flujo masa de aire) y tierra.

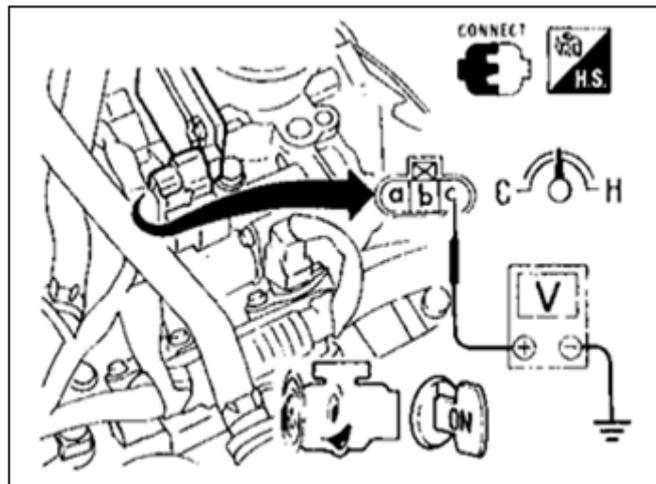


Figura 1.32: Medición del sensor MAF

Fuente: Manual del motor GA16DNE

Condiciones	Voltaje (V)
Interruptor de encendido en "ON"(motor apagado)	Menos de 1.0
Marcha mínima (motor a temperatura Normal de operación)	1.2-1.8

TABLA 1.10: Comprobaciones del sensor MAF

Fuente: Manual del motor GA16DNE

DIAGRAMA ELECTRICO

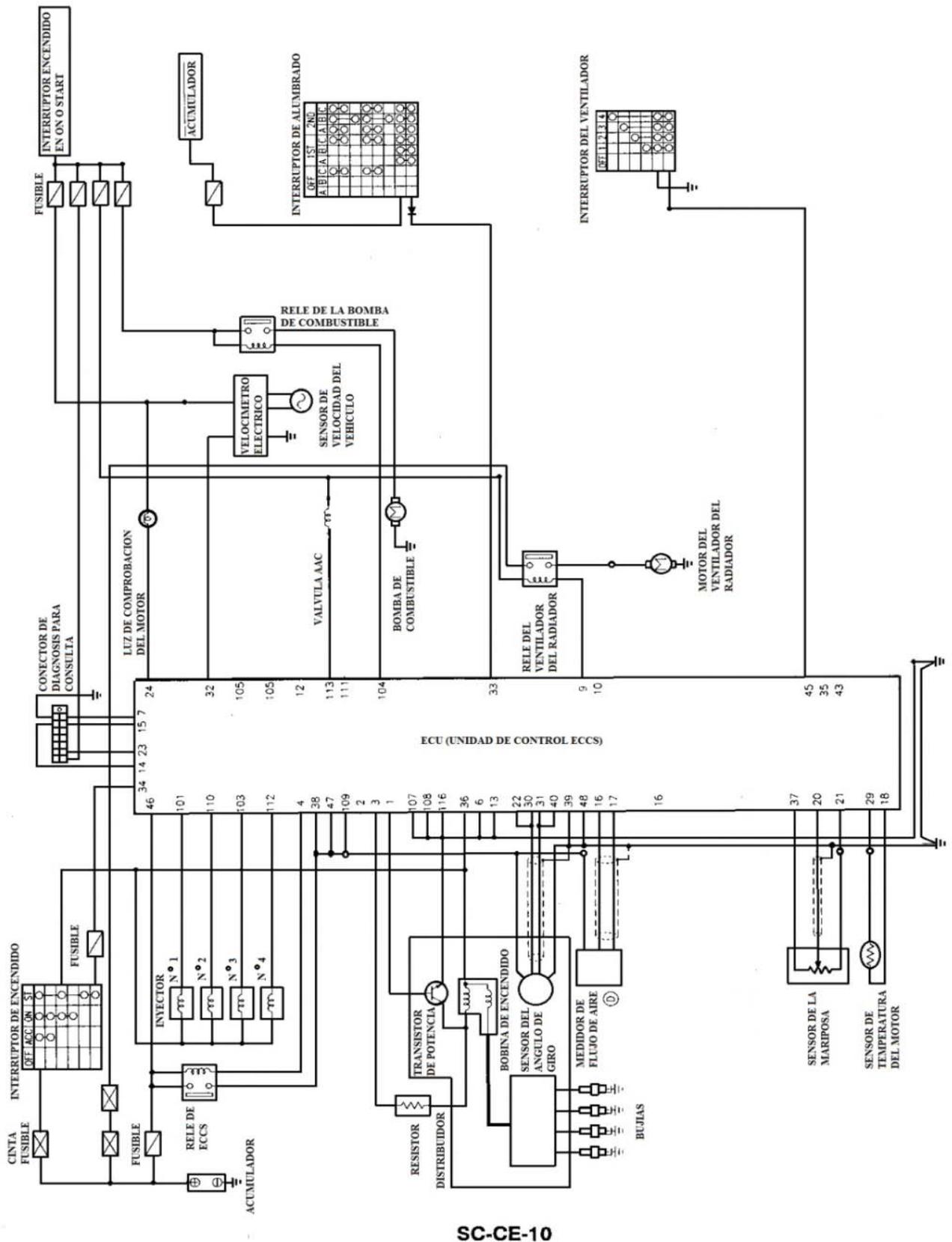


Figura 1.33: Sistema Eléctrico

Fuente: Manual del motor GA16DNE

1.6 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN A GAS



Figura 1.34: Sistema de alimentación a GLP

Fuente: <http://www.ircongas.com/index.html?msgOrigen=6&CODART=ART00049>

En la actualidad, existe una gran variedad de sistemas de alimentación de gas, como combustible alternativo para el funcionamiento de un automóvil; entre los cuales tenemos la siguiente clasificación.

1.6.1 Clasificación De Los Sistemas De Alimentación de GLP:

Primera Generación.- Sistema para vehículos a Carburador.

Este, está conformado de los siguientes elementos:

- Válvula de llenado
- Depósito de combustible
- Válvula de reguladoras de presión
- Manómetro indicadores de carga
- Conectores y tapones de cañería.
- Tubería de alta presión

- Filtro de combustible
- Reductor - Vaporizador
- Dosificador
- Conmutador

Segunda Generación.- Sistema Lazo Abierto, Vehículos a inyección mono punto o multipunto, excluye el uso del sensor de Oxígeno:

Este sistema es muy similar al sistema de primera generación, la única diferencia es que se le suma a la infraestructura un emulador de pulsos de inyección, para que cuando exista la conmutación de la alimentación de gasolina a GLP, no se genere códigos de falla y un mal funcionamiento del sistema.

Tercera Generación.- Sistema Lazo Cerrado, Vehículos a inyección mono punto o multipunto, incluye el uso del sensor de Oxígeno.

Este sistema es muy similar al sistema de segunda generación, la única diferencia es que se le suma a la infraestructura el sensor de oxígeno, y una ecu adicional para el sistema GLP, esto nos ayudara a mejorar la relación estequiometría aire – combustible, para tener un mejor desempeño en el vehículo y bajar sus emisiones.

Cuarta Generación.- Sistema Dedicado a la admisión mono punto, con dosificación directa de combustible a cada cilindro: es decir vehículos diseñados para trabajar directamente a GLP; estos equipos se conectan en paralelo con los equipos originales de gasolina.

Este, está conformado de los siguientes elementos:

- Válvula de llenado
- Depósito de combustible
- Válvula de reguladoras de presión
- Manómetro indicadores de carga
- Conectores y tapones de cañería.

- Tubería de alta presión
- Filtro de combustible
- Inyector mono punto gasolina/GLP en vehículos mono punto
- Válvula de control de gas y dosificadores en vehículos multipunto
- Conmutador
- ECU GLP
- ECU Gasolina

En los vehículos dedicados, ambas computadoras adquieren las señales directamente de los sensores.

Quinta Generación.- Sistema Dedicado a la admisión multipunto, estos equipos se montan en serie con los equipos originales de gasolina.

Este sistema es muy similar al sistema de cuarta generación, la única diferencia es que tiene inyectores independientes para cada cilindro, suministrando el gas de manera secuencial a cada cilindro del motor; de igual manera las computadoras de gasolina y GLP adquieren las señales directamente de los sensores.

1.6.2 Elección Del Sistema De Alimentación GLP Para El Motor GA16DNE

Se describirá un sistema en particular, el de segunda generación o lazo abierto; ya que este sistema, está autorizado para ser utilizado como plan piloto solo en la ciudad de Guayaquil.

Describiremos nuestro sistema de acuerdo al orden de los elementos por medio el cual circula el gas.

Válvula De Llenado.- Esta válvula esta estandarizada para todos los vehículos que adquieran estos tipos de sistemas, para que puedan reabastecerse con mucha facilidad en cualquier surtidor autorizado de GLP.

Esta válvula es utilizada para el llenado del depósito. A esta se conecta un dispositivo constituido por un acoplamiento, una canalización y un adaptador situado en el exterior del vehículo para la conexión al surtidor. Esta válvula lleva incorporados dos sistemas de seguridad:

- Doble válvula anti-retorno, que evita la salida del GAS cuando se conecta el surtidor.
- Dispositivo de máximo llenado, que garantiza que no se sobrepase, en el llenado, el 80% de la capacidad del depósito cerrándose automáticamente.



Figura 1.35: Válvula de llenado

Fuente: <http://www.ircongas.com/index.html?msgOrigen=6&CODART=ART00049>

Los únicos surtidores autorizados que existen en nuestro país para el abastecimiento de GLP, se encuentran solo en la ciudad de Guayaquil, por tal motivo, para nuestra mayor comodidad en el abastecimiento, hemos adaptado a nuestro sistema, una válvula para cocina industrial, como válvula de llenado del sistema, para no viajar a Guayaquil cada que tengamos que abastecer de combustible nuestro deposito.



Figura 1.36: Surtidor de llenado del sistema

Fuente: Autores

La válvula de cocina industrial está dotada en su boquilla de un seguro manual, para evitar posibles fugas con el acople del depósito de abastecimiento de gas “cilindro de gas”; la activación de esta, se la realiza mediante una válvula de cierre esférico, que se abre manualmente al mover una palanca en la superficie de válvula.

Depósito De Gas.- Es el elemento de mayor peso y volumen que se añade al vehículo, siendo estos a prueba de impactos, especialmente diseñados para contener el suministro de gas, y se los pueden encontrar en el mercado como: Deposito Toroidal y Deposito Cilíndrico.



Deposito de Cilindro



Deposito Toroidal

Figura 1.37: Deposito GLP

Fuente: http://www.ferrosite.net/productos/Equipos_de_GLP.pdf

Para nuestro sistema GLP, hemos elegido el depósito de forma Toroidal, por la disponibilidad de espacio en la infraestructura de nuestra maqueta.

Deposito Toroidal.-

La instalación de este depósito (con forma de rueda) se la dispone en hueco de la rueda de repuesto del vehículo, con el fin de no eliminar volumen de carga en el maletero. El depósito queda oculto bajo la moqueta del maletero no restando ningún espacio al mismo. La rueda de repuesto se sustituye por un Kit homologado repara-pinchazos.

En este caso para poder cargar el combustible, se lo hace en un lateral del vehículo, bien en propio hueco original junto a la boca de llenado de la gasolina si hay espacio suficiente o bien en el propio lateral.

Fabricados bajo normas IRAM N° 2526¹ y otras o similar (NZS 5454², ISO 4705³), con chapa de acero de 2 a 3,15 mm de espesor.

Para cumplir su cometido, este tanque debe cumplir ciertos estándares de seguridad; por ejemplo, los tanques trabajan a una presión de 7 Kg/cm² (100 PSI) pero son probados hasta a 45 Kg/m² (640 PSI). El tanque debe presentar una electroválvula múltiple, que bloquea toda pérdida de gas en caso de accidentes, además, impide que ocupe más del 80% de la capacidad del tanque e indica el nivel de GLP en el depósito.

Estos depósitos son cubiertos de pintura epoxi para protegerlos de la oxidación.

Los cilindros serán estampados con:

- Código de homologación
- Fecha de fabricación

¹ **IRAM 2526** = Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (Cilindros de acero para gases permanentes)

² **NZS 5454** = Normas de Nueva Zelanda (Requisitos estándares para el peso ligero de acero automotriz en cilindros de gas comprimido natural, para su uso en Nueva Zelanda.)

³ **ISO 4705** = Organización Internacional de estándares (Recargables cilindros de gas de acero sin soldadura)

- Capacidad hidráulica (volumen)
- Masa (peso)
- Presión de prueba (300 bar)
- Presión de trabajo (200 bar)
- Número de serie
- Origen
- Fabricante
- Norma de fabricación
- Aquellos que se les realicen futuras revisiones (prueba hidráulica)
- Fecha de prueba hidráulica
- Centro de prueba

Válvulas De Cilindro.-



Figura 1.38: Válvulas de cilindro

Fuente: www.todoautos.com.pe

Montada sobre el cilindro, es el fusible del circuito de alta presión son de accionamiento manual (si bien existen de accionamiento eléctrico) sus cuerpos son fabricados en latón y luego mecanizados.

Existen dos sistemas de cierre: De Vástago y de Cierre Esférico.

La válvula elegida es de cierre esférico, por la facilidad en su accionamiento, ya que este se abre o cierra al mover $\frac{1}{4}$ de vuelta la palanca de la válvula.

De Cierre Esférico.- Este sistema actúa en un simple giro dado que el cierre es una esfera de metal perforada en uno de sus ejes de simetría, sobre un sello del tipo cóncavo, la operación se realiza mediante el giro de la esfera sobre el sello ubicando la perforación perpendicular al flujo de gas.

El sistema está equipado con un conjunto de sistemas de seguridad:



Figura 1.39: Válvulas de seguridad

Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/images/valvula-de-bola.jpg>

Manómetro Indicador De Carga.-



Figura 1.40: Manómetro para GLP

Fuente: www.todoautos.com.pe

El manómetro sensor mide la presión del interior del cilindro, conocido como manómetro de resorte o manómetro de Burdons, con una tolerancia de más o menos 5 bar, este vendrá graduado en dos escalas con una escala máxima de carga de 400 bar debe ser capaz de soportar el estallido del mismo y contener en su interior todas aquellas piezas móviles que pudieran causar algún daño al usuario con una presión de estallido de 500 bar.

Este puede venir provisto con sensores los cuales transmitan en forma de señal eléctrica la cantidad de carga restante en el cilindro, estos sistemas pueden ser del tipo óptico o inductivo. En caso de ser del tipo neumático no sería colocado en el manómetro sino en la línea de alta presión.

Debe ser colocado en un lugar visible en el momento de carga y al resguardo del impacto con uno u otro objeto, por lo general va ubicado dentro del diámetro interior del depósito Toroidal y otro digital va ubicado en el tablero principal del vehículo indicando siempre al conductor, la cantidad de combustible que le queda a su vehículo.

Tubería De Alta Presión.- Ubicadas entre el depósito de combustible y la electro válvula de GLP. Dentro de las líneas de conducción de GLP tenemos las cañerías rígidas



Figura 1.41: Tuberías para GLP

Fuente: www.todoautos.com.pe

Estas tendrán que estar fabricadas de cobre y deberán contar con las siguientes condiciones:

- Cañería multiválvulas, que sus salidas de GLP sean de 6mm de diámetro y reductores que tengan entrada de la misma medida.
- Las cañerías de GLP Son más rígidas y soportan presiones mucho más elevadas que las cañerías convencionales, su cubierta de polietileno no permite la absorción del calor asegurando así que el GLP llegue al reductor en su estado líquido.

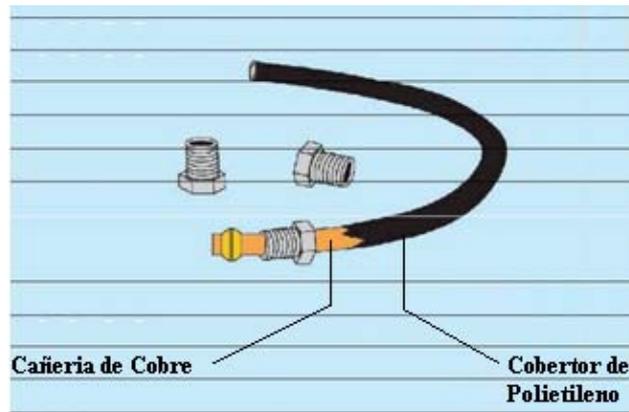


Figura 1.42: Cañerías para GLP

Fuente: <http://michatarrita.host56.com/category/sistemas-glp-y-gnv/>

Las cañerías multiválvulas, cuyas salidas de GLP sean de 8mm de diámetro y reductores que tengan entrada de la misma medida, tendrán que tener un grosor de 2mm y estar cubierto con polietileno para asegurar su protección y aislamiento en caso de posible absorción de calor. Cobertor

Las mangueras que conducen el GLP, son fabricadas exclusivamente para este uso. El material del que están hechas son resistente al combustible orgánico; por lo tanto no deben ser sustituidas por otro tipo de manguera que no haya sido designada, de fábrica.

Las mangueras de GLP llevan, por reglamento, inscritas en su exterior «manguera de GLP».

El suministro de alta, tiene que ser totalmente regulable en su máxima y mínima abertura y para una mejor eficiencia debe tener el mismo diámetro que la manguera de GLP.

Conectores Y Tapones De Cañería.-



Figura 1.43: Acoples y Tapones para GLP

Fuente: www.todoautos.com.pe

Los conectores son las uniones entre la cañería de alta presión con válvula de cilindro, reductor, válvulas de carga son realizados en acero de baja aleación con oxidación neutra para los componentes nombrados, se les realiza un proceso de cincado para protegerlos de la corrosión; de diámetro exterior de 6.25 mm rosca métrica 12 x 100 poseen una boquilla semiesférica la cual deformara la pestaña postiza la cual actúa de sello de la presión de trabajo.

Los tapones de similares características a los conectores tienen como función la de cerrar las conexiones de las válvulas de cilindro no utilizadas.

Filtro Fase Líquido.- Este elemento va posicionado en la porta equipaje, entre el depósito y el vaporizador; tiene la importante tarea de retener las eventuales impurezas del gas, es completamente reutilizable, ya que en su interior está llena de guaipe a presión, que se lo reemplaza cada 5000 km.

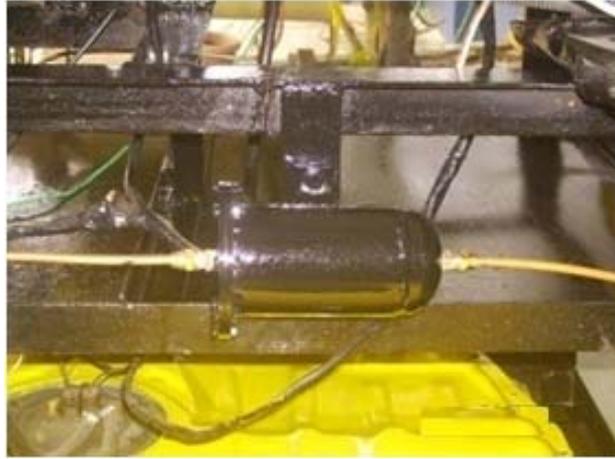


Figura 1.44: Filtro fase líquido para GLP

Fuente: Autores

Reductor-Vaporizador.- El motor (sea inyectado o carburado) necesariamente lleva un evaporador, que funciona como parte primordial del Sistema, haciendo las veces de la bomba de gasolina, se lo encuentra en diferentes versiones que van desde motores de 50cc hasta los 7000cc de cilindrada.

El vaporizador que se ha elegido es el idóneo, porque es el que más se aproxima a las especificaciones de cilindraje de nuestro motor que es de aproximadamente 1600cc.

Este dispositivo permite el cambio térmico necesario para la evaporación completa del GLP (que se almacena en fase líquida y se requiere en estado gaseoso), utilizando el agua caliente del radiador para este fin, logrando así obtener un doble beneficio (siendo primero la gasificación del GLP y el segundo el retorno del refrigerante más frío al motor). A este se añade un mezclador, encargado de suministrar al motor una cantidad de gas directamente proporcional al aire aspirado por el mismo motor.



Figura 1.45: Reductor para GLP

Fuente: <http://www.ircongas.com/index.html?msgOrigen=6&CODART=ART00049>

Este elemento va posicionado en el compartimiento del motor, entre el motor y las cañerías de calefacción.

La función del regulador de presión es lograr la despresurización del fluido de las 200 Atm con que está acumulado en el cilindro a una presión de salida entre 0,3 a 0,5 Atm. Con este valor ingresa al múltiple de admisión.

Debe en caso de fallas en la despresurización del gas, operar la válvula de seguridad que posee para tal fin, la que se activará entre 10 a 12 atmósferas.

Permitir que el sistema de regulación de marcha lenta actúe en forma progresiva, permitiendo así la dosificación requerida en cada caso.

Asegurar que los circuitos gas/agua se mantengan estancos entre ellos y con el exterior.

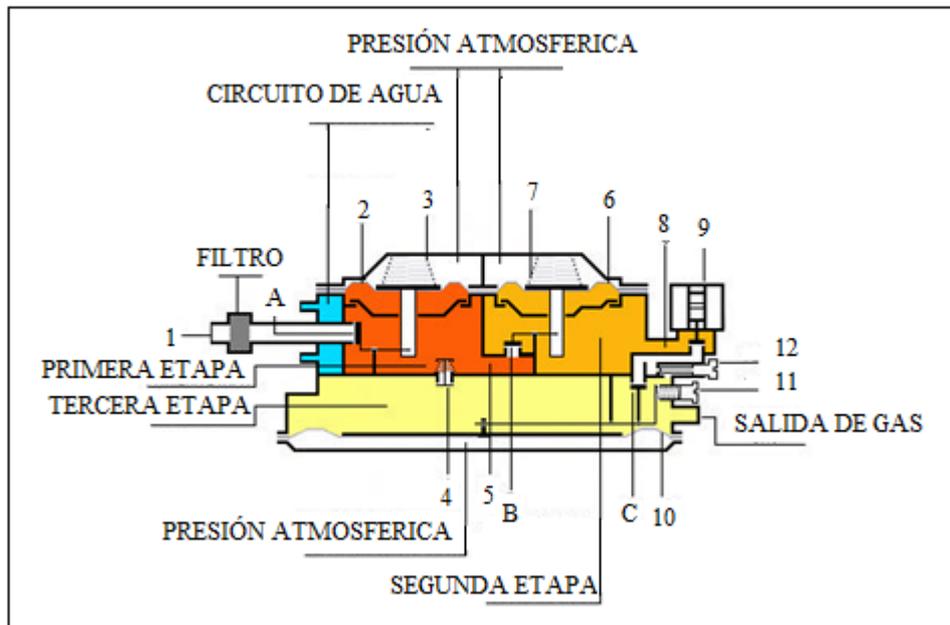


Figura 1.46: Esquema del reductor de GLP

Fuente: <http://www.tomasettolovato.com.ar/download/Manual%20TL.PDF>

Primera etapa: El gas ingresa al reductor por el conducto de entrada "1", pasando a través de un filtro hasta la válvula "A", solidaria a un sistema de palancas con la membrana "2". Sobre la misma hay un resorte "3" 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.

Una vez alcanzada la presión de trabajo en la primera etapa (4,5 Atm.), la válvula se cerrará.

En esta etapa se encuentra la válvula de seguridad "4" antes descrita, la que una vez superada una presión establecida, descarga a la tercera etapa haciendo que el motor se detenga al ahogarse por exceso de combustible.

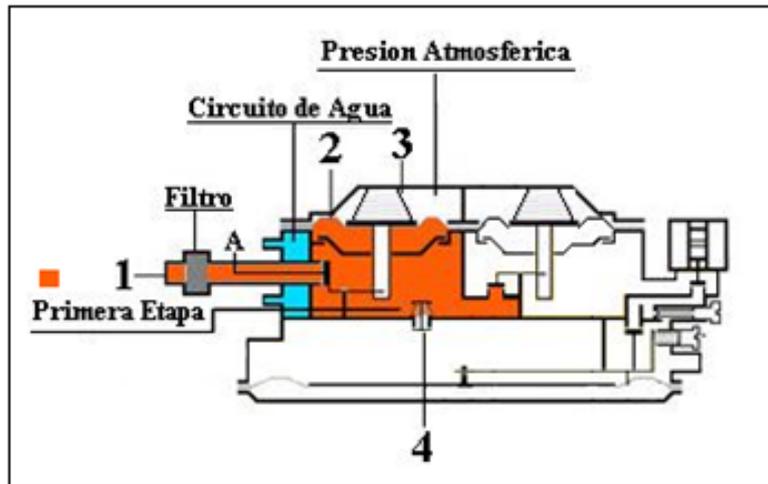


Figura 1.47: Primera etapa del reductor de GLP

Fuente: Autor

Segunda etapa: La primera y segunda etapa se encuentra comunicada por el pasaje "5". Al igual que en la primera etapa, existe una válvula de cierre "B", solidaria por medio de un sistema de palancas a la membrana "6". Sobre la misma actúa un resorte "7" que junto con las deformaciones de la membrana se comprimirá y descomprimirá. La tensión del resorte regulará la presión que se acumulará en la segunda cámara.

Una vez alcanzada la presión de trabajo en la segunda etapa (1,4 a 1,7 Atm.), la válvula "B" se cerrará. La mayor o menor presión en esta etapa definirá la potencia para la cual está diseñado el regulador. Es decir con mayor presión, posibilitará la entrega de mayor caudal de gas.

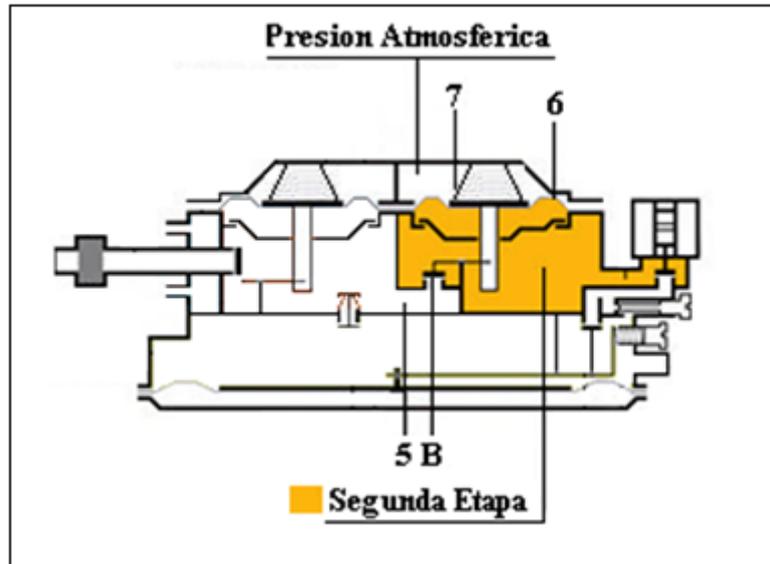


Figura 1.48: Segunda etapa del reductor de GLP

Fuente: Autor

Tercera etapa: La segunda y la tercera etapa se encuentran comunicadas por el orificio "8". Entre estas dos etapas actúa la electroválvula "9" que corta el pasaje de gas en caso de cerrar el contacto o quedar sin energía al indicar los sistemas de seguridad que el motor se ha detenido. Esta última etapa se encuentra dividida por medio de la membrana "10" que separa la presión atmosférica de la depresión generada por el sistema de admisión del motor entre el filtro de aire y la mariposa, la que es censada a través del mezclador o pico dosificador.

En esta etapa se encuentra el registro de mínima "11" el que actúa sobre el sistema de palancas que en conjunto con la membrana son los que mantienen la presión necesaria para lograr una buena alimentación al sistema de admisión del motor.

También se encuentra la válvula de sensibilidad "12" que es la que permite un paso directo de gas entre la salida de la electroválvula y la cámara de la tercera etapa. En algunos vehículos, de gran cilindrada, es necesario actuar sobre esta válvula, aunque normalmente se encuentra cerrada, permitiendo que solo opere la válvula "C" en función de la depresión en la admisión.

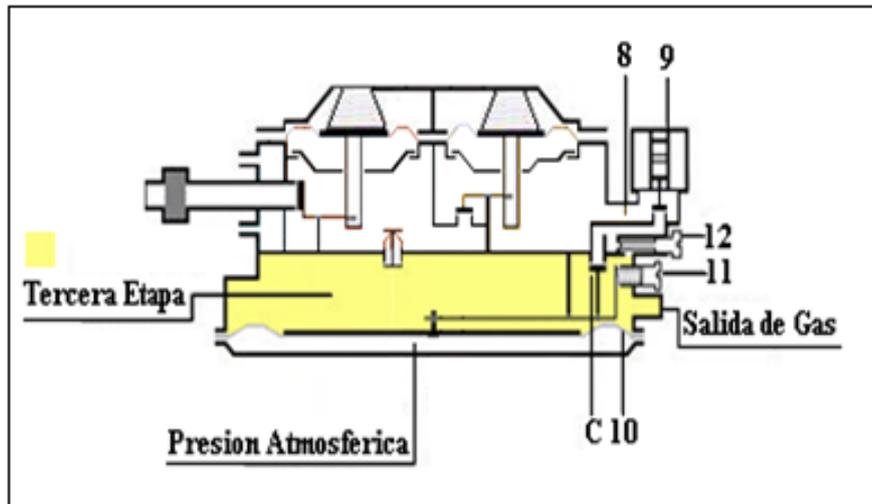


Figura 1.49: Tercera etapa del reductor de GLP

Fuente: Autor

Mangueras Flexibles.- Caracterizada porque consiste de una manguera flexible de hule sintético, que es propiamente por donde se conduce el gas en forma gaseosa; continuamente se encuentra reforzada por un tejido de Nylon cubierta por otra capa de hule sintético que sirve como aislante de temperatura.

Este se encuentra ubicado entre el vaporizador y el dosificador del sistema.

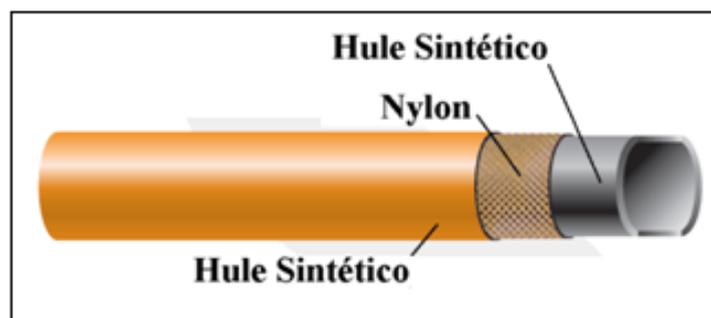


Figura 1.50: Manguera Flexible

Fuente: http://www.semperflex.com/uploads/tx_AScatalogsemperit/flexind-lang/GPBD_sp_01.pdf

Dosificadores.- Este elemento se instala entre el filtro de aire y el múltiple de admisión del Vehículo, variando su lugar específico en función de cada modelo.

En los vehículos a inyección, la dosificación del GLP puede ser por efecto Venturi o por inyectores diseñados especialmente para el caso.



Venturi

Inyector GLP

Figura 1.51: Dosificadores para GLP

Fuente: <http://www.tomasettolovato.com.ar/download/Manual%20TL.PDF>

Como nuestro sistema es de segunda generación, se implementó el efecto Venturi al sistema, que se lo adaptó de acuerdo a las especificaciones de nuestro motor 1600cc.

Efecto Venturi.- Es el dispositivo mecánico que aprovecha el efecto Vénturi, por el cual el fluido tanto líquido como gaseoso sufre una reducción en su presión, a expensas de la reducción de la sección del conducto en la cual circula. Esta propiedad física permite una mezcla aire-gas en condiciones regulables y adaptables a cada caso, garantizando así, una correcta mezcla aire carburante, tanto en condiciones de régimen estacionario como dinámico. Cada mezclador se proyecta vehículo por vehículo (esto quiere decir que cada mezclador es único, fabricado para cada modelo de auto), a fin de optimizar el funcionamiento del motor cuando utiliza el sistema de alimentación a gas.

Comúnmente el Venturi en los sistemas de alimentación de GLP, van ubicados entre el filtro de aire y el múltiple de admisión.

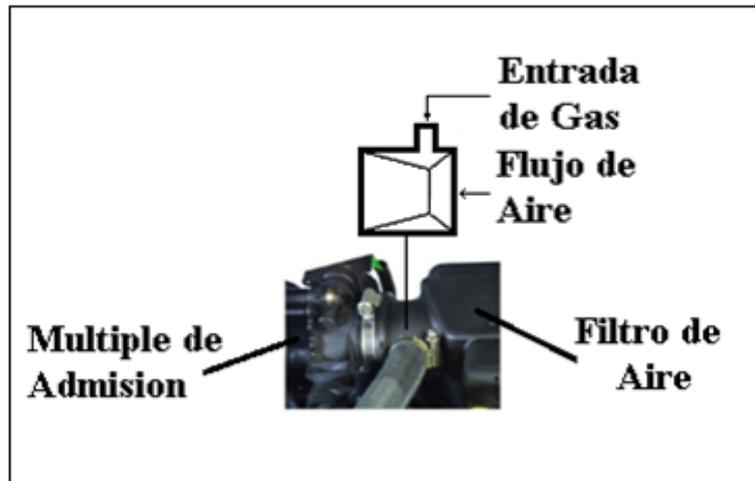


Figura 1.52: Ubicación del dosificador para GLP

Fuente: <http://www.tomasettolovato.com.ar/download/Manual%20TL.PDF>

1.7 COMPONENTES ELECTRÓNICOS

No recomendamos soldar las conexiones eléctricas, porque este proceso hace que el cable se debilite en el sector próximo a la soldadura y con una tracción mínima o movimiento se puede llegar a cortar la conexión.

La conexión debe hacerse uniendo los cables de forma apropiada y usando termocontraíble para aislar la misma.

Hay que tener en cuenta que para hacer las conexiones de todos los elementos electrónicos, siempre es conveniente desconectar la batería del vehículo para evitar posibles circuitos. Es muy importante verificar que las masas de cada uno de los elementos que se instalen, estén separadas y firmemente conectadas a la carrocería.

Conmutador.- Es el selector que permite la elección del carburante que deseamos utilizar, gasolina o GLP. Este selector va situado en el panel frontal del vehículo, de forma que este visible y accesible para el conductor. Este conmutador tiene además la función de indicar el nivel de carburante, posee cuatro leds y uno de estos destellara indicando que el vehículo está circulando en reserva, además emite una señal sonora cuando este se ha quedado vacío. En este último caso la conmutación para que el

vehículo utilice gasolina es automática. El conductor no percibe nada en el tipo de conducción que realiza cuando se produce dicho cambio, motivo por el cual se le añade de una señal acústica de aviso y una señal luminosa en dicho conmutador de parpadeo.

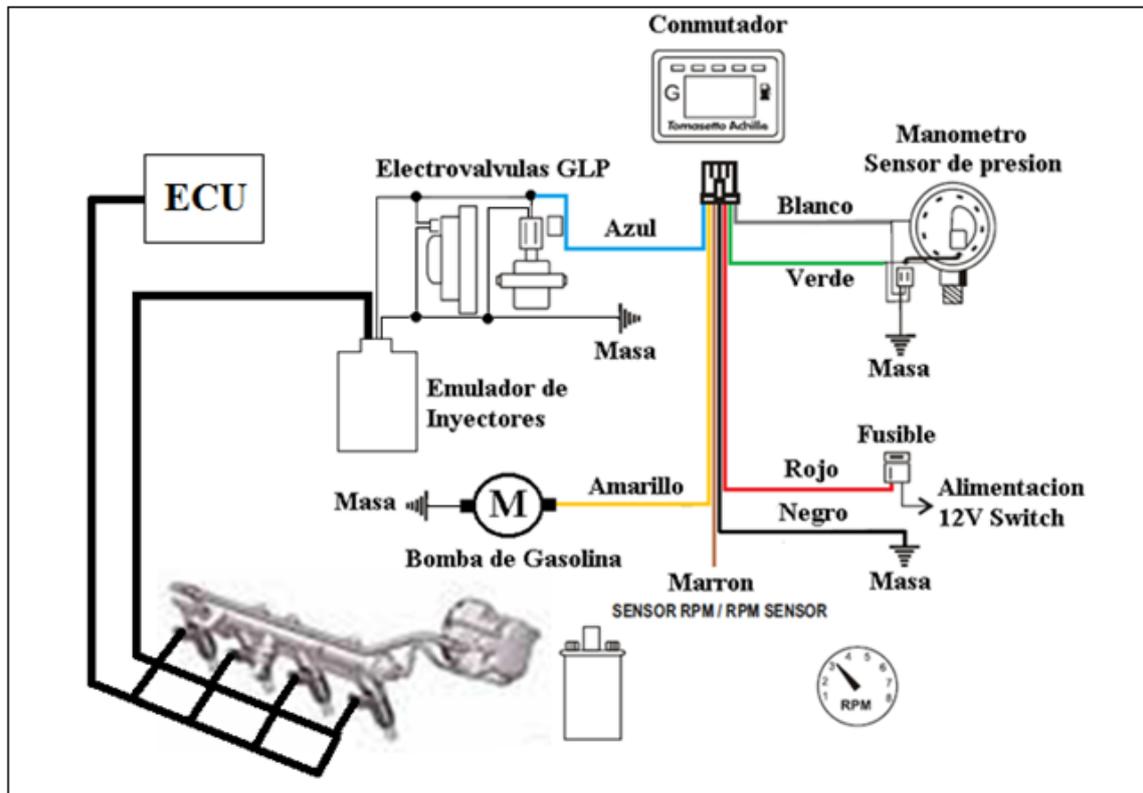


Figura 1.53: Conmutador para GLP

Fuente: <http://michatarrita.host56.com/category/sistemas-glp-y-gnv/>

Funcionamiento: Cuando el Switch se encuentra en Start, el conmutador se alimenta por el cable rojo, y este a su vez alimenta la bomba de gasolina “cable amarillo” así este encuentre seleccionada la alimentación por GLP. Una vez que el motor está caliente, y si se encuentra seleccionada la opción de alimentación por GLP, se desactiva la bomba de gasolina, se activan las electroválvulas de GLP y el emulador de inyectores “cable azul”; si se selecciona la opción de alimentación por gasolina, rápidamente se activa la bomba de gasolina, se desactivan las electroválvulas de GLP y el emulador de inyectores.

Cuando el vehículo se alimenta por GLP, la dosificación del combustible depende de las revoluciones del motor, para ello el conmutador capta estas revoluciones por el cable

Marrón y hace que las electroválvulas de GLP se abran o se cierren dependiendo de los requerimientos del motor.

Para los equipos de GLP que tienen el sensor de presión en el tanque de combustible, el conmutador capta esta información por los cables Blanco y Verde, traduce esta información como un indicador de nivel de la cantidad de GLP que se encuentra en el depósito de combustible.

Emulador De Inyectores.- Cuando el vehículo funciona a GLP, es necesario cortar y emular el funcionamiento de los inyectores, para no acumular códigos de fallas en la unidad electrónica de control (ECU).

En el momento de la conmutación de gasolina a GLP, el emulador no interrumpe de manera inmediata el funcionamiento del inyector para permitir al gas salir del reductor y llegar a la aspiración, evitando pozos de alimentación con eventuales contra explosiones, logrando así una superposición de combustibles, la cual es posible modificar con un preset de regulación que poseen estos emuladores.

