



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA
DE CONTROL ELECTRÓNICO DE EMISIONES PARA UN
VEHÍCULO ALIMENTADO POR CARBURADOR**

TENESACA GUAMÁN LUIS RAMIRO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Febrero, 05 de 2013

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LUIS RAMIRO TENESACA GUAMÁN

Titulada:

**“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL ELECTRÓNICO DE EMISIONES PARA UN VEHÍCULO
ALIMENTADO POR CARBURADOR”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Dr. Mario Audelo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Emilia Aimacaña
ASESORA DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LUIS RAMIRO TENESACA GUAMÁN

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DE EMISIONES PARA UN VEHÍCULO ALIMENTADO POR CARBURADOR”

Fecha de Exanimación: 05 de febrero de 2013

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Dr. Mario Audelo (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Emilia Aimacaña (ASESORA)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Luis Ramiro Tenesaca Guamán

DEDICATORIA

El presente trabajo en el cual he puesto todo mi esfuerzo y dedicación quiero dedicarles primeramente a mis padres Luis y Anita, por brindarme todo su apoyo incondicional y confiar en mí durante esta etapa de mi vida.

También a mis hermanas Lucy, Martha y Miriam que me han acompañado y apoyado durante el logro de este sueño.

Luis Ramiro Tenesaca Guamán

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres por darme la vida y ser la razón para seguir adelante.

Un agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de manera especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz por haber permitido obtener mi profesión y cumplir uno de mis sueños. A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, que tuvieron la paciencia de compartir sus sabios conocimientos, que me servirán en mi vida profesional de manera especial al Dr. Mario Audelo e Ing. Emilia Aimacaña por guiarme durante la ejecución de este trabajo.

A todas las empresas en las cuales permitieron adquirir más conocimientos sobre esta profesión; y a todos mis amigos, compañeros y personas que de una u otra manera estuvieron involucrados durante todo el trayecto de mi carrera y la ejecución de este trabajo.

Luis Ramiro Tenesaca Guamán

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	2
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	2
2.	FUNDAMENTO TEÓRICO.....	3
2.1	Gases residuales de la combustión de operación de un motor	3
2.1.1	<i>Tipos de gases contaminantes causados en la combustión de un motor</i>	3
2.1.2	<i>Efectos causados por los gases contaminantes</i>	5
2.2	Sistemas de control de emisiones utilizados en los vehículos de alimentación por carburador e inyección electrónica.....	5
2.2.1	<i>Sistema de recirculación de gases de escape (EGR)</i>	5
2.2.2	<i>Ventilación positiva del cárter</i>	8
2.2.3	<i>Reciclado de vapores de combustible, cánister</i>	9
2.2.4	<i>Catalizadores</i>	11
2.3	Normas que controlan el nivel de emisiones	14
2.3.1	<i>Normativa Europea sobre emisiones [2]</i>	14
2.3.2	<i>Normas Ecuatorianas sobre el control de emisiones [3]</i>	16
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE EMISIONES	22
3.1	Estimación del número de vehículos alimentados por carburador	22
3.2.1	<i>Selección de software</i>	25
3.2.2	<i>Selección de componentes eléctricos y electrónicos</i>	29

3.3	Selección de sensores y actuadores	43
3.3.1	<i>Generalidades</i>	43
3.3.2	<i>Selección de actuadores</i>	46
3.3.3	<i>Selección de sensores</i>	46
3.4	Diseño electrónico del sistema	50
3.4.1	<i>Generalidades</i>	50
3.4.2	<i>Programación del microcontrolador</i>	50
3.4.3	<i>Simulación del sistema de control electrónico</i>	51
3.4.4	<i>Señales de entrada y salida, hacia y desde el microcontrolador</i>	51
3.4.5	<i>Adecuación y diseño electrónico de las señales de entrada</i>	52
3.4.6	<i>Adecuación y diseño electrónico de las señales de salida</i>	55
3.4.7	<i>Diseño electrónico del sistema de control de emisiones</i>	56
3.4.8	<i>Diseño de la placa del sistema de control</i>	57
3.4.8	<i>Construcción de la placa del sistema de control</i>	57
4.	INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	58
4.1	Puesta a punto del motor del vehículo al cual se va instalar el sistema	58
4.1.1	<i>ABC DE MOTOR MAZDA B2000 1990</i>	58
4.2	Análisis de gases antes de la instalación del sistema de control electrónico de emisiones	61
4.3	Instalación de sensores en el motor	62
4.3.1	<i>Instalación del trompo de temperatura</i>	62
4.3.2	<i>Instalación del sensor de oxígeno</i>	63
4.4	Instalación de actuadores en el motor.....	64
4.4.1	<i>Instalación de sistema EGR</i>	64
4.4.2	<i>Instalación de sistema EVAP</i>	66
4.4.3	<i>Ventilación positiva del cárter</i>	67

4.4.4	<i>Instalación del catalizador</i>	68
4.5	Planes de mantenimiento de los sistemas anticontaminantes	68
5.	ANÁLISIS DE DATOS	74
5.1	Análisis de gases después de la instalación de dispositivos anticontaminantes	74
5.2	Interpretación de los datos obtenidos en los análisis de gases antes y después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes	75
5.3	Análisis técnico-económico del sistema	80
5.3.2	<i>Costo de producción</i>	83
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
6.1	Conclusiones.....	84
6.2	Recomendaciones	85

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Límites de emisiones establecidos por cada norma Euro.....	16
2	Límites permitidos por fuentes móviles con motor a gasolina – marcha mínima o ralentí (prueba estática).....	17
3	Límites permitidos por fuentes móviles con motor a gasolina – marcha mínima o ralentí (prueba dinámica), a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).....	17
4	Límites permitidos por fuentes móviles con motor a gasolina – marcha mínima o ralentí (prueba dinámica), a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	18
5	Límites permitidos por fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica)*, a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).....	18
6	Límites permitidos por fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica)*, a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	19
7	Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor diesel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	19
8	Valores de $z_{\alpha/2}$ más usuales.....	22
9	Resultados de las encuestas realizadas en 10 puntos de la Ciudad de Cañar.....	22
10	Características del PIC 16F877A.....	29
11	Tabla de pines con sus funciones especiales.....	31
12	Características del transistor NPN.....	34
13	Selección de condensadores.....	36
14	Características del relé.....	37
15	Descripción de pines de un LCD.....	38
16	Características del diodo zener.....	40
17	Especificaciones de un reloj oscilador.....	42
18	Características técnicas del vehículo.....	45
19	Análisis de gases antes de la instalación del sistema.....	62

20	Mediciones del punto más caliente en el tubo de escape	63
21	Análisis de gases después de la instalación del catalizador.....	74
22	Análisis de gases después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes.....	75
23	Análisis comparativo de datos.....	79
24	Análisis de costos de materiales.....	81
25	Análisis de costos de maquinas y herramientas.....	82
26	Análisis de costos de mano de obra.....	82
27	Análisis de costos de transporte.....	82
28	Costo de producción.....	83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Gases presentes en el escape de un motor Otto y Diesel.....	4
2 Válvula EGR neumática.....	6
3 Válvula EGR eléctrica.....	7
4 Configuración típica del sistema EGR.....	7
5 Ventilación abierta del cárter.....	8
6 Ventilación cerrada del cárter.....	9
7 Esquema interno del cánister.....	10
8 Esquema del sistema EVAP.....	11
9 Constitución de un catalizador.....	12
10 Catalizador de dos vías.....	13
11 Catalizador de tres vías.....	13
12 Procesos químicos en un catalizador de tres vías.....	14
13 Programa microcode studio.....	27
14 Simulador proteus.....	28
15 Diagrama de bloques.....	30
16 Diagrama de pines PIC 16F877A.....	31
17 Diagrama interno de un transistor planar NPN.....	34
18 Condensador electrolítico.....	35
19 Condensadores cerámicos.....	35
20 Símbolo electrónico de un relé.....	37
21 Conexión típica de un LCD 16 X 4.....	39
22 Símbolo electrónico de un diodo zener.....	39
23 Resistencias eléctricas.....	41
24 Símbolo de un diodo LED.....	41
25 Pines de un oscilador.....	42
26 Regulador de voltaje 7805.....	43
27 Conductor eléctrico (alambre).....	43
28 Relación lambda para mezclas pobres y ricas.....	49
29 Diagrama de flujo del sistema de control.....	51

30	Circuito de alimentación del sistema.....	52
31	Circuito de señal de temperatura.....	53
32	Circuito de las revoluciones del motor.....	53
33	Circuito de la señal del sensor de oxígeno.....	54
34	Circuito amplificador de señal del sensor de oxígeno.....	54
35	Circuito para calefactor (sensor de oxígeno).....	55
36	Circuito de activación de electroválvulas del sistema EGR y EVAP.....	56
37	Diseño electrónico del sistema de control.....	56
38	Diseño de la placa del sistema de control (ARES).....	57
39	Construcción de la placa del sistema de control.....	57
40	Limpieza del carburador.....	59
41	Calibración de distribuidor.....	60
42	Bujías carbonizadas.....	60
43	Cambio de filtro de aire.....	61
44	Analizador de gases.....	62
45	Trompo de temperatura averiado.....	63
46	Determinación del punto más caliente en el escape.....	63
47	Punto en el que se montará el sensor de oxígeno.....	64
48	Sensor de oxígeno montado en el tubo de escape.....	64
49	Medición de vacío en el carburador.....	65
50	Solenoides del sistema EGR.....	65
51	Instalación de la válvula EGR.....	66
52	Tubo para toma de gases de escape.....	66
53	Toma de vapores de HC desde el tanque de combustible.....	67
54	Instalación del solenoide del sistema EVAP.....	67
55	Ventilación positiva del cárter.....	67
56	Brida para sostener el catalizador.....	68
57	Catalizador montado en el tubo de escape.....	68
58	Filtro cánister.....	70
59	Desmontaje de la EGR.....	71
60	Prueba de PCV.....	71

61	Estado de un sensor de oxígeno.....	72
62	Comparación de resultados a 850 RPM.....	80
63	Comparación de resultados a 2500 RPM.....	80

LISTA DE ABREVIACIONES

GLP	Gas licuado de petróleo
PMS	Punto muerto superior
PMI	Punto muerto inferior
CO	Monóxido de carbono
NO _x	Óxidos de nitrógeno
NO	Monóxido de nitrógeno
NO ₂	Bióxido de nitrógeno
HC	Hidrocarburos
CO ₂	Dióxido de carbono
N ₂	Nitrógeno
O ₂	Oxígeno
H ₂ O	Agua
EGR	Recirculación de gases de escape
EVAP	Control de emisiones de combustible evaporado
PCV	Ventilación positiva del cárter
ECU	Unidad electrónica de control
RPM	Revoluciones por minuto (del motor)
Kg	Kilogramos
PM	Partículas materiales
Euro	Normativa europea sobre emisiones
HCT	Masa combinada total de hidrocarburos
HCNM	Hidrocarburos no metanos
mg/km	Miligramo/kilómetro
mS	Milisegundos
μS	Microsegundos
mA	Miliamperios
mW	Miliwatios
μF	Microfaradios
pF	Picofaradios
v	Voltios

IDI	Inyección indirecta
DI	Inyección directa
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
Msnm	Metros sobre nivel de mar
Ppm	Partes por millón
g/km	Gramos/kilometro
g/bHP _h	Gramos/brake horse power – hora
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
EPA	Agencia de Protección Medioambiental (Environmental Protection Agency)
EEC	Comunidad Económica Europea (European Economic Community)
CINAE	Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana
AEADI	Asociación Ecuatoriana Automotriz del Interior
PIC	Controlador periférico de interface (peripheral interface controller)
ISIS	Sistema de enrutado de esquemas inteligentes
VSM	Sistema virtual de modelado
ARES	Software de edición y ruteo avanzado
CPU	Unidad central de procesamiento
RAM	Memoria de acceso aleatorio (random access memory)
EEPROM	Memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente (electrically erasable programmable read only memmory)
NPN	Negativo positivo negativo (pines de un transistor planar)
PNP	Positivo negativo positivo (pines de un transistor planar)
NA	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
LCD	Pantalla de cristal líquida
NTC	Transistor de coeficiente de temperatura negativo (negative temperature coefficient)
LED	Diodo emisor de luz
ABC	Mantenimiento que se realiza al motor periódicamente

g.1	Grados de libertad
EPP	Equipos de protección personal

LISTA DE ANEXOS

- A Programación del PIC
- B Simulación del sistema de control (proteus)
- C Análisis de gases antes de la instalación del sistema (a ralentí)
- D Análisis de gases antes de la instalación del sistema (a 2500 RPM)
- E Análisis de gases después de la instalación del catalizador (a ralentí)
- F Análisis de gases después de la instalación del catalizador (a 2500 RPM)
- G Análisis de gases después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes (a ralentí)
- H Análisis de gases después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes (a 2500 RPM)
- I Formato de encuesta para obtener información sobre la muestra

RESUMEN

Con el desarrollo de este proyecto se logra aplicar todos los conocimientos adquiridos durante los estudios realizados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo carrera de Ingeniería Automotriz, la cual viene formando profesionales con conocimientos científicos, éticos y morales, que aportan al desarrollo del país.

Este trabajo tiene como finalidad implementar un sistema de control electrónico de dispositivos anticontaminantes para vehículos alimentados por carburador y lograr disminuir el contenido de gases tóxicos que estos emiten debido a su limitada tecnología. Esto amerita el conocimiento del tipo de gases contaminantes que emiten esta clase de vehículos, y además las normas que controlan el nivel de emisiones y sus valores máximos permitidos.

El estudio de las nuevas tecnologías que incorporan los vehículos alimentados por inyección electrónica, sirven como base para la selección de los diferentes dispositivos anticontaminantes como el catalizador, válvula EGR, cánister, sensor de oxígeno y componentes electrónicos que se implementan en este proyecto; estos dispositivos cumplen la función de tratar los gases de escape antes de ser expulsados a la atmósfera. Para controlar el funcionamiento de los sistemas anticontaminantes, se diseña un sistema electrónico de control el cual hace la función de las modernas computadoras que incorporan los vehículos actuales.

La necesidad de llevar a cabo esta implementación, se debe a que un 30% del total de vehículos existentes en el lugar que se ejecuta este proyecto son a carburador.

Mediante mediciones realizadas antes, durante y después de la implementación de los dispositivos anticontaminantes y el sistema de control; se obtiene una reducción del 74% de monóxido de carbono, 65% de hidrocarburos y 4% de dióxido de carbono. Estos resultados aportan positivamente a los esfuerzos que hacen los gobiernos locales, con la finalidad de preservar el medioambiente en vista a los cambios climáticos que experimente el planeta por efecto de los gases nocivos que estas fuentes móviles emiten.

ABSTRACT

With the development of this Project, all the knowledge acquired at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo can be applied, studies carried out at the career of Automotive Engineering, form professionals whit a scientific, ethical and moral knowledge contributing to the country development.

The purpose of this research work is to implement an electronic system for vehicles of pollution control devices and to achieve carburetor fed by decreasing content of toxic gases emitted, due to, their limited technology. The knowledge deserves the type of contaminating gases emitted for this kind of cars, and also the standards which control the level of emissions and maximum values allowed.

The study of the new technologies which incorporate electronic injection fueled vehicles, are used as the basis for the selection of different pollution control devices, such as the catalyst, EGR, canister, oxygen sensor and electronic components deployed in this project; these devices perform the function of treating escape gases before they are discharged into the atmosphere. To control the operation of the systems antipollution an electronic control system is designed, which makes the function of modern computers which incorporate existing vehicles.

The need to perform this implement is because about 30% of the total vehicles in the execution place are running carburetor.

By means of measurements taken before, during and after the implement of pollution control devices and the control system, a reduction of about 74% carbon monoxide, 65% oil and 4% carbon dioxide are obtained. These results contribute to the efforts of local governments in order to preserve the environment due to the climatic changes experienced by the planet because of the harmful gases these sources emit.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la actualidad los avances tecnológicos de vehículos automotores es cada día más sorprendente y más aún en lo referente a la electrónica del vehículo empezando con el carburador hasta sistemas de última generación como es la inyección electrónica que llevan equipados sistemas de control de emisiones encaminándose de esta manera a la protección ambiental, confort y seguridad, debido a las exigencias de los gobiernos hacia los fabricantes de vehículos.

Estos nuevos sistemas buscan eliminar la cantidad de gases que se producen en la combustión haciéndolos recircular dentro del mismo motor o tratarlos para luego eliminar gran cantidad de los monóxidos, bióxidos e hidrocarburos no combustionados que son los principales causantes de la contaminación ambiental y de enfermedades respiratorias en el ser humano si son inhalados en gran cantidad

Con la incorporación de estas nuevas tecnologías en los vehículos nuevos el porcentaje de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera es menor que en los alimentados por carburador los cuales no cuentan con estos sistemas.

Siendo de preocupación mundial el control de gases contaminantes se han creado políticas medioambientales que obligan a los fabricantes de automóviles a buscar soluciones para disminuir la contaminación ambiental.

1.2 Justificación

Debido a las exigencias de reducir las emisiones de gases nocivos y al afán de preservar el medioambiente, el avance tecnológico en los automotores con sistemas de inyección electrónica ha permitido cumplir con las exigencias medioambientales. Pero no siendo así para algunos vehículos con alimentación convencional en los cuales no existen sistemas de control de emisiones y por lo tanto la emisión de gases nocivos hacia la atmósfera son directos sin ser tratados, ni controlados y en mayor cantidad.

En el país el uso de vehículos alimentados convencionalmente aún es elevado y por lo tanto la contaminación ambiental con estos gases es mayor, se ha visto necesario diseñar un sistema de control de emisiones electrónico para automotores alimentados por

carburador y de esta manera lograr disminuir en parte la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera. Estos sistemas disminuyen el impacto ambiental que estos gases producen en vista a que el efecto invernadero que el planeta experimenta es causado en gran parte por los gases contaminantes emitidos por estas fuentes móviles.

Este proyecto tiene como finalidad diseñar, construir e implementar un sistema electrónico de control de emisiones y analizar los resultados obtenidos con la implementación de este sistema, además que este dispositivo sea accesible económicamente y esté al alcance de todas las personas propietarios de vehículos alimentados a carburador que estén conscientes del daño que causan este tipo de automóviles y de esta manera preservar el medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Diseñar, construir e implementar un sistema de control electrónico de emisiones para vehículos que son alimentados por carburador.

1.3.2 Objetivos específicos

Conocer cuáles son los gases residuales de la combustión de un motor y sus efectos a la salud y su impacto ambiental.

Conocer los diferentes sistemas de control de emisiones empleados en vehículos alimentados por carburador y de inyección electrónica.

Investigar cuales son las normas que controlan y regulan el nivel de emisiones.

Seleccionar adecuadamente los dispositivos de control de emisiones que se emplearán en este proyecto.

Analizar los resultados obtenidos mediante el sistema de control electrónico de emisiones construido.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Gases residuales de la combustión de operación de un motor

2.1.1 *Tipos de gases contaminantes causados en la combustión de un motor.* Desde el origen del petróleo luego de varios procesos se obtienen muchos derivados como el Kerosene, el gas-oíl, GLP etc. pero entre ellos y el derivado más importante es la gasolina. [1]

Este derivado es importante porque ha servido como combustible en algunos motores de combustión interna de ignición por chispa; cuando el pistón desciende desde el PMS hacia PMI ingresa la mezcla aire/combustible previamente preparada en el carburador, luego el pistón asciende desde el PMI al PMS comprimiendo la mezcla aumentando de esta manera de presión y temperatura en la cámara de combustión; antes que el pistón llegue al PMS se genera la chispa en las bujías inflamando la mezcla y como resultado se obtiene una fuerza que hace descender al pistón y este mediante otros mecanismos biela-manivela transforma el movimiento alternativo en movimiento rotativo y que posteriormente es transmitido a las ruedas para mover el vehículo.

Como resultado de la reacción química del combustible en la cámara de combustión se obtiene los gases residuales de la combustión, si esta fuese completa a la salida solo se obtendrían gases inofensivos como dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno etc. Pero puesto a que la combustión nunca va ser completa debido a muchos parámetros como temperatura, presión y otros factores que intervienen en la combustión, estos gases resultan ser tóxicos y perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

Gases contaminantes productos de la combustión

a) Gases tóxicos:

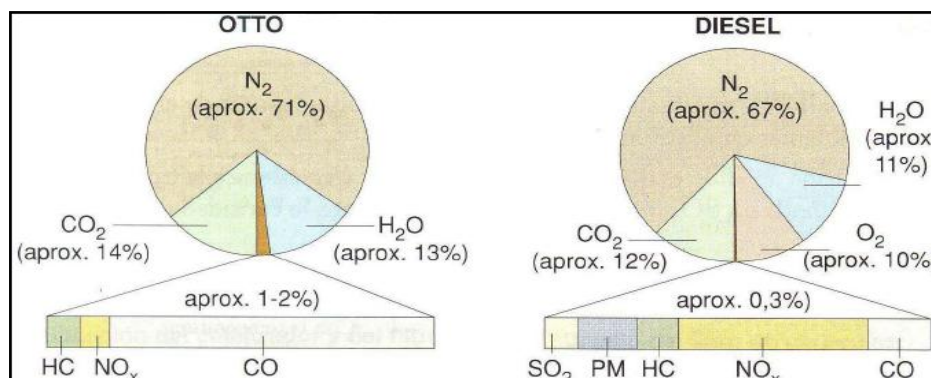
- *Monóxido de carbono (CO).*- Es el producto de una combustión incompleta con combinación insuficiente del carbono de la gasolina con el oxígeno del aire, es decir el carbono se oxida parcialmente. Si esta combinación fuese la correcta el resultado de la combustión sería de un gas inofensivo como el dióxido de carbono. Este gas resulta ser muy peligroso e incluso letal en grandes concentraciones.

- *Óxido de nitrógeno (NO_x).*- Debido a las altas temperaturas y presiones que imperan en un motor, los átomos de nitrógeno y oxígeno reaccionan dando lugar a monóxido de nitrógeno (NO), bióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos de nitrógeno que de manera colectiva se les conoce con NO_x. Estos gases resultan ser precursores de ozono, en presencia de la humedad de la atmósfera se convierten en ácido nítrico, dando lugar al fenómeno que se conoce como lluvia ácida.
- *Hidrocarburos (HC).*- La emisión de estos gases resulta cuando no se queman completamente el combustible en el motor. Es un compuesto precursor de ozono y de alta toxicidad para los seres vivos.

b) Gases no tóxicos:

- *Dióxido de carbono (CO₂).*- Es un gas inofensivo para la salud humana, pero en grandes concentraciones resulta ser muy perjudicial para el medioambiente debido a su efecto invernadero atrapando el calor de la tierra y contribuyendo al calentamiento global.
- *Nitrógeno (N).*- Además de ser el componente en un 78% del aire que respiramos, es inerte es decir no se combina con nada. Así como ingresa por los cilindros salen por el escape sin sufrir modificaciones.
- *Oxígeno (O₂).*- Forma parte del aire en un porcentaje del 21%, es importante para la combustión que si esta fuese perfecta no sobraría nada de oxígeno, pero como no es así sale por el escape en un 0.6%.
- *Vapor de agua (H₂O).*- Este vapor se condensa a medida que el gas pierde temperatura, dando lugar al típico goteo en el tubo de escape.

Figura1. Gases presentes en el escape de un motor Otto y Diesel



Fuente: www.efamoratalaz.com/recursos/AnticontaminacionAutomoviles.pdf

2.1.2 Efectos causados por los gases contaminantes. Luego de haber estudiado cada uno de los gases que resultan de la combustión de un motor Otto y Diesel, en el presente literal se estudia cuáles son sus efectos tanto al medioambiente como al ser humano. Todas las fuentes que usan combustibles para su funcionamiento emiten gases contaminantes algunos en pequeñas cantidades, pero la acumulación de estos provoca serios daños ambientales y a la salud.