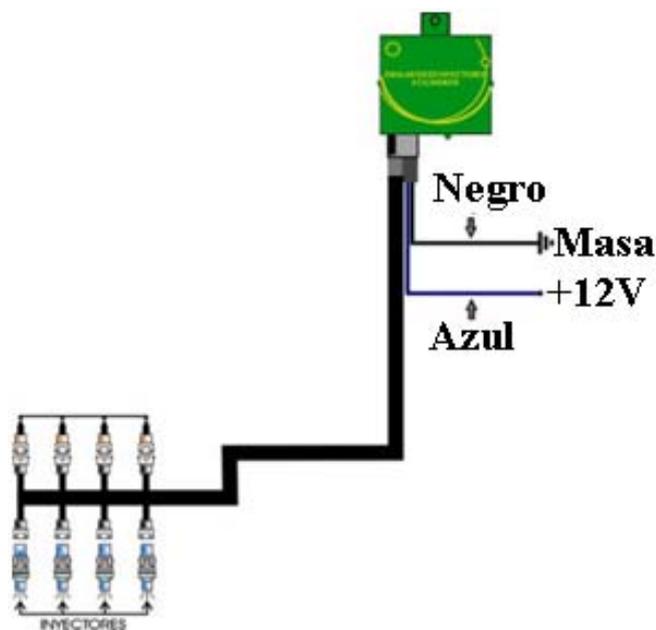


Figura 1.54: Emulador de inyectores GLP

Fuente: <http://www.tomasettolovato.com.ar/download/Manual%20TL.PDF>

CAPITULO II

2. ESTUDIO DEL CICLO TERMODINÁMICO DEL SISTEMA GLP-GASOLINA.

Desde la invención de los motores térmicos se ha visto la necesidad de encontrar diferentes tipos de combustibles, tratando de aprovechar las mejores cualidades de un combustible respecto a otro, muchos son los factores a tenerse en cuenta, disponibilidad, costo, poder calorífico, consumo y en las actuales circunstancias, predomina por sobre todo el impacto medio ambiental que produciría el consumo de un determinado carburante.

La termodinámica y los procesos químicos de combustión son una excelente ayuda al momento de determinar el uso de un combustible alternativo, para inferir las propiedades termodinámicas y parámetros de funcionamiento en un motor de combustión interna.

El presente capítulo analiza los ciclos termodinámicos de un motor de combustión interna dependientes de un combustible de uso común y un combustible alternativo.

2.1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA.

Después de una extensa cronología en el diseño y estudio de motores de combustión interna tenemos que en la actualidad los de más amplio uso son:

- Motor de combustión interna de encendido provocado, de ahora en adelante (MEP).
- Motor de combustión interna de encendido por compresión, de ahora en adelante (MEC).

Nuestro estudio se centra en los motores MEP, por lo que en el presente estudio no se va a tomar en consideración a los motores MEC.

2.1.1 Motor de encendido provocado (MEP).

También conocido como motor Otto, fue inventado por el ingeniero alemán Nikolaus Otto en el año de 1876 basado en los principios de Beau de Rochas. Se han realizado importantes modificaciones desde el modelo original, mejorándose así sus prestaciones, además la mejora en productos antidetonantes han hecho combustibles de mayor rendimiento y consumo.

Ciclos de operación de los motores

Los motores MEP operan en lo que se conoce como el ciclo de cuatro tiempos. Cada cilindro requiere de cuatro tiempos de su pistón – dos revoluciones de cigüeñal – para completar la secuencia de eventos que producen una carrera de potencia (*ver Figura 2.1*) el cual comprende:

- *Carrera de admisión*, la cual inicia con el pistón en el punto muerto superior (en adelante PMS) y termina con el pistón en el punto muerto inferior (en adelante PMI). En ésta se arrastra mezcla fresca al interior del cilindro. Con el fin de incrementar la masa succionada, la válvula de admisión abre ligeramente antes del PMS (punto conocido como avance a la apertura de admisión – AAA) y cierra después del PMI (retraso al cierre de admisión – RCA).
- *Carrera de compresión*, ocurre cuando las dos válvulas están cerradas y la mezcla al interior del cilindro es comprimida hasta una pequeña fracción de su volumen inicial. Hacia el final de la carrera de compresión, se inicia la combustión y la presión en el cilindro incrementa más rápidamente.
- *Carrera de potencia*, o carrera de expansión, la cual inicia con el pistón en el PMS y termina en el PMI en la medida que los gases a elevada temperatura y presión empujan el pistón hacia abajo forzando a girar la manivela. Durante ésta carrera se logra obtener cerca de cinco veces más trabajo que el realizado por el pistón durante la compresión. En la medida en que el pistón se aproxima al PMI la válvula de escape se abre para iniciar el proceso de escape y cae la presión en el cilindro hasta un valor cercano a la presión en el escape.

- *Carrera de escape*, donde los gases quemados salen del cilindro: primero, porque la presión en el cilindro puede ser sustancialmente más alta que la presión en el escape y luego porque son barridos por el propio movimiento del pistón hacia el PMS. A medida que el pistón se aproxima al PMS abre la válvula de admisión. Justo después del PMS se cierra la válvula de escape y el ciclo inicia de nuevo.

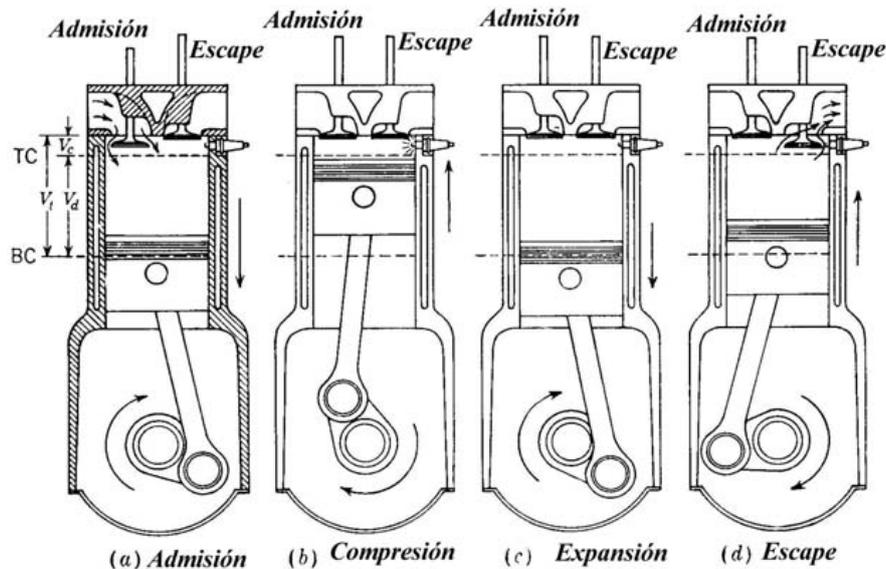


Figura 2.1: Ciclo de operación de 4 tiempos, TC es PMS y BC es PMI.

Fuente: Heywood, J. B. (1988), "Internal Combustion Engine Fundamentals". McGraw Hill, New York.

Los motores de cuatro tiempos requieren, para cada cilindro, dos revoluciones del cigüeñal por cada carrera de potencia.

Operación de trabajo del MEP.

En los MEP el aire y el combustible generalmente se mezclan en el sistema de admisión antes de entrar al cilindro, usando un carburador o un sistema de inyección de combustible. Para aplicaciones automotrices la temperatura del aire en la admisión se controla mezclando aire ambiente con aire calentado por el contacto con el colector de escape. La relación entre el flujo másico de aire y combustible deberá mantenerse aproximadamente constante y en torno a 15:1 (partes de aire por parte de combustible)

para asegurar una combustión adecuada, en nuestro caso nos enfocamos en los sistemas de inyección.

Los sistemas de inyección de combustible pueden ser monopunto cuando se trata de un solo inyector ubicado en el colector de admisión o multipunto cuando se usan tantos inyectores como cilindros ubicados en los puertos de admisión. En el sistema de inyección controlado electrónicamente el flujo de aire se mide directamente; las válvulas de inyección son actuadas dos veces por cada revolución del árbol de levas por pulsos de inyección cuya duración viene determinada por la unidad de control electrónica para suministrar la cantidad deseada de combustible por ciclo y por cilindro. La secuencia de eventos que tienen lugar al interior del cilindro se ilustra en la *Figura 2.2*

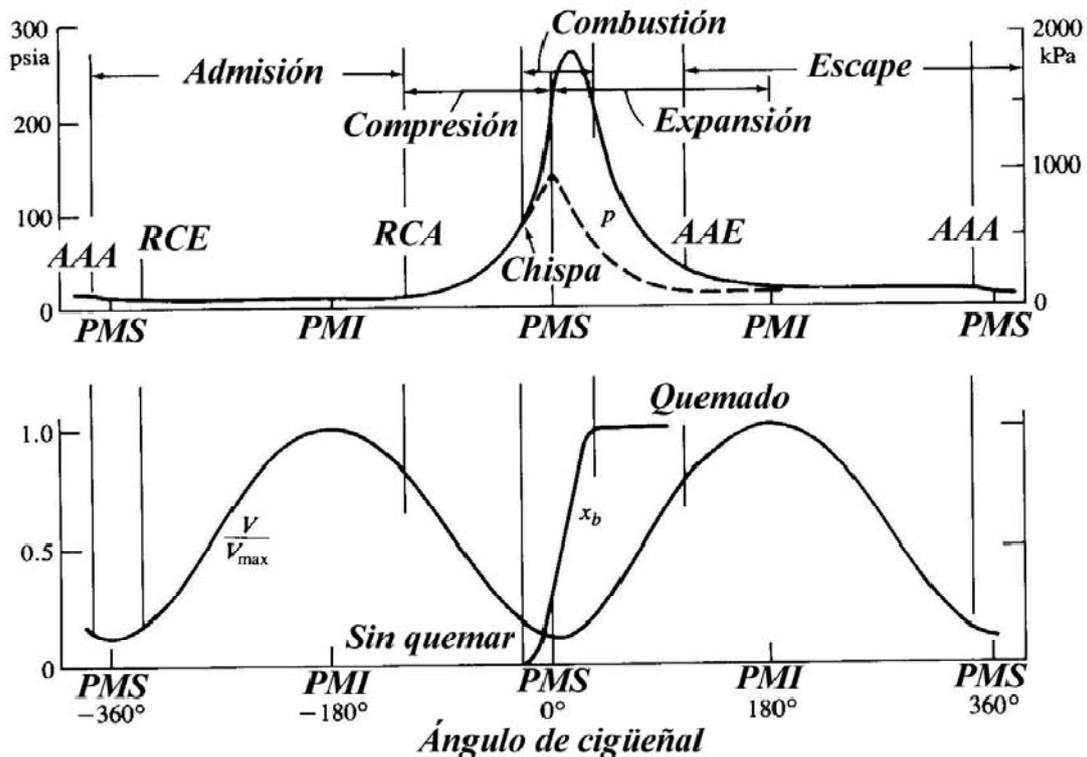


Figura 2.2: Secuencia de eventos en un MEP de 4 tiempos en función del ángulo de giro del cigüeñal. RCA: Retraso al cierre de la válvula de admisión; AAA: Avance de Apertura de la válvula de Admisión; AAE: Avance de Apertura de la válvula de Escape; RCE: Retraso al cierre de la válvula de escape.

Fuente: Heywood, J. B. (1988), "Internal Combustion Engine Fundamentals". McGraw Hill, New York.

Es más cómodo utilizar como variable independiente el ángulo de giro del cigüeñal en lugar del tiempo debido a que la mayoría de los procesos en el motor ocurren a intervalos de ángulo de giro del cigüeñal casi constante sobre un amplio rango de velocidades del motor. Para mantener flujos de mezcla elevados a altas velocidades (y *por lo tanto altas potencias*) la válvula de admisión que abre antes del PMS y cierra bastante después del PMI, produciéndose de ésta manera una mezcla entre la carga fresca y los gases quemados residuales que permanecieron del ciclo anterior.

Una vez cierra la válvula de admisión el contenido del cilindro es comprimido por encima de la presión y temperatura atmosférica a medida que el volumen del cilindro es reducido. Se genera alguna transferencia de calor hacia el pistón, la culata y las paredes del cilindro, pero el efecto sobre las propiedades del gas sin quemar aún es despreciable. Entre *10 y 40 grados de cigüeñal* antes del PMS, la chispa genera una descarga eléctrica entre los dos electrodos iniciándose el proceso de combustión. La descarga eléctrica hace que se desarrolle un frente de llama turbulento que se propaga a través de la mezcla aire, combustible y gases residuales en el cilindro y se extingue en las paredes de la cámara de combustión. A medida que se quema la mezcla en el frente de llama, incrementa la presión en el cilindro por encima del nivel que lo haría si solo se comprimiera (*línea punteada*).

Aproximadamente a dos terceras partes de la carrera de expansión inicia la apertura de la válvula de escape. La presión en el cilindro es mayor que la presión en el colector de escape ocurriendo así un proceso de soplado en sentido del colector de escape. Los gases quemados fluyen a través de la válvula hacia puerto y colector de escape hasta que se equilibran las presiones en el cilindro y en el escape. El pistón entonces desplaza los gases quemados en el cilindro hacia el colector durante la carrera de escape. El objetivo de abrir la válvula de escape antes que termine la carrera de expansión consiste en asegurar que el proceso de soplado no ocurra demasiado entrada la carrera de escape. La válvula de escape permanece abierta unos grados después del PMS; y la de admisión abre unos grados antes.

Características de trabajo en los motores MEP.

Para una mejor comprensión de los siguientes apartados se expone, a continuación, una lista con definiciones de los principales parámetros de un motor alternativo que serán citados posteriormente.

- *Cámara de combustión*: recinto de volumen fijo definido mediante la parte superior del pistón – cuando éste se encuentra en el PMS –, la pared del cilindro y la parte inferior de la culata en el cual se realiza la combustión de la mezcla de aire y gasolina.
- *Carrera(S)*: distancia que recorre el pistón entre el Punto Muerto Inferior (PMI) y el Punto Muerto Superior (PMS) y que queda definida por el doble del radio de la manivela del cigüeñal.
- *Cilindrada unitaria o volumen desplazado (Vd)*: volumen que desplaza el pistón durante su carrera desde el PMI al PMS y/o viceversa.
- *Pistón*: émbolo que se ajusta al interior de las paredes de un cilindro a través de unos aros flexibles llamados segmentos. Efectúa un movimiento alternativo, obligando al fluido que ocupa el cilindro a modificar su presión y volumen
- *Sección del pistón (Ap)*: área de la parte superior del pistón.
- *Velocidad de giro del cigüeñal (N)*: velocidad media de giro de un motor expresada, generalmente, en revoluciones por minuto (min-1) que determina, de modo esencial, el valor de potencia que se puede conseguir con dicho motor si se mantiene la realización del ciclo termodinámico de modo adecuado.
- *Volumen de la cámara de combustión (Vcc)*: volumen existente dentro del recinto de combustión cuando el pistón se encuentra en el PMS.

- *Flujo másico de combustible (\dot{m}_f)*: es decir la masa de combustible por unidad de tiempo.
- *Flujo másico de aire (\dot{m}_a)*: es decir la masa de aire por unidad de tiempo.

2.2 PARAMETROS DE OPERACIÓN Y RENDIMIENTO.

2.2.1 Propiedades geométricas motores MEP.

Relación de compresión (R_c).- Es la relación entre el máximo volumen formado por el cilindro (V_d+V_c) y el volumen mínimo correspondiente a la cámara de combustión (V_c).

$$R_c = \frac{V_d + V_c}{V_c} = \frac{V_{PMI}}{V_{PMS}}$$

Velocidad media del pistón (V_p).- Media aritmética de las velocidades instantáneas del pistón, la ecuación está en función de la carrera (S) y velocidad del motor (N).

$$V_p = \frac{S(m) * 2 * N(rpm)}{60000} \left(\frac{m}{s}\right)$$

2.2.2 Presión media efectiva (PME)

Es una presión ficticia que si actuara sobre el embolo durante la carrera de potencia completa, produciría la misma cantidad de trabajo que el producido por el ciclo real. Se obtiene dividiendo el trabajo del ciclo por el volumen desplazado en el cilindro por ciclo:

$$\text{Trabajo por ciclo} = \frac{P * i}{n}$$

Donde i es el numero de revoluciones del cigüeñal por cada carrera de potencia del cilindro, dos para cuatro tiempos y uno para motores de dos tiempos, entonces:(26)

$$PME = \frac{P(Kw) * i * 10^3}{V_d(dm^3) * N(rev/s)} (kPa)$$

La presión media efectiva se toma como parámetro para comparar el desempeño de maquinas mep y mec de igual tamaño. La maquina térmica que tiene un valor mayor de PME entregara más trabajo neto por ciclo y, en consecuencia, se desempeñara mejor.

2.2.3 Relaciones aire/combustible y combustible/aire

En el ensayo de motores, normalmente se miden el flujo másico de aire \dot{m}_a y el flujo másico de combustible \dot{m}_f . La relación entre estos flujos es útil al momento de definir las condiciones operativas del motor:

$$\begin{aligned} \text{Relacion aire combustible} &= \frac{A}{F} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \\ \text{Relacion combustible aire} &= \frac{F}{A} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \end{aligned}$$

El rango de funcionamiento normal para un MEP usando gasolina como combustible es: $12 \leq A/F \leq 18$: $(0.056 \leq F/A \leq 0.083)$.

Debido, a que la composición de los productos de la combustión es diferente para mezclas pobres y ricas, y que además la relación combustible/aire (F/A o más comúnmente llamada dosado) depende de la composición del combustible, se considera que es un parámetro más informativo el dosado relativo, que se define como la relación entre el dosado de funcionamiento del motor y el dosado estequiométrico:

$$Fr = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)_{abs}}{\left(\frac{F}{A}\right)_{est}} = \frac{F_{abs}}{F_{est}}$$

Aquí se puede observar que el inverso del dosado relativo (FR) es lo que se denomina Lambda (λ) o relación aire/combustible (A/F) relativa a la estequiométrica:

2.2.4 Consumo específico del combustible

En el estudio de un motor es común medir el flujo másico de combustible, es decir la masa por unidad de tiempo. Un parámetro útil es el consumo específico de combustible (sfc), ya que relaciona el flujo másico de combustible por unidad de potencia de salida, esto representa una medida de eficiencia de un motor usando el combustible suministrado para producir trabajo. (27)

$$sfc \left(\frac{g}{Kw * h} \right) = \frac{\dot{m}f \left(\frac{g}{h} \right)}{P(Kw)}$$

2.2.5 Rendimiento volumétrico

El sistema de admisión, compuesto generalmente por: el filtro de aire, carburador y mariposa (*en un MEP*), colector de admisión, puerto de admisión y válvula de admisión, restringe la cantidad de aire que un motor con un desplazamiento dado puede inducir. Se suele emplear entonces, el rendimiento volumétrico N_v , como parámetro que indica la efectividad del proceso de llenado del cilindro en el motor. Éste se usa solo con motores de cuatro tiempos los cuales tienen un proceso distinto de inducción. Se define como la relación entre el flujo de aire que entra en condiciones reales de operación del motor y el flujo de aire que entraría teóricamente a llenar el cilindro a las condiciones del sitio:

Ecuación:

$$N_v = \frac{2 * \dot{m}a}{\rho_{air} * Vd * N}$$

Donde:

$\dot{m}a$: Flujo masico de aire.

ρ_{air} : Densidad del aire.

Vd : Volumen del cilindro.

N: Numero de revoluciones del motor.

La densidad del aire en la admisión puede ser tomada como la del aire a las condiciones ambiente del lugar (*en tal caso, N_v mide la capacidad de bombeo de todo el sistema de admisión*) – es lo más usual - o puede ser tomada como la densidad del aire en el múltiple de admisión (*en tal caso, N_v mide la capacidad de bombeo del puerto de*

admisión y la válvula solamente) – menos usual -. Los valores máximos típicos de N_v para motores de aspiración natural están en el rango de 80 a 90%.

2.3 PROPIEDADES Y PROCESOS TERMODINAMICOS.

2.3.1 Propiedades termodinámicas.

Los fluidos en un sistema están expuestos a energía cediéndola y otras veces absorbiéndola. Se debe diferenciar que clase de energía se está manipulando y a que propiedades intensivas está supeditada.

Conceptos de energía, trabajo, calor y entalpia.

En el caso de los motores MEP las formas de energía que interesan son la energía mecánica y la energía térmica. El trabajo es resultado de la energía mecánica. Cuando es realizado en una unidad de tiempo se llama potencia. Después de la aplicación de un trabajo sobre un sistema, pueden manifestarse en el sistema otras energías como resultado de ese trabajo. Una de esas energías es la energía térmica.

La energía térmica es calor transferido entre el sistema y entorno. Para que esta transferencia exista debe haber una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno.

Trabajo mecánico

Para estudiar el trabajo mecánico se consideran las fases de compresión y expansión como reversibles y el fluido sin viscosidad ni rozamiento interno.

El área bajo la línea térmica es el trabajo mecánico realizado durante un proceso. La forma de la línea térmica depende del proceso de transformación seguido por el fluido. Por lo tanto, es necesario saber la ley de transformación seguida para poder calcular el trabajo. Cuando el proceso transcurre de izquierda a derecha, por convenio, el trabajo es realizado sobre el fluido y se considera negativo. Es el caso de la carrera de compresión.

En el caso de la carrera de expansión, donde el proceso transcurre de derecha a izquierda, el trabajo es realizado por el fluido y se considera positivo. Como se puede apreciar en la fig. 2.6

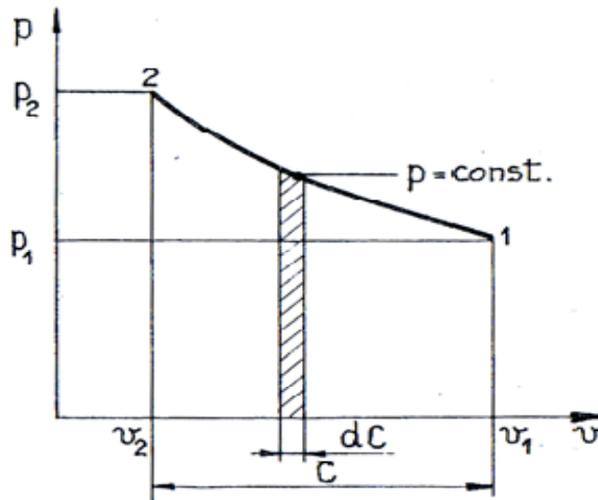


Figura 2.3: Integrando entre los límites 1 y 2 se obtiene el trabajo realizado en una carrera del pistón.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

Calor

En el caso del calor se puede calcular como el producto de la temperatura T por la entropía S (propiedad característica referente a la cantidad de calor que se puede transformar en trabajo): Fig. 2.7 (1)

$$\delta Q = T \cdot ds$$

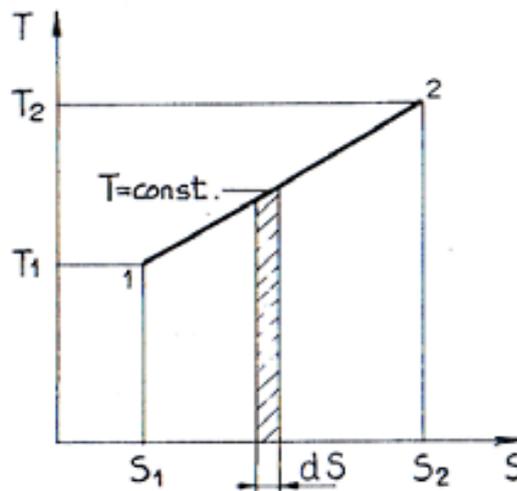


Figura 2.4: Diferencial de entropía en un diagrama TS.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

Calor específico.

El calor específico, o capacidad calorífica específica, se define como la cantidad de calor que es necesario aportar para subir 1 grado la temperatura de 1 kg de una sustancia.

$$Q = C_x * \Delta T$$

Siendo Q el calor aportado, C_x el calor específico de un proceso general x y ΔT el incremento de temperatura debido a la aportación de calor Q . En termodinámica interesan dos clases de calores específicos: el calor específico a volumen constante C_v y el calor específico a presión constante C_p .

La relación entre los calores específicos se conoce como razón de calores específicos k :

$$k = \frac{C_v}{C_p}$$

El calor específico es distinto para cada gas, o mezcla de gases, y es función de la temperatura a la que se encuentra el gas. Para determinarlo empleando rutinas de computador, se han creado modelos que se basan en ajustes polinomiales de curvas de datos termodinámicos. Las modelizaciones más usadas son los ajustes polinómicos “NASA” calculados a partir de las tablas JANAF⁴, donde se encuentran valores de las propiedades en función de la temperatura, estas ecuaciones describen el cambio paulatino que sufre el calor específico de una sustancia, al aplicarle determinada temperatura.

Ya que el calor específico no se mantiene constante con la elevación de temperatura, nuestro modelo de cálculo necesita una expresión que describa este cambio con el paso de temperatura, y la ecuación en mención satisface esta necesidad.

Según el ajuste NASA, la Cp se calcula como: (2)

$$\frac{Cp}{Ru} = a_1 + a_2 * T + a_3 * T^2 + a_4 * T^3 + a_5 * T^4$$

Donde Ru, es la constante universal de gases 8.3145 [J/mol·K] y los coeficientes a_i están tabulados para distintos elementos. Cp está en [J/mol·K].

Si un gas está compuesto de distintos elementos, la Cp se obtiene sumando las Cp de cada uno multiplicado por su fracción molar.

$$Cp = \sum Y_i * Cp_i$$

Los coeficientes a_i para los elementos que forman parte del aire y los productos de combustión para un rango de 300k a 1000k, especiales para calcular las propiedades de las mezclas sin quemar, son: (2)

⁴ JANAF Thermochemical Tables, 2da ed., NSRDS-NB537, U.S. National bureau of Standards.

	$a1$	$a2$	$a3$	$a4$	$a5$	$a6$
N2	3,6748E+00	-1,2082E-03	2,3240E-6	- 6,322E10	- 2,257E13	- 1,0612E+3
CO2	2,4008E+00	8,7351E-03	-6,6071E-6	2,0022E-9	6,327E-16	- 4,8378E+4
H2O	4,0701E+00	-1,1084E-03	4,1521E-6	-2,9637E-9	8,070E-13	- 3,0280E+4

TABLA 2.1: Coeficientes NASA de los elementos que forman parte del aire.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 131.

Para un rango entre 1000 K y 5000 K, especiales para la mezcla quemada, son:

	$a1$	$a2$	$a3$	$a4$	$a5$	$a6$
N2	2,89630E+00	1,51550E-03	-5,7235E-07	9,9807E-11	-6,5224E-15	-9,058E+2
CO2	4,46080E+00	3,09820E-03	-1,2393E-06	2,2741E-10	-1,5526E-14	- 4,8961E+04
H2O	2,71680E+00	2,94510E-03	-8,0224E-07	1,0227E-10	-4,8472E-15	- 2,9906E+04

TABLA 2.2: Coeficientes NASA de los elementos que forman parte del aire.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 131.

Para los combustibles el Cp, se calcula como: (2)

$$Cp = 4.1868 * \left(a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2 + a_4 * t^3 + \frac{a_5}{t^2} \right)$$

Siendo:

$$t = \frac{t}{1000}$$

Es decir, para cada t en la ecuación, corresponderá la milésima parte de la temperatura del gas.

Para el combustible butano la ecuación es la siguiente:(3)

$$Cp = a_1 + a_2 * t + a_3 * t^2 + a_4 * t^3$$

Las unidades de Cp(t), están en J/(mol·K). Los coeficientes a_i de los combustibles a utilizar son:

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
isooctano C8H18	-0.55313	181.62	-97.787	20.402	-0.03095
Propano C3H8	-1.04867	74.339	-39.065	8.0543	0.01219
Butano C4H10	3.96	37.15E-2	-18.34E-5	35E-9	

TABLA 2.3: Coeficientes NASA de los combustibles.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 133.

Entalpia:

Es una magnitud termodinámica, se simboliza con la letra H, la variación de la misma representa una cantidad de energía que el sistema absorbe o cede a los alrededores del sistema, es decir la cantidad de energía que el sistema intercambia con su entorno.

La entalpia de un sistema es la suma de la energía interna y la diferencia con la constante de gas R por la temperatura a la que se encuentra dicho gas.

$$H = U - RT$$

Para el cálculo de la entalpia se ha basado en los ajustes polinómicos “NASA”.(2)

$$\frac{h}{RT} = a_1 + \frac{a_2}{2} * T + \frac{a_3}{3} * T^2 + \frac{a_4}{4} * T^3 + \frac{a_5}{5} * T^4 + \frac{a_6}{T}$$

Los coeficientes a_i responden a las tablas 2.1 y 2.2.

Gases perfectos:

Cualquier ecuación que relacione la presión, la temperatura y el volumen específicos de una sustancia se denomina ecuación de estado. La ecuación de estado más sencilla y conocida para sustancias en la fase gaseosa es la ecuación de estado de gas ideal. Esta ecuación predice el comportamiento P-V-T de un gas con bastante exactitud, dentro de cierta región. Estos gases ideales obedecen las leyes del ingles Robert Boyle y J.Charles y J. Gay-Lussac. Esto es,

$$P = R * \frac{T}{v}$$

La constante de proporcionalidad, R, se conoce como constante de gas esta es diferente para cada gas, y se determina de:

$$R = \frac{R_u}{M} \left(\frac{Kj}{Kg * K} \right)$$

Donde R_u es la constante universal de gas y M es la masa molar (llamada también peso molecular) del gas. La constante R_u es la misma para todos los gases y su valor es:

$$R_u = 8.3145 \frac{Kj}{Kmol * K} \text{ o } \frac{J}{g * K}$$

La masa molar M se define como la masa de un mol (llamada también gramo-mol, abreviado gmol) de una sustancia en gramos, o la masa de un kmol (llamada también un kilogramo-mol, abreviado kgmol) en kilogramos.(4)

Una relación de consideración entre calores específicos y la constante de gases es:

$$C_p = C_v + R$$

Si tenemos datos con base molar tenemos:

$$\overline{C_p} = \overline{C_v} + Ru$$

2.3.2 Procesos termodinámicos

Los procesos termodinámicos definen la evolución de las propiedades termodinámicas.

Los procesos que interesan en el estudio de los motores MEP, son los siguientes:

Proceso a volumen constante:

De la ecuación de estado de gases ideales tenemos que la relación entre temperatura y presión son una constante:

$$\frac{P}{T} = cte$$

Por tanto para ir de un punto a otro del sistema tenemos:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Aplicando el primer principio de la termodinámica a un proceso a volumen constante tenemos:

$$Q = \Delta U + W$$

Tanto en los procesos de combustión como escape (ambos de transferencia de calor), se dan a volumen constante por ende $W=0$. (5)

$$Q = \Delta U = C_v * (T_2 - T_1)$$

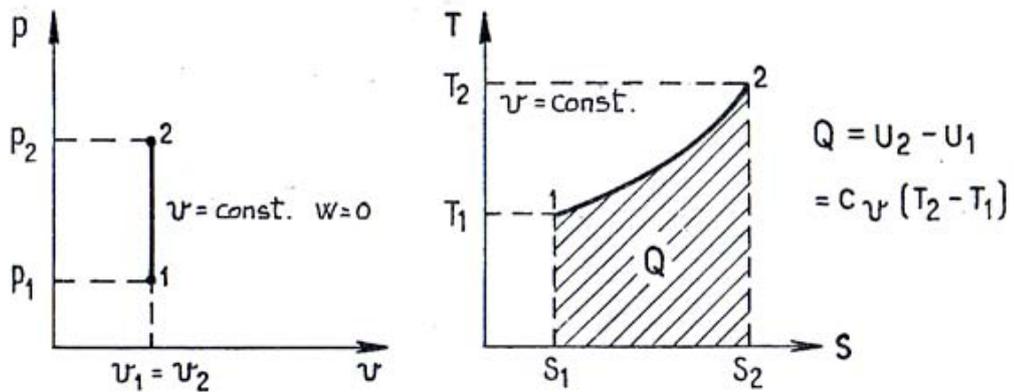


Figura 2.5: Diagramas P-V y T-S de un proceso a volumen constante.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

Proceso adiabático

Se dice que un proceso es adiabático cuando no existe transferencia de calor con el entorno, por ende la entropía del sistema también tiende a 0, $dS=0$. (5)

$$Q = 0$$

Se deduce que:

$$\Delta U + W = 0$$

$$W = -\Delta U = -C_v * \Delta T$$

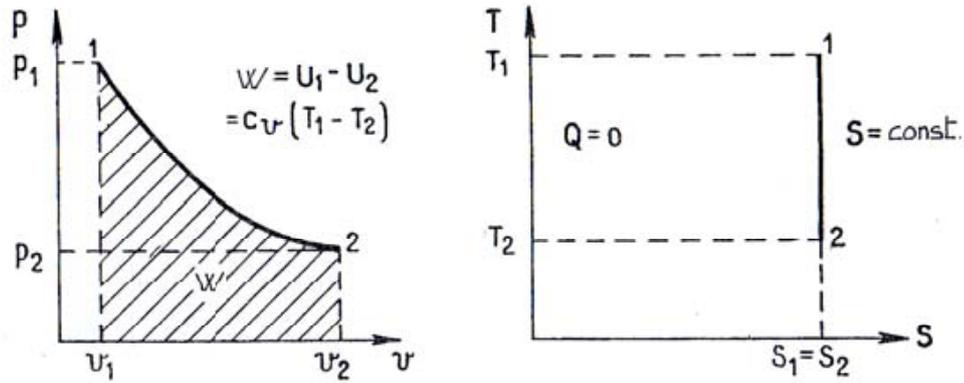


Figura 2.6: Diagramas P-V y T-S de un proceso adiabático.

Fuente: Giacosa, Dante. "Mototres Endotermicos". Barcelona (1986).

2.4 FLUIDOS DE TRABAJO

La obtención de energía mecánica ($W_{\text{útil}}$) en motores alternativos de combustión interna se logra como resultado del proceso de combustión del combustible con aire. En motores de encendido provocado, el combustible debe evaporarse fácilmente y formar una mezcla homogénea con el aire previamente a su introducción en el cilindro (combustión de premezcla). Un esquema del proceso se puede ver en la fig. 2.10

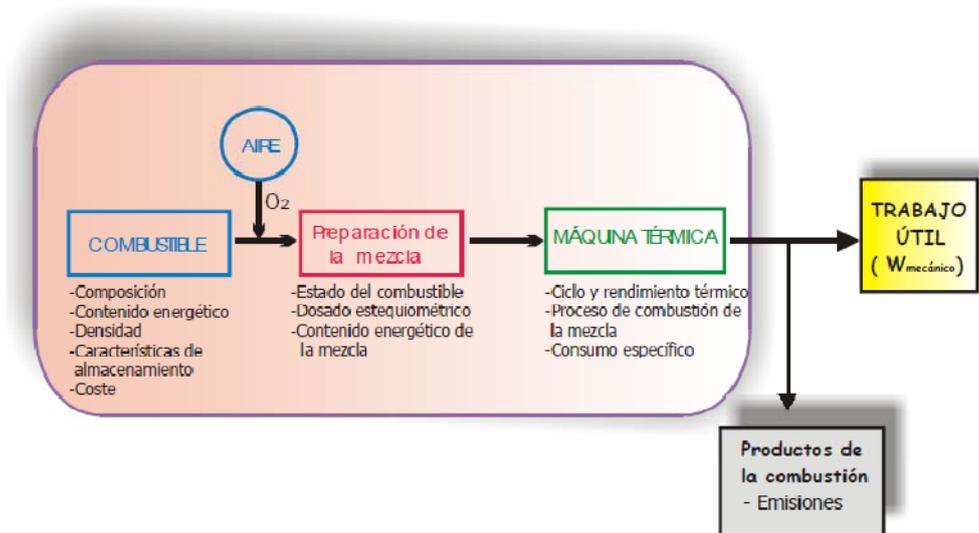


Figura 2.7: Esquema del proceso de funcionamiento de un MEP.

Fuente: Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y combustibles alternativos, Universidad Politécnica de Cataluña, 2004.

2.4.1 Propiedades físicas-químicas del aire

El aire es un componente esencial del proceso de funcionamiento de los motores alternativos de combustión interna debido a la proporción de oxígeno contenida en él que actuará como comburente en la reacción de combustión del hidrocarburo.

La composición del aire es variable dependiendo de las condiciones en las que se encuentra y su localización.

En una base molar o de volumen, el aire seco está compuesto por 20.9% de oxígeno, 78.1% de nitrógeno, 0.9% de argón y pequeñas cantidades de dióxido de carbono, neon, helio e hidrógeno.

Para los análisis de combustión el argón se trata como nitrógeno y se desprecian los demás gases, por tal motivo el aire seco puede considerarse aproximadamente como:(7)

Gas	% en base molar o de volumen
Nitrógeno (N ₂)	79%
Oxígeno (O ₂)	21%

TABLA 2.4: Composición del aire.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Aire>

Entonces tenemos que por cada mol de oxígeno que ingresa a la cámara será acompañado de:

$$\frac{0.79}{0.21} = 3.76 \text{ mol de nitrógeno}$$



A continuación tenemos algunas propiedades relevantes del compuesto aire:

Propiedad	Valor	Unidad
Masa molar	29.97	Kg/Kmol
Constante de gas (R)	0.287	KJ/(Kg*k)
Densidad	1.18	Kg/m ³ (25°C)

TABLA 2.5: Propiedades del aire.

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Aire>

2.4.2 Propiedades físicas-químicas de la Gasolina

La gasolina es una mezcla manufacturada que no ocurre naturalmente en el medio ambiente. La gasolina es producida de petróleo en el proceso de refinación. Es un líquido incoloro, pardo pálido o rosado, y es sumamente inflamable.

Composición:

Se trata de una mezcla de cadenas de hidrocarburos de cinco a nueve átomos de carbono, de relativa volatilidad, con o sin pequeñas cantidades de aditivos, los cuales están mezclados para formar un combustible conveniente para uso en motores automotrices de combustión interna.

Como se ha comentado, la gasolina es una mezcla de un centenar de estas especies de compuestos y varían desde el butano hasta el metil naftaleno, es decir, las características de una gasolina están fuertemente relacionadas por el tipo de hidrocarburo que contiene. Para nuestro estudio se eligió al isoctano, por ser el que más se asemeja a la composición química de la gasolina, su fórmula química es C₈H₁₈.

A continuación se presentan algunas propiedades de este combustible:

Propiedad	Valor	Unidad
Formula química	C ₈ H ₁₈	
Peso molecular	114.23	kg/kmol
(A/F)	15.14	
(F/A)	0.0661	
Densidad*	0.703	Kg/m ³
PCI(poder calorífico inferior)	44.3	MJ/Kg
PCI de la mezcla estequiométrica	2.75	MJ/Kg
RON**	100	
MON***	100	

TABLA 2.6: Propiedades del combustible octano.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 915.

*A 1 Atm. Y 20°C.

**Research Octane Number.

***Motor Octane Number.

2.4.3 Propiedades físicas-químicas de los Gases Licuados de Petróleo (GLP)

El GLP es un subproducto del petróleo y corresponde a la mezcla de dos gases: gas butano y gas propano. A presión y temperatura ambiente la mezcla se encuentra en estado gaseoso, sin embargo, al ser sometida a presión cambia a estado líquido, lo que permite almacenar una gran volumen de gas en distintos tipos de contenedores.

Composición:

Es un combustible que tiene una composición química donde predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas, la cual contiene impurezas principales, como son el propileno o butileno o una mezcla de estos.

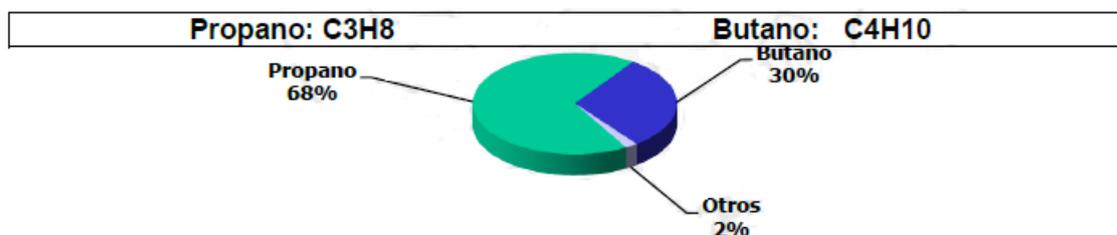


Figura 2.8: Composición del GLP.