La contaminación puede ser en forma de gases, líquidos o sólidos. Estos gases son los principales causantes del conocido efecto invernadero que como consecuencia se puede ver el calentamiento global que experimenta el planeta, otros como el óxido de nitrógeno que provoca la conocida lluvia ácida y también la destrucción de la capa de ozono.

Algunos gases como el monóxido de carbono resulta mortal para las personas y animales si son inhalados en grandes cantidades e incluso algunos de los gases denominados inofensivos como el dióxido de carbono resultan ser peligrosos para la salud en altas concentraciones.

2.2 Sistemas de control de emisiones utilizados en los vehículos de alimentación por carburador e inyección electrónica

Desde la aparición del motor de combustión interna, y a pesar de sus modificaciones y adaptaciones que se realicen seguirá emitiendo gases contaminantes en un cierto porcentaje, los cuales al ser expulsados por el sistema de escape se emulsionan con el aire de la atmósfera causando efectos tanto al ambiente como a la salud humana.

Con la finalidad de alcanzar los límites de emisiones permitidos, impuesto por las normas anticontaminantes en todo el mundo, se ha ido innovando en la tecnología con adaptaciones de ciertos sistemas que ayudan de alguna manera a tratar los gases del escape para disminuir su toxicidad. Estas adaptaciones se han hecho en algunos vehículos alimentados por carburador, pero siendo obligado en vehículos a inyección.

Los componentes de estos sistemas anticontaminantes son: sistema EGR, sistema EVAP, válvula PCV y catalizador.

2.2.1 Sistema de recirculación de gases de escape (EGR). El sistema EGR está diseñado para disminuir la formación de óxidos de nitrógeno en la cámara de

combustión del motor especialmente en situaciones de altas presiones y temperaturas, las concentraciones de NOx es mayor al momento de encendido del motor.

Este sistema reduce la formación de NOx mediante la recirculación de una parte de los gases de escape hacia la cámara de combustión, estos gases al mezclarse con la carga entrante de aire/combustible diluye la mezcla en condiciones de temperaturas y presiones altas. Para el correcto funcionamiento del sistema debería cumplir con las siguientes condiciones:

- Es necesario alto flujo de gas EGR en velocidades crucero y aceleraciones a medio rango, debido a que en estas situaciones las temperaturas son elevadas.
- Se necesita un bajo flujo de gas EGR en velocidades bajas y poca carga del motor.
- No se necesita de flujo del gas en condiciones de arranque del motor, ralentí y aceleración total, ya que afectarían al correcto funcionamiento del motor.

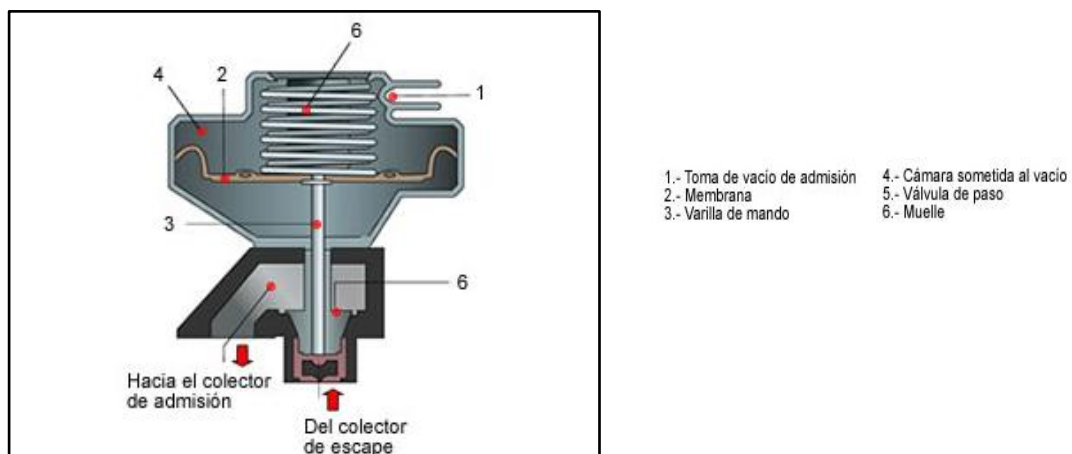
a) Tipos de válvulas EGR

1. Válvulas neumáticas

Este tipo de válvulas son accionadas por depresión o vacío. Están constituidas por una membrana que acoplada a un vástago que abre o cierra la válvula cada vez que el vacío vence la fuerza del muelle y mueve la membrana.

Para poder controlar el vacío que activa a la válvula EGR necesita de otra válvula pero eléctrica la misma que es controlada por la ECU y permite el paso de vacío solo cuando cumple las condiciones requeridas.

Figura 2. Válvula EGR neumática



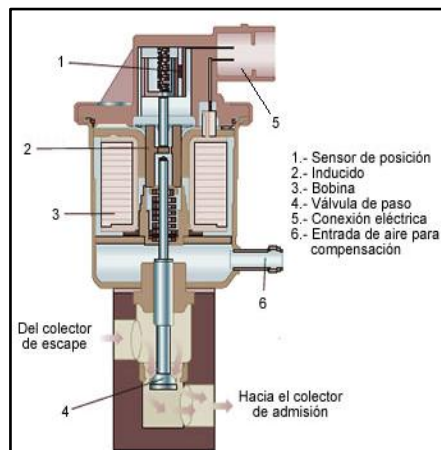
Fuente: www.aficionadosalamecanica.com

2. Válvulas eléctricas

La principal característica de estas válvulas es que no necesitan de vacío para ser accionadas, ya que cuentan con un solenoide que es controlado por la ECU.

Este solenoide actúa al recibir señales eléctricas de un sistema de control; este tipo de válvulas pueden ser netamente electrónicas cuando forman un solo cuerpo la válvula y el solenoide.

Figura 3. Válvula EGR eléctrica



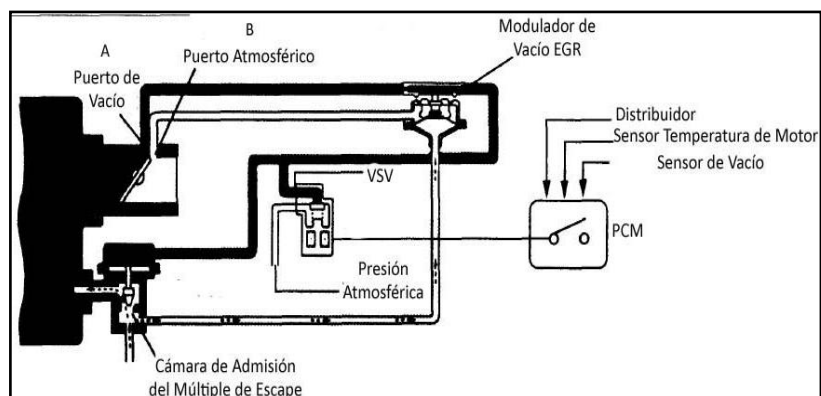
Fuente: www.aficionadosalamecanica.com

b) Configuración típica de un sistema EGR

Los componentes principales del circuito de un sistema EGR son: válvula EGR dependiendo del tipo que sea, conexiones y un módulo de control.

La válvula por lo general va montada al múltiple de escape, las cañerías deben ser de un material que resista altas temperaturas y el módulo de control recibe las señales de algunos parámetros del motor como son temperatura y RPM.

Figura 4. Configuración típica del sistema EGR



Fuente: www.encendidoelectronico.com/curso-sistema-egr

2.2.2 Ventilación positiva del cárter. Durante el funcionamiento del motor debido a las altas temperaturas y presiones, se produce la oxidación y descomposición del aceite de engrase del motor lo cual genera gases en el interior del cárter.

Esta situación se da más cuando el motor a perdido compresión debido a que los gases procedentes de la combustión ingresan al cárter lo cual hace que el aceite pierda rápidamente sus propiedades de lubricación.

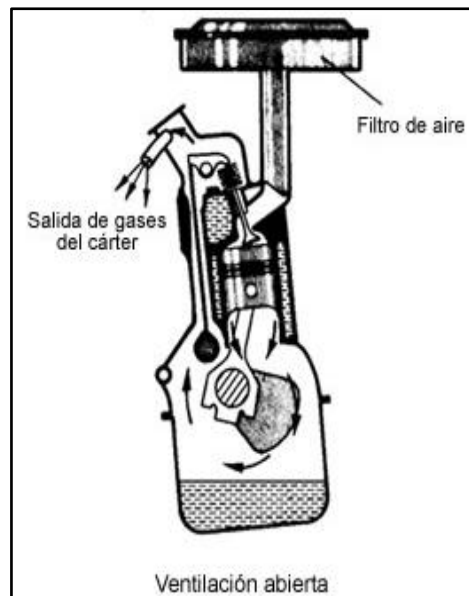
Para evitar esto los motores cuentan con un sistema de ventilación del cárter para llevar los vapores de agua, gasolina y del mismo aceite hacia afuera y ser aprovechados nuevamente en la admisión.

Hay dos tipos de ventilación:

a) Ventilación abierta

Este tipo de sistema era el que antiguamente utilizaban los vehículos. Consistía en un tubo que comunicaba el interior del cárter con el exterior; este sistema iba acoplado en la tapa de balancines y enviaba los vapores directamente a la atmósfera.

Figura 5. Ventilación abierta del cárter



Fuente: www.encendidoelectronico.com/sistemasegr

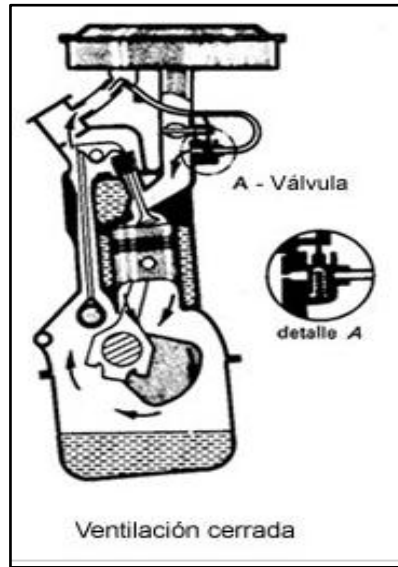
b) Ventilación cerrada

Este sistema actualmente es obligatorio para todos los vehículos, consiste en un tubo que conecta directamente desde la tapa de balancines hacia el colector de admisión para de esta manera quemar estos gases junto con la mezcla aire/combustible.

La ventaja de este sistema es que la evacuación de los vapores es más rápida debido a que son aspirados por el vacío generado en el múltiple de admisión.

Para evitar que los gases ingresen a la cámara de combustión en todo momento el sistema cuenta con una válvula que cierra el paso cuando el motor se encuentra en ralentí y evita que el motor se detenga.

Figura 6. Ventilación cerrada del cárter



Fuente: www.encendidoelectronico.com/sistemasegr

2.2.3 Reciclado de vapores de combustible, cánister. La gasolina resulta ser muy volátil e inflamable a altas temperaturas e incluso a temperatura ambiente debido a sus propiedades.

Es por esto que una parte muy relativa de hidrocarburos (componentes de la gasolina) se evaporan hacia la atmósfera a través de un orificio de ventilación del tapón de llenado del tanque, también por el aireador de la cuba del carburador cuando la mariposa está en reposo.

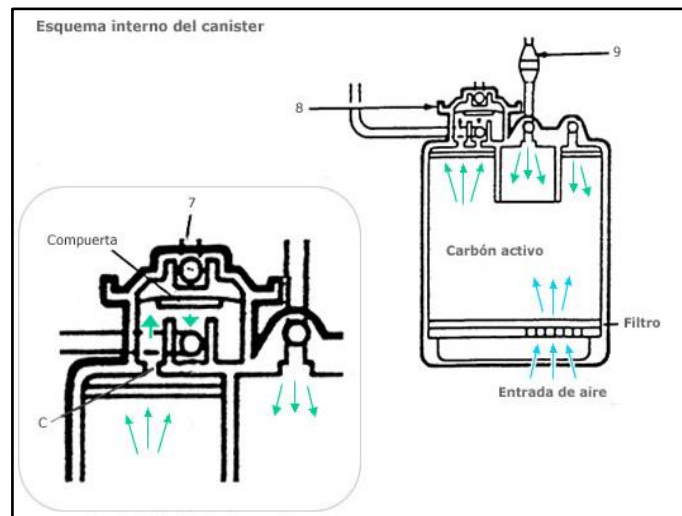
Los sistemas anticontaminantes incorporados en los vehículos modernos poseen una válvula y un filtro de carbón activo (cánister) para controlar la evacuación de los vapores de la gasolina.

a. Filtro de carbón activo o cánister

El cánister contiene en su interior carbón activo (de ahí su nombre), que sirve para retener los vapores de gasolina ya sea mientras el motor este apagado o en funcionamiento.