Fuente: Los autores.

Los gases butano y propano, en estado puro, son hidrocarburos del tipo C_nH_{2n+2} :

- Butano: C₄H₁₀
- Propano: C₃H₈

Son más pesados que el aire, si tienen alguna pequeña fuga pueden extenderse por el suelo y los fosos de inspección, motivo por el cual se le a adherido un compuesto odorizante “MERCAPTANO” para detectarlo en caso de fugas. No contiene plomo ni ningún aditivo añadido.

Las propiedades más representativas del propano y butano se presentan en la siguiente tabla:

Propiedad	Propano	Butano	Unidad
Formula química	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	
Peso molecular	44,1	58.123	kg/kmol
(A/F)	15.67	15.43	
(F/A)	0.0638	0.0648	
Densidad(1)	0.500	0.579	Kg/m ³
PCI(poder calorífico inferior)	46.4	45.37	MJ/Kg
PCI de la mezcla	2.75	2.75	MJ/Kg

estequiométrica			
RON(2)	112	100	
MON(3)	97	91	

TABLA 2.7: Propiedades de los gases Propano y butano.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 915.

2.4.3.1 Compatibilidad con los materiales:

La siguiente tabla nos muestra la reacción del propano butano con respecto a algunos materiales, algunos de los cuales están presentes en el motor MEP. (7)

Material	Propano	Butano
Aluminio	Satisfactoria	Satisfactoria
Bronce	Satisfactoria	Satisfactoria
Cobre	Satisfactoria	Satisfactoria
Aceros Ferríticos (p.e. Aceros Carbono)	Satisfactoria	Satisfactoria
Aceros Inoxidables	Satisfactoria	Satisfactoria
Silicona (Q)	No recomendado, hinchazón significativa y modificación de las propiedades mecánicas.	No recomendado, hinchazón significativa y modificación de las propiedades mecánicas.
Lubricante basado en hidrocarburos	No recomendado, significativa pérdida de masa por extracción o reacción química.	No recomendado, significativa pérdida de masa por extracción o reacción química.

TABLA 2.8: Compatibilidad del GLP con algunos materiales.

Fuente: <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia>

2.5 CICLO REAL E IDEAL

Se denomina ciclo termodinámico a una sucesión de procesos termodinámicos tales que, al final de todos ellos, el sistema regresa a su estado inicial. De esta sucesión de procesos termodinámicos se puede extraer trabajo. En un motor MEP, como el fluido que recorre el ciclo cambia a lo largo de los procesos, no se puede volver al estado inicial. Para volver al estado inicial el fluido que ha realizado trabajo se expulsa al exterior y se renueva por una cantidad de fluido fresco que volverá a recorrer el ciclo. (8)

Un ciclo térmico se representa en un diagrama $p-v$ por una línea cerrada. Si el ciclo transcurre en el sentido de las agujas del reloj, el fluido realiza trabajo; en caso contrario, el fluido absorbe trabajo. El área encerrada por la línea que describe el ciclo es el trabajo realizado por o sobre el fluido. En los motores MEP el trabajo realizado por el ciclo es la diferencia entre el trabajo realizado por el fluido durante la expansión y el trabajo absorbido durante la compresión. Fig. 2.12

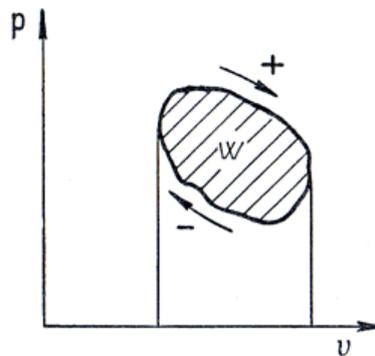


Figura 2.9: Diagrama $p-v$ de un ciclo termodinámico.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

Para el buen funcionamiento del motor, el calor debe ser introducido a temperaturas elevadas y que sea extraído durante la expansión a una temperatura más baja antes de hacer volver el fluido a las condiciones iniciales. Por lo tanto, se necesita un desnivel térmico.

Siendo Q_H el calor introducido y Q_L el calor extraído, para aprovechar el calor Q_H tendría que ser transmitido al fluido a alta presión y temperatura. Analizando el segundo principio de la termodinámica se observa que el calor sólo puede pasar de forma espontánea de cuerpos de alta temperatura a cuerpos con temperatura inferior. Para obtener el proceso contrario es necesaria la aportación de un trabajo durante la compresión. Por lo tanto el motor debería realizar la compresión con la misma ley que realiza la expansión y, en este caso, los trabajos realizados en ambas fases serían iguales y no se obtendría trabajo del ciclo. Por lo tanto, para obtener trabajo, es decir, para que el trabajo absorbido durante la compresión sea inferior al realizado durante la expansión, es necesario que el fluido al final de fase activa haya perdido calor por refrigeración.

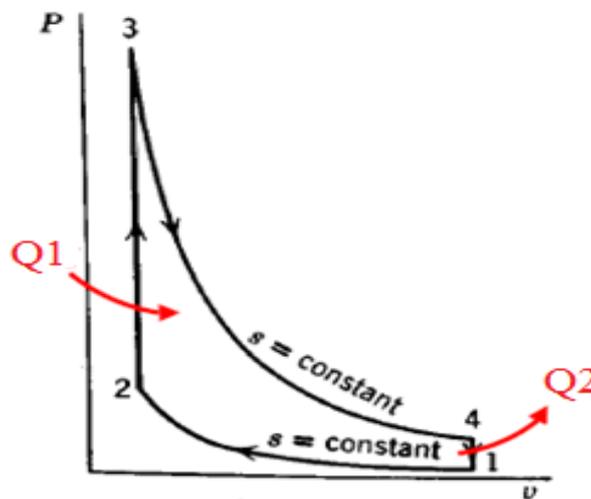


Figura 2.10: Diagrama presión volumen ciclo Otto.(10)

Fuente: CENGEL, BOLES. Termodinámica, New York: McGraw-Hill, 2002.

Como sólo se transforma en trabajo la parte de calor $Q_H - Q_L$, para un ciclo térmico cualquiera el rendimiento térmico es:(9)

Ecuación:

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} (\%)$$

Donde:

Q_1 : Calor de entrada al ciclo.

Q_2 : Calor de salida del ciclo.

2.5.1 Ciclo teórico:

Es usual iniciar el estudio de estos ciclos haciendo el mayor número de simplificaciones posibles, dejando por fuera todas las irregularidades del ciclo real. Esto nos permite determinar el comportamiento de una gran cantidad de variables presentes en el funcionamiento del motor real de un modo cualitativo y simple. Lógicamente, éste método no nos permitirá obtener resultados numéricos válidos, pero sí nos muestra las tendencias de los comportamientos de las variables, de una manera muy definida dentro del complicado panorama del funcionamiento real.

Con el afán de realizar un cálculo, lo más aproximado a la realidad se deben realizar ciertas suposiciones:

El fluido motor está compuesto por una mezcla homogénea de aire y combustible, cuyo comportamiento se asimila a una mezcla de gases ideales, con lo que se aceptan todas las expresiones de cálculo de gas ideal para la obtención de otras variables, tales como la presión o la temperatura.

Los procesos de compresión y expansión se realizan en un cilindro en el cual el pistón se mueve sin rozamiento y el fluido motor carece de todo efecto de rozamiento o viscosidad a causa de su movimiento, es decir es reversible.

El proceso de combustión y expansión se realizan a volumen constante.

Los procesos termodinámicos son los siguientes:

1-2. Compresión adiabática: el fluido es comprimido por el pistón que realiza el trabajo $W1$.

2-3. Aportación de calor a volumen constante: introducción instantánea del calor aportado $Q1$.

3-4. Expansión adiabática: el fluido se expande realizando el trabajo $W2$.

4-1. Extracción de calor a volumen constante: extracción instantánea del calor $Q2$. (11)

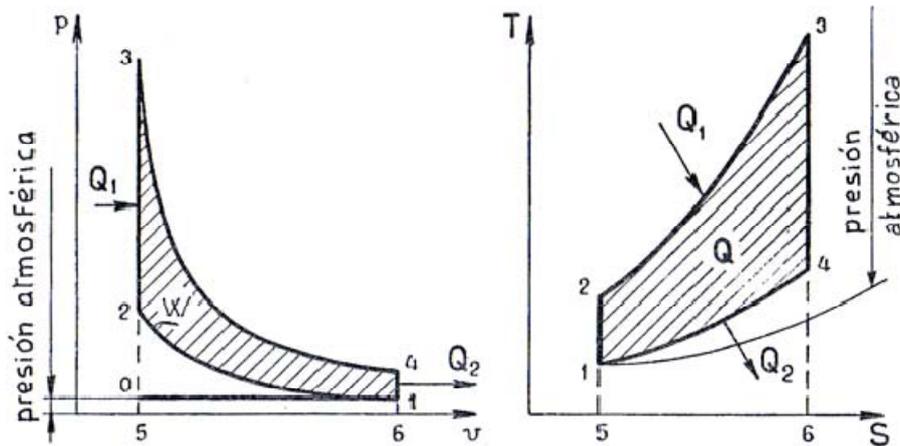


Figura 2.11: Diagrama p-v T-S de un ciclo Otto ideal.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

Como el calor es aportado Q_1 a volumen constante, el trabajo en ese proceso es $W_{2-3} = 0$. El primer principio de la termodinámica para el proceso 2-3 resulta:

$$\Delta U = Q + W$$

$$\Delta U_{2-3} = Q_1$$

Al ser un fluido perfecto el que recorre el ciclo ideal, la variación de energía interna se calcula como:

$$\Delta U_{2-3} = C_v(T_3 - T_2)$$

Por tanto el calor Q_1 :

$$Q_1 = C_v(T_3 - T_2)$$

Análogamente, como el calor Q_2 es extraído también a volumen constante, el trabajo en ese proceso es $W_{4-1} = 0$ y, por lo tanto:

$$Q_2 = C_v(T_4 - T_1)$$

El rendimiento térmico ideal viene dado por la expresión:

$$\eta_T = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$$

Al ser los procesos de compresión y expansión adiabáticos, se pueden utilizar las ecuaciones:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1}$$

Donde K, representa la relación de calores específicos.

2.5.2 Ciclo Real

Los ciclos de trabajo ideales, como se dijo antes, difieren bastante de la realidad, las principales razones según cada proceso dentro del motor son:

Entre el diagrama del ciclo ideal y el diagrama indicado del ciclo real hay diferencias apreciables tanto de forma como en los valores.

Las diferencias de forma se deben a que el ciclo real realiza un recorrido diferente. Los motivos varios:

Pérdidas de calor: En el ciclo ideal no existen pérdidas de calor mientras que en el ciclo real si existen y son apreciables. En un motor el cilindro y la culata están refrigerados y, por lo tanto, parte del calor es transmitido a través de las paredes al sistema refrigerante. En consecuencia, la compresión y expansión pasan de ser adiabáticas a ser politrópicas con exponente n diferente de k . En el caso de la compresión $n < k$ y para la expansión $n > k$.

Combustión no instantánea: En el ciclo ideal la aportación de calor es instantánea y a volumen constante. En ciclo real no sucede así, teniendo lugar la combustión en un espacio de tiempo desde que si inicia hasta que finaliza. Se puede ajustar el inicio de la combustión de tal modo que la mayor parte de la combustión tenga lugar en las cercanías del PMS para obtener el máximo trabajo posible.

Tiempo de apertura de la válvula de escape. En el ciclo calor la extracción de calor no es instantánea si no que sucede en un intervalo de tiempo.

Las causas que producen una diferencia en los valores son:

Aumento de los calores específicos del fluido con la temperatura. A diferencia de un gas perfecto, donde los valores de C_p y C_v son constantes, en un gas real aumentan con la temperatura pero tal modo que se mantiene $C_p - C_v = R$. En consecuencia, la relación entre calores específicos k disminuye.

Disociación en la combustión. Parte de los productos de la combustión, básicamente CO_2 y H_2O , se disocian en CO , H_2 y O_2 . Para que esta disociación se produzca los productos de la combustión absorben calor. Esta absorción de calor hace disminuir el trabajo. Posteriormente, durante la expansión, debido a la disminución de temperatura se produce una recombinación parcial con liberación de calor y, en consecuencia, se recupera parte del trabajo perdido anteriormente. (12)

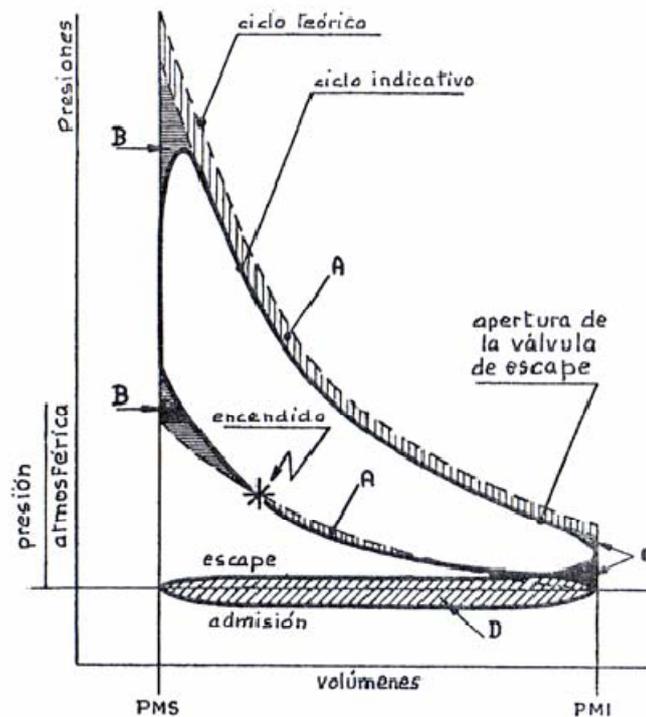


Figura 2.12: Comparación entre el Ciclo Otto ideal y el real.

Fuente: Giacosa, Dante. "Motores Endotérmicos". Barcelona (1986).

2.6 ESTUDIO DE LOS PROCESOS EN UN MEP.

Para el análisis de un motor de encendido provocado (MEP), se deben describir las suposiciones y demás formulas aplicadas en cada proceso, en este apartado se esboza el desarrollo de los cálculos e idealizaciones que se utilizaron en la realización del proyecto.

Cabe recalcar que el ciclo escogido es un ciclo ideal, y que los combustibles a analizar son el isoctano y el GLP.

2.6.1 Estudio de la fase de admisión

El sistema es considerado como un solo cilindro. La presión para el proceso de admisión esta dado por: (13)

Ecuación:

$$P_a = P_o - \Delta P_a$$

Donde:

P_a: Presión al interior del cilindro.

P_o: Presión atmosférica.

La presión perdida es calculada por la ecuación de Bernoulli para flujos compresibles unidimensionales, área x velocidad = constante. De esta manera:

Ecuación:

$$A_v * V_a = A_p * V_p$$

Donde:

A_v: área de la válvula.

V_a: Velocidad de los gases de admisión.

A_p: área del pistón.

V_p: velocidad media del pistón.

Tenemos entonces:

$$P_o + \frac{1}{2} \rho * V_p^2 = P_a + \frac{1}{2} \rho * V_a^2$$

$$P_o - P_a = \Delta P_a = \frac{1}{2} \rho (V_a^2 - V_p^2)$$

Así que tenemos:

$$P_a = P_o - \frac{1}{2}\rho(V_a^2 - V_p^2)$$

La temperatura puede ser calculada por:

$$T_a = T_o + \Delta T_r + \Delta T_w$$

Ecuación:

$$\Delta T_r = T_m - T_o$$

Donde:

Tr: Temperatura de escape.

To: Temperatura ambiente.

$$\Delta T_w = \frac{1}{3}(T_w - T_m)$$

Tw: Temperatura de la pared de la cámara.

$$T_m = \frac{P_o}{P_a} * T_o$$

2Tm: Temperatura de la mezcla aire combustible después de haber sido calentado por los gases de escape.

Fuente: Zografakis Georgios, Mathematical and Numerical Modeling of Flow and Combustion Processes in a Spark Ignition Engine, p. 10.

La temperatura ambiente se sitúa en 15°C y $T_w = 200^\circ\text{C}$. (14)

Reemplazando tenemos que la temperatura de admisión es:

$$T_a = \frac{1}{3}(T_w + 2T_m)$$

2.6.2 Estudio de la fase de compresión:

La compresión es, como ya se vio en anteriormente, el desplazamiento del pistón del PMI al PMS, en este proceso no existe transferencia de calor, un dato importante es que al recibir la nueva mezcla después de haber expulsado los gases de combustión a la atmosfera, no todo el 100% de gases residuales se expulsan cerca de un 7% a plena

carga se queda en el cilindro para ser parte de la nueva mezcla y cerca de un 20% a carga ligera.(15)

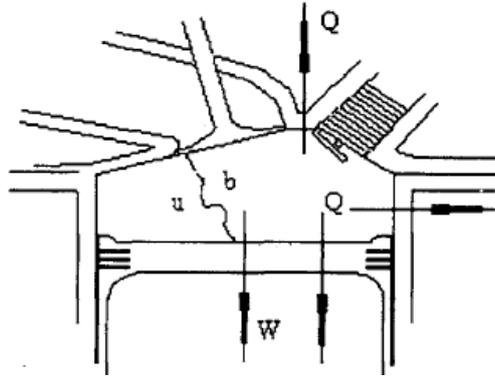


Figura 2.13: Esquema de las zonas en un MEP durante el proceso de combustión: u zona no quemada, b zona quemada, W trabajo, Q flujo de calor transferido hacia las paredes (pistón, camisas y culata).

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill.

Para calcular la composición de la mezcla sin quemar se utilizan las ecuaciones que se detallan a continuación:

Especies	n_i , moles / mol O_2 reactivo	
	$FR \leq 1$	$FR > 1$
Combustible	$4(1-xb)(1+2\epsilon)FR/Mf$	
O_2	$1-xbFR$	$1-xb$
N_2	ψ	ψ
CO_2	$xb\epsilon FR$	$xb(\epsilon FR - c)$
H_2O	$2xb(1-\epsilon)FR$	$xb[2(1-\epsilon FR) + c]$
CO	0	xbc
H_2	0	$xb[2(FR-1) - c]$
Sum	nu	nu

TABLA 2.9: Composición de la mezcla sin quemar.

Fuente: HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals, New York: McGraw-Hill, p. 106.

Cantidad por mol de O ₂ en la mezcla	Ecuación general	Ecuación para la mezcla Iso-octano (C ₈ H ₁₈) – aire
Moles de mezcla quemada n_b	$n_b = (1 - \varepsilon)Fr + 1 + \psi$ $n_b = (2 - \varepsilon)Fr + \psi$	$Fr \leq 1 \rightarrow n_b = 0.36Fr + 4.773$ $Fr > 1 \rightarrow n_b = 1.36Fr + 3.773$
Moles de mezcla sin quemar n_u	$(1 - Xb) \left[\frac{4(1 + 2\varepsilon)Fr}{Mf} + 1 + \psi \right] + Xb * n_b$	$\{Fr \leq 1 \rightarrow n_u = 0.08Fr + 4.773 + 0.28x_b Fr\}$ $\{Fr > 1 \rightarrow n_u = 0.08Fr + 4.773 + x_b(1.28Fr - 1)\}$
Masa de la mezcla (quemada o sin quemar)	$m_{R-P} = 32 + 4Fr(1 + 2\varepsilon) + 28.16\psi$	$138.2 + 9.12Fr$
Masa de aire	$32 + 28.16\psi$	138.2

TABLA 2.10: Factores para relacionar las propiedades en base molar y másica.

Fuente: HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p. 107.

Un parámetro importante de las *Tablas 2.9 y 2.10* es:

$$\varepsilon = \frac{4}{4 + y}$$

y : Es la relación molar H/C para el combustible.

El numero de moles de la mezcla quemada n_b por mol de O₂, se obtiene de:

Para $FR \leq 1$:

$$n_b = (1 - \varepsilon)Fr + 1 + \psi$$

Para $FR > 1$:

$$n_b = (2 - \varepsilon)Fr + \psi$$

x_b es la fracción de gases quemados tiene valores típicos para un MEP de 20% respecto a la masa atrapada en el cilindro cuando están cerradas las válvulas de admisión y escape a carga parcial y cerca de un 7% a plena carga.

Por último para determinar el número de moles de la mezcla sin quemar (n_u), tenemos:

Ecuación:

$$n_u = (1 - x_b) \left[\frac{4(1 - 2\varepsilon)Fr}{Mf} + 1 + \psi \right] + x_b n_b$$

Donde:

x_b : Fracción de gases quemados

Fr : Dosado estequiometrico.

ψ : es la relación molar N/O que para el aire es 3,773

n_b : Mezcla quemada, numero de moles

Mf : es el peso molecular del combustible.

Para el cálculo de las propiedades termodinámicas se utiliza la entalpia de las sustancias, cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o sea, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.(16)

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 Cp(T)dT$$

Para relacionar la entalpia con la energía interna de un sistema, se usa la siguiente ecuación:

$$h = u + RT$$

de la misma forma se podría utilizar las variaciones de la entalpia, energía interna y temperatura, entonces, despejando U, tenemos:

$$\Delta U = \Delta H - R * \Delta T \text{ (kJ/Kmol)}$$

Donde:

R: es la constante molar de la mezcla.

Como tenemos una mezcla de gases en la composición, las propiedades se obtienen mediante sumatoria:

$$H = \frac{1}{m} \sum_i n_i * \tilde{h}_i$$

La temperatura de compresión se obtiene de las cartas termodinámicas para el isoocetano, se usara esta temperatura para ambos combustibles, al no ser un proceso que remita mayores implicaciones en las propiedades. Las tablas para la adquisición de la presión y temperatura es la siguiente:

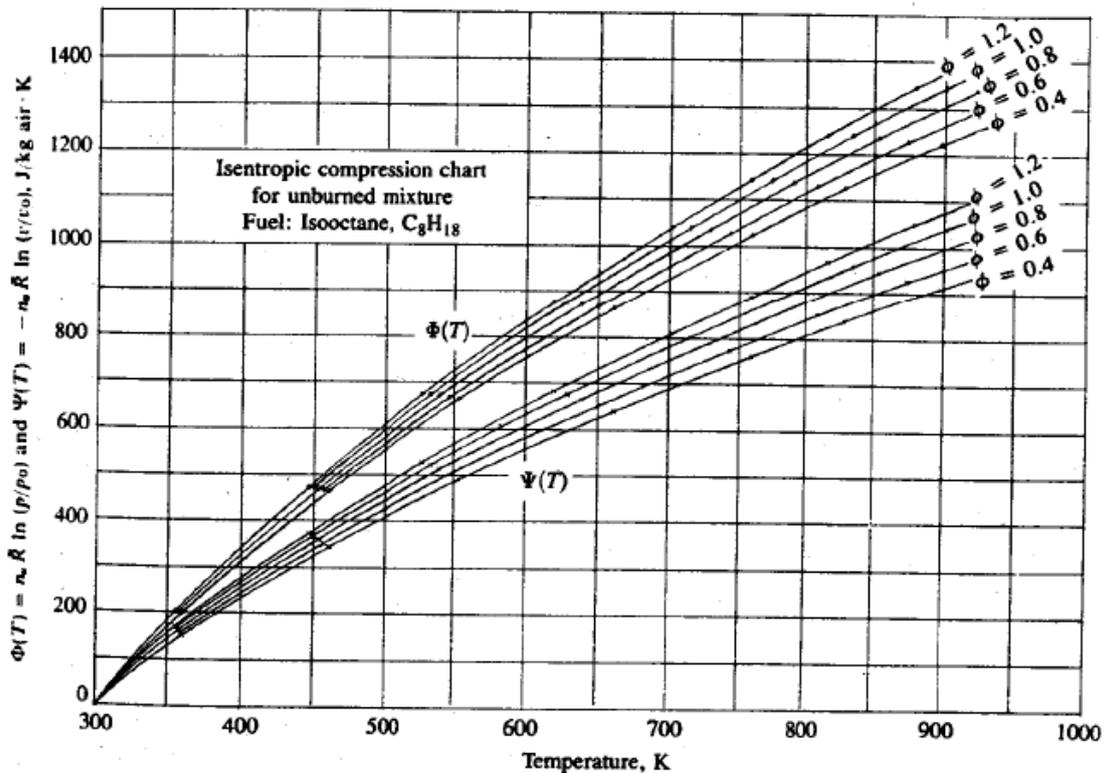


Figura 2.14: Grafica de la funciones de compresión isoentrópica. ($\Phi = Fr$)

Fuente: HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill.

Para el cálculo se necesita la siguiente relación (22):

Ecuación:

$$\Psi_2(T_2) = \Psi_1(T_1) - n_u R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

Donde:

$\Psi_1(T_1)$: Parámetro isotrópico, en función de la temperatura.

$n_u R$: Constante de gas de la mezcla en j/kg*k

$\frac{v_2}{v_1}$: Relación de volúmenes(1/Rc)

Y la presión se obtiene de:

$$p_2 = p_1 \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \left(\frac{V_1}{V_2} \right)$$

2.6.3 Estudio de la fase de combustión:

El análisis de la combustión es un proceso donde entran a consideración muchas variables, desde pérdidas de calor hasta irreversibilidades que existen en el sistema por fricción, turbulencia del flujo. Para simplificar el cálculo de la combustión se baso en el análisis de la primera ley de sistemas reactivos. (17)

Sistemas de flujo estable:

La entalpia se expresa de la siguiente manera para sistemas reactivos:

$$entalpia = \bar{h}^\circ f + (\bar{h} - \bar{h}^\circ)(\text{KJ/kmol})$$

El término entre paréntesis es la entalpia sensible relativa al estado de referencia estándar, que es la diferencia entre \bar{h} (la entalpia sensible en el estado especificado) y \bar{h}° (la entalpia sensible en el estado de referencia estándar de 25°C y 1atm).

Asi el balance de energía es $E_{ent} = E_{sal}$ se puede expresar para un sistema de flujo estable químicamente reactivo como:

$$Q_{ent} + W_{ent} + \sum Nr * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})r = Q_{sal} + W_{sal} + \sum Np * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})p$$

Donde Nr y Np son el número de moles del reactivo y del producto respectivamente.

Una cámara de combustión involucra, por lo general salida de calor pero no entrada de calor. Entonces el proceso de combustión para un proceso de flujo estable se convierte en:

$$Q_{sal} = \sum Nr * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})r - \sum Np * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})p$$

Esto expresa la salida de calor durante un proceso de combustión es la diferencia entre la energía de los reactantes y la energía de los productos que dejan la cámara de combustión.

Para identificar la temperatura a la que el gas es expuesto mediante la combustión, relacionamos, la entrada de calor en un proceso a volumen constante y el sistema de flujo estable:

$$Q_{sal} = Q_{ent\ 2-3}$$

$$\sum Nr * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})r - \sum Np * \bar{h}^{\circ}f + (\bar{h} - \bar{h}^{\circ})p = Cv(T_3 - T_2)$$

Se relaciona variando los calores específicos mediante el incremento de temperatura.

La temperatura de salida de los gases (T3) se itera hasta encontrar la concordancia. El proceso de combustión ocurre para una mezcla estequiométrica, con Fr = 1.

Durante el proceso se estima que no existe disociación en los productos, solo se trabaja con tres gases principales oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂), y dióxido de carbono (CO₂), esto altera de manera significativa los datos reales, pero para la comparación de los sistemas tal suposición es aceptable.

La presión se determina con la ecuación de estado de gases ideales.

2.6.4 Estudio de la fase de expansión:

La carrera de expansión se modela mediante un proceso politrópico, proceso en el cual la cantidad de calor dQ transferida entre el fluido motor y el entorno es proporcional a la variación de temperatura dT . En el análisis de la expansión se tiene el mismo proceso que en la fase de compresión, con la diferencia que la composición de los gases varia, de acuerdo a la ecuación de combustión y a la fracción molar de los productos de combustión.

Para ajustar el coeficiente politrópico de la ecuación para que la carrera de expansión se aproxime lo máximo posible a la realidad. Para ello se ha consultado en la bibliografía un artículo donde, se ha realizado un estudio en el que se pueden extraer dichos coeficientes. En este caso, el coeficiente politrópico ajustado correspondiente a la expansión es $\eta_{exp} = 1,3$. (18)

Para el cálculo de la temperatura se utiliza la siguiente expresión:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\eta_e - 1}$$

La presión se determina de forma similar como en el proceso de compresión. Tenemos una salida de calor a volumen constante, para las propiedades de los gases se usa la composición de los gases quemados de la tabla 2.10, y usando una fracción de masa quemada $X_b = 1$, al suponer que todos los gases están combustionados.

2.7 CÁLCULOS:

Características del motor:(20)

Motor	Nissan Sentra serie B-13 GA16.
Cilindrada cm3 (pulg3)	1,597 (97.45)

Diámetro x carrera mm (pulg)	76.0 x 88.0 (2.992 x 3.465)
Relación de compresión	9.5
Diámetro de la cabeza de la válvula de admisión(mm)	29.9 - 30.1

TABLA 2.11: Datos del motor.

Fuente: MANUALES NISSAN B-13, Mexico, p. 56.

Condiciones iniciales:

2.7.1 Temperatura inicial y presión inicial:

$$A_v * V_a = A_p * V_p$$

Av y Ap se obtiene de:

$$A_v = \frac{\phi^2 * \pi}{4}$$

$$A_v = \frac{0.03^2 * \pi}{4}$$

Av = 0.0007068600000 m2, que es el área de la válvula.

$$A_p = \frac{\phi^2 * \pi}{4}$$

$$A_p = \frac{0.076^2 * \pi}{4}$$

Ap = 0.004536470399 m2, que es el área del pistón.

Con $\phi_v = 0.03$ y $\phi_p = 0.076$ (19).

Velocidad media del pistón, Vp:

$$V_p = \frac{S * 2 * N}{60000} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$Vp = \frac{88 * 2 * 5500}{60000}$$

$$Vp = 16.33 \frac{m}{s}$$

Velocidad de entrada del aire de admisión:

$$Av * Va = Ap * Vp$$

$$Va = \frac{Ap * Vp}{Av}$$

$$Va = \frac{0.0045364 * 16.13}{0.00070686}$$

$$Va = 103.54 \frac{m}{s}$$

Reemplazando en la ecuación de Bernoulli con densidad del aire $\rho = 1.22 \text{ kg/m}^3$ a 1 atm y 15°C.

$$Pa = 101.325 * 10^3 - \frac{1}{2} * (1.22) * (103.54^2 - 16.3^2)$$

$$Pa = 94.94554541 \text{ KPa}$$

La temperatura de admisión puede ser calculado por:

$$Ta = To + \Delta Tr + \Delta Tw$$

Donde:

$$Tm = \frac{101.325 * 10^3}{94.95 * 10^3} 15$$

$$Tm = 16.00786001 \text{ °C}$$

$$Ta = \frac{1}{3} (200 + 2(16.00786001))$$

$$Ta = 77.33857334 \text{ °C} = 350.4885733 \text{ K}$$

Tenemos entonces que las condiciones iniciales para el estudio termodinámico de ambos combustibles es:

Condiciones Iniciales	
Temperatura de admisión (Ta)	350.48 K
Presión de admisión	94.94 KPa

TABLA 2.12: Condiciones iniciales del ciclo.

Fuente: Los autores.

2.7.2 Ciclo Termodinámico Octano

Compresión-Octano

Como se explico se usan las cartas termodinámicas para el cálculo de la temperatura en este punto del proceso:

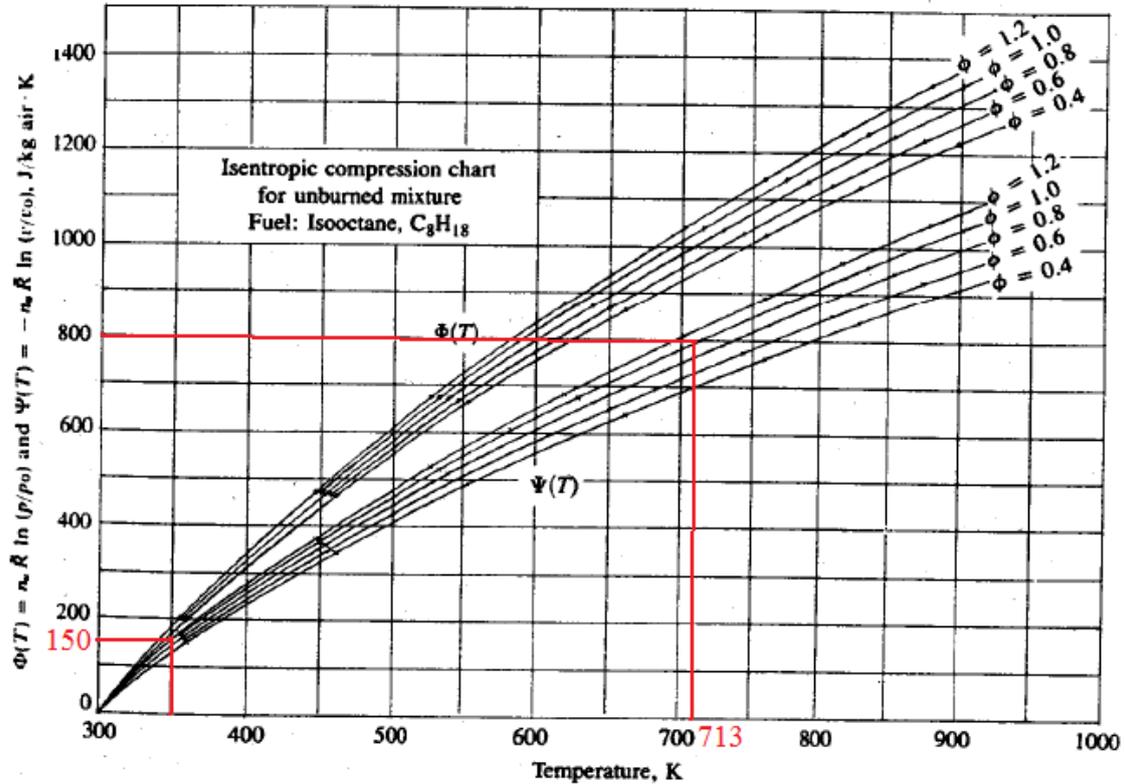


Figura 2.15: Determinación de la temperatura de compresión.

Fuente: Los autores.

Como dato tenemos T1: 350K, relación de compresión de 9.5, $Fr = \Phi = 1$, y $n_u R = 292 \frac{J}{Kg \text{ air} * K}$, tenemos:

$$\Psi_1(350K) = 150 \frac{J}{Kg \text{ air} * K}$$

De la figura, se obtiene $\Psi_2(T_2)$:

$$\Psi_2(T_2) = 150 - 292 \ln \frac{1}{9.5} = 807.4 \frac{J}{kg \text{ air} * K}$$

A partir de ese valor obtenemos T2:

$$T_2 = 713K$$

La presión se obtiene de:

$$p_2 = 94.945 KPa \left(\frac{713}{350} \right)^{9.5}$$

$$P_2: 1837.45 \text{ KPa}$$

Propiedades termodinámicas en la compresión.

Determinación de la composición de los gases por mol de O₂. Usando los datos de la tabla 2.9.

Especie	N_i mol especie/mol de O ₂ real
Isooctano	0,0742697
O ₂	0,93
N ₂	3,773
CO ₂	0,0448
H ₂ O	0,0504

TABLA 2.13: Composición de los gases en la admisión.

Fuente: Los autores.

Se procede a calcular Δh_i de cada una de las especies en un rango de temperatura de 350.5K y 713K. Para esto se integra la ecuación de calor específico (23), usando los coeficientes de la tabla 2.1.

$$\Delta h_i = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT$$

Especie	Δh_i (KJ/Kmol)
Isoctano	$1.071545516 \cdot 10^5$
O2	$1.138360738 \cdot 10^4$
N2	$1.080983269 \cdot 10^4$
CO2	$1.639986059 \cdot 10^4$
H2O	$1.290756226 \cdot 10^4$

TABLA 2.14: Composición de la entalpia molar de los gases.

Fuente: Los autores.

Para obtener diferencia de entalpia total se realiza una sumatoria de cada especie por su composición y está dividida para la masa del aire según la ecuación: (24)

$$\Delta h = \frac{1}{M_{air}} \sum_i N_i * \Delta h_i$$

Con $M_{air} = 138.2$ Kg/Kmol.

$$\Delta h = 439.33 \text{Kj/Kg}$$

Para calcular la energía interna entregada al ciclo de compresión se utilizará la ecuación (25):

$$\Delta u = \Delta h - R * \Delta T$$

$$\Delta u = 333.5 \text{KJ/Kg}$$

Combustión-octano:

Para la determinación de la temperatura y calor de entrada, en los procesos se relaciona la primera ley de combustión de flujo estable (entrada de calor) con el uso de calores específicos variables y la diferencia de energía interna entre dos temperaturas, primero se calcula para el isooctano.

La reacción química es:



Donde:

Numero de moles de la mezcla: $N_m = 64$ moles.

Cabe recalcar que algunos de los datos como la entalpia de formación, y la entalpia sensible se tomaron de (20).

Se obtuvo como resultado que la temperatura alcanzada es de:

$$T_3 = 1844,5K$$

$$Q_{in} = 2347928.82 \frac{KJ}{Kmol \text{ de } C_8H_{18}}$$

De este modo 2347928.82 KJ de calor se transfieren desde la cámara de combustión hacia los alrededores, esto es por cada kmol (114.23 Kg) de octano:

$$Q_{in} = \frac{2347928.82}{114.23}$$

$$Q_{in} = 20554.397 \frac{Kj}{Kg}$$

Para calcular el flujo másico de aire se utiliza la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \frac{\eta_f * \rho_{air} * V_d * N}{2}$$

Donde:

$$\eta_f = 85\%$$

$$\rho_{air} = 1.18 \text{ kg/m}^3$$

$$N = 4500 \text{ RPM}$$

$$V_d = 3.992 * 10^{-4} \text{ m}^3.$$

$$\dot{m}_a = 0.9 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Tenemos entonces el flujo másico de combustible en función de la relación de aire combustible:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_a}{\frac{A}{F}}$$

$$\dot{m}_f = \frac{0.9}{15.14}$$

$$\dot{m}_f = 0.0594 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

La entrada de calor a los alrededores del cilindro se calcula con el flujo másico de combustible, siendo el calor ingresado por flujo de combustible:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f * Q_{in}$$

$$\dot{Q}_{in} = 0.0594 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} * 20554.397 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{in} = 1220.93 \frac{\text{KJ}}{\text{min}} = 20.35 \frac{\text{Kj}}{\text{s}} = 20.35 \text{ Kw}$$

La energía interna que ingresa en el ciclo de combustión es calculado por la diferencia de la energía en cada punto según la temperatura alcanzada, así tenemos que los datos son:

Punto del ciclo	Energía interna
U2	576,868573 KJ/Kg
U3	1758,87904 KJ/Kg

TABLA 2.15: Energía interna del ciclo de combustión.

Fuente: Los autores.

La energía interna aportada en el ciclo de combustión es:

$$\Delta U = U_3 - U_2$$

$$\Delta U = 1182.01 \frac{Kj}{Kg}$$

La presión se calcula mediante la ecuación de estado de gas ideal:

$$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2}$$

$$P_3 = 4753.40 KPa$$

Expansión-octano:

El cálculo, como se dijo anteriormente, se realiza mediante un proceso politrópico el coeficiente a utilizar es $K_e = 1.3$.