En cualquier circunstancia estos vapores son retenidos y enviados nuevamente a la admisión a través de las válvulas que posee este sistema.

Figura 7. Esquema interno del cánister



Fuente: www.mecanicavirtual.com

b. Funcionamiento del sistema a motor parado

Aún con el motor parado se genera vapores en el interior del tanque de combustible, estos vapores son enviados a través de válvulas hacia el cánister en donde permanecen acumulados hasta que el motor encienda y se genere el vacío que los llevará hasta el múltiple de admisión.

c. Funcionamiento del sistema con el motor en marcha, mariposa de gases abierta (acelerador)

Con el motor funcionando y la mariposa de gases abierta (es decir acelerando el motor), el sistema entra en funcionamiento pues el vacío generado hace circular aire del exterior hacia el cánister y abre las electroválvulas que llevaran los gases a la admisión.

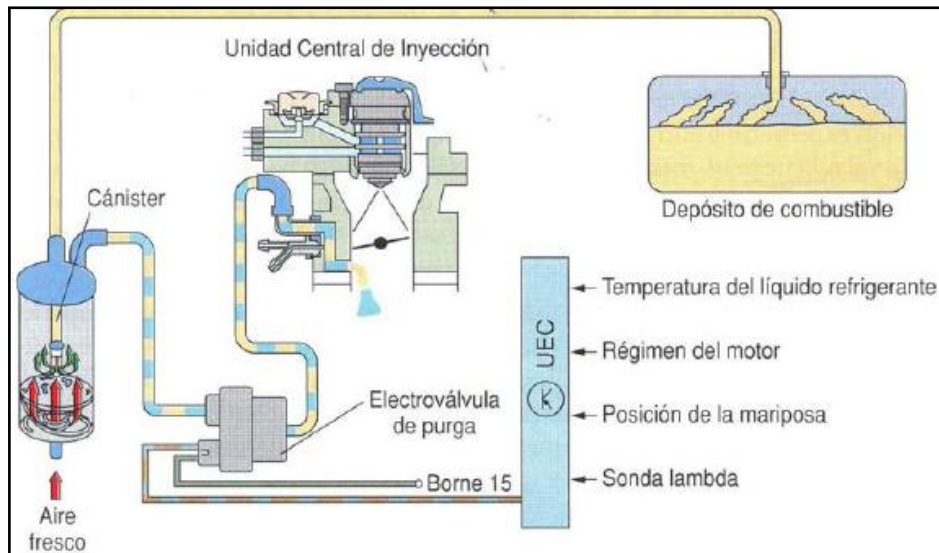
d. Configuración típica de un sistema EVAP

Con la llegada de la electrónica la forma de controlar estos sistemas ha cambiado, es decir usan electroválvulas que son comandadas por una centralita la misma que controlará la purga de estos vapores teniendo en cuenta algunos factores como son:

- Temperatura del motor (no funciona hasta que el motor alcance una determinada temperatura).
- Revoluciones del motor (en ralentí no funciona).

- Carga del motor (con mariposa totalmente abierta no funciona)
- Arranque (durante el arranque no funciona).

Figura 8. Esquema del sistema EVAP



Fuente: www.efamoratalaz.com/recursos/AnticontaminacionAutomoviles.pdf

La purga en el canister se da solo cuando la centralita recibe información de mezcla rica desde el sensor de oxígeno y corta la purga cuando recibe información de mezcla correcta.

2.2.4 Catalizadores. El catalizador o convertidor catalítico es un dispositivo muy importante para reducir el contenido de gases perjudiciales que resultan de la combustión de un motor y salen por el tubo de escape.

Su ubicación en el vehículo, este componente va montado en el tubo de escape en un punto en el que la temperatura sea elevada para que su funcionamiento sea óptimo. La energía calorífica de los gases de escape atraviesa el catalizador y eleva su propia temperatura entre 400°C y 700°C.

a) Catalizador (motor de gasolina)

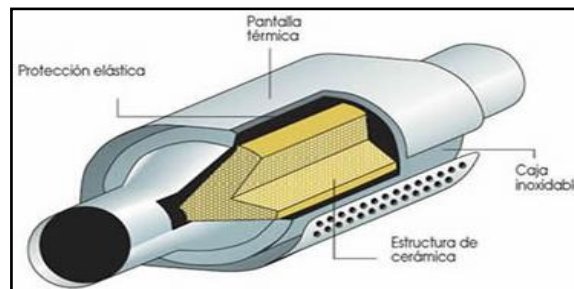
Para la depuración de los gases de escape en los motores a gasolina se utiliza el catalizador, el mismo que para desplegar su efecto de depuración debe alcanzar una temperatura aproximada de 300°C para lo cual requiere de un cierto tiempo. En los sistemas de escape modernos se utilizan precatalizadores para minimizar el tiempo de funcionamiento del catalizador principal durante los arranques en frío.

b) Constitución de un catalizador

Los catalizadores están constituidos por una carcasa de acero inoxidable que contiene en su interior las sustancias catalizadoras. Sustancias químicamente activas que son soportadas por un monolito (colmena cerámica) cubierta por una capa amortiguadora que la protege de los golpes.

Esta colmena está formada por millares de minúsculos canales (celdas) que entran en contacto con los gases de escape. La capa soporte del catalizador incluye una serie de sustancias activas como óxidos de aluminio, metales nobles (catalíticamente activos): Platino, Paladio, Rodio y promotores o retardadores específicos que aumentan o retardan la acción catalítica de los anteriores sobre determinadas reacciones.

Figura 9. Constitución de un catalizador



Fuente: www.guiautomotrizcr.com

La depuración catalítica se basa en dos reacciones químicas:

1. Reducción: Extracción de oxígeno de los componentes de los gases de escape.
2. Oxidación: Adición de oxígeno a los componentes de los gases de escape (recombustión).

c) Tipos de catalizadores

1. Catalizador oxidante

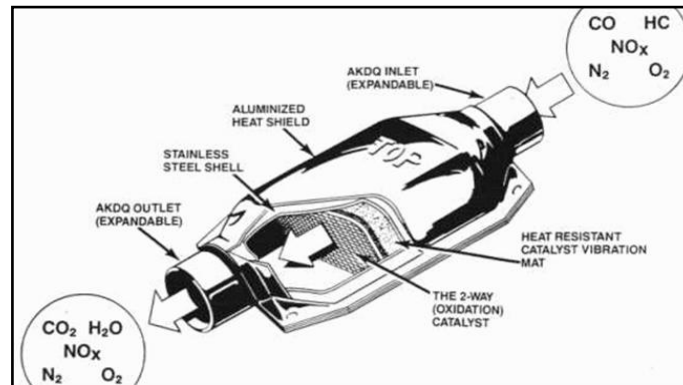
Es denominado también catalizador de “dos vías” por tratar dos gases. Dispone de un solo soporte cerámico que permite la oxidación del monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos (HC), es el más sencillo y económico de todos los catalizadores.

2. Catalizador de dos vías

Llamado también catalizador de tres vías de “bucle abierto” o también conocidos como de “doble efecto o doble cuerpo”, son en realidad un doble catalizador con toma

intermedia de aire. En el primer cuerpo reduce el óxido de nitrógeno (NO_x), mientras que en el segundo gracias a la toma intermedia de aire actúa reduciendo el monóxido de carbono (CO) y los hidrocarburos (HC).

Figura 10. Catalizador de dos vías



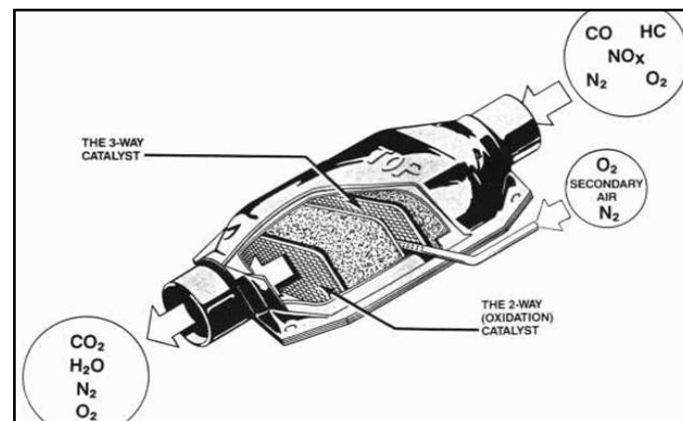
Fuente: www.guiautomotrizcr.com

3. Catalizador de tres vías

Son conocidos como de “bucle cerrado”, son los más complejos, sofisticados y caros usados en la actualidad. Se denomina de tres vías porque en ellos se reduce simultáneamente los tres elementos nocivos más importantes: monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos.

Para su correcto funcionamiento se precisa que la mezcla aire/combustible este muy cerca a la estequiométrica es decir (un kilo de gasolina por 14.7 Kg de aire). Para cumplir esta condición es necesario un dispositivo que controle la composición de la mezcla. Este dispositivo es la sonda lambda que efectúa correcciones constantes sobre la mezcla.

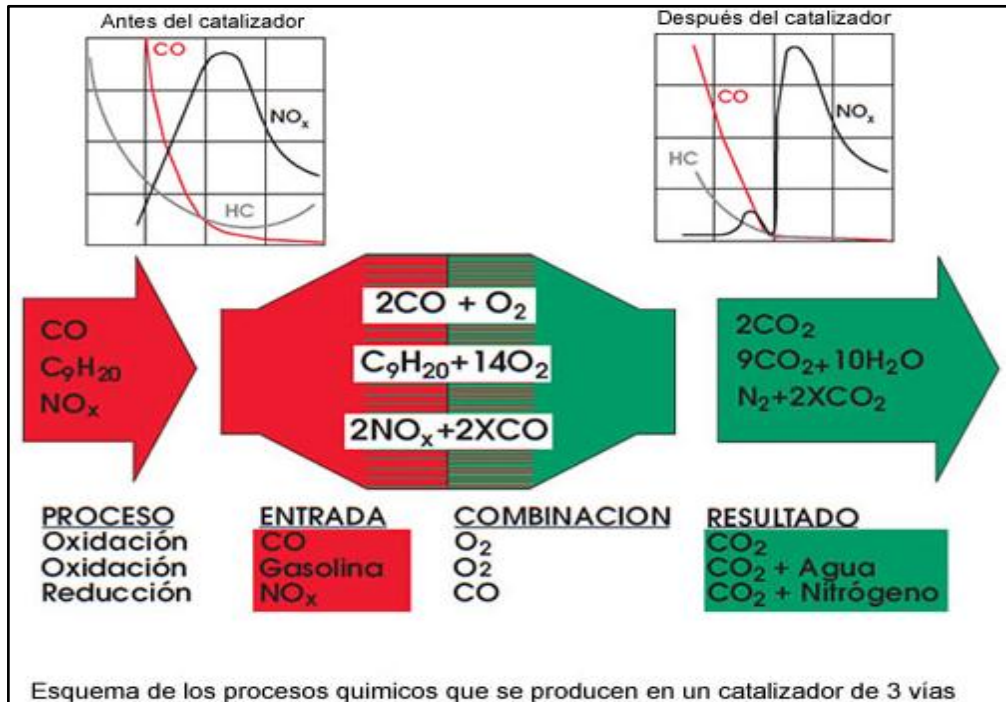
Figura 11. Catalizador de tres vías



Fuente: www.guiautomotrizcr.com

Exteriormente los tres tipos de catalizadores son idénticos excepto el de dos vías con toma de aire que posee un tubo. La diferencia realmente estriba en el washcoat (recubrimiento delgado de pintura o sellador) y el tipo de materiales preciosos que utilizan.

Figura 12. Procesos químicos en un catalizador de tres vías



Fuente: www.guiautomotrizcr.com

2.3 Normas que controlan el nivel de emisiones

En los últimos años los avances tecnológicos en el área automotriz han ido avanzando muy rápidamente hasta llegar a diseñar motores muy potentes, que debido a su tamaño y volumen, consumen más combustible y como consecuencia de la quema del combustible el contenido de gases contaminantes en el escape es mayor. En vista de esto y con la preocupación mundial, los gobiernos han impuesto normas y leyes a los fabricantes de vehículos; estas normas y leyes nacen de organizaciones mundiales y nacionales encargadas de controlar los niveles de emisiones.

2.3.1 Normativa Europea sobre emisiones [2]. Desde la aparición de la Euro 1 en 1991, la Unión Europea ha ido estableciendo nuevas reglamentaciones más estrictas en cuanto a los valores límite de emisiones contaminantes para los motores de gasolina y diesel de los turismos y de los vehículos comerciales ligeros, hasta llegar a la actual Euro 5 y futura Euro 6. La norma Euro 5 está vigente desde el 1 de septiembre de 2009 y permanecerá en vigor hasta el 1 de septiembre de 2014 en temas de homologación,

después será aplicable la Euro 6, la misma que estará vigente a partir del 1 de septiembre de 2015.

Los valores límite de emisiones que establece la norma Euro 5 para los vehículos diesel son los siguientes:

- Monóxido de carbono (CO): 500 mg/km (no hay variación con respecto a la norma Euro 4).
- Partículas materiales (PM): 5 mg/km.
- Óxidos de nitrógeno (NOx): 180 mg/km
- Masa combinada total de hidrocarburos (HCT) y óxidos de nitrógeno (NOx): 230 mg/km.

Para los vehículos de gasolina, la norma Euro 5 impone estos límites de emisiones:

- Monóxido de carbono (CO): 1000 mg/km (no se modifica respecto a la Euro 4).
- Partículas materiales (PM) pero únicamente en los motores de inyección directa: 5 mg/km.
- Óxidos de nitrógeno (NOx): 60 mg/km.
- Masa total de hidrocarburos (HCT):100 mg/km.
- Hidrocarburos no metanos (HCNM):68 mg/km.

Estos límites de la nueva Euro 5 y la futura Euro 6 imponen a los fabricantes de vehículos una actualización y mejora de las tecnologías existentes. Para las motorizaciones diesel, se impone el uso del filtro antipartículas, el sistema de recirculación de gases refrigerado y aumentar su porcentaje de recirculación (llegando incluso hasta las 3.250 RPM.), la sonda lambda de banda ancha, el aumento de la presión de la bomba de combustible y del turbo.

En vehículos de gasolina, el uso de deflectores en la parte baja del vehículo para distribuir el aire y que así no encuentre resistencia a su paso, además de la necesidad de incorporar una bomba de agua y de aceite, ambas pilotadas.

Tabla 1. Límites de emisiones establecidos por cada norma Euro

Norma	Entrada en vigor	CO (g/km)	HTC (g/km)	NMHC	HCT+NOx (g/km)	NOx (g/km)	PM (g/km)
Motor diesel							
Euro1	01/07/92	2.72	-	-	0.97	-	0.14

Euro2, IDI	01/01/96	1.0	-	-	0.7	-	0.08
Euro2, DI	01/01/96	1.0	-	-	0.9	-	0.10
Euro3	01/01/00	0.64	-	-	0.56	0.50	0.05
Euro4	01/01/05	0.50	-	-	0.30	0.25	0.025
Euro5	01/09/09	0.50	-	-	0.23	0.18	0.005
Euro6	01/09/14	0.50	-	-	0.17	0.08	0.005
Motor gasolina							
Euro1	01/07/92	2.72	-	-	0.97	-	-
Euro2	01/01/96	2.2	-	-	0.5	-	-
Euro3	01/01/00	2.30	0.20	-	-	0.15	-
Euro4	01/01/05	1.0	0.10	-	-	0.08	-
Euro5	01/09/09	1.0	0.10	0.068	-	0.06	0.005
Euro6	01/09/14	1.0	0.10	0.068	-	0.06	0.005
CO: Masa de monóxido de carbono HCT: Masa total de hidrocarburos NOx: Masa de óxidos de nitrógeno PM: masa de partículas NMHC: Masa de hidrocarburos no metanos IDI: Inyección indirecta DI: Inyección directa							

Fuente: www.revistacesvimap.com

2.3.2 Normas Ecuatorianas sobre el control de emisiones [3]. Las normas dirigidas a los fabricantes de vehículos son a nivel mundial y basadas en estándares de calidad. En el Ecuador existen normas que controlan la concentración y los límites permisibles de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres a diesel y gasolina. Estas normas son desarrolladas y consignadas en bases a otras normas extranjeras. A continuación se describen estas normas y sus límites permitidos:

a. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 202:2000

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores: DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA - MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE.

b. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 203:2000

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores: DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE EN CONDICIONES DE MARCHA MÍNIMA O RALENTÍ – PRUEBA ESTÁTICA.

c. **Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 204:2002**

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores: LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE GASOLINA.

Tabla 2. Límites permitidos por fuentes móviles con motor a 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

* Volumen
** Altitud: metros sobre el nivel del mar (msnm).

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

Tabla 3. Límites permitidos por fuentes móviles con motor a gasolina – marcha mínima o ralentí (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 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	=< 170	6.2	0.5	0.75		2
		1700 - 3860	6.2	0.5	1.1		2
Vehículos Pesados**	> 3860 = < 6350		14.4	1.1	5.0	Transiente pesado	3
	> 6350		37.1	1.9	5.0		4

* Prueba realizada a nivel del mar
** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power – Hora)

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

Tabla 4. Límites permitidos por fuentes móviles con motor a gasolina – marcha mínima o ralenti (prueba dinámica), a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso de referencia (kg)	CO g/km	HC + NOx g/km	CICLOS DE PRUEBA	Evaporativas g/ensayo SHED
MI ⁽¹⁾	=< 3500		2.72	0.97	ECE 15 + EUDC	2
MI ⁽²⁾ , N1		< 1250	2.72	0.97		2
		> 1250 < 1700	5.17	1.4		2
		> 1700	6.9	1.7		2

* Prueba realizada a nivel del mar
⁽¹⁾ Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y un peso bruto del vehículo menor o igual a 2.5 toneladas.
⁽²⁾ Vehículos que transportan más 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2.5 toneladas.

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

d. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002

Gestión ambiental, aire, vehículos automotores: LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRES DE DIESEL.

Tabla 5. Límites permitidos por fuentes móviles con motor de diesel (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 g/km	NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2.10	0.25	0.62	0.12	FTP – 75
Vehículos Medianos	≤ 3860	≤ 1700	6.2	0.5	0.75	0.16	
		>1700≤3860	6.2	0.5	1.1	0.28	
Vehículos Pesados**	> 3860	Todos	15.5	1.3	5.0	0.10***	Transiente pesado

* Prueba realizada a nivel del mar
** en g/bHP-h (gramos/brake Horse Power-Hora)
*** Para buses urbanos el valor es 0.07 g/bHP-h

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

Tabla 6. Límites permitidos por fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica)*, a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso de referencia kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
M1 ⁽¹⁾	≤ 3500	Todos	2.72	0.97 ⁽⁴⁾	0.97 ⁽⁴⁾	0.14	ECE – 15 + EUDC
M1 ⁽²⁾ , N1		≤ 1250	2.72	0.97 ⁽⁴⁾	0.97 ⁽⁴⁾	0.14	
		>1250≤1700	5.17	1.4 ⁽⁴⁾	1.4 ⁽⁴⁾	0.19	
		> 1700	6.9	1.7 ⁽⁴⁾	1.7 ⁽⁴⁾	1.25	
N2, N3, M2, M3 ⁽³⁾	> 3500	Todos	4.0	1.1	7.0	0.15	ECE – 49

* Prueba realizada a nivel del mar
⁽¹⁾ Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y un peso bruto del vehículo menor o igual a 2.5 toneladas.
⁽²⁾ Vehículos que transportan más 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2.5 toneladas.
⁽³⁾ Unidades g/kWh, ⁽⁴⁾ HC + NOx

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

Tabla 7. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor diesel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: www.ant.gob.ec/normas-yreglamentos-inen-aplicados-al-transporte

e. Bases de las normas

Los estudios de estas normas se han hecho en base a:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 056. *Metrología. Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales*. Quito, 1998.

- Norma Técnica Colombiana ICONTEC 4231. *Gestión ambiental. Aire. Método para determinar la opacidad de gases de motores diesel mediante la prueba estática en libre aceleración.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas. Bogotá, 1997.
- EPA 94: *Code of Federal Regulations Protection of Environment 40. Part 86 (Revised as of July 1, 1996) Control of air pollution from new and in-use motor vehicles and new and in-use motor vehicle engines: certification and test procedures: 86.090-8 Emission standards for 1990 and later model year light - duty vehicles (Diesel and gasoline); 86.091.9 Emission standards for 1991 and later model year light - duty trucks (diesel and gasoline); 86.094.11 Emission standards for 1994 and later model year diesel heavy-duty engines vehicles.* U.S Environmental Protection Agency, EPA. WashingtonD.C. 1996.
- EURO II: *Community Directive (Directive 88/77/EEC). Regulation 49, gaseous pollutants. Truck and buses > 3,5 Ton. EEC regulation for small utilite records. Enforcement date: 01.10.1993 new models, 01.10.1994 new vehicles.* European Economic Community. Brussels. 1996.
- Normas para la protección y el control de la calidad del aire: *Resolución 005 de 1995-01-09, Resolución 1619 de 1995-12-21, Resolución 1351 de 1995-11-14, Resolución 898 de 1995-08-23 Adicionada por la Resolución 125 de 1996-03-19, Decreto 948 de 1995-06-05 - Modificado por el Decreto 2107 de 1995-11-30.* Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia. Bogotá, 1996.
- Decreto 2673: *Normas sobre Emisiones de fuentes móviles.* Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. República de Venezuela. Caracas, 1998.
- *Proyecto de reglamentación para control de emisiones para vehículos automotores en el Distrito Metropolitano de Quito.* Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, CINAE – Asociación Ecuatoriana Automotriz del Interior, AEADI, Quito, 1998.

- *Exhaust Emissions, Standards, Regulations and Measurement of Exhaust emissions and Calculation of fuel consumption based on the Exhaust emission test - Passenger cars; Mercedes Benz. Alemania, 1997.*
- *Vehicle Emissions Study, Kiyoshi Yuki - Overseas Regulation & Compliance Department, Engineering Administration Division, Toyota Motor Corporation. Tokyo, 1995.*

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE EMISIONES

3.1 Estimación del número de vehículos alimentados por carburador

El lugar en el que se va ejecutar este proyecto es en la Ciudad de Cañar, lugar en el cual el número de vehículos a carburador aún es significativo. En esta Ciudad no existe una empresa que controle el contenido de gases que emiten y el número de estos vehículos no es tan elevado lo cual no significa que no contaminen; por lo tanto es necesario estimar el número aproximado vehículos de este tipo existentes en esta Ciudad.

Las formulas estadísticas son herramientas útiles para este tipo de investigación siempre y cuando se haga su correcta aplicación; para el efecto en esta investigación se emplea la Inferencia Estadística, la misma que nos permite obtener conclusiones sobre una población tomando como base una muestra (es decir una parte de la población).

La población en este caso es el número total de vehículos existentes en la Ciudad de Cañar (tanto a carburador como a inyección); para obtener este dato es necesario acudir a la Agencia de Tránsito del Cañar, existiendo un total de 6279 vehículos.

Mediante un muestreo aleatorio simple sin reemplazo se determina el tamaño de la muestra con un error de 5% y un nivel de probabilidad de 0.95, son valores más empleados en la estadística. A continuación se calcula n:

$$n = \left[\frac{z_{\alpha/2}^2 * N}{4 * e^2 * (N-1) + z_{\alpha/2}^2} \right] \quad (1)$$

Donde: n, es el tamaño de la muestra.