Para la temperatura:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{K_e - 1}$$

$$T_4 = 938.775 \text{ K}$$

Para la presión:

$$P_4 = P_3 * \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{ke}$$

$$P_4 = 254.662 \text{ KPa}$$

Propiedades termodinámicas en la expansión.

En el proceso de la expansión se considera que toda la mezcla esta quemada, se desprecia la disociación por lo tanto los productos de la combustión son agua, nitrógeno y dióxido de carbono. Determinación de la composición de los gases quemados. Usando los datos de la tabla 2.9. Para $X_b = 1$, $Fr = 1$

Especie	Mol/kg air	Fracción Molar (y_i)
CO2	4,64272793	0,125
H2O	5,22306892	0,140625
N2	27,2760266	0,734375
SUMA TOTAL	37,1418234	1

TABLA 2.16: Composición de los productos de combustión.

Fuente: Los autores.

Como el caso de la compresión se procede a calcular Δh_i , para esto se calcula con la fracción molar de cada especie y dividiendo para la masa de la mezcla, tenemos.

Especie	$\Delta h_i * y_i$ (KJ/Kmol)
N2	$-2.268140397 * 10^4$
CO2	-6495.364158
H2O	-5791.974614
Suma	$-3.496874274 * 10^4$

TABLA 2.17: Entalpia molar de los productos de combustión.

Fuente: Los autores.

Dividiendo para la masa de la mezcla $M_m = 28.4743$ kg/kmol

$$\Delta h = \frac{-3.496874274 * 10^4}{28.4743}$$

$$\Delta h = -1228.079 \text{ KJ/Kg}$$

Aplicando $\Delta u = \Delta h - r \Delta t$:

$$\Delta U = -950.60 \text{ KJ/Kg}$$

ESCAPE-OCTANO:

Se procede de forma similar al anterior proceso.

Especie	$\Delta h_i * y_i$ (KJ/Kmol)
N2	$-1.309446094 * 10^4$
CO2	-3651.996978
H2O	-2935.903764
Suma	$-1.968236169 * 10^4$

TABLA 2.18: Producto de la entalpia por la fracción molar de las especies.

Fuente: Los autores.

Dividiendo para la masa de la mezcla $Mm = 28.4743 \text{ kg/kmol}$

$$\Delta h = \frac{-1.968236169 * 10^4}{28.4743}$$

$$\Delta h_4 = -691.232 \text{ KJ/Kg}$$

Aplicando $\Delta u = \Delta h - r\Delta t$:

$$\Delta U_4 = -522.07 \text{ Kj/Kg}$$

La potencia alcanzada por el ciclo en la carrera de expansión es:

$$\dot{Q}_{sal} = \Delta U * (\dot{m}_a + \dot{m}_f)$$

$$\dot{Q}_{sal} = 8.3467 \text{ kw}$$

La potencia total alcanzada es:

$$\dot{Q}_{neto} = \dot{Q}_{ent} - \dot{Q}_{sal}$$

$$\dot{Q}_{neto} = 12.004 \text{ kw}$$

La eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}}$$

$$\eta_t = \frac{1182.01 - 522.07}{1182.01} = 55.83\%$$

La presión media efectiva del ciclo es:

$$PME = \frac{P(Kw) * i * 10^3}{Vd(dm^3) * N(rev/s)}$$

$$PME = \frac{12.004 * 2 * 10^3}{0.399 * 75}$$

$$PME = 802.272 \text{ KPa}$$

El consumo específico de combustible:

$$sfc = \frac{\dot{m}f}{P}$$

$$sfc = \frac{3564 \frac{g}{h}}{12.004 \text{ Kw}}$$

$$sfc = 295 \frac{g}{\text{Kw h}}$$

2.7.3 Ciclo Termodinámico GLP.

Para este caso se asumirá que las condiciones iniciales y la etapa de compresión tienen el mismo estado, por ende se calculará las propiedades termodinámicas con estos valores iniciales:

Compresión - GLP

Propiedades termodinámicas compresión:

Gas licuado de petróleo, fórmula química promedio $C_{3.3}H_{8.6}$.

Especie	N_i mol especie/mol de O2 real
GLP	0,17149935
O2	0,93
N2	3,773
CO2	0,04238532
H2O	0,05522936

TABLA 2.19: Composición de los gases en la admisión.

Fuente: Los autores.

Para calcular la diferencia de entalpia, se supuso que el propano es un compuesto de gas con una proporción del 70% para el propano y el 30% para el butano.

$$\Delta h_i = \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT$$

Especie	Δh_i (KJ/Kmol)
Propano C ₃ H ₈	$4.245023348 \cdot 10^4$
Butano C ₄ H ₁₀	$5.564841190 \cdot 10^4$
O2	$1.138360738 \cdot 10^4$
N2	$1.080983269 \cdot 10^4$
CO2	$1.639986059 \cdot 10^4$
H2O	$1.290756226 \cdot 10^4$

TABLA 2.20: Composición de la entalpia molar de los gases.

Fuente: Los autores

$$\Delta h = \frac{1}{M_{air}} \sum_i N_i * \Delta h_i$$

Con $M_{air} = 138.2$ Kg/Kmol.

$$\Delta h = 439.5041572 \text{ Kj/Kg}$$

Para calcular la energía interna se usa:

$$\Delta u = \Delta h - R * \Delta T$$

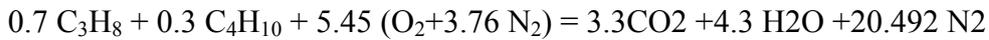
$$\Delta u = 331.4791571 \text{KJ/Kg}$$

Donde $R = 0.298 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{k}$.

Combustión - GLP:

El cálculo se realiza sobre una base de gas licuado de petróleo, se recalca que basándose en un análisis cromatográfico (21), se concluyo que el porcentaje adecuado era de 70% propano y 30% para butano.

La reacción química para la combustión es la siguiente:



La masa molar de la mezcla es: 47.959 kg/kmol^5 .

Se obtuvo como resultado que la temperatura alcanzada es de:

$$T_3 = 1838 \text{K}$$

$$Q_{in} = 1023945.82 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol de } \text{C}_{3.3}\text{H}_{8.6}}$$

De este modo por cada Kmol de GLP que se quema se obtiene:

$$Q_{in} = \frac{1023945.82}{48}$$

⁵ Ver anexo 1.

$$Q_{in} = 21332.2 \frac{Kj}{Kg}$$

Para calcular el flujo másico de aire se utiliza la siguiente expresión:

$$\dot{m}_a = \frac{\eta_f * \rho_{air} * V_d * N}{2}$$

Donde:

$$\eta_f = 85\%$$

$$\rho_{air} = 1.18 kg/m^3$$

$$N = 4500 RPM$$

$$V_d = 3.992 * 10^{-4} m^3.$$

$$\dot{m}_a = 0.9 \frac{Kg}{min}$$

Tenemos entonces:

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_a}{F}$$

$$\dot{m}_f = \frac{0.9}{15.57}$$

$$\dot{m}_f = 0.0578 \frac{Kg}{min}$$

La entrada de calor a los alrededores del cilindro se calcula con el flujo másico de combustible siendo el calor ingresado:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f * Q_{in}$$

$$\dot{Q}_{in} = 0.0578 \frac{Kg}{min} * 21332.2 \frac{KJ}{Kg}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{in} = 1233 \frac{KJ}{min} = 20.55 \frac{KJ}{s} = 20.55 Kw$$

De forma análoga al octano, la entrada de energía interna al ciclo de combustión es una diferencia entre los puntos 2 y 3.

Punto del ciclo	Energía interna
U2	588,630485 KJ/Kg
U3	1786,14013 KJ/Kg

TABLA 2.21: Energía interna del ciclo de combustión.

Fuente: Los autores.

La energía interna aportada en el ciclo de combustión es:

$$\Delta U = U_3 - U_2$$

$$\Delta U = 1197.51 \frac{Kj}{Kg}$$

La presión se calcula mediante la ecuación de estado de gas ideal:

$$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2}$$

$$P_3 = 4736.65 KPa$$

Expansión - GLP:

Para la temperatura:

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_4}{V_3} \right)^{ke-1}$$

$$T_4 = 935.47 K$$

Para la presión:

$$P4 = P3 * \left(\frac{V4}{V3}\right)^{Ke}$$

$$P4 = 253.76\text{KPa}$$

Propiedades termodinámicas en la expansión.

Determinación de la composición de los gases quemados. Usando los datos de la tabla 2.9. Para $X_b = 1$, $Fr = 1$

Especie	Mol/kg air	Fracción Molar (y_i)
CO2	4,39241471	0,11747117
H2O	5,72344946	0,15306849
N2	27,2760266	0,72946034
SUMA TOTAL	37,3914285	1

TABLA 2.22: Composición de los productos de combustión.

Fuente: Los autores.

Como el caso de la compresión se procede a calcular Δh_i , para esto se calcula con la fracción molar de cada especie y dividiendo para la masa de la mezcla, tenemos.

Especie	$\Delta h_i * Y_i$ (KJ/Kmol)
N2	$-2.259933076 * 10^4$
CO2	-6052.919385
H2O	-6298.676144
Suma	$-3.495092629 * 10^4$

TABLA 2.23: Entalpia molar de los productos de combustión.

Fuente: Los autores.

Dividiendo para la masa de la mezcla $M_m = 27.89$ kg/kmol

$$\Delta h = \frac{-3.495092629 * 10^4}{27.89}$$

$$\Delta h = -1253.17 \text{ Kj/Kg}$$

Aplicando $\Delta u = \Delta h - r\Delta t$:

$$\Delta U = -938.22 \text{ KJ/Kg}$$

Con $R = 0.298 \text{ Kj/Kg} \cdot \text{K}$.

Escape - GLP:

Se procede de forma similar al anterior proceso.

Especie	$\Delta h_i * y_i$ (KJ/Kmol)
N2	$-1.295224366 * 10^4$
CO2	-3399.440875
H2O	-3190.004241
Suma	$-1.954168878 * 10^4$

TABLA 2.24: Producto de la entalpia por la fracción molar de las especies.

Fuente: Los autores.

Dividiendo para la masa de la mezcla $M_m = 27.89 \text{ kg/kmol}$

$$\Delta h = \frac{-1.954168878 * 10^4}{27.89}$$

$$\Delta h = -700.67 \text{ Kj/Kg}$$

Aplicando $\Delta u = \Delta h - r\Delta t$:

$$\Delta U = -529.79 \text{ Kj/Kg}$$

La potencia alcanzada por el ciclo en la carrera de expansión es:

$$\dot{Q}_{sal} = \Delta U * (\dot{m}_a + \dot{m}_f)$$

$$\dot{Q}_{sal} = 8.457 \text{kw}$$

La potencia total alcanzada es:

$$\dot{Q}_{neto} = \dot{Q}_{ent} - \dot{Q}_{sal}$$

$$\dot{Q}_{neto} = 12.1 \text{kw}$$

La eficiencia térmica del ciclo es:

$$\eta_t = \frac{Q_{ent} - Q_{sal}}{Q_{ent}}$$

$$\eta_t = \frac{1197.51 - 529.79}{1197.51} = 55.76\%$$

La presión media efectiva del ciclo es:

$$PME = \frac{P(Kw) * i * 10^3}{Vd(dm^3) * N(rev/s)}$$

$$PME = \frac{12.1 * 2 * 10^3}{0.399 * 75}$$

$$PME = 808.688 \text{ KPa}$$

El consumo específico de combustible:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

2.8 RESULTADOS:

De acuerdo al análisis se tuvieron los siguientes gráficos con respecto a la eficiencia térmica, rendimiento y consumo de combustible.

2.8.1 Eficiencia térmica:

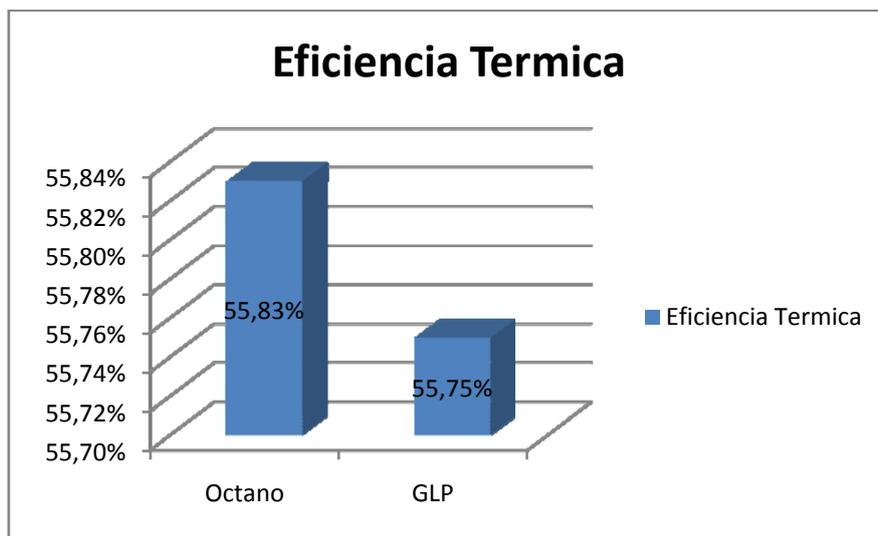


Figura 2.16: Porcentajes de eficiencia térmica GLP – Octano.

Fuente: Los autores.

Se puede observar en las graficas que tenemos una menor eficiencia en el motor alimentado con GLP, esto se debe a que produjo una menor temperatura de combustión. Sin embargo la diferencia es casi despreciable, se puede considerar que ambos combustibles rinden térmicamente, con muy buenas prestaciones para un motor MEP.

2.8.2 Presión Media Efectiva:

Como se dijo anteriormente este, es un buen parámetro para medir la eficiencia de un motor con respecto a la potencia generada por ciclo.

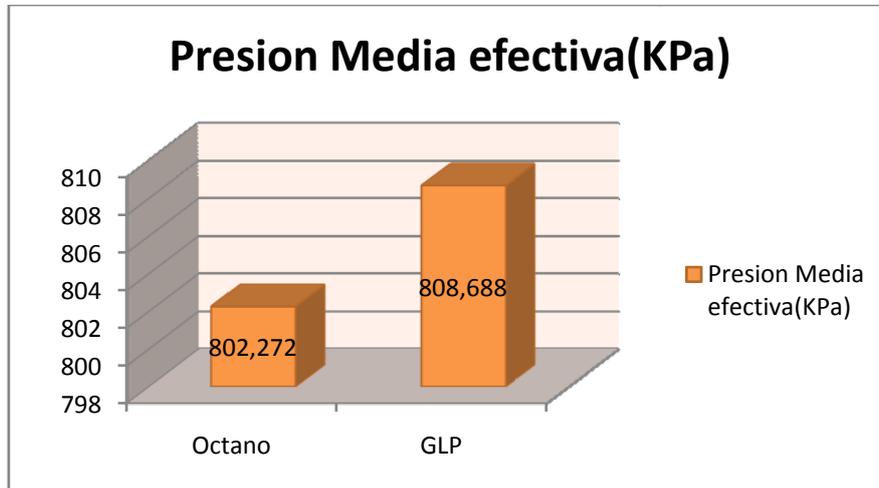


Figura 2.17: Presión media efectiva GLP – Octano.

Fuente: Los autores.

Se puede observar que se tiene una mejor prestación, utilizando el GLP como combustible, y el incremento no es significativo, por lo que no genera daños al motor.

2.8.3 Consumo de combustible:

El consumo de combustible se estudio en gramos por kilovatio hora, entre menor sea el valor, menor también será el consumo del combustible aplicado.

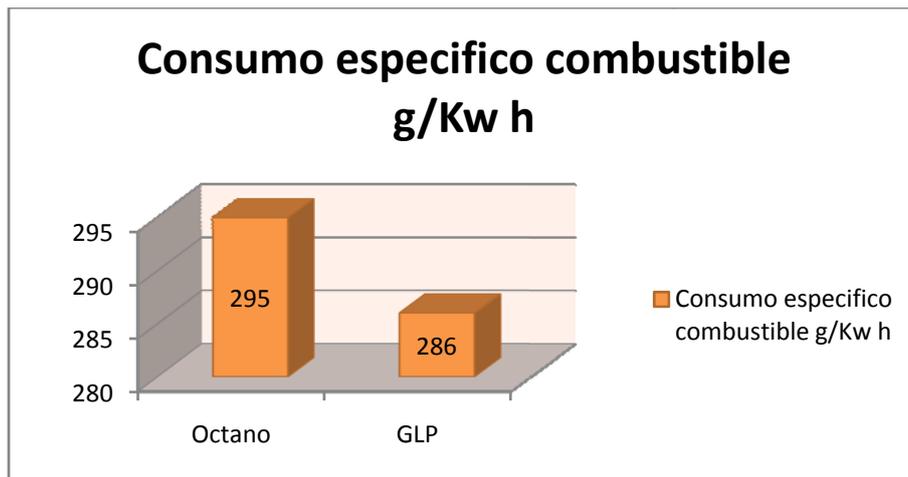


Figura 2.18: Consumo de combustible GLP – Octano.

Fuente: Los autores.

Observamos que incluso para generar una potencia ligeramente mayor, se necesita menor cantidad de GLP que su análogo, el octano. Se puede considerar que el GLP ahorra cerca de un 4% de combustible por Kw generado.

Además si consideramos el costo por unidad de energía tenemos que:

Combustible	Contenido energético, KJ/L	Densidad , L/Kg	Costo
Gasolina Super (Galon)	31850*	1.38*	\$2.10/Galon
GLP (Kg)	23410*	2*	\$0.368/Kg**

* Fuente: CENGEL, BOLES, Termodinámica, New York: McGraw-Hill, p. 683.

**http://www.bce.fin.ec/ver_noticia.php?noti=NOT05086.

TABLA 2.25: Comparación del costo de gasolina super y GLP.

Fuente: Los autores.

Si se toma en cuenta el costo de 10000Kj de energía, tenemos que el costo por gasolina es de 0.17 ctvs. de dólar, y el costo por GLP es de 0.079 ctvs. Es decir el costo por

energía es más barato en GLP que en gasolina. Lo que nos da un punto a favor a la hora de elegir un combustible accesible.

2.8.4 Productos de Combustión:

Como se ha explicado anteriormente, en la concentración de gases no se considera la disociación, por ende los productos serán oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. Para los cálculos se ha supuesto combustión completa con 100% de aire teórico. Los resultados se muestran en porcentajes.

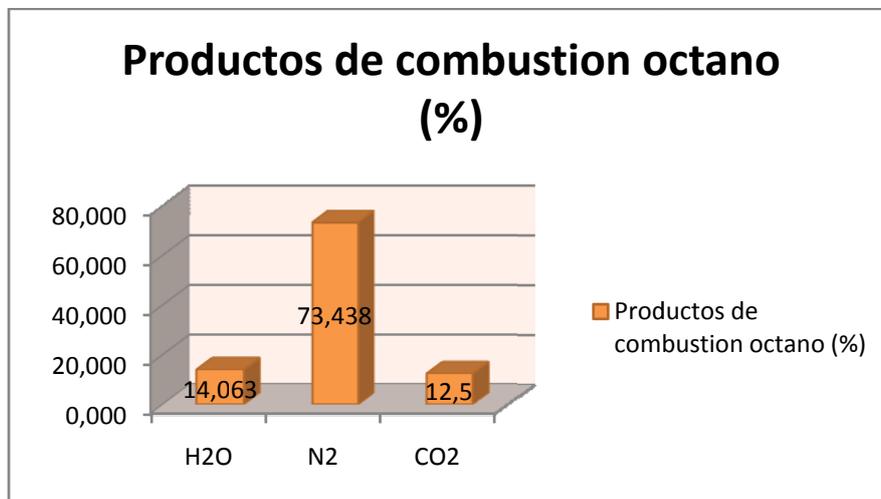


Figura 2.19: Productos de combustión Octano.

Fuente: Los autores.

De los productos el único agente contaminante será el dióxido de carbono, se encuentra en una concentración del 12.5% del total.

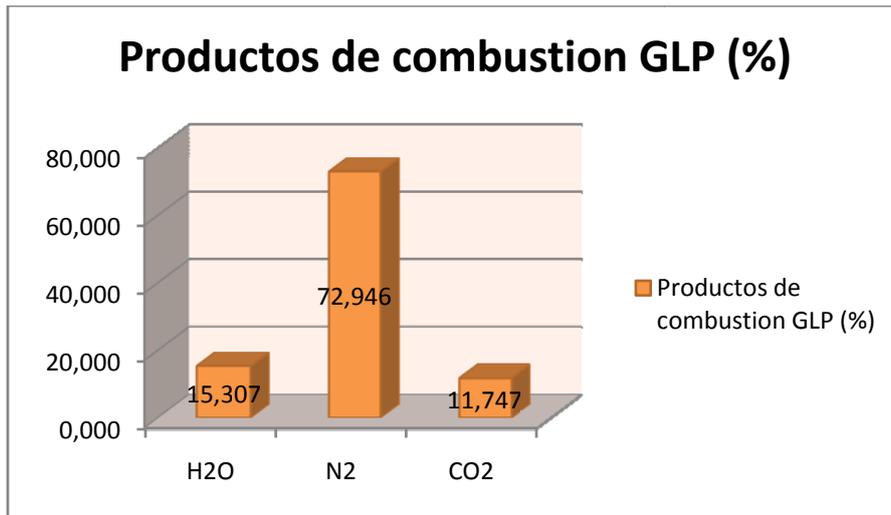


Figura 2.20: Productos de combustión GLP.

Fuente: Los autores.

El dióxido de carbono para el GLP se encuentra en una proporción del 11.747%, con lo que se obtiene una disminución en la concentración de gases de invernadero.

CAPITULO III

3. ADAPTACION DEL SISTEMA DUAL GLP-GASOLINA

3.1 ESTRUCTURA DEL BANCO

La estructura del banco se construyó con la finalidad de ofrecer un soporte robusto al motor y sus respectivos sistemas, incluido para el sistema GLP. Para la construcción se puso énfasis en algunos aspectos; como la altura y distribución de los elementos dentro de la estructura. Los materiales empleados deben cumplir con las normas de seguridad para su diseño. En los siguientes gráficos se observan los detalles de la estructura:

Vista frontal

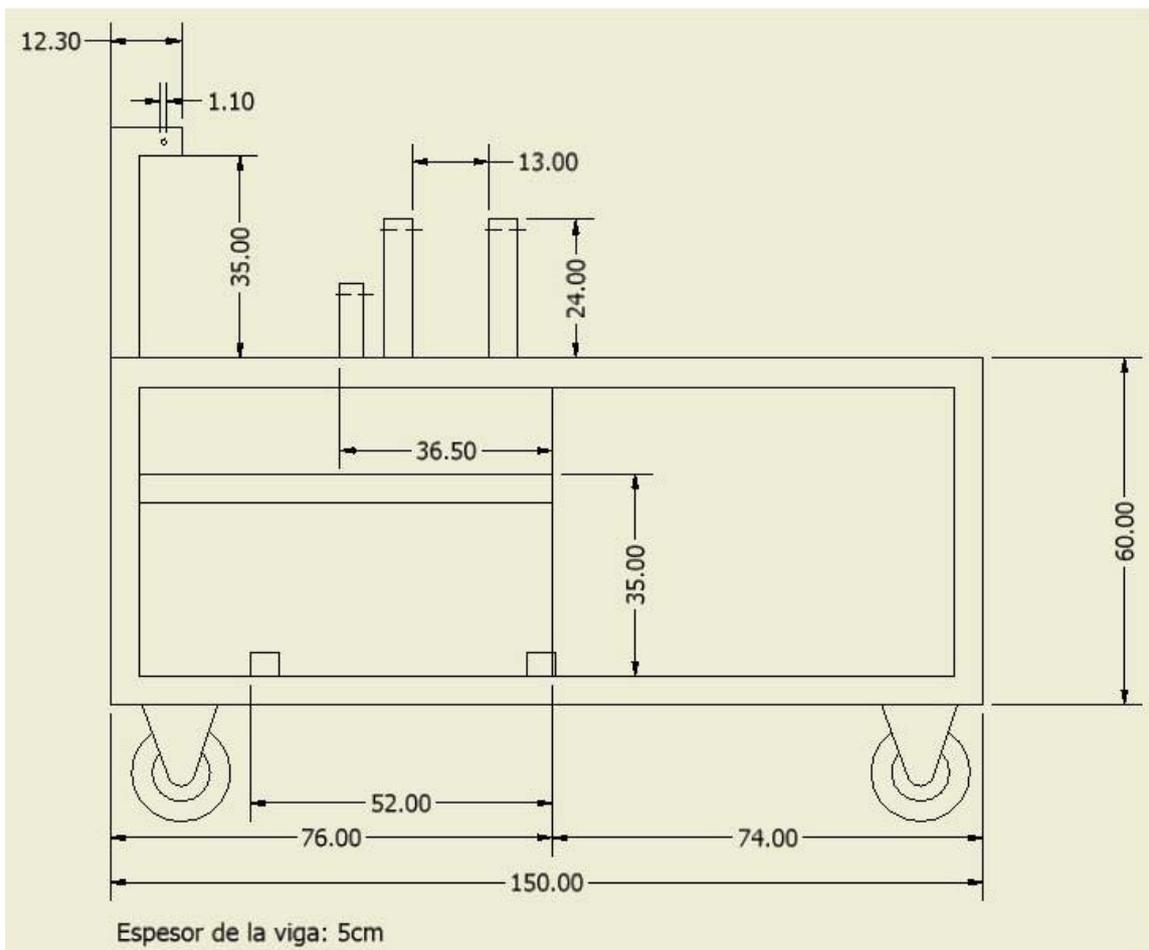


Figura 3.1: Vista frontal

Fuente: Autores

Vista lateral:

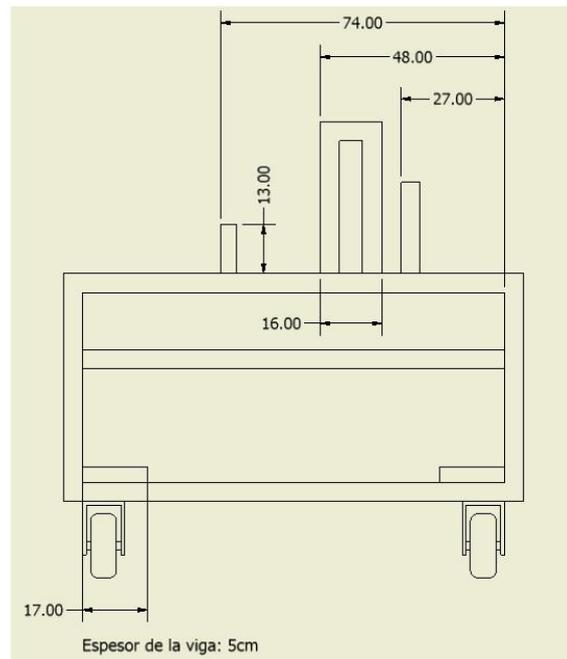


Figura 3.2: Vista Lateral

Fuente: Autores

Vista superior

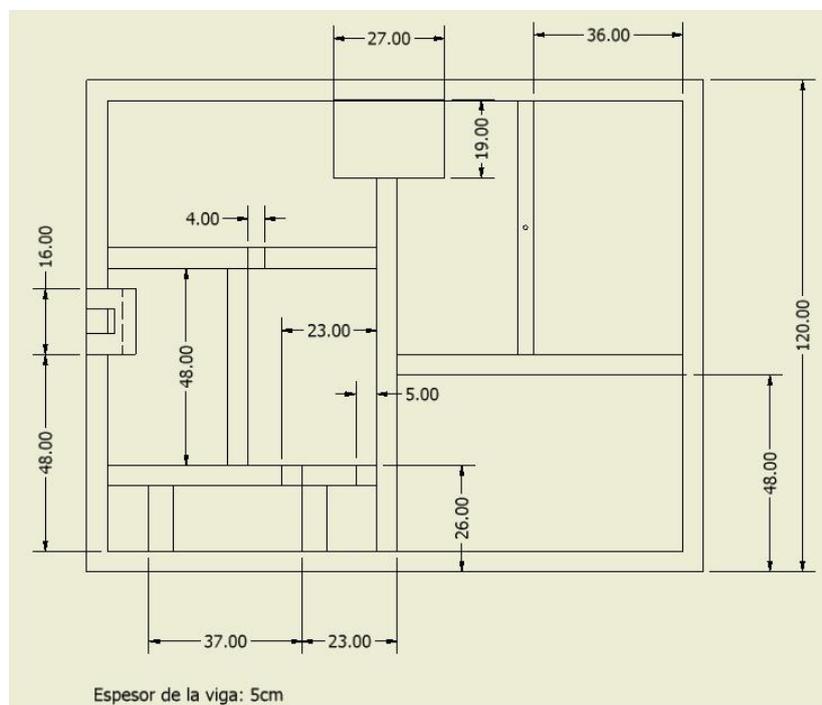


Figura 3.3: Vista Superior

Fuente: Autores

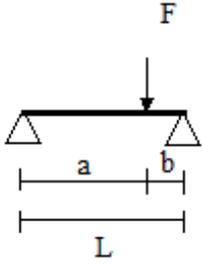
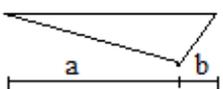
Solicitud	Diagrama de momentos flectores Momento máximo	Flechas máximas y ángulos de giro en los extremos
	$M = \frac{F * a * b}{L}$ 	$y = \frac{F * b}{3 * L * EI} \left[\frac{a(L + b)}{3} \right]^{\frac{3}{2}}$

TABLA 3.1: Análisis de esfuerzos

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición

Datos:

Torque = 138,29 Nm⁶

Esfuerzo máximo (acero) = 200 MPa⁷

Peso del motor = 120 kg⁽⁸⁾

$$F_T = \frac{138,29 \text{ N} * m}{0,6 \text{ m}} = 230,483$$

$$F = m * g$$

$$F = 120 \text{ kg} * 9,806 \frac{m}{s^2} = 1765,08 \text{ N}$$

Peso = 230,483+1765,08

Peso = 1407,203N

Esta carga se multiplica con un factor de seguridad (desde 1 al 10), para el cálculo se elige un valor intermedio de 4, ya que se considera que la estructura soporta el peso de

⁶ TALLERES Y ANEXOS NISSAN, *Manual del motor GA16DNE*, Cuenca , 2009

⁷ BEER , Johnston , *Mecánica de Materiales* ,3ra Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2004,p 746

una maquina de tipo liviano, además de considerar el costo de los materiales al elevar el factor de seguridad.

$$F = P * FS$$

$$F = 1407,203 * 4$$

$$F = 5628,812$$

Existen tres apoyos que soportan el peso del motor con se puede observar en la figura:

$$F = \frac{5628,812N}{3}$$
$$F = 1876,271 N$$

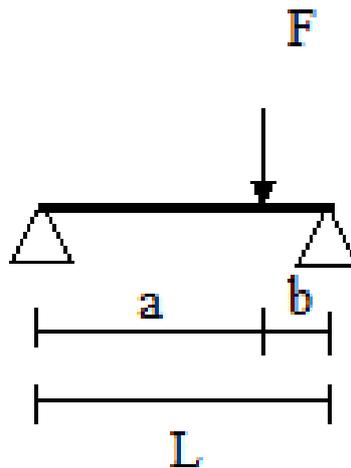


Figura 3.5: Diagrama de la fuerza

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición

Para este tipo de viga, la fórmula del momento máximo es la siguiente:

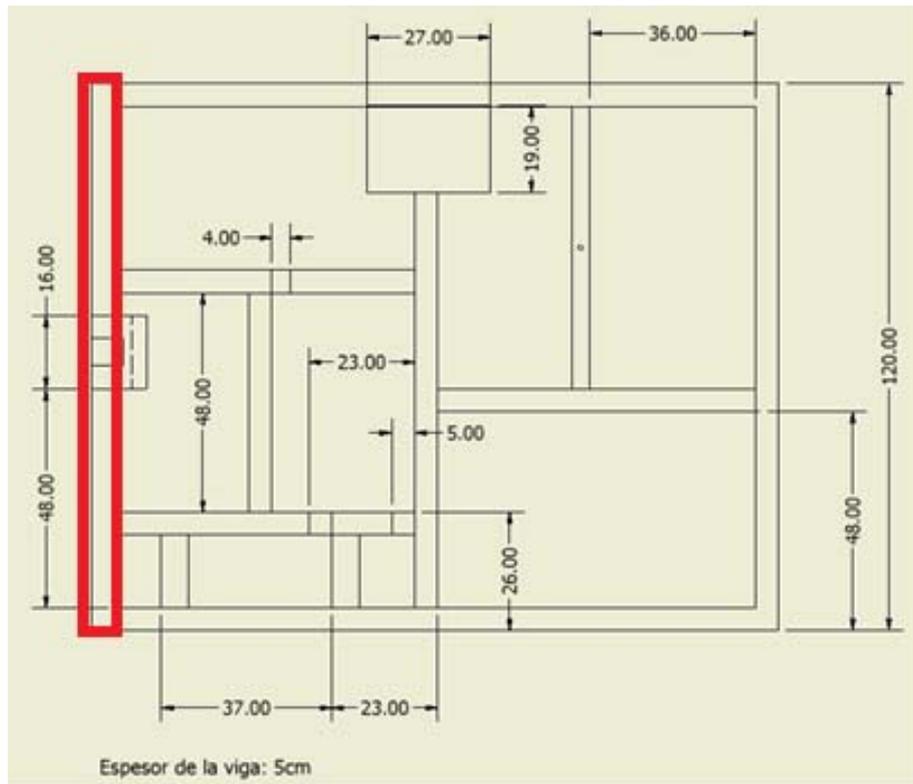


Figura 3.6: Esfuerzo del soporte 1.

Fuente: Autores

Soporte # 1 Del Motor.-

Calculo del Momento Máximo

$$M = \frac{F * a * b}{L}$$

$$M = \frac{1876,271N * 0,67m * 0,48m}{1,20m}$$

$$M = 502,84 Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (S_{min}) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{502,84Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 2,5142 \times 10^{-6} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,15 in^3$$

Posteriormente se compara con la tabla 3.1 para encontrar el perfil.

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-Z
				I	I/c	k		
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
2 x 2	3/8	4,7	1,36	0,48	0,35	0,59	0,64	0,39
	1/4	3,19	0,94	0,35	0,25	0,61	0,59	0,39
	3/16	2,44	0,71	0,27	0,19	0,62	0,57	0,39
	1/8	1,65	0,48	0,19	0,13	0,63	0,55	0,40

TABLA 3.2: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición

En la tabla precedente se determina que el valor calculado para seleccionar el perfil, es de 0,15 in³ pero está en el rango de los valores de 0,13-0,19 in³, por ello se selecciona el inmediato superior es decir, 0,19 in³ del perfil L, lados iguales 2 x2, con espesor 3/16”.

Calculo Del Perno De La Base Del Motor.- Para el cálculo del perno de la base se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde:

$\tau = \text{Esfuerzo.}$

F = Fuerza aplicada por el motor.

A= área.

$$\tau = \frac{1876,271 \text{ N}}{\frac{\pi * (0,011)^2}{4}}$$

$$\tau = \frac{1876,271 \text{ N}}{9,50332 * 10^{-5} m^2}$$

$$\tau = 19743325,9 \text{ Pa}$$

$$\tau = 19,74 \text{ MPa}$$

Se observa que el τ (esfuerzo), que genera el peso del motor, es menor al τ_{perm} (esfuerzo permisible del material), por lo que se puede concluir que el perno es el idóneo.

$$F = \tau_{perm} * A$$

$$F = 200000000 \text{ Pa} * \frac{\pi * (0,011m)^2}{4}$$

$$F = 19006,6356 \text{ N}$$

La máxima fuerza que puede soportar el perno de la base, es como se indica 19KN, tenemos que la fuerza que aplica el motor hacia los pernos es menor, con lo que se considera que el perno de 0,011 m (7/16") cumple con las especificaciones requeridas.

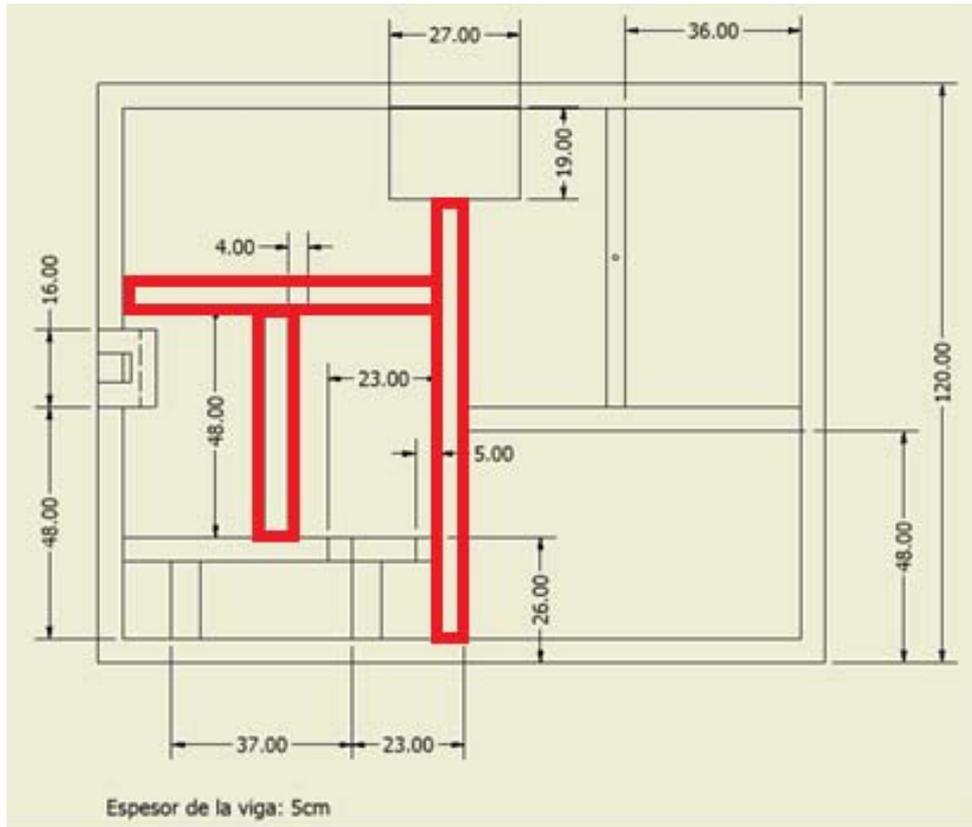


Figura 3.7: Esfuerzo del soporte 2.

Fuente: Autores

Soporte # 2 Del Motor.-

Calculo del Momento Máximo

$$M = \frac{F * a * b}{L}$$

$$M = \frac{1876,271N * 0,40m * 0,48m}{0,76m}$$

$$M = 355,504 Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (S_{min}) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{355,504Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 1,77752 \times 10^{-6} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,11 in^3$$

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-
				I	I/c	k		Z
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
2 x 2	3/8	4,7	1,36	0,48	0,35	0,59	0,64	0,39
	1/4	3,19	0,94	0,35	0,25	0,61	0,59	0,39
	3/16	2,44	0,71	0,27	0,19	0,62	0,57	0,39
	1/8	1,65	0,48	0,19	0,13	0,63	0,55	0,40
1 1/2 x 1/2	3/16	1,80	0,53	0,11	0,10	0,46	0,44	0,29

TABLA 3.3: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición.