N, es el tamaño de la población.

$z_{\alpha/2}$, es la probabilidad (Tabla 8).

e, es el error.

Tabla 8. Valores de $z_{\alpha/2}$ más usuales

1-α	$z_{\alpha/2}$
0.998	3.090
0.99	2.576

0.98	2.326
0.95	1.960
0.90	1.645
0.80	1.280

Fuente: http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/ampliacion-de-matematicas/materiales/Tema_10.pdf

Resolviendo (1):

$$n = \left[\frac{1.96^2 * 6279}{4 * 0.05^2 * (6279 - 1) + 1.96^2} \right]$$

$$n = 350$$

Para obtener información sobre la muestra seleccionada es necesario realizar encuestas (ver ANEXO I), a 350 propietarios de vehículos, en las principales calles y avenidas de la ciudad; obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 9. Resultados de las encuestas realizadas en 10 puntos de la Ciudad de Cañar

Encuesta	Tipo de alimentación		Total vehículos
	Carburador	Inyección	
1	13	23	36
2	11	26	37
3	12	22	34
4	13	20	33
5	12	23	35
6	14	23	37
7	12	25	37
8	15	21	36
9	12	21	33
10	14	18	32
Total	128	222	350

Fuente: Autor

En la tabla anterior se puede ver el número de vehículos tanto a carburador y como a inyección. Estos datos son importantes puesto que en esta investigación se pretende estimar una proporción poblacional que tiene una determinada característica, como es en este caso “vehículos a carburador”.

El estimador puntual de la proporción poblacional es la proporción muestral p:

$$p = \frac{n_c}{n} \quad (2)$$

Donde: n_c , es el número de vehículos a carburador que se busca estimar.

n , es el tamaño de la muestra.

$$p = \frac{128}{350}$$

$$p = 0.36$$

El intervalo de confianza para la proporción muestral es:

$$p \pm z_{\alpha/2} * \sqrt{\left[\frac{N-n}{N-1} * \frac{p*(1-p)}{n} \right]} \quad (3)$$

Donde: p , es la proporción muestral.

N , tamaño del la población.

n , tamaño de la muestra.

$z_{\alpha/2}$, es la probabilidad (Tabla 8).

Entonces resolviendo (3):

$$0.36 \pm 1.96 * \sqrt{\left[\frac{6279 - 350}{6279 - 1} * \frac{0.36 * (1 - 0.36)}{350} \right]}$$

$$0.36 \pm 0.0489 \rightarrow \text{I. C } (0.4089, 0.3111)$$

Con una probabilidad del 95%, la proporción muestral puede variar dentro del intervalo calculado. Para extender la proporción muestral a toda la población, multiplicamos el intervalo de confianza por toda la población:

$$\text{I. C } (0.4089, 0.3111) * N \quad (4)$$

$$\text{I. C } (0.4089, 0.3111) * 6279$$

$$\text{I. C } (2567.4, 1953.4)$$

Esto nos indica que el número de vehículos a carburador está entre 2567 y 1953, dentro del total de vehículos existentes en la Ciudad de Cañar.

3.2 Selección de componentes para el diseño del sistema de control

3.2.1 Selección de software

a) Programa microcode studio

Este programa está diseñado exclusivamente para programar microcontroladores PIC utilizando el lenguaje basic. La ventaja de este programa es que se puede compilar y ver los errores generados en la programación antes de simular.

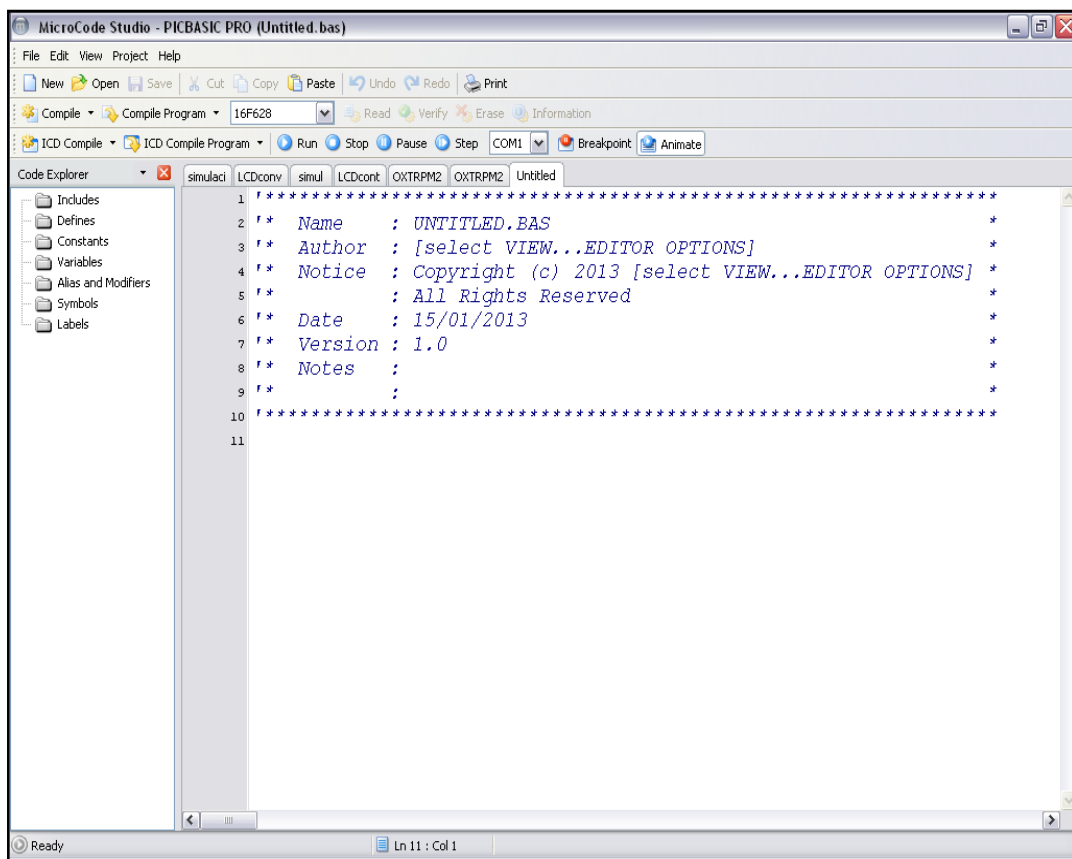
Las instrucciones más utilizadas por el compilador pbp son las siguientes [4]:

ADCIN:	Lee el conversor analógico.
BUTTON:	Anti-rebote y auto-repetición de entrada en el pin especificado.
CALL:	Llamada a subrutina de ensamblador.
CLEAR:	Hace cero todas las variables.
COUNT:	Cuenta el número de pulsos en un pin.
DATA:	Define el contenido inicial en un chip EEPROM.
DISABLE:	Deshabilita el procesamiento de ON INTERRUPT, ON DEBUG.
ENABLE:	Habilita el procesamiento de ON INTERRUPT, ON DEBUG.
END:	Detiene la ejecución e ingresa en modo de baja potencia.
FOR, NEXT:	Ejecuta declaraciones en forma repetitiva.
FREQOUT:	Produce hasta dos frecuencias en un pin.
GOSUB:	Llamada a una subrutina BASIC en la línea especificada.
GOTO:	Continúa la ejecución en la línea especificada.
HIGH:	Saca un 1 lógico (5v) por un pin.
IF, THEN, ELSE, ENDIF:	Ejecuta declaraciones en forma condicional.

INPUT:	Convierte un pin en entrada.
LCDIN:	Lee caracteres desde una RAM de un LCD.
LCDOUT:	Muestra caracteres en un LCD.
LET:	Asigna el resultado de una expresión a una variable.
LOW:	Hace 0 lógico (0v) un pin específico.
NAP:	Apaga el procesador por un corto periodo de tiempo.
ON INTERRUPT:	Ejecuta una subrutina BASIC en un interrupt.
OUTPUT:	Convierte un pin en salida.
PAUSE:	Demora con resolución de 1 milisegundo (mS).
PAUSEUS:	Demora con resolución de un microsegundo (μ S).
PEEK:	Lee un byte del registro.
POKE:	Graba un byte en el registro.
POT:	Lee el potenciómetro en el pin especificado.
PULSIN:	Mide el ancho de pulso en un pin.
PULSOUT:	Genera pulso hacia un pin.
PWM:	Salida modulada en ancho de pulso.
RANDOM:	Genera número pseudo-aleatorio.
RCTIME:	Mide el ancho de pulso en un pin.
READ:	Lee byte de un chip EEPROM.
READCODE:	Lee palabra desde un código de memoria.
RESUME:	Continúa la ejecución después de una interrupción.
RETURN:	Continúa en la declaración que sigue al último GOSUB.
REVERSE:	Convierte un pin de entrada en salida, o viceversa.
SELECTCASE:	Compara una variable con diferentes valores.

SLEEP:	Apaga el procesador por un periodo de tiempo.
STOP:	Detiene la ejecución del programa.
SWAP:	Intercambia los valores de dos variables.
WHILE...WEND:	Ejecuta declaraciones mientras la condición sea cierta.
WRITE:	Graba bytes en un chip EEPROM
WRITECODE:	Escribe palabra en código de memoria.
XIN:	Entrada X – 10
XOUT:	Salida X – 10

Figura 13. Programa microcode studio

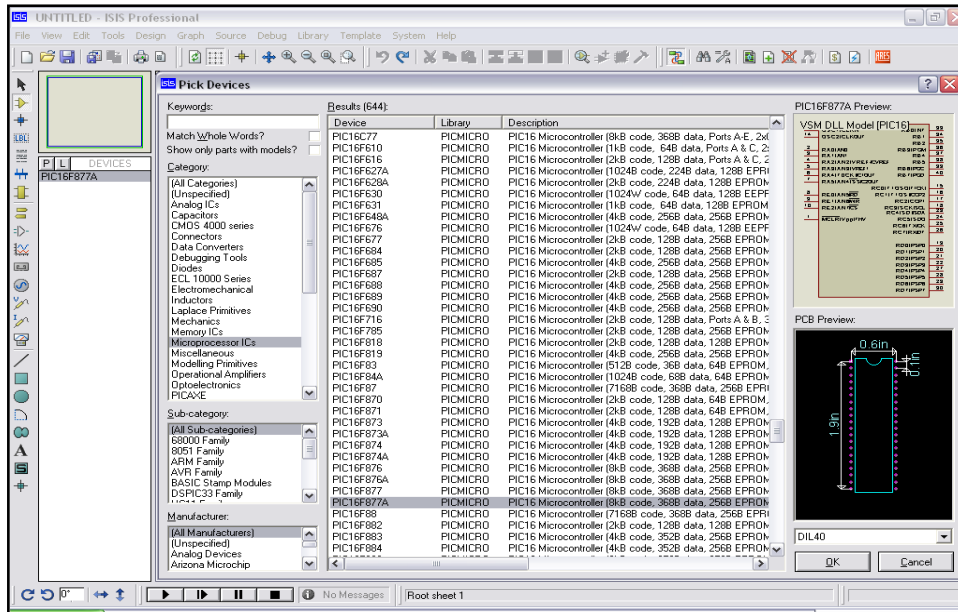


Fuente: Autor

b) Simulador proteus

Es una compilación de programas de diseño y simulación electrónica, consta de los siguientes programas principales: ARES e ISIS y el módulo VSM.

Figura 14. Simulador proteus



Fuente: Autor

- **ISIS**

El sistema de enrutado de esquemas inteligentes (ISIS) por sus siglas en inglés, este programa permite diseñar planos eléctricos de los circuitos que se desea realizar con diferentes componentes desde simples resistencias hasta circuitos complejos con microprocesadores, generadores de señales y otros muchos componentes con funciones diferentes. Los diseños realizados en ISIS pueden ser simulados en tiempo real mediante un módulo VSM.

- **Módulo VSM**

El sistema virtual de modelado (VSM) por sus siglas en inglés, permite simular en tiempo real con posibilidad de mayor rapidez todas las características de los microcontroladores introducido el programa que controlará en cada una de las salidas del microcontrolador. Además se puede simular circuitos con microcontroladores conectados a distintos dispositivos como motores, LCD, teclados en matriz etc.

- **ARES**

Software de edición y ruteo avanzado (ARES) por sus siglas en inglés, es una herramienta especial de enrutado, ubicación y edición de componentes. Permite fabricar placas de circuitos impresos, permitiendo editar la capa superficial y soldadura.

3.2.2 Selección de componentes eléctricos y electrónicos

1) Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, es decir incluye CPU, memorias RAM, EEPROM y circuitos de entrada y salida. [5]

Los microcontroladores son diseñados para reducir costos económicos y el consumo de energía en un sistema. El tamaño del CPU, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. Todo aparato electrónico utilizado en la vida cotidiana posee un microprocesador y su tamaño depende de la aplicación. Un microcontrolador difiere de una unidad central de procesamiento normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento mediante un mínimo de circuitos integrados externos de apoyo.

- PIC 16F877A

El microcontrolador PIC 16F877A es el microprocesador comúnmente usado en el diseño de circuitos electrónicos y presenta las características necesarias para el fin requerido en este proyecto.

Tabla 10. Características del PIC 16F877A

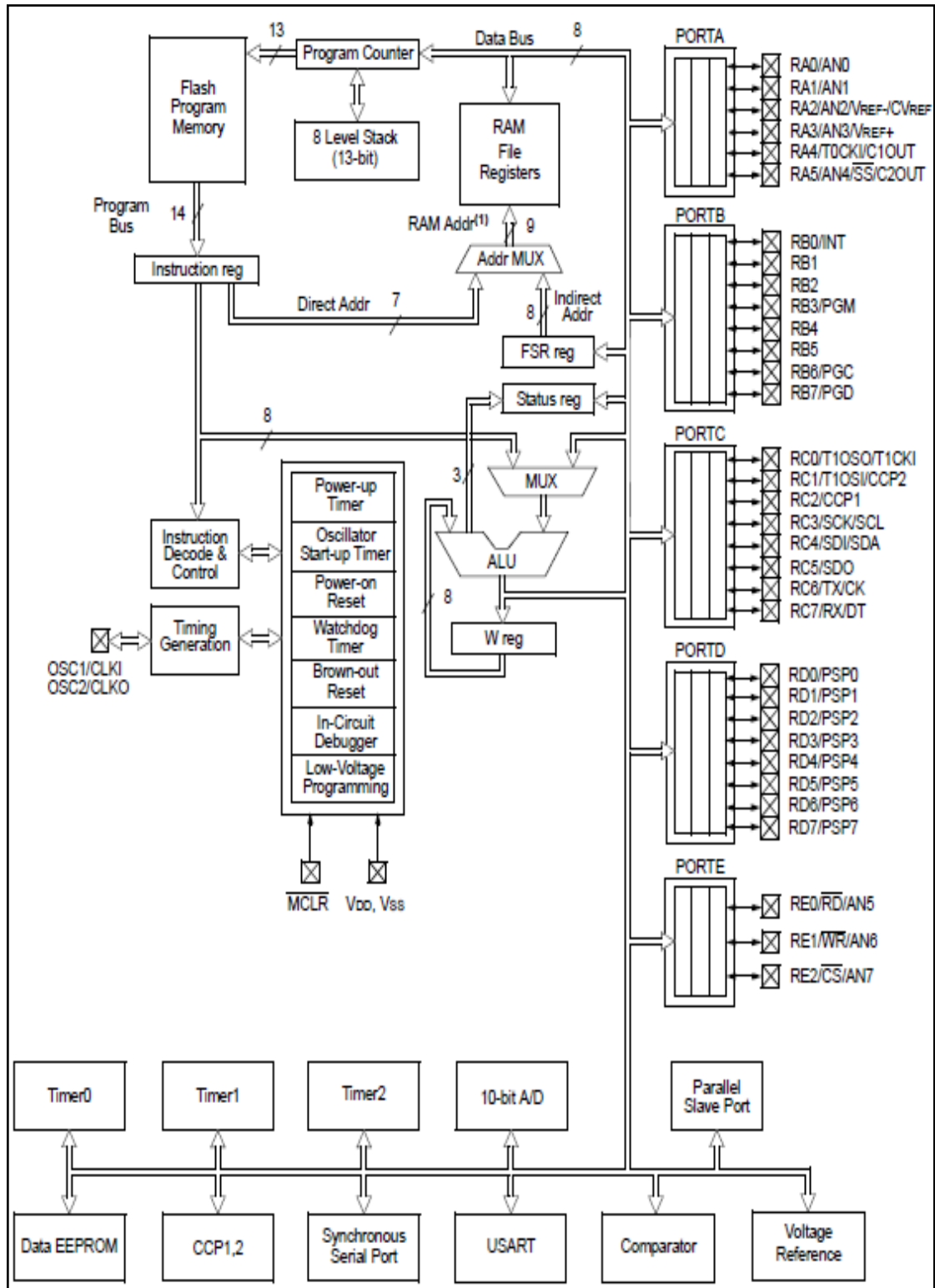
Características	PIC 16F877A
Frecuencia Operativa	DC – 20 MHz
Memoria Flash de Programa (14-bit words)	8K
Memoria de Datos (bytes)	368
Memoria de Datos EEPROM (bytes)	256
Interruptores	15
Puertos I/O	Puertos A,B,C,D,E
Timers	3
Capturador/Contador/ Modulo PWM	2
Comunicación Serial	MSSP, USART
Comunicación Paralela	PSP
Módulo Analógico a Digital (10-bit)	8 canales de entrada
Comparadores Analógicos	2
Registro de Instrucciones	35 Instrucciones
Paquetes	PDIP 40-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN 44-pin

Fuente: <http://datasheetpic16f877a©2003microchiptechnologyinc>

- Diagrama de bloques

La configuración de este microcontrolador, la conexión de sus memorias internas y su forma de transferir datos se puede ver en el siguiente diagrama:

Figura 15. Diagrama de bloques

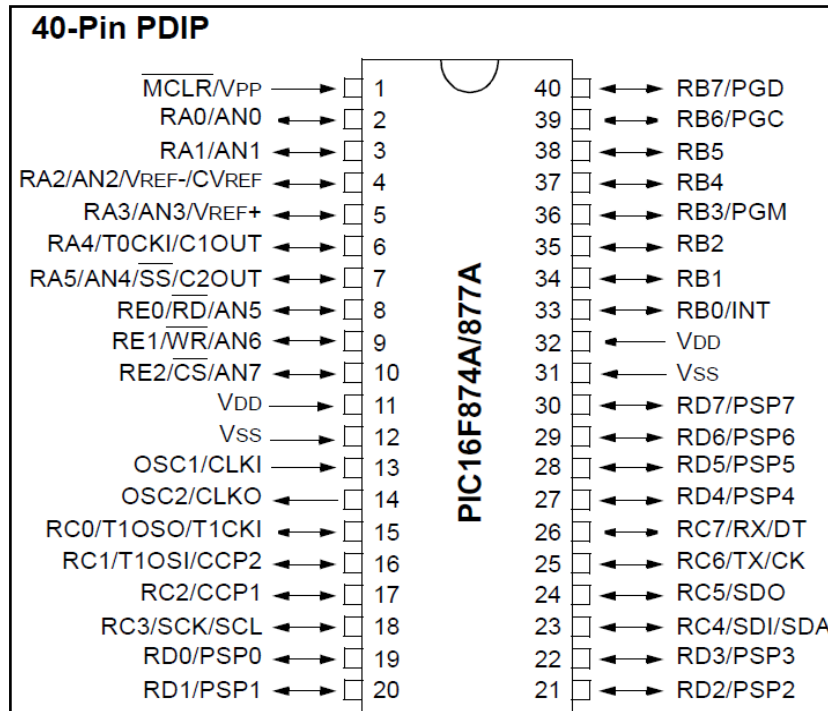


Fuente: <http://www.automasis.es.tl>

- Diagrama de pines y funciones

El microcontrolador PIC 16F877A posee 40 pines con diferente configuración cada uno, como entradas o salidas, algunos de ellos tienen funciones especiales.

Figura 16. Diagrama de pines PIC 16F877A



Fuente: <http://datasheetpic16f877a@2003microchiptechnologyinc>

Cada uno de los pines tiene diferentes funciones lo cual depende de la programación previa que se le haya dado al microcontrolador. Hay otros pines que ya tienen su función como el de alimentación y el de tierra.

Tabla 11. Tabla de pines con sus funciones especiales

PIN	Nombre	Descripción
1	$\overline{\text{MCLR}}/\text{Vpp}$	Voltaje de Programación (salida)
2	RA0/AN0	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Entrada Analógica 0
3	RA1/AN1	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Entrada Analógica 1
4	RA2/AN2/Vref-/CVref	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Entrada Analógica 2
5	RA3/AN3/Vref+	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Entrada Analógica 3

PIN	Nombre	Descripción
6	RA4/TOCKI/C1OUT	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Abre-Saca cuando configura como salida
7	RA5/AN4/SS/C2OUT	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Entrada Analógica 4
8	RE0/ \overline{RD} /AN5	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
9	RE1/ \overline{WR} /AN6	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Escribe control para Puerto paralelo esclavo
10	RE2/ \overline{CS} /AN7	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Chip selecciona control para Puerto paralelo esclavo
11	Vdd	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O
12	Vss	Referencia de tierra para los pines lógicos y I/O
13	OSC1/CLKI	Oscilador de cristal o entrada reloj externa
14	OSC2/CLKO	Oscilador de cristal o Salida reloj
15	RC0/T1OSO/T1CKI	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Timer1 Salida Oscilador
16	RC1/T1OSI/CCP2	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Timer1 Entrada Oscilador
17	RC2/CCP1	Digital I/O
18	RC3/SCK/SCL	Digital I/O, Serial Sincrónico Reloj entrada/salida para modo SPI
19	RD0/PSP0	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
20	RD1/PSP1	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
21	RD2/PSP2	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
22	RD3/PSP3	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
23	RC4/SDI/SDA	Digital I/O, Dentro dato SPI
24	RC5/SDO	Digital I/O, Fuera dato SPI
25	RC6/TX/CK	Digital I/O, Transmisión asincrónica USART
26	RC7/RX/DT	Puede ser el receptor asincrónico USART o datos sincrónicos
27	RD4/PSP4	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
28	RD5/PSP5	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
29	RD6/PSP6	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
30	RD7/PSP7	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O
31	Vss	Referencia de tierra para los pines lógicos y I/O
32	Vdd	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O

PIN	Nombre	Descripción
33	RB0/INT	Puerto bidireccional I/O, Digital I/O, Interruptor Externo
34	RB1	Digital I/O
35	RB2	Digital I/O
36	RB3/PGM	Digital I/O, Bajo-Voltaje ICSP permite programación de pin
37	RB4	Digital I/O
38	RB5	Digital I/O
39	RB6/PGC	Digital I/O, Dentro-circuito debugger y ICSP reloj programable
40	RB7/PGD	Digital I/O, Dentro-circuito debugger y ICSP dato programable

Fuente: <http://datasheetpic16f87xa@2003microchiptechnologyinc>

La selección de este microcontrolador es porque posee las características necesarias para cumplir con las expectativas de este proyecto, tales como: una respuesta rápida a los impulsos eléctricos del sensor de oxígeno, facilidad de conexión de los pines, el número de pines necesarios y suficientes, no eleva su temperatura entre otras. Su función principal es recibir señales analógicas y digitales de sensores u otros dispositivos a través de sus pines de entrada; y mediante una previa programación y acoplamiento de estas señales enviar pulsos de activación a relés que controlan la apertura y el cierre de válvulas a través de sus pines de salida.