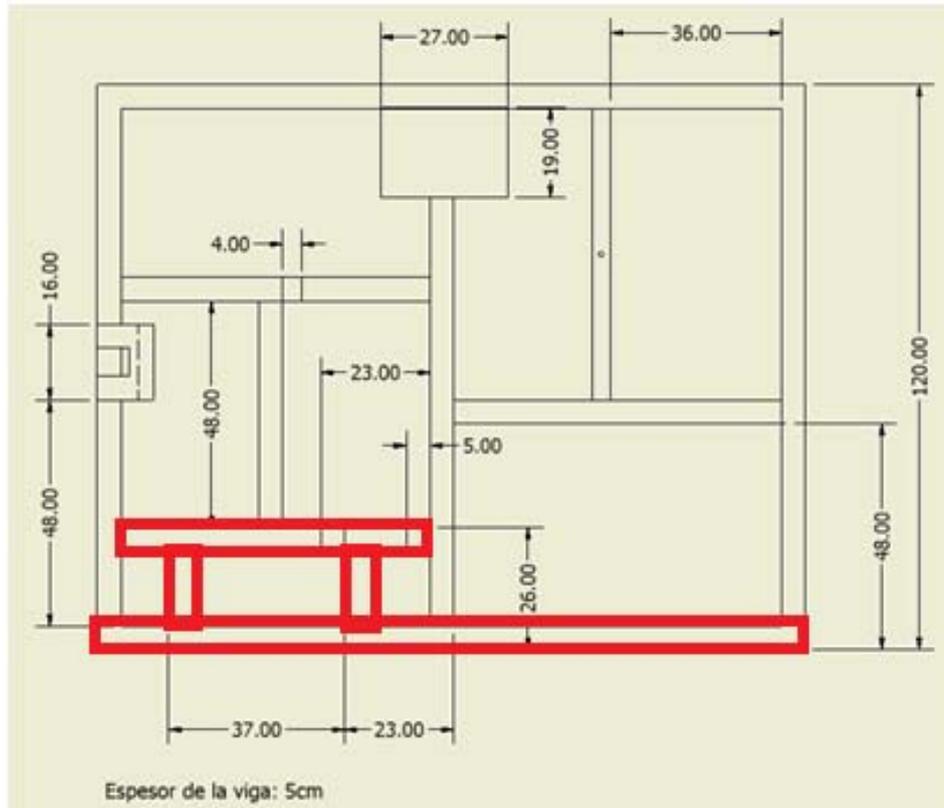


Figura 3.8: Esfuerzo del soporte 3.

Fuente: Autores

Soporte # 3 Del Motor.-

Calculo del Momento Máximo

$$M = \frac{F * a * b}{L}$$

$$M = \frac{1876,271N * 0,97m * 0,53m}{1,50m}$$

$$M = 643,061Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (Smin) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{643,061Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 3,215305 \times 10^{-6} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,19 in^3$$

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-Z
				I	I/c	k		
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
2 x 2	3/8	4,7	1,36	0,48	0,35	0,59	0,64	0,39
	1/4	3,19	0,94	0,35	0,25	0,61	0,59	0,39
	3/16	2,44	0,71	0,27	0,19	0,62	0,57	0,39
	1/8	1,65	0,48	0,19	0,13	0,63	0,55	0,40

TABLA 3.4: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición.

Soporte Del Depósito De Gas.

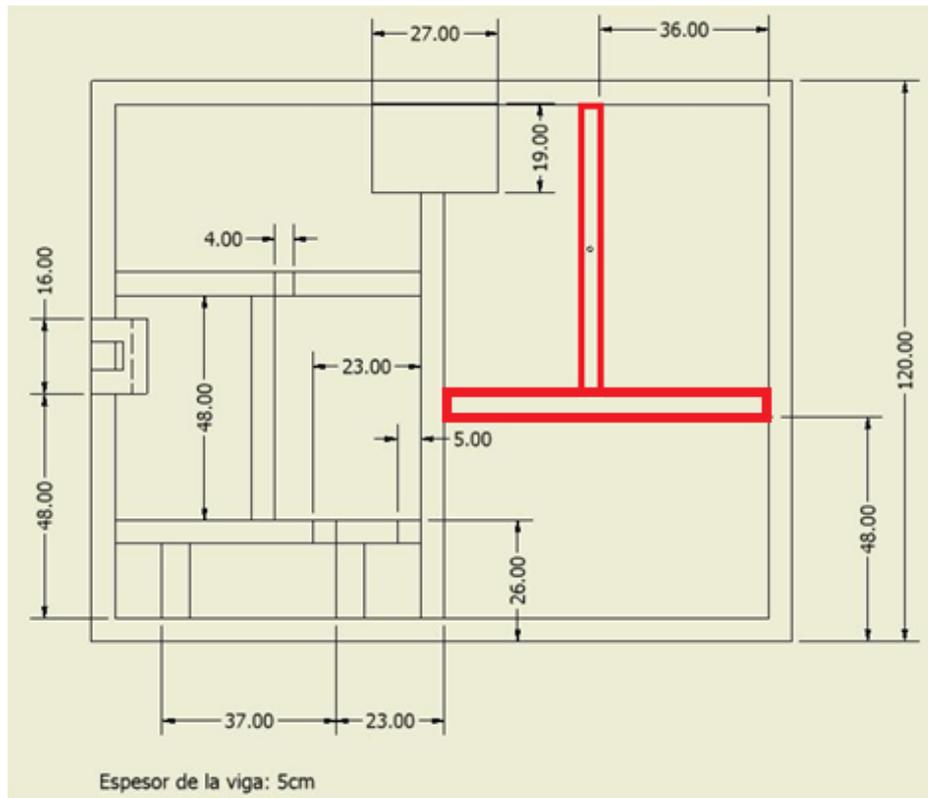


Figura 3.9: Esfuerzo del soporte del deposito de GLP.

Fuente: Autores

Datos:

Peso del cilindro toroidal cargado 40 kg

Calculo de Fuerza:

$$F = m * g$$

$$F = 40 \text{ kg} * 9,806 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 392,24 \text{ N}$$

El factor de seguridad elegido, es el mismo para la estructura, Fs: 4.

$$F = 392,24 \text{ N} * 4$$

$$F = 1568,96N$$

Calculo del Momento Máximo es tomado del libro de mecánica de materiales de Beer Johnson.

$$M = \frac{F * L^2}{12}$$

$$M = \frac{1568,96N * (0,33m)^2}{12}$$

$$M = 11,76 Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (S_{min}) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{11,76Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 5,88 \times 10^{-8} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,00358 in^3$$

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-Z
				I	I/c	k		
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
1 x 1	1/2	1,49	0,44	0,04	0,06	0,29	0,34	0,20
	3/16	1,16	0,34	0,03	0,04	0,30	0,32	0,19
	1/8	0,80	0,23	0,02	0,03	0,30	0,30	0,20

TABLA 3.5: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de materiales de Singer

Como podemos observar el perfil en L que se puede elegir es de 1 " 3/16 o 1" 1/4 ya que se encuentra dentro de los valores mencionados, pero con el objeto de conservar la simetría de la estructura, se opta por escoger el perfil de la misma.

Calculo Del Perno De La Depósito De GLP.- Para el cálculo del perno de la base se utiliza la siguiente fórmula:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde:

$$\tau = \text{Esfuerzo}$$

F = Fuerza aplicada por el motor

A= área

$$\tau = \frac{1568,96 N}{\frac{\pi * (0,011)^2}{4}}$$

$$\tau = \frac{1568,96 N}{9.50332 * 10^{-5} m^2}$$

$$\tau = 16509598,75 \text{ Pa}$$

$$\tau = 16,51 \text{ MPa}$$

Se observa que el τ (esfuerzo), que genera el peso del depósito de GLP, es menor al τ_{perm} (esfuerzo permisible del material), por lo que se puede concluir que el perno es el idóneo.

$$F = \tau_{perm} * A$$

$$F = 200000000 \text{ Pa} * \frac{\pi * (0,011\text{m})^2}{4}$$

$$F = 19006,6356 \text{ N}$$

La máxima fuerza que puede soportar el perno de la base, es como se indica 19KN, tenemos que la fuerza que aplica el depósito de GLP hacia los pernos es menor, con lo que se considera que el perno de 0,011 m (7/16") cumple con las especificaciones requeridas.

Soporte De La Batería

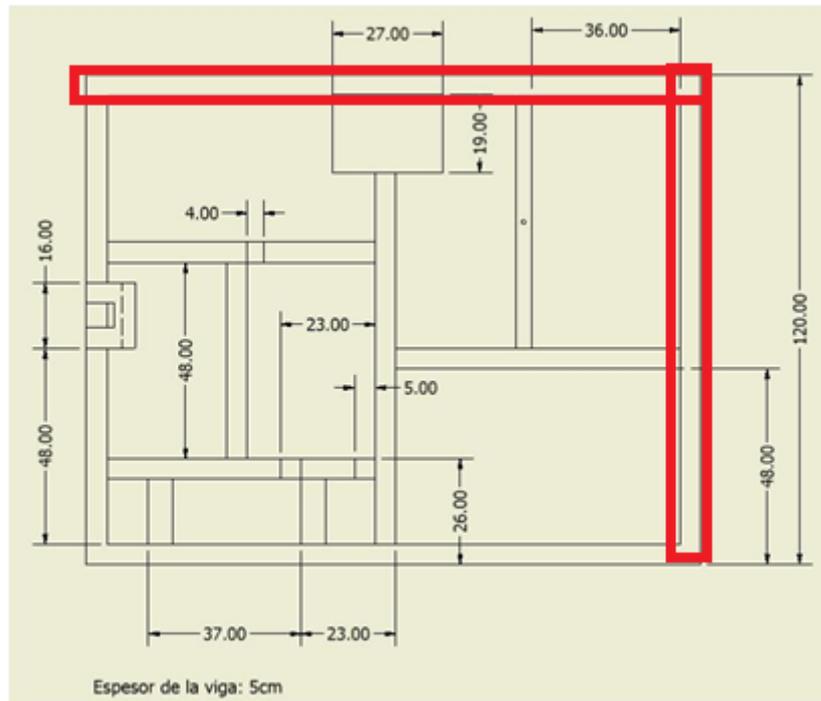


Figura 3.10: Esfuerzo del soporte de la batería.

Fuente: Autores

Datos:

Peso de la batería 9 kg

Calculo de Fuerza:

$$F = m * g$$

$$F = 9kg * 9,806 \frac{m}{s^2} = 88,254 N$$

El factor de seguridad elegido, es el mismo para la estructura, Fs: 4.

$$F = 88,254 * 4$$

$$F = 353,016N$$

Calculo del Momento Máximo

$$M = \frac{F * a * b}{L}$$

$$M = \frac{353,016N * 0,76m * 0,74m}{1,50m}$$

$$M = 132,357 Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (Smin) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{132,357Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 6,61787 \times 10^{-7} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,04 in^3$$

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-Z
				I	I/c	K		
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	In	in	in
1 x 1	1/2	1,49	0,44	0,04	0,06	0,29	0,34	0,20
	3/16	1,16	0,34	0,03	0,04	0,30	0,32	0,19
	1/8	0,80	0,23	0,02	0,03	0,30	0,30	0,20

TABLA 3.6: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición

Soporte Del Tanque De Gasolina.

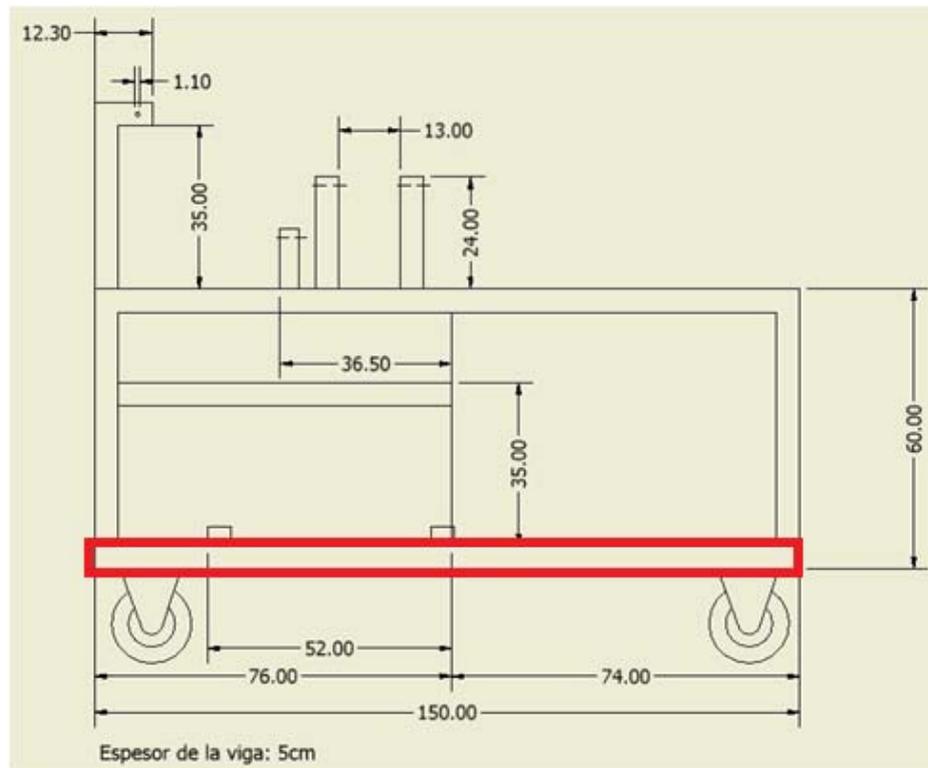


Figura 3.11: Esfuerzo de las soporte del depósito de gasolina.

Fuente: Autores

Datos:

Capacidad del tanque : 20 galones⁽⁹⁾

Densidad de la gasolina: 680 kg / m⁽¹⁰⁾

Conversión de unidades:

1 galón = 3,39L

1 m³ = 1000 L

$$20 \text{ gal} \times \frac{3,79 \text{ L}}{1 \text{ gal}} = 75,8 \text{ L}$$

⁹ TALLERES Y ANEXOS NISSAN, *Manual del motor GA16DNE*, Cuenca , 2009

¹⁰ www.wikipedia/densidad.com

$$75,8 L \times \frac{1m^3}{1000 L} = 0,0758 m^3$$

Calculo de la Fuerza:

$$**masa = Volumen \times densidad**$$

$$**masa = 0,0758 m^3 \times 680 \frac{kg}{m^3}**$$

$$**masa = 51,54 kg**$$

$$F = m * g$$

$$F = 51,54 kg * 9,806 \frac{m}{s^2} = 505,65 N$$

El factor de seguridad elegido, es el mismo para la estructura, Fs: 4.

$$505,65N \times 4 = 2022,6 N$$

Calculo del Momento Máximo

$$M = \frac{F * a * b}{L}$$

$$M = \frac{2022,6N * 0,24m * 1,26m}{1,50m}$$

$$M = 407,756 Nm$$

Con estos datos calculamos el modulo de la sección (Smin) para encontrar la dimensión del perfil.

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\tau_{per}}$$

$$S_{min} = \frac{407,756Nm}{200 MPa}$$

$$S_{min} = 2,03878 \times 10^{-6} m^3$$

$$in^3 = 1,6387064 \times 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 0,12 \text{ in}^3$$

Tamaño	Espesor	Peso	Sección	EJE X-X Y EJE Y-Y			x o y	EJE Z-Z
				I	I/c	k		
in	in	lb/ft	in ²	in ⁴	in ³	in	in	in
2 x 2	3/8	4,7	1,36	0,48	0,35	0,59	0,64	0,39
	1/4	3,19	0,94	0,35	0,25	0,61	0,59	0,39
	3/16	2,44	0,71	0,27	0,19	0,62	0,57	0,39
	1/8	1,65	0,48	0,19	0,13	0,63	0,55	0,40

TABLA 3.7: Perfiles en L

Fuente: Resistencia de Materiales, Ferdinand L. Singer, 4ta edición

Columnas.

Los soportes verticales donde se apoya el motor, se toma como columnas para efectuar el respectivo cálculo.

Datos:

Motor

$$F = 1876,271 \text{ N}$$

$$M = 138,29 \text{ Nm}$$

Perfil L 2 x 2 3/16 ⁽⁵⁾:

$$A = 0,71 \text{ in}^2$$

$$1 \text{ in}^2 = 6,4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = 4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L = 35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$$

$$S = 0,131 \text{ in} = 3,3274 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_x = 0,626 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$r_y = 0,398 \text{ in} = 0,0101 \text{ m}$$

Material Hierro fundición ⁽¹¹⁾:

$$\sigma_{perm} = 200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 7 \text{ MPa}$$

$$E = 1390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{(perm)céntrico} = 411879386,03 \text{ Pa} = 41,19 \text{ MPa}$$

Columna 1.-

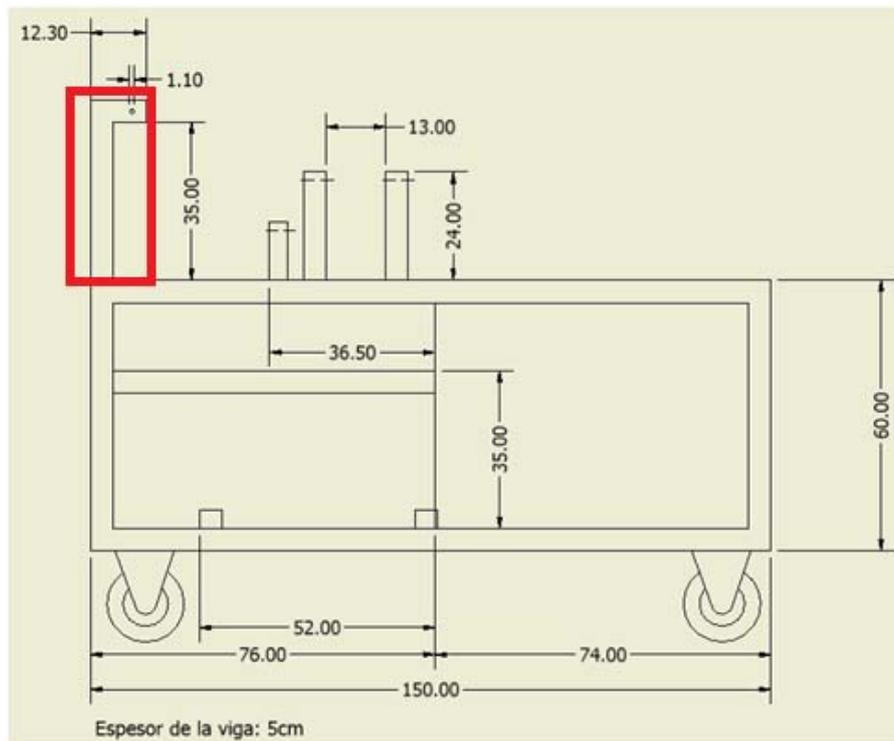


Figura 3.12: Esfuerzo de el soporte vertical 1.

Fuente: Autores

¹¹ BEER , Johnston , *Mecánica de Materiales* ,3ra Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2004,p 746,p 758

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{I_x}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{A r_x^2}$$

Nomenclatura:

P = fuerza

A = area

M = momento

c = centro del perfil

r_x = distancia en x

$$\sigma_{perm} = \frac{1876,271 \text{ N}}{4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{138,29 \text{ Nm} \times 0,0615 \text{ m}}{(4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0,0159 \text{ m})^2}$$

Es importante determinar si el esfuerzo critico del soporte esta en el rango de la relación longitud (L), distancia en el parámetro y. Si se cumple la condición aseguramos que la viga no sufre efecto de pandeo.

Formula:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times E}{\sigma_y}}$$

Nomenclatura:

C_c = Esfuerzo critico

E = modulo de elasticidad (6)

σ_y = Esfuerzo de fluencia

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times 3,1416^2 \times 1390 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 62,61$$

$$\frac{L}{r} < C_c \quad (6)$$

Donde:

L = longitud de la columna

r = distancia en y

$$\frac{0,35}{0,0101} < C_c$$

$$34,65 < C_c$$

Posteriormente se utiliza la formula de interacción para determinar si el perfil escogido cumple las condiciones de frontera.

$$\frac{P/A}{(\sigma_{perm})_{centrico}} + \frac{M c/I}{(\sigma_{perm})_{flexión}} \leq 1 \quad (6)^{(12)}$$

$$\frac{4095092,77 \text{ Pa}}{411879386,03 \text{ Pa}} + \frac{73442231,1 \text{ Pa}}{200000000 \text{ Pa}} \leq 1$$

$$0,009942 + 0,36 \leq 1$$

$$\mathbf{0,3699 \leq 1}$$

Como podemos observar el perfil seleccionado esa dentro de las condiciones de la formula.

Columna 2.-

Siguiendo el mismo procedimiento se calcula la columna 2, se toma como referencia una columna debido a que son de similares características.

¹² BEER , Johnston , *Mecánica de Materiales* ,3ra Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2004,p 639,p 746,p 758,p656

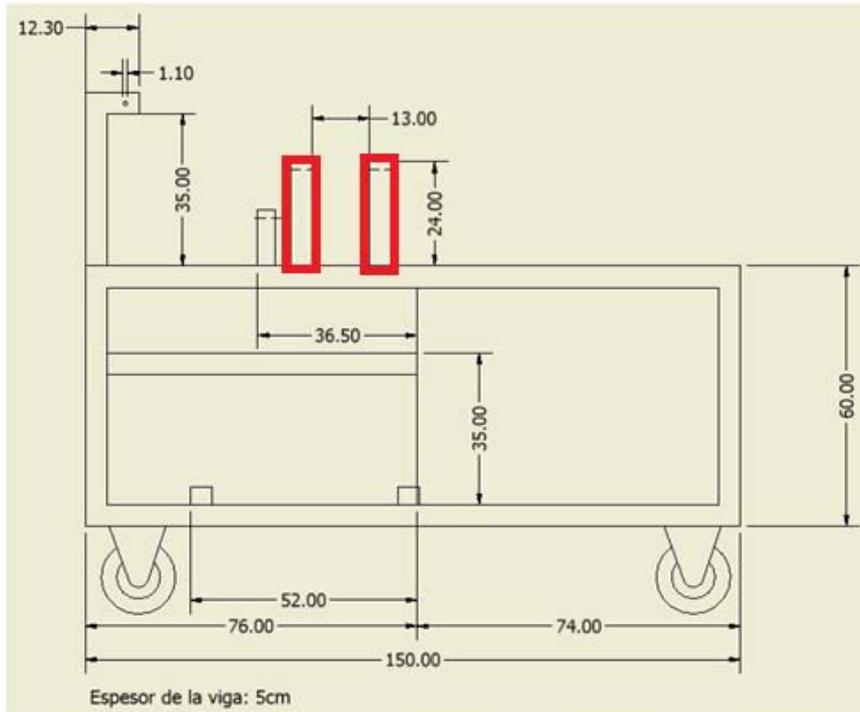


Figura 3.13: Esfuerzo el soporte vertical 2.

Fuente: Autores

$$F = 1876,271 \text{ N}$$

$$A = 0,71 \text{ in}^2$$

$$1 \text{ in}^2 = 6,4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = 4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$M = 138,29 \text{ Nm}$$

$$L = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m}$$

$$S = 0,131 \text{ in} = 3,3274 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$c = 0,05 \text{ m}$$

$$r_x = 0,626 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$r_y = 0,398 \text{ in} = 0,0101 \text{ m}$$

$$\sigma_{perm} = 200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\gamma = 7 \text{ MPa}$$

$$E = 1390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{(perm)c\acute{e}ntrico} = 411879386,03 \text{ Pa} = 41,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{I_x}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{A r_x^2}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{1876,271 \text{ N}}{4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{138,29 \text{ Nm} \times 0,05 \text{ m}}{(4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0,0159 \text{ m})^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times E}{\sigma_Y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times 3,1416^2 \times 1390 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 62,61$$

$$\frac{L}{r} < C_c$$

$$\frac{0,24}{0,0101} < C_c$$

$$23,76 < C_c$$

$$\frac{P/A}{(\sigma_{perm})_{centrico}} + \frac{M c/I}{(\sigma_{perm})_{flexión}} \leq 1$$

$$\frac{4095092,77 \text{ Pa}}{411879386,03 \text{ Pa}} + \frac{59709130,97 \text{ Pa}}{200000000 \text{ Pa}} \leq 1$$

$$0,009942 + 0,294 \leq 1$$

$$0,303 \leq 1$$

Como en el caso anterior se cumple la condición de la formula.

Columna 3.-

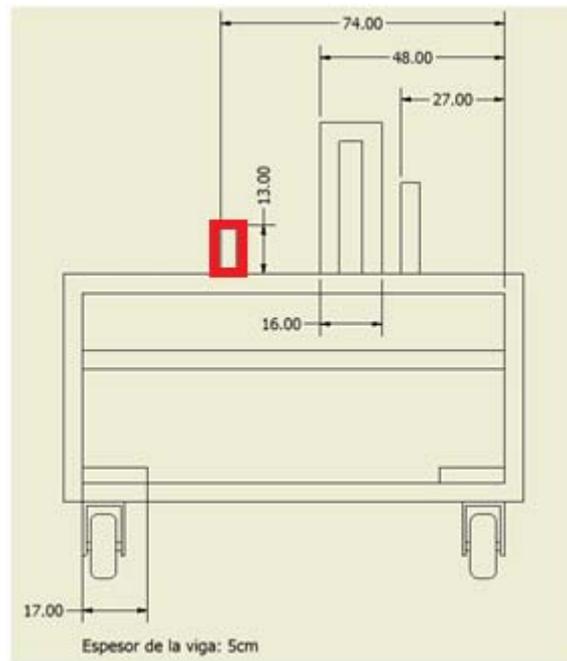


Figura 3.14: Esfuerzo del soporte vertical 3.

Fuente: Autores

$$F = 1876,271 N$$

$$A = 0,71 \text{ in}^2$$

$$1 \text{ in}^2 = 6,4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = 4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$M = 138,29 \text{ Nm}$$

$$L = 13 \text{ cm} = 0,13 \text{ m}$$

$$S = 0,131 \text{ in} = 3,3274 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$c = 0,025 \text{ m}$$

$$r_x = 0,626 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$r_y = 0,398 \text{ in} = 0,0101 \text{ m}$$

$$\sigma_{perm} = 200 \text{ MPa}$$

$$\sigma_\gamma = 7 \text{ MPa}$$

$$E = 1390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{(perm)c\acute{e}ntrico} = 411879386,03 \text{ Pa} = 41,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{I_x}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{A r_x^2}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{1876,271 \text{ N}}{4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{138,29 \text{ Nm} \times 0,025 \text{ m}}{(4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0,0159 \text{ m})^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times E}{\sigma_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times 3,1416^2 \times 1390 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 62,61$$

$$\frac{L}{r} < C_c$$

$$\frac{0,13}{0,0101} < C_c$$

$$12,87 < C_c$$

$$\frac{P/A}{(\sigma_{perm})_{centrico}} + \frac{M c/I}{(\sigma_{perm})_{flexi\acute{o}n}} \leq 1$$

$$\frac{4095092,77 \text{ Pa}}{411879386,03 \text{ Pa}} + \frac{29854565,49 \text{ Pa}}{200000000 \text{ Pa}} \leq 1$$

$$0,009942 + 0,149 \leq 1$$

$$0,159 \leq 1$$

$$\sigma_y = 7 \text{ MPa}$$

$$E = 1390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{(perm)centrico} = 411879386,03 \text{ Pa} = 41,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{I_x}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A} + \frac{M c}{A r_x^2}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{1876,271 \text{ N}}{4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2} + \frac{138,29 \text{ Nm} \times 0,05 \text{ m}}{(4,580636 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0,0159 \text{ m})^2}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 \times E}{\sigma_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times 3,1416^2 \times 1390 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}}}$$

$$C_c = 62,61$$

$$\frac{L}{r} < C_c$$

$$\frac{0,60}{0,0101} < C_c$$

$$51,41 < C_c$$

$$\frac{P/A}{(\sigma_{perm})_{centrico}} + \frac{M c/I}{(\sigma_{perm})_{flexión}} \leq 1$$

$$\frac{4095092,77 \text{ Pa}}{411879386,03 \text{ Pa}} + \frac{59709130,97 \text{ Pa}}{200000000 \text{ Pa}} \leq 1$$

$$0,009942 + 0,294 \leq 1$$

$$0,303 \leq 1$$

Al culminar los cálculos se puede justificar, que el perfil escogido es apto para la carga que se le ha impuesto, y para las condiciones de funcionamiento de la estructura.

3.1.2 Selección De Las Ruedas

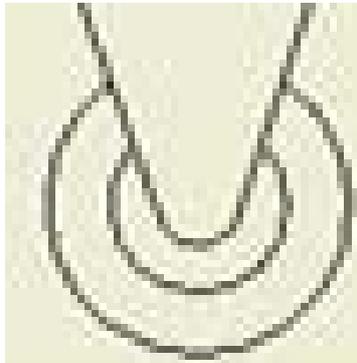


Figura 3.16: Ruedas

Fuente: Autores

Para la selección de las ruedas se tuvo que tomar en cuenta los pesos de todos los componentes que intervienen en nuestra maqueta, para ello se tuvo que pesar cada uno de estos elementos, logrando así obtener los siguientes resultados:

Datos:

Descripción	Peso
Motor	143,50 kg
Estructura	(68,18 kg)
Depósito De GLP	(45,45 kg)
Batería	(9 kg)
Tablero	(4,55 kg)
Tanque De Gasolina	(51,54kg)
Total:	(322.22kg)

TABLA 3.8: Pesos de los elementos

Fuente: Autores

Las cuatro ruedas de nuestra estructura deben de soportar 322.22 kg, por ende cada una de ellas deben de soportar:

$$\frac{322.22 \text{ kg}}{4} = 80.56 \text{ kg}$$

Exactamente en el mercado no existe una rueda que soporte los 80.56 kg, por ende se compro ruedas mas robustas que pueden soportar cada una de ellas 160 kg⁽¹³⁾.

3.2 TABLERO DE INSTRUMENTOS.

Para realizar la parte física de nuestra tesis, En lo que concierne al tablero de instrumentos, se tuvo que comprar todos los indicadores e instrumentos por separado, porque lamentablemente el tablero de instrumentos original que funciona con nuestro motor, no se pudo conseguir, haciendo que nuestra tesis tenga mucho más complicaciones; por motivo de tiempo, se tuvo que adaptar estos instrumentos a nuestro proyecto.



Figura 3.17: Tablero de Instrumentos

Fuente: Autores

¹³ FERRETERO, Catalogo del producto , Machala, 2009

3.3 MANGUERAS DEL RADIADOR:

En el vehículo original, la distancia que existe entre el motor y el radiador es corta, mientras que en nuestra estructura, estas distancias varían un poco, por tal motivo las mangueras originales que intervienen en nuestro sistema de refrigeración, no calzan en sus respectivos puestos de trabajo; para solucionar este inconveniente se tuvo que reemplazar estas mangueras, por unas que calcen a la perfección, para no tener inconvenientes con este sistema, cuando el motor este en funcionamiento.



Figura 3.18: Mangueras del Radiador

Fuente: Autores

3.4 ALTERNADOR:

En las condiciones normales de funcionamiento de nuestro motor, la banda de los accesorios tiene un extenso recorrido de trabajo, para satisfacer tanto las necesidades que tiene el motor (hacer funcionar la bomba de agua y el alternador), como las comodidades que se le brinda a los usuarios (hacer funcionar la bomba de la dirección hidráulica y en vehículos full equipo la bomba del aire acondicionado).

Por motivo de espacio y eficiencia, los diseñadores de nuestro motor, han priorizado el recorrido de trabajo de esta banda, como la que se muestra en la figura 3.19.

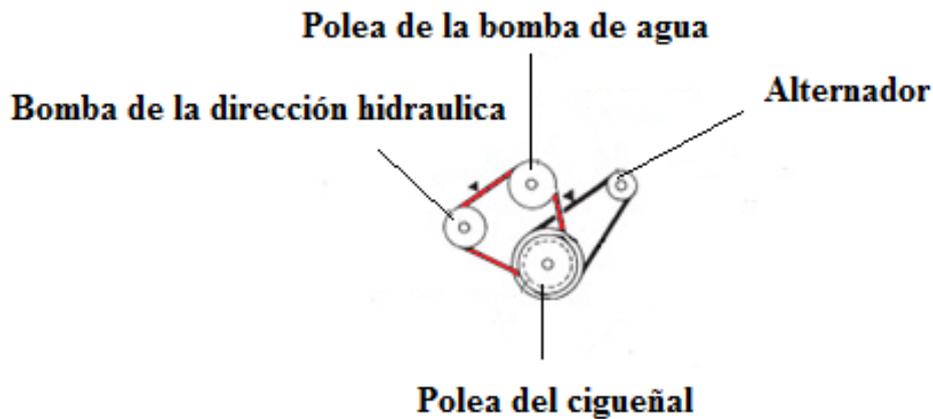


Figura 3.19: Distribución de la bandas

Fuente: Autores

Como en nuestra tesis no se necesita de la dirección hidráulica, necesariamente se tuvo que eliminar la polea que hace funcionar la bomba de la dirección hidráulica, para que no este funcionando en vano y esta se dañe; lamentablemente al eliminar esta polea, de inmediato nos percatamos que la banda que circula por este circuito (polea del cigüeñal - polea de la bomba de de la dirección hidráulica – polea de la bomba de agua) era demasiado grande para que circule entre la polea de la bomba de agua y la polea del cigüeñal, como se puede observar en la figura 3.20.

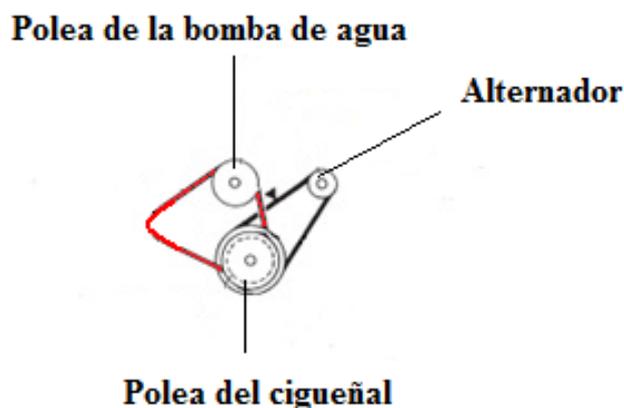


Figura 3.20: Eliminación de la polea de la bomba de dirección Hidráulica

Fuente: Autores

Se intento conseguir una banda más pequeña para solucionar el problema, pero lamentablemente la polea de la bomba de la dirección hidráulica era la que tensaba la

banda, de inmediato pudimos observar que se podía integrar la polea de la bomba de agua, al circuito de la banda que hace funcionar el alternador (polea del cigüeñal – polea del alternador), pero de inmediato surgió otro inconveniente, las bandas de los dos circuitos están separadas una detrás de la otra en la polea del cigüeñal, para que no colisionen cuando entren en funcionamiento, por ende la polea de la bomba de agua, con la polea del alternador están alineadas directamente con la polea del cigüeñal, pero ambas no se encuentran alineadas entre sí. Para poder alinear estas tres poleas se tuvo que realizar una adaptación en el alternador como se puede observar en la figura 3.21.



Figura 3.21: Adaptación de una polea en el Alternador

Fuente: Autores

Como se puede observar se soldó otra polea de similares características en sima de la original, para ello de igual manera se tuvo que aumentar la longitud del eje original.

Con esta adaptación se pudo conseguir que estas tres poleas (Polea de la bomba de agua - polea del alternador - polea del cigüeñal) queden bien alineadas, como se puede observar en la grafica 3.22.

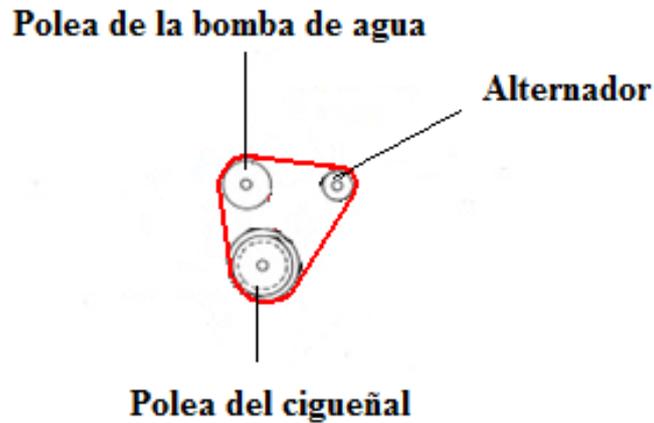


Figura 3.22: Posición Final de la Nueva Banda

Fuente: Autores

3.5 MOTOR DE ARRANQUE:

Lamentablemente en nuestra tesis no se necesita de los servicios de la caja de cambios, por ende se la tuvo que eliminar, pero al hacerlo nos percatamos que el motor de arranque se encontraba alojado a un costado de esta estructura, terrible inconveniente para encender nuestro motor; para solucionar este problema se tuvo que adaptar un nuevo soporte, para que el motor de arranque este integrada directamente a la estructura de nuestro motor, como se puede observar en la figura 3.23.



Figura 3.23: Adaptación del Soporte del Motor de Arranque

Fuente: Autores

Para realizar este soporte se tuvo que medir la distancia del recorrido del piñón de ataque, y la altura que debería ir colocado este piñón con respecto al volante motor; también se considero 2 orificios en el motor, que constituía parte de la base donde se asentaba la caja de cambio, que ahora constituirá la base donde se asienta el soporte de nuestro motor de arranque.

3.6 TUBO DE ESCAPE:

Para comodidad y seguridad en la infraestructura de nuestra tesis, el tubo de escape de gases residuales, se lo dispuso en la parte frontal de nuestro motor, donde se puede ver claramente que el silenciador se encuentra ubicado a lado opuesto del tablero de controles, es decir a lado opuesto donde va a estar el operario realizando alguna exposición; y para que no exista algún tipo de intoxicación involuntaria, los gases residuales son desembocados en la parte superior de la estructura, como se muestra en la figura 3.24.



Figura 3.24: Adaptación Del Tubo De Escape

Fuente: Autores

3.7 ARNÉS DE CABLES:

En el arnés de cables de nuestro motor, originalmente integra todas las conexiones de los posibles accesorios que pueda tener el vehículo, entre los cuales tenemos: Luces, aire acondicionado, radio, bocina, encendedor de cigarrillos, vidrios eléctricos, etc.



Figura 3.25: Arnés de Cables

Fuente: Autores

Conexiones que serían innecesarias al momento de encender nuestro motor fuera de la carrocería original del vehículo, para ello hemos visto la necesidad de conseguir el circuito eléctrico de nuestro motor, para poder suprimir todas estas conexiones innecesarias, facilitando el montaje en la nueva estructura donde se va a colocar el motor. En la figura 3.26 se muestra el circuito eléctrico que permite funcionar al motor, cuya fuente fue considerada del manual de nuestro vehículo.

DIAGRAMA ELECTRICO

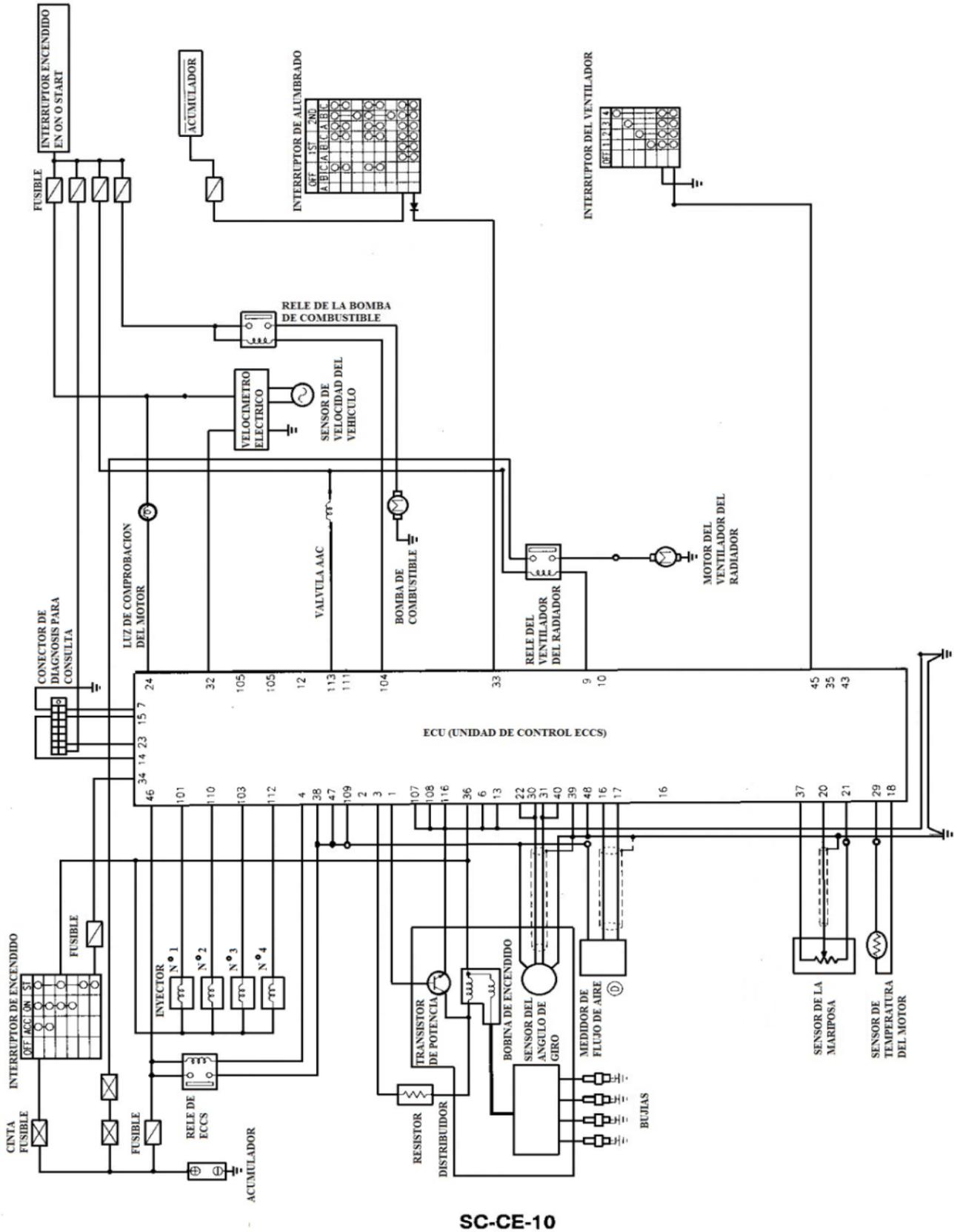


Figura 3.26: Diagrama eléctrico de la ECU.

Fuente: Manual Nissan serie B-13

3.8 PUESTA A PUNTO DE MOTOR.

El mantenimiento preventivo del motor, se lo realizo luego de instalar completamente al motor en la estructura metálica diseñada para el mismo.

Entre los cuales se realizo:

- Cambio de Aceite de motor Pensoil 20w50 con su respectivo filtro.
- Cambio de Filtro de Aire
- Limpieza del tanque de combustible
- Cambio del Filtro de la bomba de Combustible
- Cambio del filtro de combustible
- Limpieza de inyectores
- Limpieza del múltiple de admisión
- Limpieza de la válvula IAC
- Cambio de las bujías
- Cambio de los cables de Bujía
- Cambio de la tapa del radiador
- Cambio de refrigerante
- Chequeo del agua de la batería
- Cambio de la banda de los accesorios
- Mantenimiento del alternador
- Mantenimiento del motor de arranque
- Regulación de tiempo de encendido 10°

3.9 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA GLP

3.9.1 Ubicación Del Depósito De GLP

En la estructura de nuestra tesis, el depósito de GLP se lo ubico entre el tanque de combustible y tablero de instrumentos, por la posición en el que se encuentra el indicador de presión de GLP, ya que este indicador es analógico y no digital, por tal motivo a este indicador, no se lo pudo colocar dentro del tablero de instrumentos. En esta ubicación visualmente se nos facilita el chequeo constante de este indicador; claro

esta que el operario debe de estar parado, justo en la parte frontal del tablero de instrumentos.



Figura 3.27: Surtidor Industrial de Llenado

Fuente: Autores



Figura 3.28: Deposito De GLP

Fuente: Autores

3.9.2 Filtro De GLP.

Nuestro filtro de GLP se encuentra ubicada entre el depósito de GLP y el Vaporizador, ya que este absorbe partículas de tamaños considerables que se encuentran dentro del depósito de GLP que puedan dañar al vaporizador.

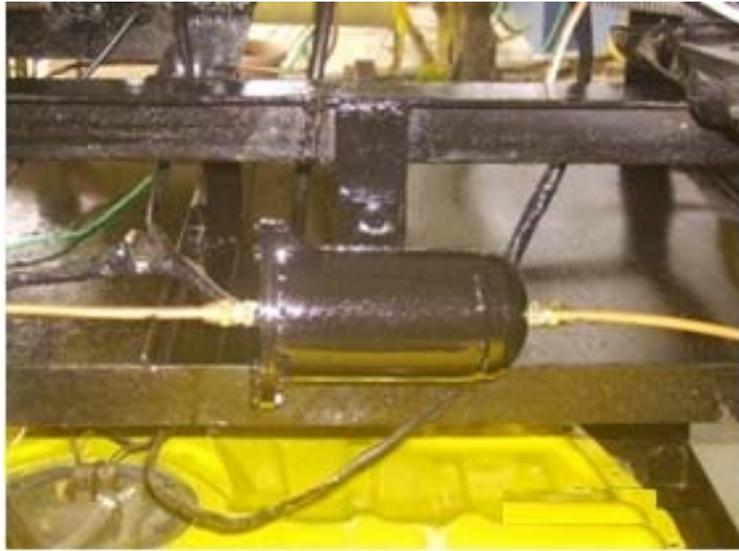


Figura 3.29: Filtro de GLP Fase Líquido

Fuente: Autores

3.9.3 Ubicación Del Vaporizador

El vaporizador se encuentra ubicado cerca del motor, especialmente cerca de los conductos asignados para la calefacción, ya que el vaporizador utiliza este servicio para poder calentar el GLP y transformarlo así a estado gaseoso. En los vaporizadores se recomienda tener los conductos de alimentación de agua caliente lo más cortos posible, para poder aprovechar el 100% la temperatura del agua que recién sale del motor.

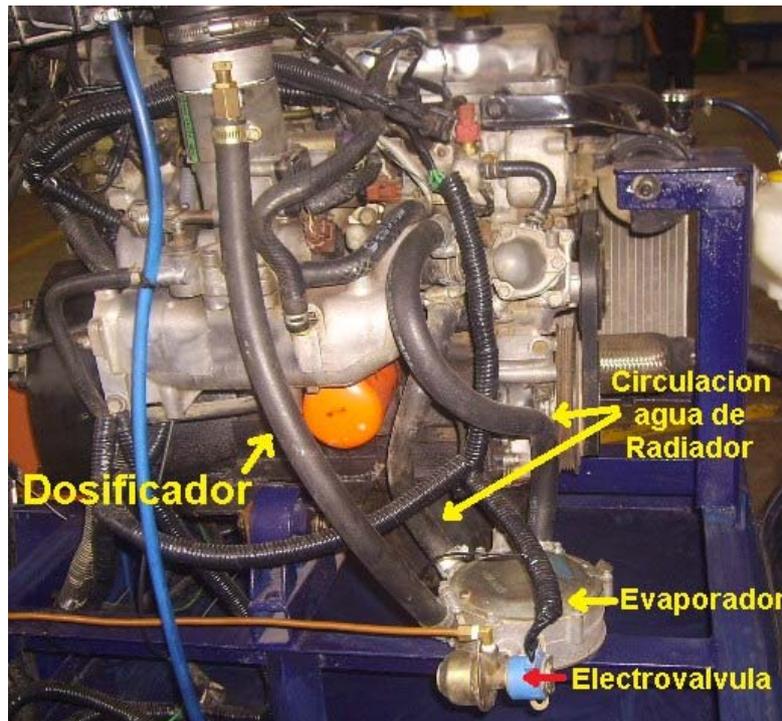


Figura 3.30: Vaporizador de GLP

Fuente: Autores

3.9.4 Adaptación Del Venturi.

La adaptación del venturi se la realizo de acuerdo a las especificaciones técnicas y a las condiciones normales de funcionamiento de nuestro motor.

Se baso en el cálculo de flujo compresible de acuerdo al número de mach del flujo.

Numero de mach.- Es una medida de velocidad relativa que se define como el cociente entre la velocidad de un objeto y la velocidad del sonido en el medio en que se mueve dicho objeto. Cuando un flujo tiene $Ma = 1$ quiere decir que su velocidad es sónica, cuando es el 2 la velocidad se duplica. Dicha relación puede expresarse según la ecuación:

$$Ma = \frac{V_1}{\sqrt{\gamma RT_1}}$$

Donde:

V_1 = velocidad de entrada del fluido.

γ = relación de calores específicos. $\left(\frac{c_p}{c_v}\right)$

R = constante de gas aire.

T_1 = Temperatura del medio.

El número de Mach no solo permite evaluar la compresibilidad del un fluido sino que también, permite clasificar los flujos, a través de la adimensionalización de la velocidad con la velocidad sónica.

Tipo de flujo	Numero de Mach
Flujo incompresible	$Ma < 0,3$
Flujo subsónico	$0,3 < Ma < 0,8$
Flujo transónico	$0,8 < Ma < 1,2$
Flujo supersónico	$1,2 < Ma < 3,0$
Flujo hipersónico	$3,0 < Ma$

TABLA 3.9: Clasificación de los tipos de flujo según el Mach

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_Mach

Cuando el fluido se encuentra en un estado de reposo isentropico, que llamaremos también como estado de estancamiento o de remanso, es el estado de referencia que se suele tomar para flujos compresibles.

Las variables presión (p), densidad (ρ) y temperatura (T) en cualquier sección, se pueden expresar en función de las variables de estado en el punto de remanso y del número de Mach en dicha sección, y considerando como exponente isentropico $\gamma = 1.4$, tenemos:(1)

$$\frac{T_0}{T} = 1 + 0,2Ma^2 \quad \frac{P_0}{P} = (1 + 0,2 Ma^2)^{3,5} \quad \frac{\rho_0}{\rho} = (1 + 0,2 Ma^2)^{2,5}$$

También se determinará las características del estado crítico del fluido donde el número de Mach = 1, a partir de las ecuaciones anteriores, tenemos los parámetros del estado crítico:

$$T^* = \frac{T_0}{1,2} \quad p^* = \frac{P_0}{1,2^{3,5}} \quad \rho^* = \frac{\rho_0}{1,2^{3,5}}$$

Es de gran importancia la relación de áreas, entre una sección genérica de área A y la sección en condiciones críticas de área Ac:

$$\frac{A}{A_c} = \frac{1 * (1 + 0.2Ma^2)^3}{Ma * 1.7280}$$

La relación tiene un mínimo en Ma=1, en el caso de toberas convergente-divergentes, si el flujo de entrada es subsónico, para asegurar un flujo supersónico en la salida, la sección de la garganta debe ser la crítica. Si la sección en la garganta es mayor que la crítica, en ninguna sección se dan condiciones sónicas, aunque en la garganta se alcanza un máximo de Ma, siempre menor que 1. Así tenemos:

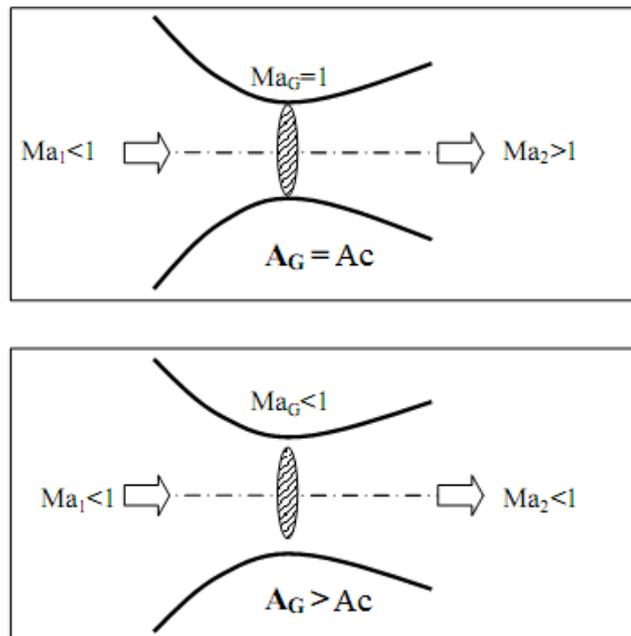


Figura 3.31: Comportamiento del flujo en una tobera convergente divergente según el mach.

Fuente: *Flujo compresible*, Julián Martínez de la Calle,

Donde A_G = área de la garganta y A_c = área crítica.

Si igualamos a cero la relación de áreas (A/A_c), tenemos una ecuación de grado 6, al resolver la ecuación según el número de Mach y la relación de áreas se tiene 6 resultados, 4 imaginarias y 2 reales.

$$0.008Ma^6 + 0.12Ma^4 + 0.6Ma^2 - \left(1.728 \frac{A}{A_c}\right)Ma + 1 = 0$$

De los valores reales que obtuvimos se debe escoger si el flujo es subsónico si $Ma < 1$, o supersónico si $Ma > 1$, para esto también nos valemos de la presión de admisión que tenemos en el motor. Si la presión en la salida del venturi es mayor que la presión absoluta de admisión, la mezcla ingresará, si la presión es menor obtenemos una expulsión de la mezcla.

Con la mayor área del venturi se itera hasta el área crítica, de acuerdo al rango del cálculo se elige el diámetro de la garganta según la restricción de la presión, y la linealidad en la velocidad y el número de Reynolds.

Una vez elegido el diámetro de la garganta se itera nuevamente hasta el diámetro de salida, y se observa el comportamiento del flujo.

Justificación del venturi.- Se realizó un programa para determinar los valores característicos del flujo de admisión, tomando como datos las especificaciones del motor, propiedades del aire, presión absoluta de admisión.

Especificaciones del motor	
Cilindraje	1597 C.C.
RPM	2000
Eficiencia volumétrica (η_v)	0.9
Presión de admisión(abs)	73.325 KPa
Flujo másico	0,028380146 Kg/s

TABLA 3.10: Características del motor.

Fuente: Autores

Propiedades del aire	
Presión atmosférica*	101.325 Kpa
Temperatura*	298K
Densidad*	$1.18 \frac{Kg}{m^3}$
Viscosidad del aire*	$1.80 \times 10^{-5} Pa \cdot s$

TABLA 3.11: Propiedades del aire

() Datos a nivel del mar.*

Fuente: Autores

Datos del venturi	(cm)
Entrada	5
Garganta	2.8
Salida	4

TABLA 3.12: Dimensiones del venturi

Fuente: Autores

Gráficos De Los Resultados.

En los siguientes gráficos, se analizan la presión, velocidad del fluido y número de Reynolds, para los diferentes diámetros de garganta.

Gráficos Obtenidos En La Sección Entrada-Garganta

Numero de Reynolds.- Es un número adimensional, utilizado en mecánica de fluidos para determinar si un fluido posee un flujo laminar o turbulento, para nuestro caso, necesitamos que el flujo sea turbulento para que la mezcla sea lo más homogénea posible. Valores a partir de 4000 nos garantizan un flujo turbulento.

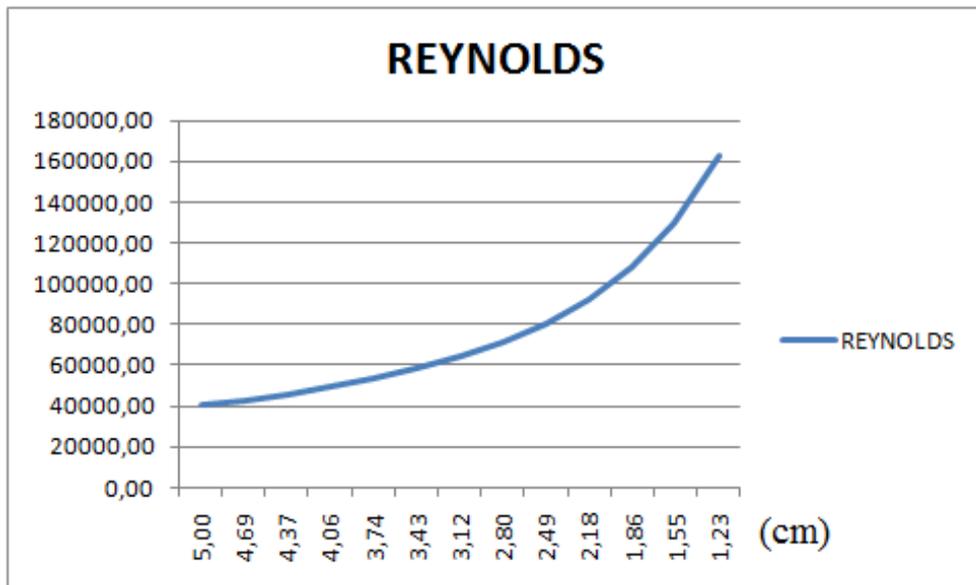


Figura 3.32: Número de Reynolds – Diámetro de garganta

Fuente: Autores

En el gráfico se observa que durante todo el rango de la curva desde el diámetro exterior hasta el área crítica, tenemos un flujo turbulento, por lo que se garantiza el correcto mezclado.

Presión En La Garganta.- la presión en la garganta deberá ser mayor que la presión absoluta del motor, ya que por diferencia de presiones el fluido será admitido en el motor o expulsado del mismo.

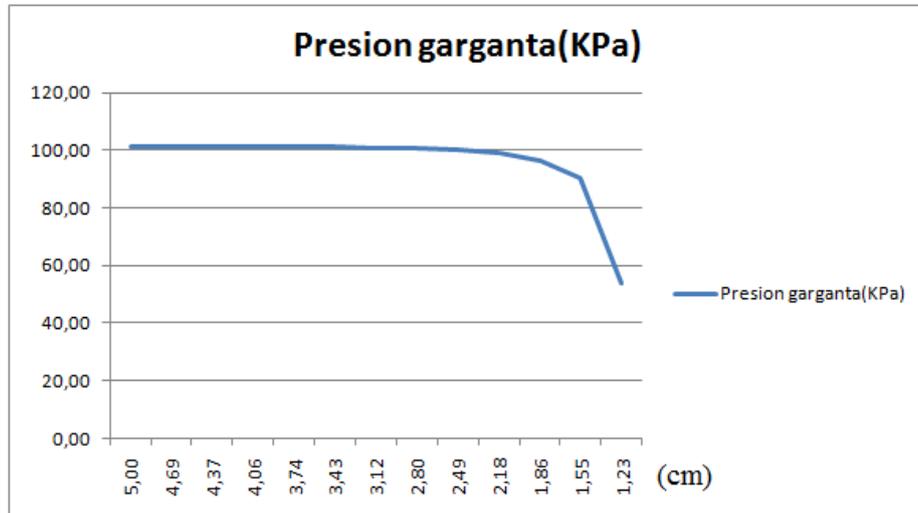


Figura 3.33: Presión en la garganta – Diámetro de la garganta

Fuente: Autores

En el gráfico se observa que el diámetro crítico, a pesar de tener un mayor número de Reynolds, posee también una presión menor a la absoluta del motor, esto genera un fenómeno de expulsión por diferencia de presiones, el rango idóneo de trabajo por ser lineal será desde un diámetro de 1.86 cm hasta 3.12 cm, el diámetro que tenemos en la garganta está dentro del rango.

Velocidad Del Fluido (m/s).- es la velocidad del fluido generado en función del diámetro de la garganta.

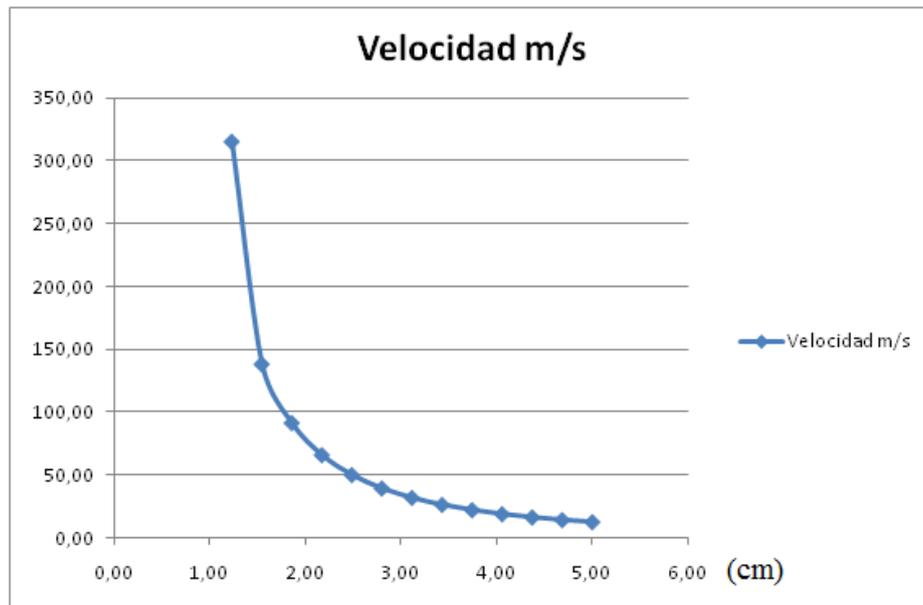


Figura 3.34: Velocidad –Diámetro de garganta

Fuente: Autores

La curva describe una función exponencial, donde la mayor velocidad será la velocidad del sonido, esta se produce cuando el diámetro de la garganta es igual al diámetro crítico $A_G = A_c$.

Por la restricción en la presión el rango del diámetro va a ser mayor al diámetro crítico $A_G > A_c$, con lo que se puede suponer que el flujo obtenido en la salida será subsónico. El diámetro de garganta escogido será de 1.86 cm, este diámetro será iterado hasta el diámetro de salida para determinar las propiedades que tendrá el flujo en la salida.

Sección Garganta-Salida- Los siguientes gráficos describen el comportamiento del fluido desde la garganta hasta la salida del venturi, esto nos provee de las variables en la sección de salida.

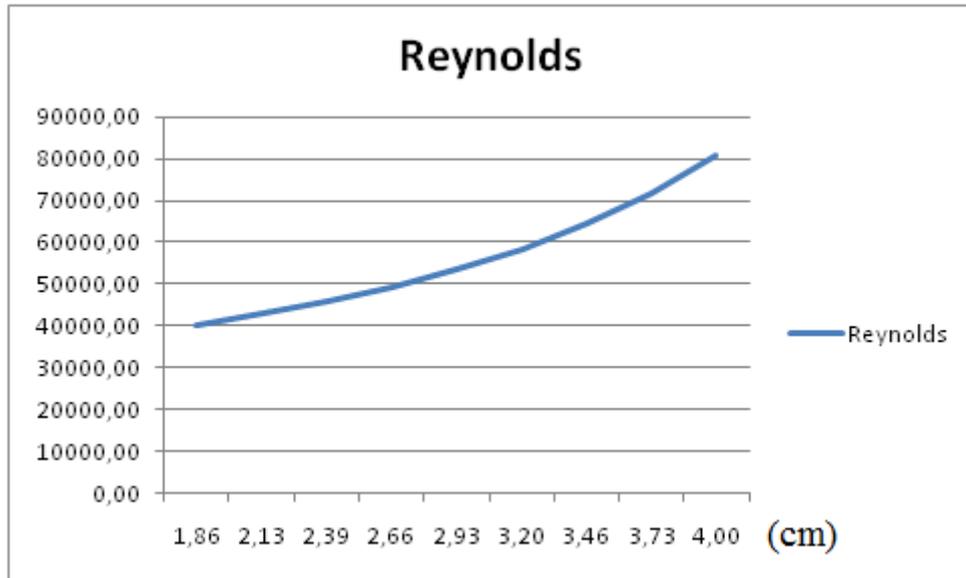


Figura 3.35: Reynolds – Diámetro de garganta en la sección de salida.

Fuente: Autores

Se observa que el flujo mantiene un movimiento turbulento, desde el diámetro de garganta hasta el diámetro de la salida.

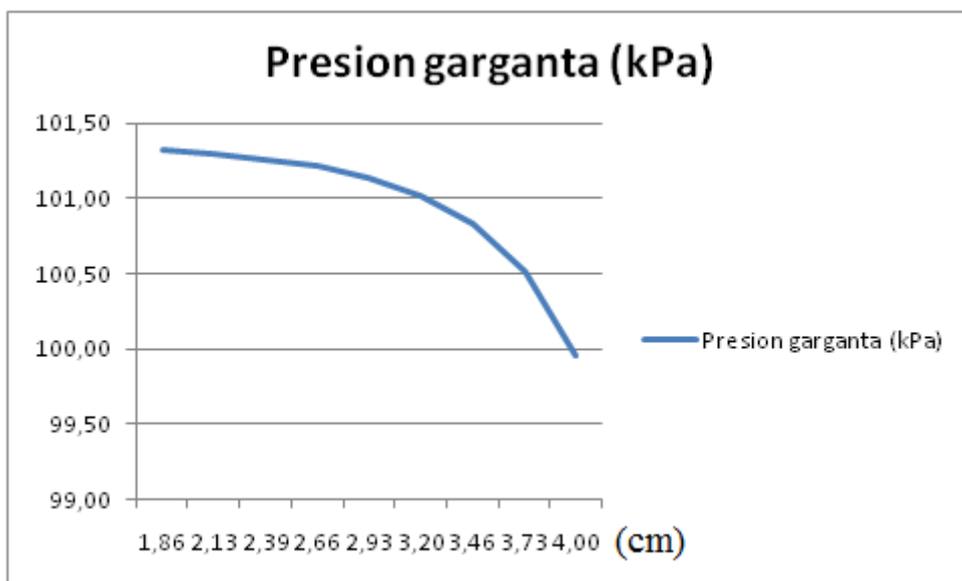


Figura 3.36: Presión en la Garganta – Diámetro de garganta en la sección de salida

Fuente: Autores

La presión que se obtiene en la sección de salida será mayor que la presión absoluta en la admisión, por lo que se puede concluir que existe un ingreso de fluido al motor.

El tubo venturi consiste en una reducción de la tubería, esto se logra con un tramo recto, un cono de entrada, la garganta y el cono de salida.

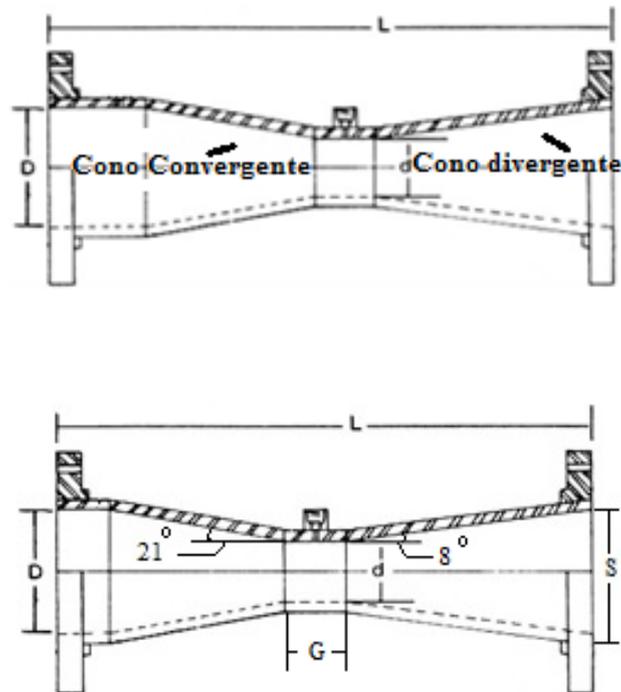


Figura 3.37: Tubo Venturi

Fuente: Autores

Donde la nomenclatura es la siguiente:

D = diámetro de la entrada

d= diámetro del garganta

S= diámetro del salida

G = longitud de la garganta

L= Longitud del venturi

Para calcular la longitud del venturi tomamos la diferencia de los diámetros entre entrada-garganta y salida-garganta aquellos valores será utilizados mediante formulas trigonométricas mediante el ángulo con su respectivo triangulo se hallara su longitud.

Angulo de entrada: 21° ⁽⁸⁾

Angulo de salida: 7° ⁽¹⁴⁾

Diámetro de entrada: 5 cm

Diámetro de garganta: 2,80 cm

Diámetro de salida: 4 cm

Para calcular la longitud de entrada pero debemos hallar la altura del triangulo

$$D_0 = D - d$$

$$D_0 = 5\text{cm} - 2,8\text{cm}$$

$D_0 = 2,2\text{ cm}$ y este valor se divide para 2 porque son 2 secciones

$$D_0 = 1,1\text{ cm}$$

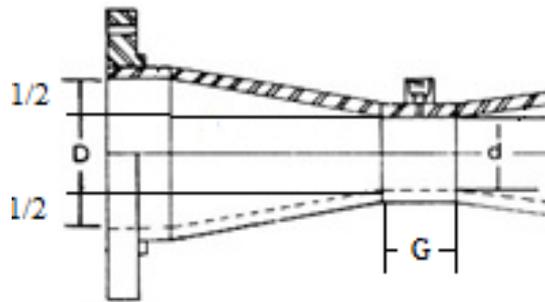


Figura 3.38: Cono convergente

Fuente: Autores

Ahora con este valor hallar podemos calcular la longitud de entrada

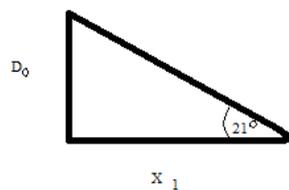


Figura 3.39: Triangulo en el Cono convergente

Fuente: Autores

¹⁴ <http://www.monografias.com/trabajos6/tube/tube.shtml>

Ahora aplicando trigonometría hallaremos x_1

$$\operatorname{tg} 21^\circ = \frac{1,1\text{cm}}{x_1}$$

Después despejamos x_1

$$x_1 = \frac{1,1\text{cm}}{\operatorname{tg} 21^\circ}$$

$$x_1 = 2,87\text{cm}$$

Para calcular la longitud de entrada pero debemos hallar la altura del triángulo

$$S_0 = S - d$$

$$S_0 = 4\text{cm} - 2,8\text{cm}$$

$S_0 = 1,2\text{cm}$ y este valor se divide para 2 porque son 2 secciones

$$S_0 = 0,6\text{ cm}$$

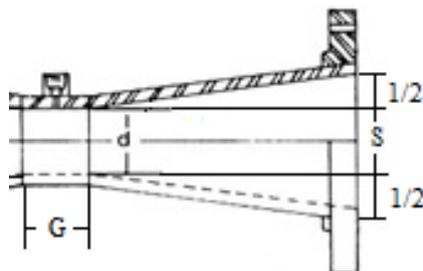


Figura 3.40: Triangulo en el Cono divergente

Fuente: Autores

Ahora con este valor hallar podemos calcular la longitud de salida

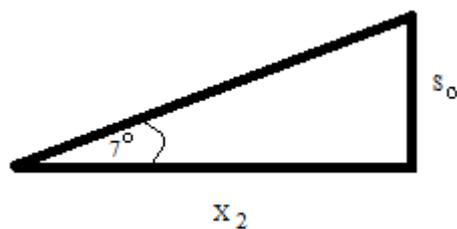


Figura 3.41: Triangulo en el Cono divergente

Fuente: Autores

Ahora aplicando trigonometría hallaremos x_2 :

$$\operatorname{tg} 7^\circ = \frac{0,6\text{cm}}{x_2}$$

Después despejamos x_1 :

$$x_2 = \frac{0,6\text{cm}}{\operatorname{tg} 8^\circ}$$

$$x_2 = 4,27\text{ cm}$$

Ahora para hallar la longitud total del venturi se le suma a estas x_1 y x_2 le sumamos x_3 que es la distancia de la garganta que es 0,4 cm.

$$L = x_1 + x_2 + x_3$$

$$L = 2,87\text{cm} + 4,27\text{cm} + 0,4\text{cm}$$

$$L = 7,54\text{ cm}$$

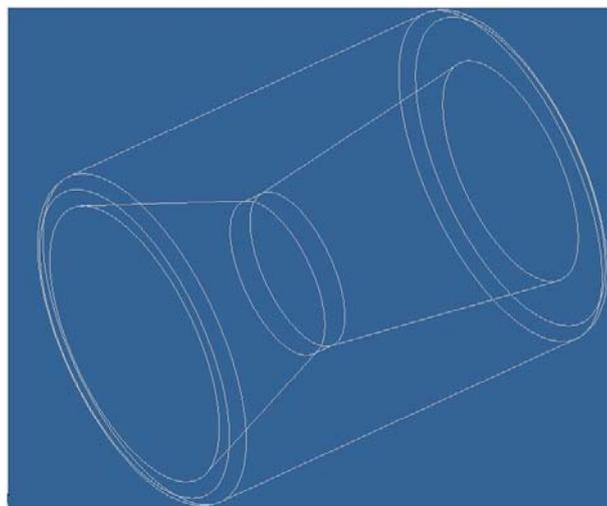
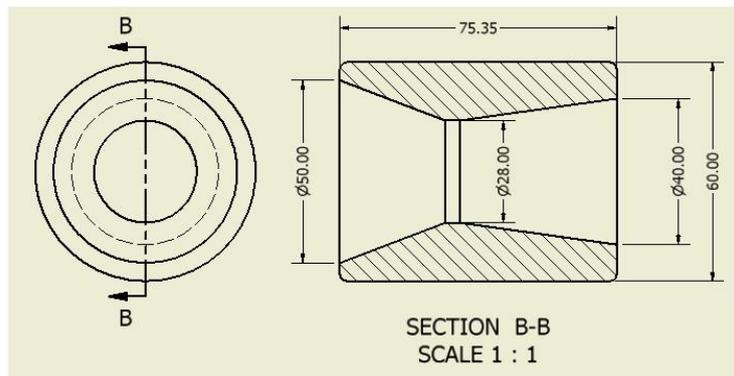


Figura 3.42: Venturi

Fuente: Autores

3.10 ADAPTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO GLP

Básicamente el circuito eléctrico principal del sistema GLP está basado en la conexión del conmutador, es decir que todos los accesorios eléctricos que intervienen en el funcionamiento del GLP de nuestro motor, están conectados directamente al conmutador, el cual lo hemos ubicado en el tablero instrumentos.

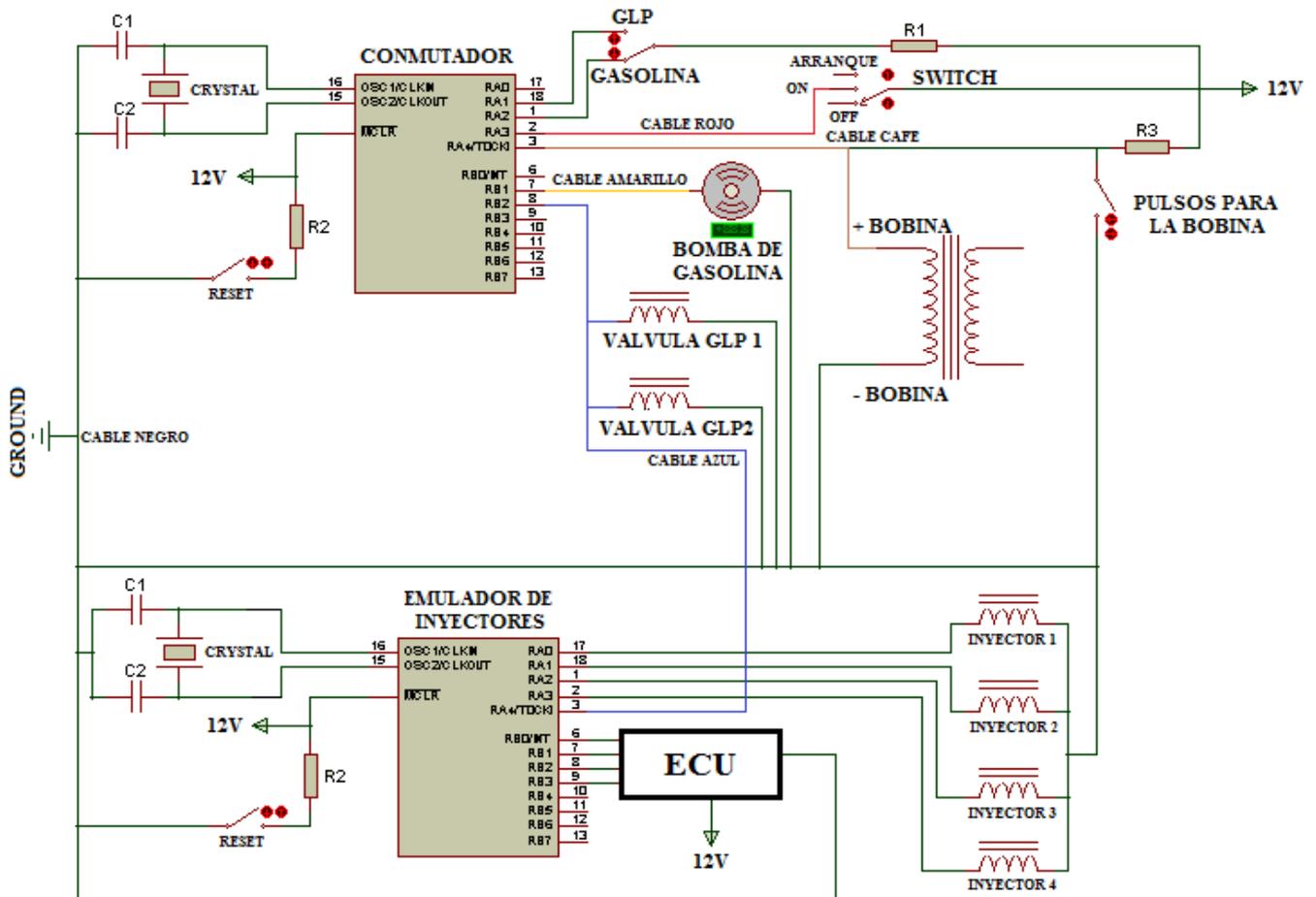


Figura 3.43: Esquema eléctrico del sistema de alimentación a gas.

Fuente: Autores

3.11 ABASTECIMIENTO DEL DEPÓSITO DE GLP

1. -Verificar que todo el conjunto de válvulas estén completamente cerradas.
2. -Colocar el cilindro de Gas domestico boca abajo, sobre el soporte designado en la estructura.

3. -Conectar la válvula industrial en la boquilla del cilindro de gas.
4. -Conectar el otro extremo, la válvula de alimentación en el depósito de GLP.
5. -Verificar que ambas válvulas estén bien conectadas.
6. -Abrir la válvula industrial, para dar paso al GLP (se debe escuchar pequeños estruendos generados por el GLP, significa que el fluido esta ingresando al nuevo depósito).
7. -Abrir la válvula de desfogue que se encuentra en un extremo del depósito de GLP.
8. -Verificar constantemente el indicador de nivel de GLP, ya que este nos indica la cantidad de combustible que se encuentra dentro del depósito.
9. -Una vez lleno el depósito, se debe de cerrar primero la válvula industrial, luego la válvula de desfogue.
10. -Verificar que las válvulas estén completamente cerradas.
11. -Desconectar la válvula de alimentación del depósito de GLP.
12. -Desconectar la válvula industrial.
13. -Retirar el cilindro de gas que se encuentra boca abajo sobre el soporte antes mencionado.



Figura 3.44: Abastecimiento del GLP en el depósito

Fuente: Autores

3.12 PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GLP

Para hacer funcionar el motor con GLP, se tienen que seguir los siguientes pasos:

1.- Para que funcione eficientemente el vaporizador de GLP, el motor debe estar a temperatura normal de trabajo, por tal motivo es imperativo que el motor se encienda con gasolina (accionamos el conmutador en la opción de gasolina), esto hace que se activen los instrumentos normales de trabajo del motor, y se desactiven todos los instrumentos que intervienen en el funcionamiento del sistema GLP.

2.- Cuando el motor llega a temperatura normal de trabajo, de inmediato ponemos el motor a 3000 r.p.m., accionamos el conmutador para que el motor trabaje con GLP, de inmediato se desactiva la bomba de gasolina, los inyectores; y se activan todos los instrumentos que intervienen en el funcionamiento del sistema GLP, como el emulador de inyectores que envía información a la computadora de que estos están trabajando correctamente, también se encienden las electroválvulas que se encuentran en el vaporizador de GLP, liberando este nuevo combustible directamente al sistema de alimentación del motor; la cantidad de GLP enviada dependerá de las r.p.m. que tenga el motor, ya que el conmutador adquiere esta información de la bobina y dependiendo las pulsaciones que esta genera, le ordena a las electroválvulas que se encuentran en el vaporizador, que envíen más o menos combustible, dependiendo las necesidades de nuestro motor.

3.- Si ya no se desea que el motor trabaje con GLP, se acelera el motor a 3000 r.p.m., accionamos el conmutador para que este trabaje con gasolina, de inmediato se desactiva el emulador de inyectores, las electroválvulas que se encuentran en el vaporizador y de inmediato se activa el sistema original de alimentación de combustible del motor.

4.- Si por casualidad se enciende el motor a modo de GLP antes de encender el motor, el conmutador por seguridad se encenderá en modo de gasolina hasta que el reloj interno que se encuentra dentro del mismo, pasado los 10 minutos acciona el sistema de GLP y desactiva el sistema de alimentación de gasolina.

3.13 AFINAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACION GLP.

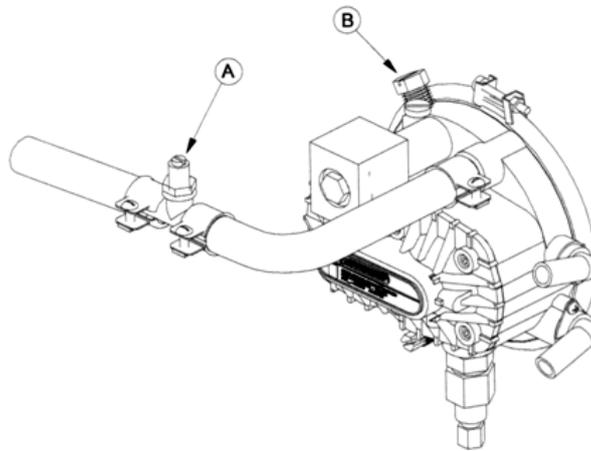


Figura 3.45: Afinamiento del sistema GLP

Fuente: Autores

3.13.1 Regulación de Caudal Máximo.

Para la regulación del equipo GLP, primero se debe de regular el máximo caudal admisible, esto consiste en:

- Llevar el motor a temperatura normal de trabajo
- Pasar a funcionamiento con GLP
- Acelerar el motor a velocidad de crucero (2500 rpm a 3000 rpm), y mantener fija la posición de la mariposa durante todo el proceso de calibración.
- Girar el tornillo A del dosificador para lograr una máxima aceleración.
- Seguir girando el tornillo (las RPM se irán incrementando) hasta notar que las RPM comienzan a descender, en este punto se habrá logrado la regulación de máxima.
- Una vez hallado el punto, fijar el tornillo por medio de la contra tuerca que existe en el mismo.

3.13.2 Regulacion Del Caudal Minimo.

Una vez regulado el caudal maximo, se procedera a regular el caudal minimo. Esto consiste en:

- Llevar el motor a temperatura normal de funcionamiento.
- Pasar el funcionamiento a GLP (de no estarlo ya)
- Poner la mariposa en posicion de reposo y mantenerlo asi durante toda la regulacion.
- Girar el tornillo de regulacion de minima B, que se encuentra en el vaporizador, hasta lograr un ralenti estabilizado.
- Fijar el tornillo una vez logrado el punto.

3.14 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE GLP

Para que funcione eficientemente el sistema GLP, el motor previamente debe estar afinado, con el termostato y cambio de lubricante respectivo.

El mantenimiento del sistema GLP se lo realiza por kilometraje:

- Cada 5000 km:
 - Renovación del filtro de GLP.
 - Purgar el agua que se encuentra dentro del evaporador.
- Cada 60000km:
 - Purgar el agua que se encuentra dentro del depósito.
 - Chequeo y funcionamiento integro de todo el sistema.
 - Desmontada y limpieza del evaporador.
 - Limpieza del Venturi.
 - Afinación del sistema.
 - Mantenimiento que se hace cada 5000 km.

CAPITULO IV

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE SISTEMA GLP-GASOLINA.

Para evaluar el comportamiento de nuestro motor se realizó la respectiva prueba de emisiones de gases en la UPS (Universidad Politécnica Salesiana) matriz Cuenca con el analizador de gases de CUENCAIRE, para ello se utilizó como carburante gasolina extra y GLP, bajo las normas NTE INEN 2203 Y 2204 (ANEXO 2). Con el propósito de determinar el grado de contaminación que generan estos combustibles en el medio ambiente.

4.1 PRINCIPALES CAUSAS DE CONTAMINACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Los motores de combustión interna para su funcionamiento queman combustibles que generan gases nocivos para el medio ambiente. Si la combustión fuese completa, es decir estequiométrica, los gases expulsados por el tubo de escape fueran CO₂ (Dióxido de carbono), H₂O (agua) y N₂ (Nitrógeno), sin embargo las impurezas del combustible, una incorrecta relación aire-combustible y temperaturas de combustión altas o bajas, son los responsables de la disociación, que forman productos secundarios tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP), hidrocarburos no quemados (HC), carbono (C), y otros desechos no deseables.

4.1.1 La combustión y sus productos

Los productos de la combustión (Fig. 4.1), se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Productos de combustión completa (en la práctica casi nunca ocurre).
- Productos indeseables (monóxido de carbono).
- Emisiones gaseosas.
- Vapores de combustibles.

En los vehículos propulsados por gasolina los productos de permanente preocupación son las de CO, NO_x, y HC.

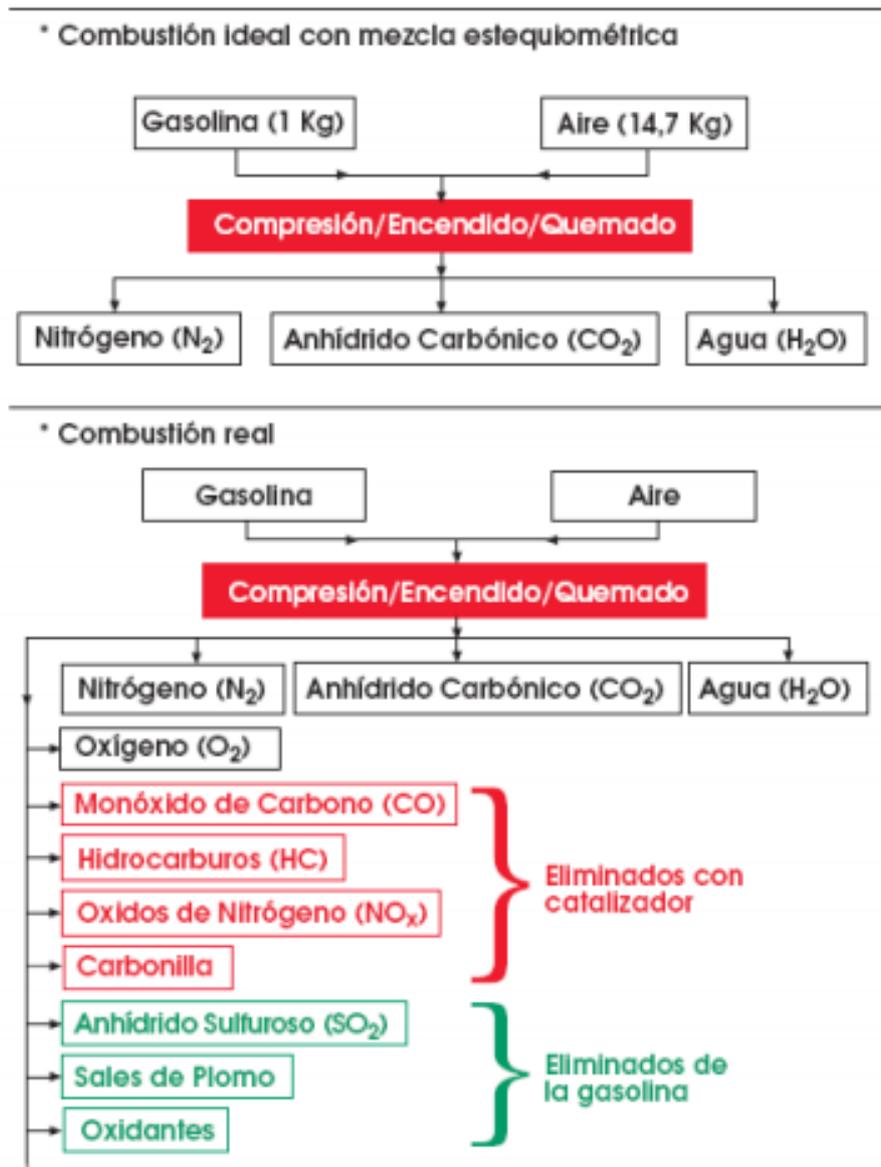


Figura 4.1: Reacción en motores de combustión interna.

Fuente: es.wikipedia.org/wiki/Combustión

4.1.2 Características y efectos de las emisiones producidas por un motor de combustión interna ciclo Otto.

Según las proporciones de los diferentes gases emitidos por el escape de un vehículo, se puede realizar un diagnóstico de posibles anomalías en su funcionamiento. Para ello es necesario disponer de un analizador de gases de escape que nos permita medir las

proporciones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, oxígeno, hidrocarburos y factor lambda.

Monóxido de carbono CO.- Las variaciones en la proporción de monóxido de carbono están causadas por la cantidad de gasolina que se encuentra en la mezcla.

Mezcla Rica.- Se da por un exceso de gasolina en la mezcla y la falta de oxígeno, formando altas concentraciones de monóxido de Carbono. Será necesario reducir la proporción de gasolina para que la emisión de CO vuelva a los niveles adecuados (norma Ecuatoriana NTE INEN 2204, desde 0% hasta un máximo de 4.5% para vehículos con año de fabricación hasta 1999).

Repercusiones.- en concentraciones altas y tiempos largos de exposición puede provocar en la sangre la transformación irreversible de la Hemoglobina, molécula encargada de transportar el oxígeno desde los pulmones a las células del organismo, en Carboxihemoglobina, incapaz de cumplir esa función. Por eso, concentraciones superiores de CO al 0,3 % en volumen resultan mortales.

Dióxido de Carbono CO₂.- Es un excelente indicador de la eficiencia de la combustión, el motor funciona correctamente cuando el CO₂ está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 8% al 16 %. Si se encuentra por debajo del 8% puede ser que no haya una buena combustión por el uso de aditivos.

Repercusiones.- No es tóxico en bajas concentraciones, en grandes concentraciones puede producir variaciones climáticas a gran escala (denominado también efecto invernadero).

Oxígeno O₂.- Indica el aprovechamiento de oxígeno en la combustión, Si su mezcla es demasiado rica o demasiado pobre, el Oxígeno no podrá oxidar todos los enlaces de Hidrocarburos y será expulsado con el resto de los gases de escape. La concentración de oxígeno varía desde 0% hasta un máximo de 2% para que la combustión sea eficiente. Alta concentración de oxígeno significa una mezcla pobre, producida por una fisura en la admisión de combustible, una manguera de vacío o tubo de escape rotos. Bja concentración de oxígeno significa una mezcla muy rica.

Repercusiones.- No tiene repercusiones.

Hidrocarburos HC.- representa los hidrocarburos que salen del motor sin quemar, causada por una mezcla muy rica, un sistema de encendido defectuoso o un ingreso de aceite a la cámara de combustión, resultando una combustión incompleta y dando lugar a emisiones por el escape. Según la norma NTE INEN 2204, para vehículos sin catalizador del año 90 hasta 99, a una altura de 1500 a 3000 metros sobre el nivel del mar, los HC deberían de tener como máximo 750ppm.

Repercusiones.- dependiendo de su estructura molecular, presentan diferentes efectos nocivos. El Benceno, por ejemplo, es venenoso por sí mismo, y la exposición a este gas provoca irritaciones de piel, ojos y conductos respiratorios; si el nivel es muy alto, provocará depresiones, mareos, dolores de cabeza y náuseas. El Benceno es uno de los múltiples causantes de cáncer. Su presencia se debe a los componentes incombustibles de la mezcla o a las reacciones intermedias del proceso de combustión, las cuales son también responsables de la producción de Aldehídos y Fenoles.

Factor lambda λ .- El factor lambda se obtiene de procesar los datos recogidos por el analizador de gases e intentar determinar la relación estequiométrica que existe entre el aire y la gasolina. Cuando la dosificación es correcta, el valor de λ es igual a la unidad. Mientras que si la mezcla es rica, el valor desciende hasta 0,9. Si la mezcla es pobre, el valor puede subir hasta 1,1. Esta medida carece de unidades porque indica una relación.

- $\lambda = 1$ Mezcla estequiométrica.

- < 1 Mezcla rica (exceso de combustible).
- > 1 Mezcla pobre (falta de combustible).
- >1.3 Mezcla ya no es inflamable
- 0.9 – 1.1 Valores lambda más adecuados

4.2 LÍMITES ESTABLECIDOS EN LA NORMA INEN DE GESTIÓN AMBIENTAL.

La norma INEN contempla en su articulado límites sobre emisiones para vehículos propulsados con motores de gasolina y diesel, en nuestro estudio nos concentraremos específicamente en la norma NTE INEN 2204:2002 (GESTION AMBIENTAL. AIRE. VEHICULOS AUTOMOTORES. LIMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MOVILES DE GASOLINA.).

Para la realización de la prueba se utilizó la norma NTE INEN 2203:2000 (GESTION AMBIENTAL. AIRE. VEHICULOS AUTOMOTORES. DETERMINACION DE LA CONCENTRACION DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MINIMA O “RALENTI”. PRUEBA ESTATICA.)

Los límites de emisiones se presentan a continuación en la tabla 4.1:

Año-modelo	% CO*		ppm HC*	
	0-1500 **	1500-3000**	0-1500 **	1500-3000**
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200
*Volumen.				
**Altitud = metros sobre el nivel del mar				

TABLA 4.1: Límites máximos permitidos para fuentes móviles ciclo Otto propulsado por gasolina. Marcha mínima o ralentí. (Prueba estática)

Fuente: NTE INEN 2204:2002.

4.3 Pruebas realizadas para el motor dual GLP-Gasolina a inyección electrónica.

4.3.1 Pruebas de emisión de gases.

Para esto se utilizan los siguientes equipos:

- Analizador de gases modelo AVL DiGas 4000.
- Motor de prueba dual GLP-gasolina, modelo GA16DNE, marca NISSAN SENTRA EX SALON 1999 sin catalizador.
- Sistema de GLP de segunda generación, marca LOVATO.

La medición de los gases de escape se lo realizo a diferentes r.p.m. del motor entre las cuales se tiene:

- Marcha mínima o ralentí (760 r.p.m.).
- Marcha de cruceo (2500 r.p.m.).

Los datos promedio se presentan en las tablas 4,2 y 4,3, y las figuras de la 4,2 a la 4,5.

PARAMETRO	RPM	
	Ralentí	Crucero
CO(% V)	4,6	3,38
CO2(% V)	12,45	13,256
HC(ppm)	388,33	256
O2(%V)	1,3	0,833
λ	0,885	0,92

TABLA 4.2: Datos promedio del análisis de gases en el motor con alimentación a gasolina.

Fuente: Autores

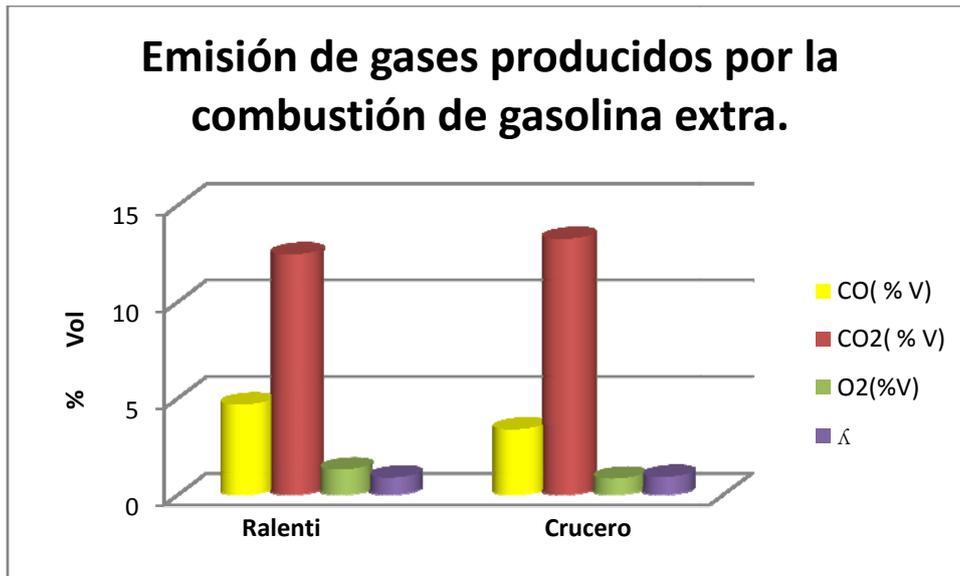


Figura 4.2: Emisión de gases producidos por la combustión de gasolina extra.

Fuente: Autores

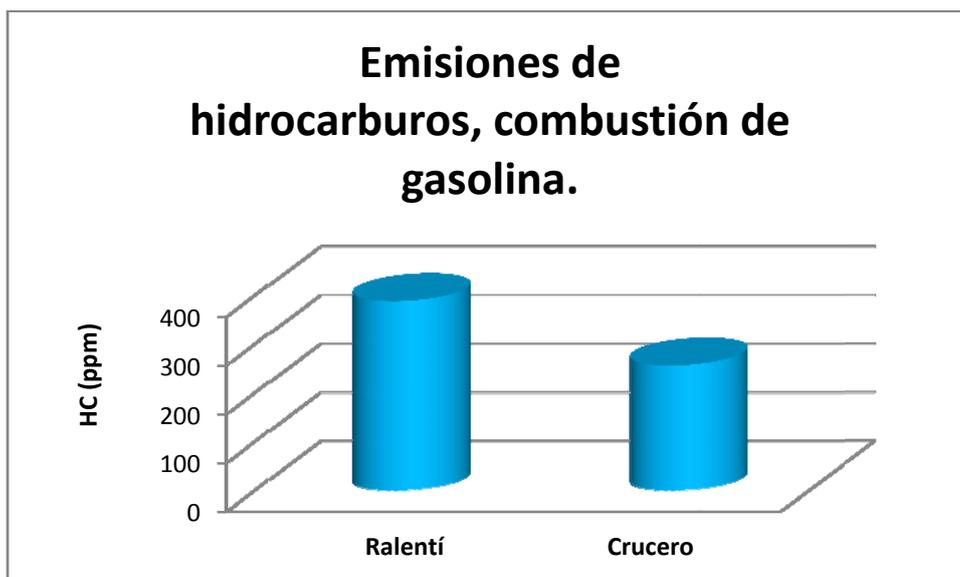


Figura 4.3: Emisiones de hidrocarburos (HC ppm), combustión de gasolina.

Fuente: Autores

PARAMETRO	RPM	
	Ralentí	Crucero
CO(% V)	3,05	0,87
CO2(% V)	9,23	11,33
HC(ppm)	253,67	109,67
O2(%V)	2,32	0,79
□	1,01	1,01

TABLA 4.3: Datos promedio del análisis de gases en el motor con alimentación a GLP.

Fuente: Autores

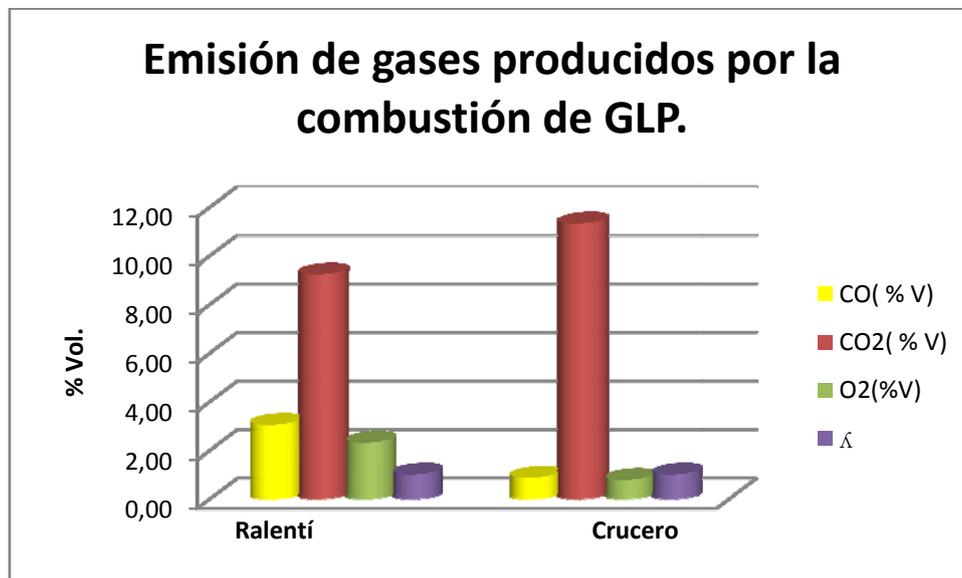


Figura 4.4: Emisión de gases producidos por la combustión de GLP.

Fuente: Autores

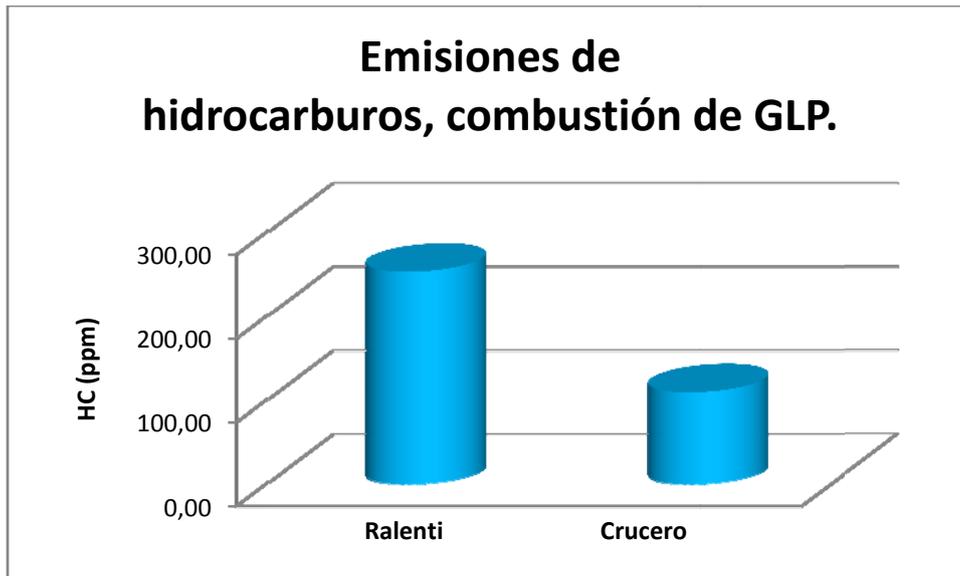


Figura 4.5: Emisiones de hidrocarburos (HC ppm), combustión de GLP.

Fuente: Autores

4.3.2 Comparación de los resultados.

4.3.2.1 Análisis del Monóxido de carbono (CO).

PARAMETRO	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP
	Ralentí	Ralentí	Crucero	Crucero
CO(% V)	4,67	3,05	3,38	0,87

TABLA 4.4: Comparación del CO usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

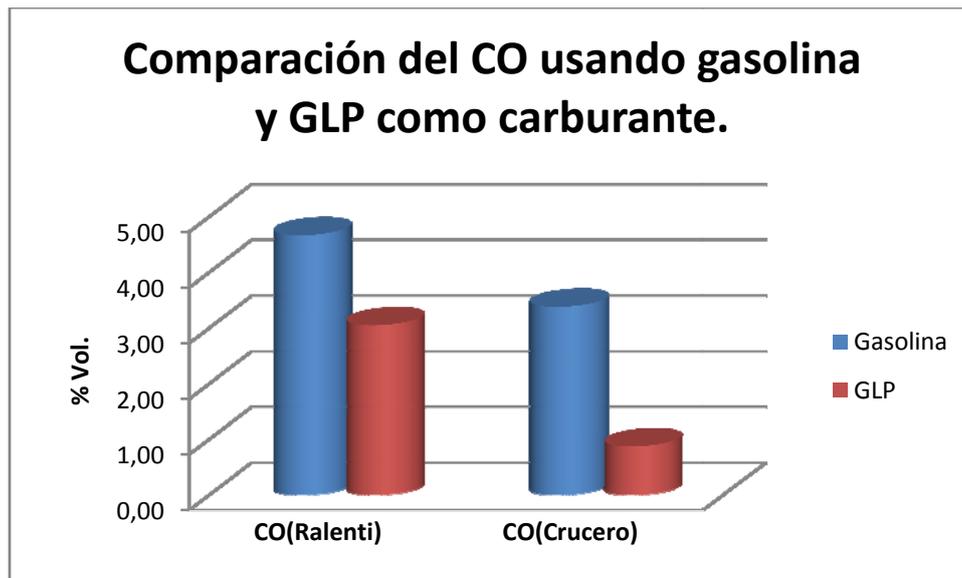


Figura 4.6: Comparación del CO usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4,6 cuando el motor funciona a GLP las emisiones de CO disminuyen considerablemente un 34,6% en régimen de ralenti, y un 74% en régimen de crucero.

4.3.2.2 Análisis del Dióxido de carbono (CO₂).

PARAMETRO	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP
	Ralenti	Ralenti	Crucero	Crucero
CO ₂ (% V)	12,45	9,23	13,26	11,33

TABLA 4.5: Comparación del CO₂ usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

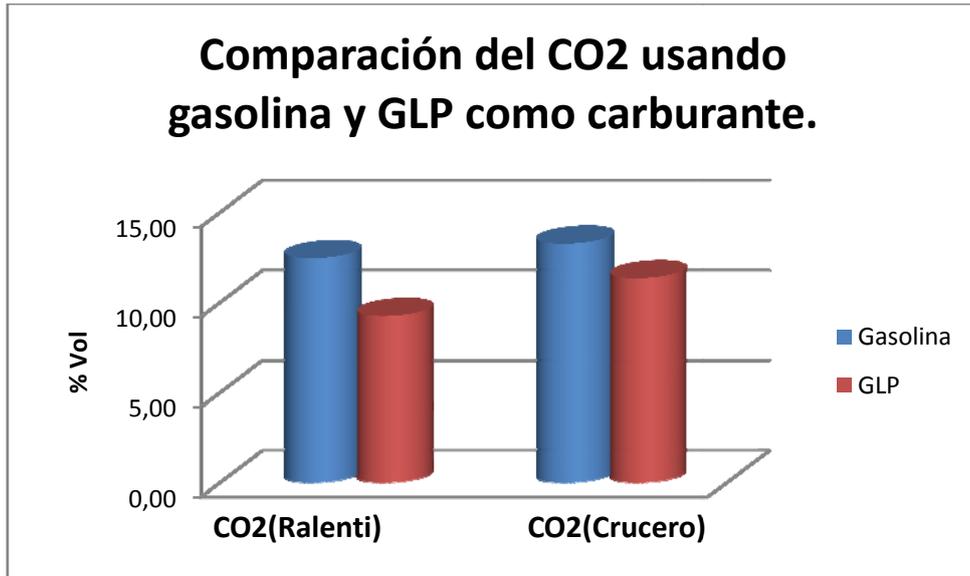


Figura 4.7: Comparación del CO2 usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4,7 cuando el motor funciona a GLP las emisiones de CO₂ disminuyen considerablemente un 25,8% en régimen de ralenti, y un 14,5% en régimen de crucero.

4.3.2.3 Análisis de Hidrocarburos (HC).

PARAMETRO	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP
	Ralenti	Ralenti	Crucero	Crucero
HC(ppm)	388,33	253,67	256,00	109,67

TABLA 4.6: Comparación del HC usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

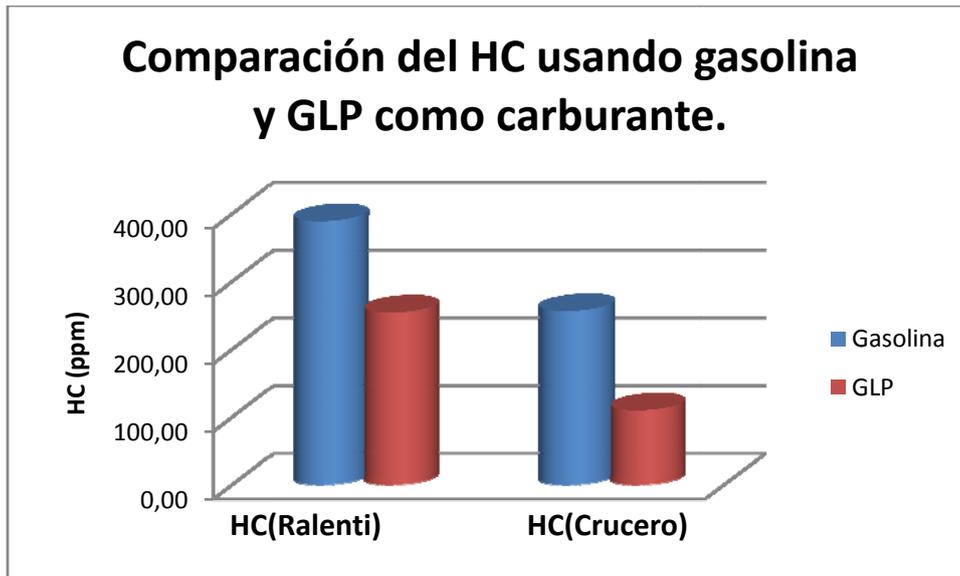


Figura 4.8: Comparación del HC usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4,8 cuando el motor funciona a GLP las emisiones de HC disminuyen considerablemente un 34,7% en régimen de ralenti, y un 57% en régimen de crucero.

4.3.2.4 Análisis de Oxígeno (O₂).

PARAMETRO	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP
	Ralenti	Ralenti	Crucero	Crucero
O ₂ (%V)	1,30	2,32	0,83	0,79

TABLA 4.7: Comparación del O₂ usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

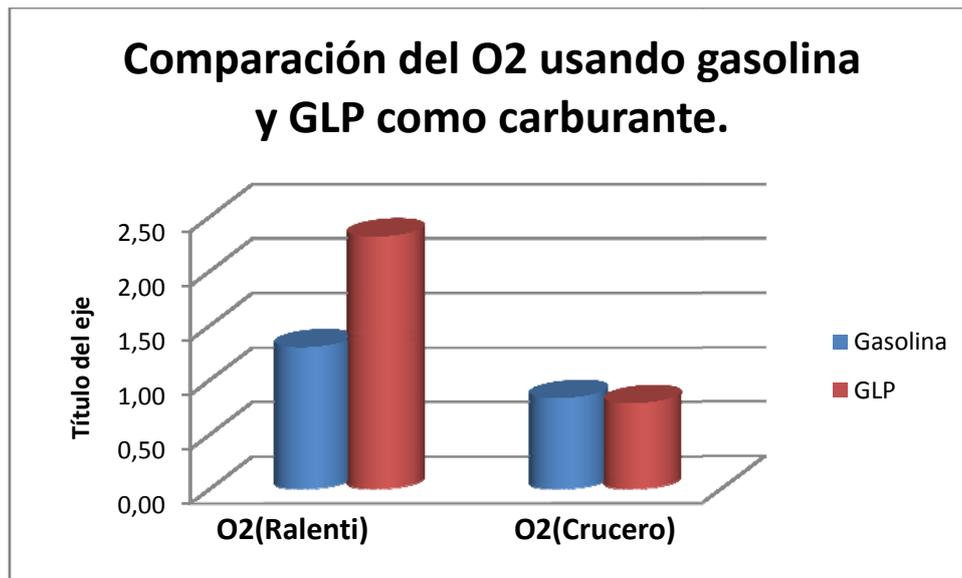


Figura 4.9: Comparación del O2 usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4,9 cuando el motor funciona a GLP las concentraciones de O₂ aumentan considerablemente un 78% en régimen de ralenti, y disminuye un 5,6% en régimen de crucero.

4.3.2.5 Análisis Lambda (λ).

PARAMETRO	Gasolina	GLP	Gasolina	GLP
	Ralenti	Ralenti	Crucero	Crucero
λ	0,89	1,01	0,92	1,01

TABLA 4.8: Comparación de lambda (λ) usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

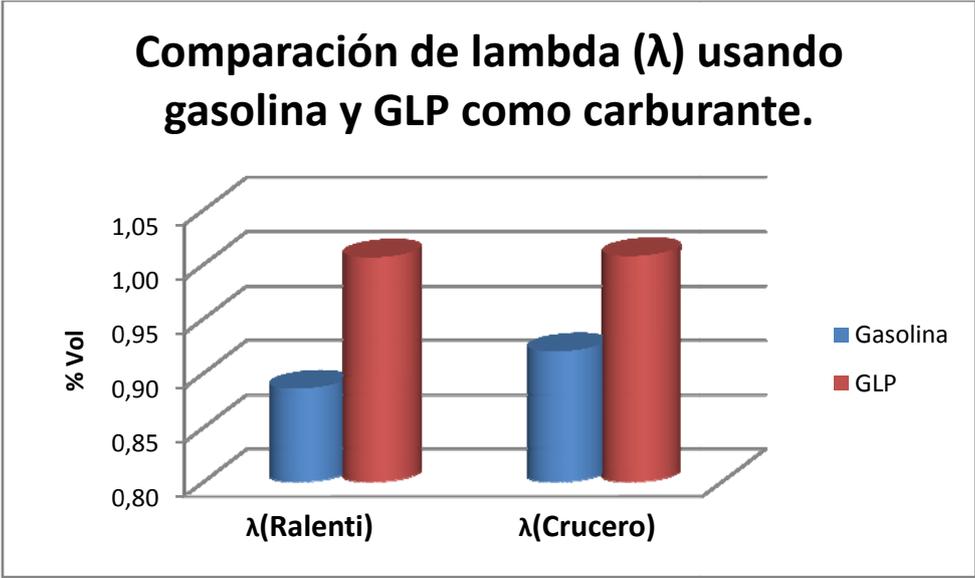


Figura 4.10: Comparación de lambda (λ) usando gasolina y GLP como carburante.

Fuente: Autores

Como se puede observar en la figura 4,10 cuando el motor funciona a GLP el factor lambda aumenta un 13,6% en régimen de ralenti, y un 9,5% en régimen de crucero.

CONCLUSIONES.

- Se obtuvo que los valores del trabajo neto fueran aproximadamente iguales, debido a que sus características y cualidades son similares. Se considera al octano como reemplazo de la gasolina, al no disponer de suficientes datos para los cálculos, y al GLP como una mezcla de propano y butano al 70% y 30% respectivamente.
- La presión media efectiva es un parámetro para analizar el rendimiento de los combustibles en una determinada máquina, la PME generada por el GLP resulto ser ligeramente mayor que la generada por el octano, por lo que se puede inferir que el GLP puede trabajar con un leve incremento sin perjuicio a la vida útil de la máquina. Esto ocurre en condiciones ideales de funcionamiento, pero en datos experimentales se comprueba un leve decremento de potencia en vehículos que usan GLP como carburante, esto se debe al peor llenado del cilindro, lo que resulta en una disminución de la eficiencia volumétrica; el uso de un venturi como dosificador y no de inyectores especiales para GLP, como en el caso de los equipos de quinta generación representan, también una deficiencia en el rendimiento del motor.
- El consumo específico del combustible GLP resulto ser un 4% menor que al utilizar octano como carburante.¹⁵ Además si se considera que una mejor estimación del precio del carburante, es cotejar el precio del combustible por unidad de energía que por unidad de volumen, se tiene un ahorro del 53% al utilizar al GLP como combustible.¹⁶
- La instalación del sistema de GLP a motores de inyección es relativamente sencilla, y de un costo moderado, obteniendo como ventaja la disponibilidad de que el motor pueda trabajar con GLP o gasolina, solo con accionar un interruptor (conmutador).

¹⁵ Ver Figura 2.18

¹⁶ Ver Tabla 2.25

- Entre otras ventajas que posee el GLP como carburante están, una mezcla más homogénea lo que facilita una combustión más completa, por ser mas limpio no degrada el aceite tan rápido como lo hace la gasolina.
- Por su octanaje más elevado se podrían fabricar motores que posean mayores relaciones de compresión, lo que resultaría en un aumento de potencia.
- La adaptación de un sistema de GLP de segunda generación a un motor ciclo Otto, no necesita mayores modificaciones, más de las que el nuevo equipo necesite según las prestaciones del motor.
- El mantenimiento del sistema es sencillo y no presenta mayores costos de mano de obra, los nuevos equipos de GLP están avalados por las normas ecuatorianas y garantizan la seguridad del sistema.
- El comportamiento del motor usando GLP y en marcha mínima representa una disminución del 34% de hidrocarburos (HCppm), mientras que para las emisiones de CO y CO₂ representa una disminución del 34% y 25,8% respectivamente.
- El comportamiento del motor usando GLP y en marcha de cruceo representa una disminución del 57% de hidrocarburos (HCppm), mientras que para las emisiones de CO y CO₂ representa una disminución del 74% y 14,5% respectivamente.
- De los resultados obtenidos en la relación estequiometria (λ), podemos observar que hay una mayor eficiencia en la combustión con GLP, tanto en ralentí (13.6%) como en cruceo (9.5%), en comparación con los resultados obtenidos con el sistema de alimentación a gasolina.

RECOMENDACIONES.

Para que la conversión del sistema de alimentación Gasolina - GLP tenga buenos resultados, se deben de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Asegurar que el motor este en buen estado antes de convertirlo. Esto incluye la correcta operación del termostato, el sistema de refrigeración, la calidad de chispa, buena compresión de los cilindros, conductos de lubricación limpios y en buenas condiciones.
- Se debe respetar el mantenimiento preventivo del automotor, incluyendo el sistema de alimentación por GLP, ya que estos alteran el buen funcionamiento de los equipos y por ende el rendimiento del motor.
- La instalación de los sistemas de GLP, se lo debe realizar por personal calificado, en talleres y con equipos que cumplan la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2310:2008 y NTE INEN 2311:2008.
- Se recomienda no llenar totalmente el depósito y cerrar la válvula de seguridad de GLP cuando no este en uso el banco.
- El abastecimiento de GLP se lo debe realizar en lugares bien ventilados, y no usar prendas de cuero o algún otro elemento que por fricción pueda crear cargas electrostáticas.
- Realizar una correcta afinación de la mezcla aire-combustible, mediante el uso de un analizador de gases.
- Se recomienda el uso de aceites con una especificación API SL o SM que puedan resistir la nitruración y agentes oxidantes, de mejor manera que las precedentes especificaciones API.

- Los componentes del GLP, como son el propano y butano, poseen propiedades de corrosión que modifican significativamente las propiedades mecánicas de los cauchos y siliconas, se recomienda realizar un estudio sobre el problema.¹⁷
- El motor del banco no posee catalizador por lo que se recomienda su adaptación para reducir las emisiones.
- Con los análisis obtenidos, podemos recomendar el combustible GLP para que se introduzca en el transporte público, y en un futuro muy cercano en el transporte privado.

¹⁷ <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia>

BIBLIOGRAFIA:

- (1) GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona: Omega, DL, 1988, p. 27.
- (2) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p. 130-131-133
- (3) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p.725.
- (4) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p.86-87.
- (5) GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona: Omega, DL, 1988, p. 33, 35.
- (6) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p.683.
- (7) <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia>
- (8) GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona: Omega, DL, 1988, p. 37.
- (9) http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/49273245.html
- (10) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p.86-87.
- (11) GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona: Omega, DL, 1988, p. 45.
- (12) GIACOSA, D. *Motores endotérmicos*. Barcelona: Omega, DL, 1988, p. 65.
- (13) ZOGRAFAKIS GEORGIOS, *Mathematical and Numerical Modeling of Flow and Combustion Processes in a Spark Ignition Engine*, p. 10.
- (14) j. O. Araque, l. T. Araujo y h. J. Castellano, *Medición de temperatura en la cara del pistón de un motor CFR de gasolina*, Revista Ciencia e Ingeniería. Volumen 24. No 1. 2003, p. 11.
- (15) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p. 102.
- (16) <http://es.wikipedia.org/wiki/Entalpia>
- (17) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p.695.
- (18) ERIKSSON L., ANDERSSON I. *An Analytic Model for Cylinder Pressure in a Four Stroke SI Engine*. Society of Automotive Engineers, Inc, 2002, p. 5–6.
- (19) MANUALES NISSAN B-13, Mexico, p. 56-57
- (20) <http://www.grc.nasa.gov/WWW/CEAWeb/>
- (21) Análisis cromatográfico, PETROECUADOR, 2009.
- (22) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p.113.
- (23) CENGEL, BOLES, *Termodinámica*, New York: McGraw-Hill, p. 100.
- (24) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p.135

- (25) CENGEL, BOLES, Termodinámica, New York: McGraw-Hill, p. 99.
- (26) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p.50.
- (27) HEYWOOD, J.B. *Internal combustion engine fundamentals*, New York: McGraw-Hill, p.52.
- (28) http://www.bce.fin.ec/ver_noticia.php?noti=NOT05086

ANEXOS

ANEXO 1:

MASA MOLAR DEL GLP (GAS LICUADO DE PETROLEO)

		A	B	
HIDROCARBURO	FORMULA QUIMICA	% VOLUMETRICO	Mi(KG/KMOL)	(A*B)/100 (KG/KMOL)
METANO	CH4	0,07	16,043	0,0112301
CO2	CO2	0,01	44,01	0,004401
ETANO	C2H6	0,94	30,07	0,282658
PROPILENO	C3H6	0,02	42,081	0,0084162
PROPANO	C3H8	70,52	44,097	31,0972044
IBUTANO	C4H10	10,6	58,12	6,16072
N BUTANO	C4H10	17,54	58,12	10,194248
I BUTILENO	C4H8	0,1	56,11	0,05611
IPENTANO	C5H12	0,19	72,05	0,136895
NPENTANO	C5H12	0,01	72,15	0,007215
			MASA MOLAR GLP	47,9590977 KG/KMOL

- La composición química se basa en un análisis cromatográfico del GLP, realizado por PETROCOMERCIAL, filial de PETROECUADOR.
- Fuente: Los autores.

ANEXO 2

NORMAS ACTUALES DE GESTION AMBIENTAL

NTE INEN 2204:2002

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de gasolina.

1. OBJETO

1.1. Esta norma establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidas por fuentes móviles terrestres (vehículos automotores) de gasolina.

2. ALCANCE

2.1. Esta norma se aplica a las fuentes móviles terrestres de más de tres ruedas.

2.2. Esta norma no se aplica a las fuentes móviles que utilicen combustibles diferentes a gasolina.

2.3. Esta norma no se aplica a motores de pistón libre, motores fijos, motores náuticos, motores para tracción sobre rieles, motores para aeronaves , motores para tractores agrícolas, maquinarias y equipos para uso en construcciones y aplicaciones industriales.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

3.1. **Año modelo.** Año que identifica el de producción del modelo de la fuente móvil.

3.2. **Área frontal.** Área determinada por la proyección geométrica de las distancias básicas del vehículo sobre su eje longitudinal el cual incluye llantas pero excluye espejos y deflectores de aire a un plato perpendicular al eje longitudinal del vehículo.

3.3. **Certificado de la casa fabricante.** Documento expedido por la casa fabricante de un vehículo automotor en el cual se consignan los resultados de la medición de las emisiones de contaminantes del aire (por el escape y evaporativas) provenientes de los vehículos prototipo seleccionados como representativos de los modelos nuevos que saldrán al mercado.

3.4. **Ciclo.** Es el tiempo necesario para que el vehículo alcance la temperatura normal de operación en condiciones de marcha mínima o ralentí. Para las fuentes móviles equipadas con electroventilador, es el período que transcurre entre el encendido del ventilador del sistema de enfriamiento y el momento en que el ventilador se detiene.

3.5. **Ciclos de prueba.** Un ciclo de prueba es una secuencia de operaciones estándar a la que es sometido un vehículo automotor o un motor, para determinar el nivel de emisiones que producen. Para los propósitos de esta norma, los ciclos que se aplican son los siguientes:

3.5.1. *Ciclo ECE – 15 + EUDC.* Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos, de diesel o gasolina, definidos en la directiva 93/59/EEC.

3.5.2. *Ciclo FTP – 75.* Es el ciclo de prueba dinámico establecido por la agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos, de gasolina o diesel, y publicado en el Código Federal de Regulación, partes 86 a 99.

3.5.3. *Ciclo transiente pesado.* Es el ciclo de prueba de estado transitorio establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para la medición de emisión de motores diesel y gasolina utilizada en vehículos pesados el cual se encuentra especificado en el Código Federal Regulación de ese país, CFR, título 40, Partes 86 a 99, subparte N.

3.6. **Dinamómetro.** Aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.

3.7. **Emisión de escape.** Es la descarga al aire de una o más sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso o, de alguna combinación de estos, proveniente el sistema de escape de una fuente móvil.

3.8. **Emisiones evaporativas.** Es la descarga al aire de una o más sustancias gaseosas, producto del funcionamiento normal del vehículo o de la volatilidad del combustible. Las emisiones evaporativas se desprenden desde varios puntos a lo largo del sistema de combustible de un vehículo automotor.

3.9. **Equipo de medición.** Es el conjunto completo de dispositivos, incluyendo todos los accesorios, para la operación normal de medición de las emisiones.

3.10. **Fuente móvil.** Es la fuente de emisión que por razón de su uso o propósito es susceptible de desplazarse propulsando por su propia fuente motriz. Para propósitos de esta norma, son fuentes móviles todos los vehículos automotores.

3.11. **Homologación.** Es el reconocimiento de la autoridad ambiental competente a los procedimientos de evaluación de emisiones o a los equipos o sistemas de medición o de inspección de emisiones, que dan resultados comparables o equivalentes a los procedimientos, equipos o sistemas definidos en esta norma.

3.12. **Informe técnico.** Documento que contiene los resultados de la medición de las emisiones del motor, operando en las condiciones contempladas en esta norma.

3.13. **Marcha mínima o ralentí.** Es la especificación de velocidad del motor establecidas por el fabricante o ensamblador del vehículo, requerida para mantenerlo funcionando sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas). Cuando no se disponga de la especificación del fabricante o ensamblador del vehículo, la condición de marcha mínima o ralentí se establecerá en un máximo de 1100 rpm.

3.14. **Masa máxima.** Es la masa equivalente al peso bruto del vehículo.

3.15. **Método SHED.** Procedimiento aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) para determinar las emisiones evaporativas en vehículos de gasolina mediante la recolección de estas en una cabina sellada en la que se ubica el vehículo sometido a prueba. SHED son las siglas correspondientes al nombre de dicho método (Sealed Housing for Evaporative Determination). Los procedimientos, equipos y métodos de medición utilizados se encuentran consignados en el Código Federal de Regulaciones en los Estados Unidos, partes 86 y 99; o en las directivas 91/441 EEC y 93/59 EEC.

3.16. **Motor.** Es la principal fuente de poder de un vehículo automotor que convierte la energía de un combustible líquido o gaseoso en energía cinética.

3.17. **Peso bruto del vehículo.** Es el peso neto del vehículo más la capacidad de carga útil o de pasajeros, definida en kilogramos.

3.18. **Peso neto del vehículo.** Es el peso real solo del vehículo en condiciones de operación normal con todo el equipo estándar de fábrica, más el combustible a la capacidad nominal del tanque.

3.19. **Peso de referencia.** Es el peso neto del vehículo más 100 kg.

3.20. **Peso del vehículo cargado.** Es el peso neto del vehículo más 136.08 kg (300 lb).

3.21. **Prueba estática.** Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo a temperatura normal de operación, en marcha mínima (ralentí), sin carga, en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas).

3.22. **Prueba dinámica.** Es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro, aplicando los ciclos de prueba descritos en la presente norma.

3.23. **Temperatura normal de operación.** Es aquella que alcanza el motor después de operar un mínimo de 10 minutos en marcha mínima (ralentí), o cuando en estas mismas condiciones la temperatura del aceite en el cárter del motor alcance 75°C o más. En las fuentes móviles equipadas con electroventilador esta condición es confirmada después de operar un ciclo.

3.24. **Vehículo automotor.** Vehículo de transporte terrestre, de carga o de pasajeros, que se utiliza en la vía pública, propulsado por su propia fuente motriz.

3.25. **Vehículo o motor prototipo o de certificados.** Vehículo o motor de desarrollo o nuevo, representativo de la producción de un nuevo modelo.

4. CLASIFICACION

Para los propósitos de esta norma, se establece la siguiente clasificación de los vehículos automotores:

4.1. Según la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), la siguiente clasificación se aplica únicamente para los ciclos de prueba FTP – 75 y ciclo transiente pesado:

4.1.1. *Vehículo liviano.* Es aquel vehículo automotor tipo automóvil derivado de éste, diseñado para transportar hasta 12 pasajeros.

4.1.2. *Vehículo mediano.* Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto vehicular es menor o igual a 3 860 kg, cuyo peso neto vehicular es menor o igual a 2 724 kg y cuya área frontal no exceda de 4.18 m². Este vehículo debe estar diseñado para:

4.1.2.1. Transportar carga o para convertirse en un derivado de vehículos de este tipo.

4.1.2.2. Transportar más de 12 pasajeros.

4.1.2.3. Ser utilizado u operado fuera de carreteras o autopistas y contar para ello con características especiales.

4.1.3. *Vehículo pesado*. Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto del vehículo sea superior a 3 860 kg, o cuyo peso neto del vehículo sea superior a 2 724 kg, o cuya área frontal excede de 4.18 m².

4.2. Según la Unión Europea, la siguiente clasificación se aplica únicamente para el ciclo de prueba ECE – 15 + EUDC.

4.2.1. *Categoría M*. Vehículos automotores destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas.

4.2.1.1. *Categoría M1*. Vehículos automotores destinados al transporte de hasta 8 personas más el conductor.

4.2.2. *Categoría N*. Vehículos automotores destinados al transporte de carga, que tengan por lo menos cuatro ruedas.

4.2.2.1. *Categoría N1*. Vehículos automotores destinados al transporte de carga con una masa máxima no superior a 3.5 toneladas.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1. Los importadores y ensambladores de vehículos nuevos deben obtener la certificación de emisiones expedidas por la casa fabricante o propietaria del diseño de vehículos y avalada por la autoridad competente del país de origen o de un laboratorio autorizado por ella. Los procedimientos de evaluación base para las certificaciones serán los establecidos para los ciclos FTP 75, ciclo transiente pesado ECE – 15 + EUDC, SHED (EEC 91/441 y 93/59 EEC), según las características del vehículo.

5.2. Los importadores y ensambladores están obligados a suministrar copias de la certificación de emisiones a quienes adquieran los vehículos.

5.3. La autoridad competente podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y ensambladores sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para la medición de las emisiones de escape, en condición de marcha o ralentí.

6. REQUISITOS

6.1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motores de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

6.1.1. Toda fuente móvil con motor de gasolina durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y temperatura normal de operación, no debe emitir al aire monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas en la siguiente tabla.

TABLA 1. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina. Marcha mínima o ralentí (prueba estática).

Año modelo	% CO		ppm HC	
	0 -1500	1500 – 3000	0 – 1500	1500 – 3000
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anteriores	5.5	6.5	1000	1200

6.2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclos FTP – 75 y ciclo transiente pesado (prueba dinámica).

6.2.1. Toda fuente móvil de gasolina que se importe o se ensamble en el país emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente tabla.

TABLA 2. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica)* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/km	HC + NOx g/km	NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas G/ensayo SHED
Vehículos livianos			2.10	0.25	0.62	FTP -75	2
Vehículos medianos	=< 3860	=< 1700	6.2	0.5	0.75		2
		1 700 - 3860	6.2	0.5	1.1		2
Vehículos	> 3 860		14.4	1.1	5.0	Transiente	3

pesados**	=					pesado	
	< 6 350						
	> 6 350		37.1	1.9	5.0		4
* prueba realizada a nivel del mar							
** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power – hora)							

6.3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles de gasolina. Ciclo ECE – 15 + EUDC (Prueba dinámica).

6.3.1. Toda fuente móvil con motor de gasolina no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas, en cantidades superiores indicadas en la siguiente tabla.

TABLA 3. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/km	HC + NOx g/km	NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA
M1 ⁽¹⁾	=< 3 500		2.72	0.97	ECE 15 + EUDC	2
M1 ⁽²⁾ , N1		< 1 250	2.72	0.97		2
		>1250<1700	5.17	1.4		2
		> 1 700	6.9	1.7		2
* Prueba realizada a nivel del mar						
(1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2.5 toneladas.						
(2) Vehículos que transportan más de 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2.5.						

7. METODO DE ENSAYO

7.1. Determinación de la concentración de emisiones del tubo de escape en condiciones de marcha mínima o ralenti.

7.1.1. Seguir el procedimiento descrito en la NTE INEN 2 203.

NTE INEN 2203:99

Gestión ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí” prueba estática.

1. OBJETO

1.1. Esta norma establece el método de ensayo para determinar la concentración de las emisiones provenientes del sistema de escape de vehículos equipados con motor de encendido por chispa, en condiciones de marcha mínima o “ralentí”.

2. ALCANCE

2.1. Esta norma se aplica a los vehículos automotores cuyo combustible es gasolina.

3. DEFINICIONES

3.1. Par los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 2204, y las que a continuación se detallan:

3.1.1. *Aislamiento electromagnético*. Característica del equipo de medición que impide la alteración en sus lecturas por causa de radiaciones electromagnéticas externas.

3.1.2. *Calibración de un equipo de medición*. Operación destinada a llevar un instrumento de medida al estado de funcionamiento especificado por el fabricante para su utilización.

3.1.3. *Motor de encendido por chispa*. Es aquel en el cual la reacción de la mezcla aire/combustible se produce a partir de un punto caliente, generalmente una chispa eléctrica,

3.1.4. *Gas patrón*. Gas o mezcla de gases de concentración conocida, certificada por el fabricante del mismo, y que se emplea para la calibración de equipos de medición de emisiones de escape.

3.1.5. *Autocalibración*. Es la rutina en la cual el equipo verifica el funcionamiento óptimo de todos sus componentes instrumentales y realiza una comparación con los patrones internos incorporados por el fabricante del mismo.

3.1.6. *Exactitud*. Grado de concordancia (la mayor o menor cercanía) entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando.

3.1.7. *Repetibilidad*. Grado de concordancia de resultados de sucesivas mediciones de la misma variable, realizadas en iguales condiciones de medida.

3.1.8. *Tiempo de respuesta del equipo de medición.* Es el período en segundos que el equipo requiere para medir y entregar los resultados de los ensayos realizados.

3.1.9. *Tiempo de calentamiento del equipo de ensayo.* Es el período en segundos entre el momento en que el equipo es energizado o encendido y el momento en que cumple con los requerimientos de estabilidad, para realizar la lectura de la variable.

3.1.10. *Sonda de prueba.* Tubo o manguera que se introduce a la salida del sistema de escape del vehículo automotor para tomar una muestra de las emisiones.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1. Los importadores y distribuidores de equipos de medición de emisiones deben obtener una certificación de cumplimiento, expedida por la casa fabricante o propietaria del diseño del equipo o de un laboratorio autorizado por ella y avalada por la autoridad competente del país de origen. El procedimiento de evaluación base los equipos de medición a ser utilizados debe cumplir con la International Recomendación OIML R 99.

4.2. Los importadores y distribuidores están obligados a suministrar copia de la certificación establecida en el numeral 4.1, a quienes adquieran los equipos.

4.3. La autoridad competente, podrá en cualquier momento verificar la legalidad de las certificaciones presentadas por los importadores y distribuidores, sobre el cumplimiento de los requisitos establecidos en esta norma, así como las características de funcionamiento de los equipos y procedimientos utilizados para determinar la concentración de emisiones de escape en condiciones de marcha mínima o “ralentí”, prueba estática.

5. METODO DE ENSAYO

5.1. Fundamento.

5.1.1. El principio de operación se base en la absorción de luz infrarroja no dispersa de gases para la determinación de hidrocarburos, monóxido y dióxido de carbono.

5.1.1.1. El oxígeno se mide utilizando una celda de combustible (fuel cell). Esto no excluye el uso de equipos con otro principio de operación, siempre y cuando sean homologados.

5.2. Equipos

5.2.1. Ver numeral 4, Disposiciones Generales.

5.2.2. Capacidad de autocalibración. Los equipos de medición deben tener incorporada la función propia de autocalibración, la cual se debe realizar automáticamente cada vez que el equipo es encendido, o manualmente cada vez que el usuario lo requiera.

5.2.3. Los equipos de medición deben contar con un dispositivo de impresión directa de los resultados y de la identificación del vehículo automotor medido.

5.2.4. Los equipos deben contar con un tacómetro para la medición de las revoluciones del motor.

5.2.5. El equipo debe disponer de características de seguridad que garanticen la protección del operador.

5.3. Calibración

5.3.1. La calibración del equipo se debe realizar siguiendo estrictamente las especificaciones de frecuencia del fabricante del equipo. En caso que éstas no estén disponibles, la calibración se debe realizar, como máximo, cada tres meses.

5.3.2. El equipo se debe calibrar luego de cada mantenimiento correctivo.

5.3.3. La calibración anterior es independiente de la autocalibración automática que realiza el equipo cada vez que es encendido.

5.3.4. El gas de calibración debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma ISO 6145. Este gas debe contar con una certificación emitida por el fabricante, de acuerdo con lo establecido en la norma anteriormente indicada.

5.4. Procedimiento de medición

5.4.1. Antes de la prueba, realizar las verificaciones siguientes:

5.4.1.1. Someter al equipo a un período de calentamiento y estabilización, según las especificaciones del fabricante.

5.4.1.2. Retirar todo material en forma de partículas y eliminar toda sustancia extraña o agua, que se hayan acumulado en la sonda de prueba y que puedan alterar las lecturas de la muestra.

5.4.1.3. Revisar que la transmisión del vehículo esté en neutro (transmisión manual) o parqueo (transmisión automática).

5.4.1.4. Revisar que el control manual del ahogador (choque), no se encuentre en operación, y que los accesorios del vehículo (luces, aire acondicionado, etc.), estén apagados.

5.4.1.5. Revisar en el vehículo que el sistema de escape se encuentre en perfectas condiciones de funcionamiento y sin ninguna salida adicional a las del diseño que provoque dilución de los gases de escape o fugas de los mismos. Las salidas adicionales a las contempladas en el diseño original no deben ser aceptadas, aunque éstas se encuentren bloqueadas al momento de la prueba.

5.4.1.6. Si el vehículo no cumple con las condiciones establecidas en el numeral 5.4.1.5, la prueba no se debe realizar hasta que se corrijan aquellas.

5.4.1.7. Revisar que el nivel de aceite en el cárter esté entre el mínimo y máximo recomendado por el fabricante, con el motor apagado y el vehículo en posición horizontal.

5.4.1.8. Encender el motor del vehículo y verificar que se encuentre a la temperatura normal de operación.

5.4.2. *Medición*

5.4.2.1. Conectar el tacómetro del equipo de medición al sistema de encendido del motor y verificar las condiciones de marcha mínima o “ralentí”.

5.4.2.2. Con el motor a temperatura normal de operación y en condición de marcha mínima o “ralentí” introducir la sonda de prueba en el punto de salida del sistema de escape del vehículo. Tener la seguridad de que la sonda permanezca fija dentro del sistema de escape mientras dure la prueba.

5.4.2.3. Esperar el tiempo de respuesta del equipo de medición dado por cada fabricante.

5.4.2.4. Imprimir las lecturas estabilizadas de las emisiones medidas.

5.4.2.5. Si, por diseño, el vehículo tiene doble sistema de escape, medir por separado cada salida. El valor del resultado final será la mayor lectura registrada.

5.5. Informe de resultados

5.5.1. El resultado final será la mayor lectura registrada de los valores de las lecturas obtenidas en el numeral 5.4.2.4.

5.5.2. La institución que realiza la prueba debe emitir un informe técnico con los resultados de la misma, adjuntando el documento de impresión directa del equipo de medición.

ANEXO 3

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO DEL GLP



B. G. LYNE STS 160

MIX

06-Jul-09

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO
TERMINAL EL SALITRAL
CÁLCULO DE %p y %v

DATOS

COMPONENTES	AREA %	CTE.	A X CTE.	%p	G.S.	%p/G.S.	%V
METANO	0,06	0,45	0,0	0,04	0,3	0,132	0,07
CO2	0,01	0,67	0,0	0,01	0,827	0,012	0,01
ETANO	0,74	0,59	0,4	0,64	0,356	1,797	0,94
PROPILENO	0,02	0,65	0,0	0,02	0,523	0,036	0,02
PROPANO	68,42	0,68	46,5	68,17	0,507	134,450	70,52
IBUTANO	10,94	0,71	7,8	11,38	0,563	20,214	10,60
BUTENO	0,00	0,697	0,0	0,00	0,6	0,000	0,00
NBUTANO	19,47	0,68	13,2	19,40	0,58	33,444	17,54
I BUTILENO	0,11	0,683	0,1	0,11	0,602	0,183	0,10
IPENTANO	0,22	0,707	0,2	0,23	0,625	0,365	0,19
NPENTANO	0,01	0,69	0,0	0,01	0,631	0,016	0,01
	100,00		68,3	100,00		190,6479	100,00

	%P	%V
PROPANOS	68,87	71,56
BUTANOS	31,13	28,44
TOTAL C3 + C4	100,00	100,00

PENTANOS	0,20
----------	------

[Handwritten Signature]
 Ing. Erwin García Romero
INSEPET
SURVEYOR

TERMINAL EL SALITRAL
[Handwritten Signature]
Félix Murillo R.
Gerente de Ventas

Gerencia Regional Sur: Km. 6,5 Vía a la Costa - Telfs.: 2598470 / 2850934 / 914 / 907 Fax: 2850237 - Casilla 10829
 Planta Salitral Telfs.: 2873765 / 0555 Comercialización Telfs: 2851147 / 0281 • Terminal Pascuales Telfs.: 2893747 / 731
 Fuel Oil: 2874555 / 3113 • Tres Bocas: 2873710 • Ecuafuel: 2391354 • Capacitación: 2852982 / 3978
 Guayaquil - Ecuador



CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD DE GLP MIX
TERMINAL EL SALITRAL

PCO- IMPG - 006

CERTIFICADO	FECHA DE MUESTREO	PROCEDENCIA	PARTIDA	HORA DE MUESTREO
160	06/07/2009	Pta. Arenas		19:42

REQUISITOS SEGUN NORMA INEN 675	METODO DE ANALISIS		MAXIMO	UNIDAD	RESULTADOS
	NTE	ASTM			
GRAVEDAD ESPECIFICA A 60/60 F	INEN 684	D1657			0,529
PRESION DE VAPOR A 37.8 C	INEN 676	D1287	200	PSI	141
CONTENIDO DE AZUFRE	INEN	D6667	343	mg/m3	2 (1 PPM)
CORROSION A LA LAMINA DE COBRE	INEN 678	D1838	1		1a
PENTANOS Y MAS PESADOS (C5+)	INEN 683	D2163	2	%V	0,2
TEMPERATURA DE EVAPORACION DEL 95%	INEN 677	D1837	36	°F	26
RESIDUOS DE EVAPORACION DE 100CC	INEN 681	D2158	0,05	%V	0

COMPOSICION BASE	METODO	% VOLUMEN	% PESO
PROPANO	CROMATOGRAFIA DE GASES	72	69
BUTANO	CROMATOGRAFIA DE GASES	28	31

OBSERVACIONES GENERALES: B.G. LYNE

PETROCOMERCIAL
FILIAL PETROECUADOR
TERMINAL EL SALITRAL

JEFE TERMINAL DNH

 SUBP-ET CESAR CORREA.
 ROL:

DNH

 NOMB: PAULINA ORDIZ
 CC: 09-18295593



PROVEEDOR

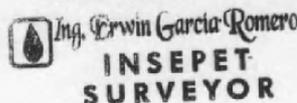
NOMB:
 CC:

INSPECTOR INDEPENDIENTE

 NOMB: ERWIN GARCIA R.
 CC: 09-05099099

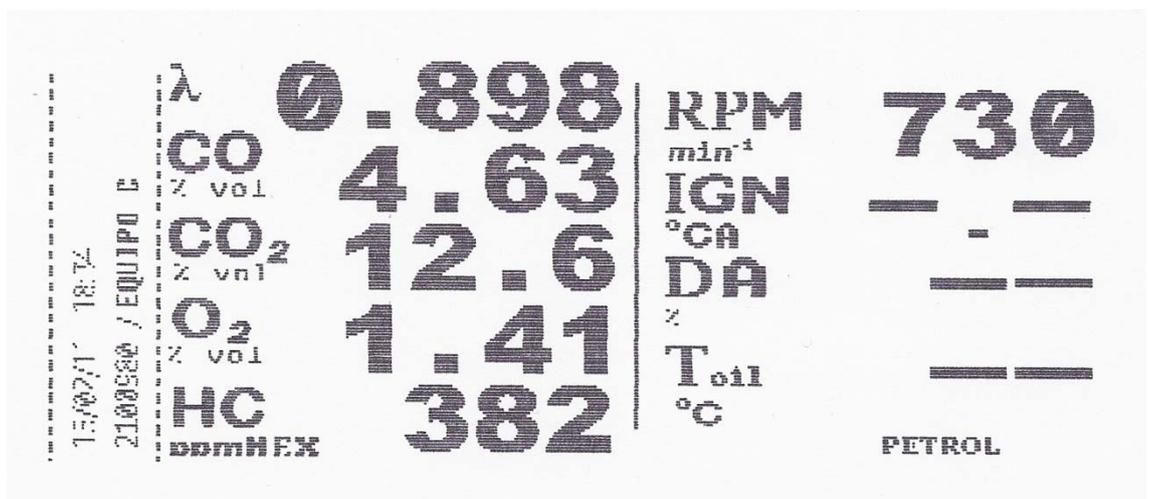
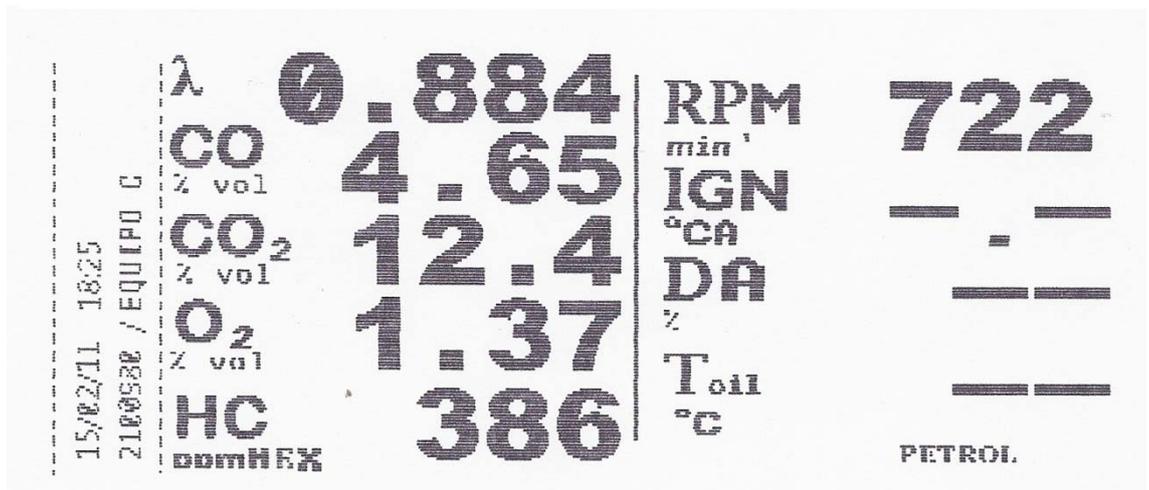
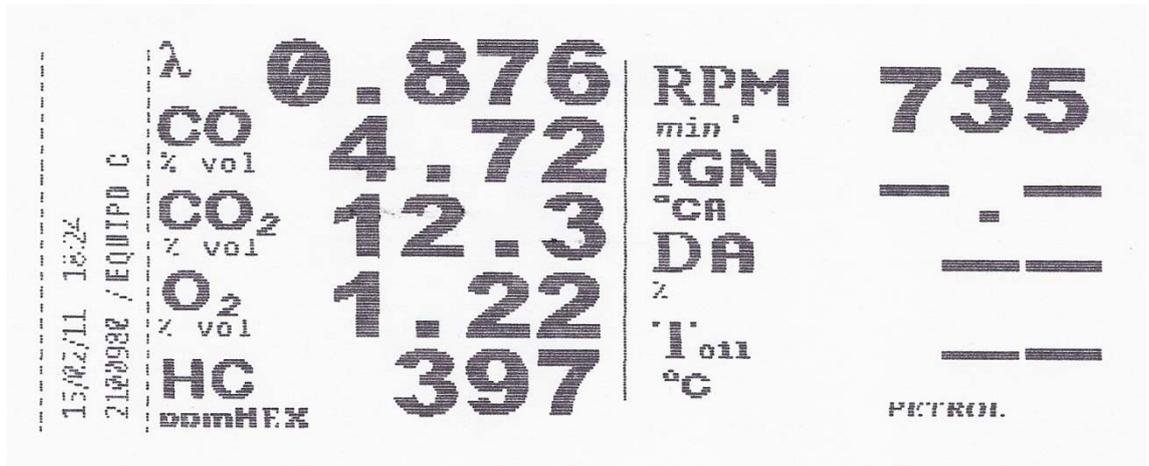
PETROECUADOR

NOMB:
 ROL:

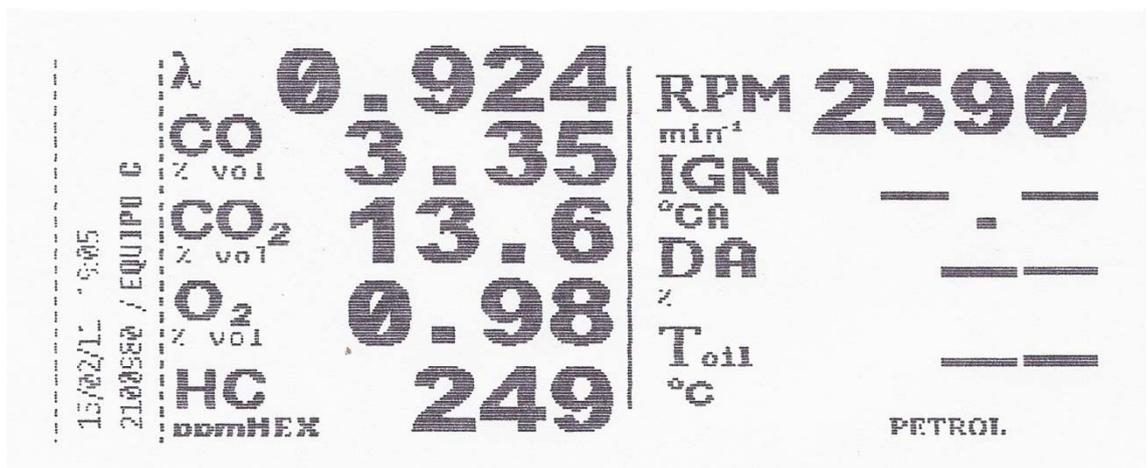
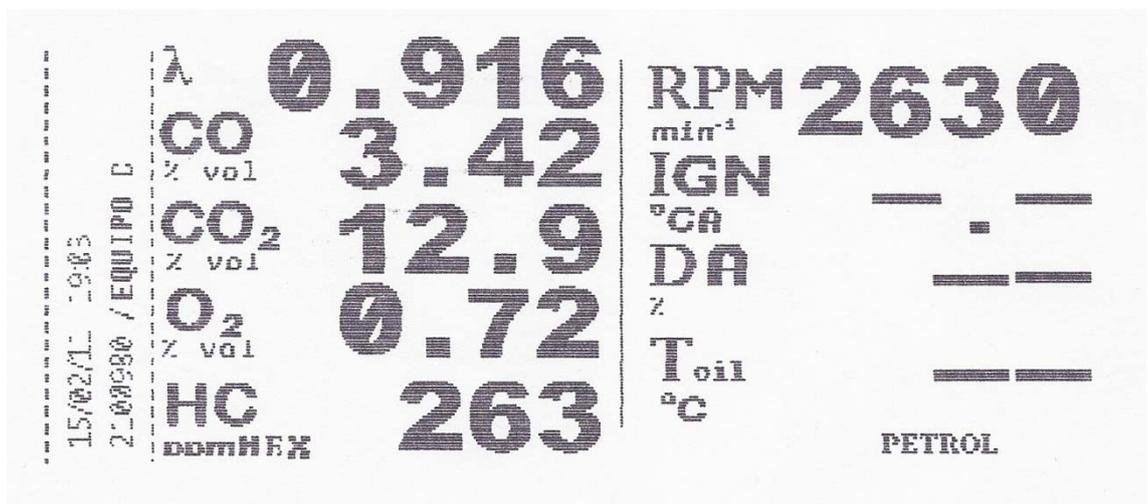
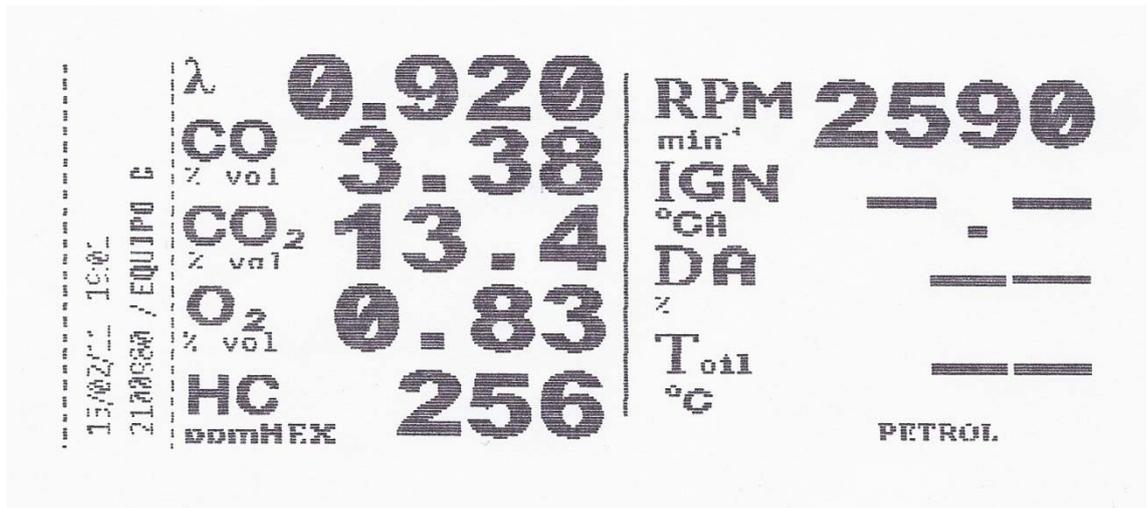


ANEXO 4

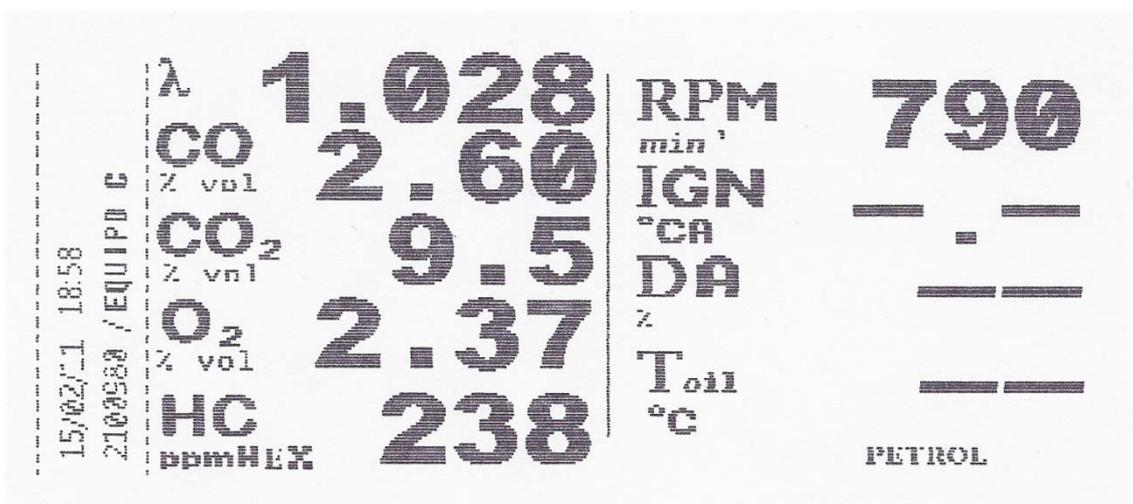
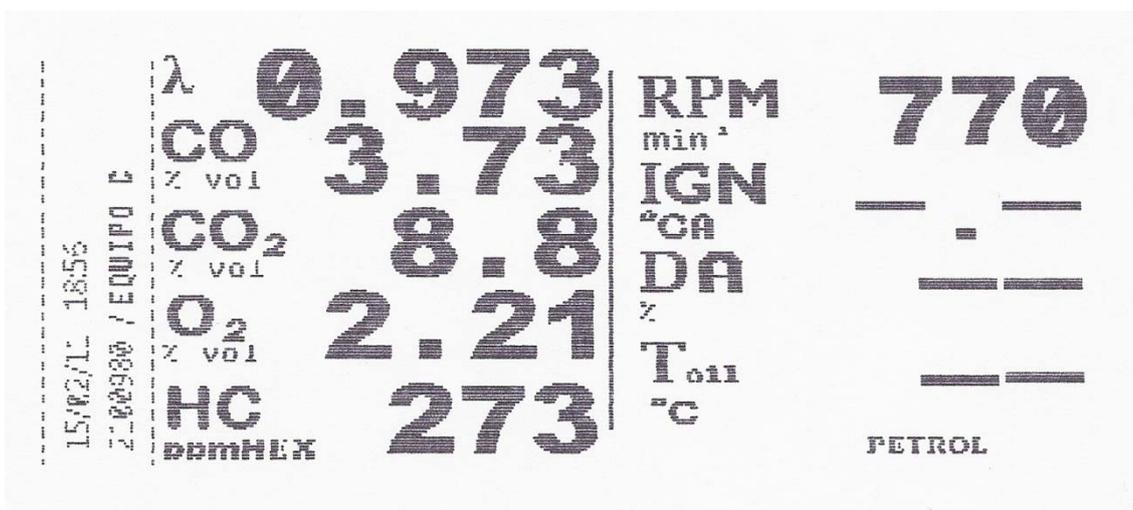
PRUEBA DE GASES CON GASOLINA REGIMEN RALENTI



PRUEBA DE GASES CON GASOLINA REGIMEN CRUCERO



PRUEBA DE GASES CON GLP REGIMEN RALENTI



PRUEBA DE GASES CON GLP REGIMEN CRUCERO