2) Transistor

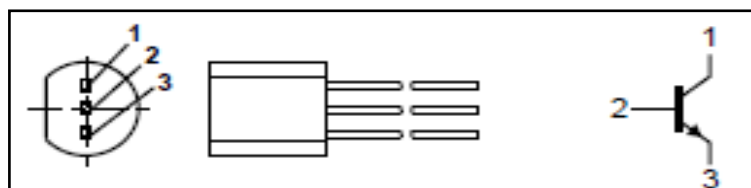
Este dispositivo cumple las funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. Estos elementos son usados en todos los aparatos electrónicos que se ven a diario. Su aplicación en la electrónica es como conmutador de pequeñas cargas con alta ganancia y baja saturación de voltaje.

Existen diferentes tipos de transistores siendo el más comúnmente utilizado el transistor planar NPN con su complementario PNP, la única diferencia entre estos es la configuración de sus terminales.

Terminales:

1 colector, 2 base y 3 emisor.

Figura 17. Diagrama interno de un transistor planar NPN



Fuente: <http://www.semiconductors.philips.com>

La función del transistor en este proyecto es conmutar las pequeñas cargas generadas por el microcontrolador que son máximo hasta 5v y generar una alta ganancia con baja saturación de voltaje para poder activar los relés. El transistor empleado es el 2N3904 y debe cumplir las siguientes características:

Tabla 12. Características del transistor NPN

Símbolo	Parámetro	Condiciones	Min.	Max.	Unidad
V_{CBO}	Voltaje Colector-Base	Abre Emisor	-	60	v
V_{CEO}	Voltaje Colector-Emisor	Abre Base	-	40	v
V_{EBO}	Voltaje Emisor-Base	Abre Colector	-	6	v
I_C	Corriente Colector (DC)		-	200	mA
I_{CM}	Corriente Pico Colector		-	300	mA
I_{BM}	Corriente Pico Base		-	100	mA
P_{tot}	Potencia Total de Disipación	$T_{amb} \leq 25^{\circ}C$	-	500	mW
T_{stg}	Temperatura Almacenamiento		-65	+150	$^{\circ}C$
T_j	Temperatura Empalme		-	150	$^{\circ}C$
T_{amb}	Temperatura Ambiente		-65	+150	$^{\circ}C$

Fuente: <http://www.semiconductors.philips.com>

3) Condensadores

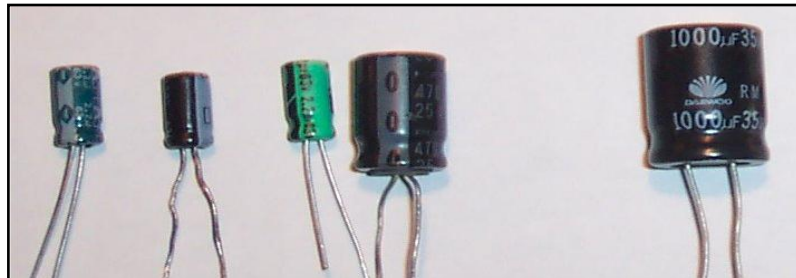
Un condensador es un dispositivo capaz de almacenar cargas eléctricas y suministrarlas en momentos precisos en tiempos cortos. Su aplicación en la electrónica es muy variada por ejemplo: filtrado de corriente, circuitos osciladores, temporizadores, encendidos electrónicos etc. Los condensadores se comportan como circuito abierto cuando se le

aplica corriente continua; y si es alterna actúa como circuito cerrado permitiendo el paso de la corriente en un solo sentido esta propiedad se emplea para el filtrado de corriente. Entre los diferentes tipos de condensadores los más comúnmente empleados en la electrónica son los condensadores electrolíticos y cerámicos.

a. Condensadores electrolíticos

Estos condensadores son fabricados de diferentes materiales y tienen polaridad. La ventaja es que ofrecen más capacidad en menos volumen; al tener polaridad se debe respetar la misma o por lo contrario una conexión errónea corre el riesgo de destruir el condensador.

Figura 18. Condensador electrolítico

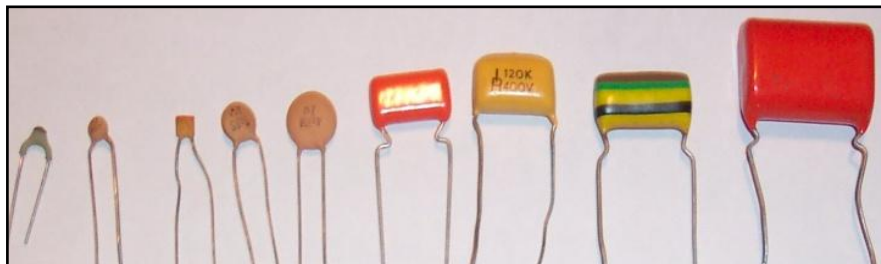


Fuente: www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html

b. Condensadores cerámicos

Tiene una constante dieléctrica elevada lo que les da la propiedad de ser condensadores pequeños pero de gran capacidad. Son los más cercanos al condensador ideal.

Figura 19. Condensadores cerámicos



Fuente: www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html

c. Carga y descarga de un condensador

Durante la carga la corriente que llega al condensador eleva la intensidad a su valor máximo en el primer instante, a medida que se carga el condensador su tensión va aumentando mientras que la intensidad va disminuyendo. Cuando la tensión alcanza el

valor de la tensión de la fuente quedan al mismo potencial, por lo tanto deja de circular corriente. Realmente un condensador nunca llega a cargarse por completo debido a pérdidas de carga, teóricamente un condensador estará cargado cuando transcurra un cierto tiempo.

En la descarga al cortar el paso de corriente la tensión inicialmente desciende rápidamente, existiendo valores de corrientes negativos. La tensión disminuye hasta hacerse nula, como no hay diferencia de potencial la intensidad también se hace nula.

Las características principales que debe reunir un condensador son:

- La capacidad de almacenar cargas eléctricas al estar sometidos a una tensión.
- La energía acumulada en su interior suficiente para abastecer un circuito.
- Coeficiente de temperatura alto para soportar altas temperaturas.
- Gran resistencia de aislamiento.
- Tensión de trabajo elevada

Teniendo muy en cuenta las características principales de un condensador se selecciona el más apropiado para el diseño de este proyecto, siendo los más idóneos los que están dentro de los siguientes rangos:

Tabla 13. Selección de condensadores

Tipo de Condensador	Valores	Tensiones máximas de trabajo	Tolerancias
Electrolítico	2.2 a 4700 uF	16 a 40 v	-10 +100%
Cerámico	0.56 a 560 pF	63 a 100 v	2-5-10%

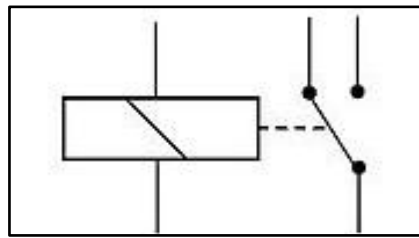
Fuente: istpepamet.galeon.com/istpepamet_archivos/Capacitor.pdf

4) **Relé**

Un relé es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor, controlado por un circuito eléctrico que consta de una bobina y un electroimán; y acciona uno o varios contactos para abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

Debido a la propiedad de controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada es considerado como un amplificador eléctrico.

Figura 20. Símbolo electrónico de un relé



Fuente: Autor

El funcionamiento básico de un relé depende si es NA o NC (normalmente abierto o normalmente cerrado), al circular voltaje por la bobina genera un campo magnético haciendo que los contactos cierran la conexión. La aplicación de los relés depende principalmente de: número de contactos, intensidad admisible, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación.

La función principal del relé utilizado en este trabajo es abrir o cerrar el paso de corriente hacia el circuito independiente de una electroválvula. En este caso el relé actúa como un interruptor que abre o cierra el paso de corriente y como amplificador por controlar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada. De acuerdo a esta aplicación el relé empleado en este trabajo debe presentar las siguientes características:

Tabla 14. Características del relé

Característica	Parámetro
Max. Voltaje que Conmuta	277 v/ 110 v
Min. Voltaje que Conmuta	5 v
Valor de Carga AC1, DC1	10 A/240 VAC, 15 A/24 VDC
Min. Corriente que Conmuta	15 mA
Valor de Corriente	12 A
Max. Capacidad de Ruptura AC1	1800 VA
Min. Capacidad de Ruptura	0.75 W
Resistencia de Contacto	$\leq 100 \text{ m}\Omega$

Fuente: www.relpol.com.pl

5) LCD

Una pantalla de cristal líquida (LCD) por sus siglas en inglés, es uno de los periféricos más utilizados para la presentación de mensajes, variables y casi cualquier información que proviene de un microcontrolador.

Existen LCD de diferentes tipos los de 1, 2, 3 y 4 líneas por 8 caracteres, 16 caracteres, 20 caracteres y hasta de 40 caracteres. Siendo los más utilizados los alfanuméricos de 2 líneas y 16 caracteres por línea, pero su clasificación depende de su aplicación. Para facilitar el empleo de estos dispositivos, los terminales de conexión han sido estandarizados, generando la compatibilidad de pin a pin. [6]

En la siguiente tabla se presenta función y descripción de cada pin:

Tabla 15. Descripción de pines de un LCD

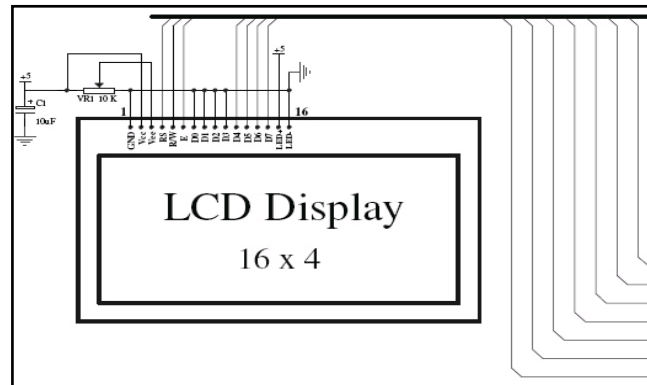
Terminal	Nombre	Función	Descripción
1	Vss	Energía	Referencia 0v. GND
2	Vdd	Energía	+5 VCD
3	Vee	Ajuste Contraste	Variable de 0 a 5 v
4	RS	Comando	Selección de Dato/Comando
5	R/W	Comando	Control de Lectura/Escritura
6	E	Comando	Habilitación
7	D0	E/S	DATO LSB
8	D1	E/S	DATO
9	D2	E/S	DATO
10	D3	E/S	DATO
11	D4	E/S	DATO
12	D5	E/S	DATO
13	D6	E/S	DATO
14	D7	E/S	DATO MSB
15	A	Alimentación Backlight	+3.5v a +5v
16	K	GND Backlight	0v

Fuente: www.vishay.com

La principal característica para la selección de este componente para este proyecto es que posea el número de filas y caracteres suficientes para poder mostrar los parámetros más importantes que harán funcionar correctamente todo el sistema de control.

El LCD seleccionado es un 16 X 4, es decir 4 filas con 16 caracteres cada fila; y su función principal en este proyecto es mostrar en todo momento que los valores de las señales de cada sensor estén dentro de los rangos correctos, caso contrario no se sabría cuando el sistema está fallando.

Figura 21. Conexión típica de un LCD 16 X 4

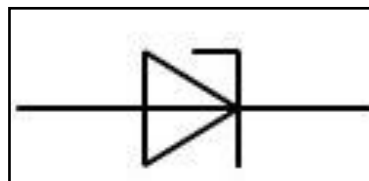


Fuente: www.vishay.com

6) Diodo Zener

Es un diodo que funciona en zonas de ruptura, por lo que a veces se les conoce como diodos de avalancha o ruptura. Este tipo de diodo es especial en su funcionamiento se conecta polarizado inversamente para que de esta manera mantenga en sus terminales una tensión de valor constante.

Figura 22. Símbolo electrónico de un diodo zener



Fuente: www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3

Su funcionamiento al ser polarizado inversamente, la tensión aplicada va aumentando negativamente, la corriente que circula por el diodo aumenta muy poco. Pero una vez que la tensión llega a la tensión denominada zener, el aumento de tensión es muy pequeño pudiendo ser constante. A este valor de tensión la variación de corriente que circula es grande y se denomina zona operativa.

El diodo zener genera ruido, por esta característica son usados como puentes de ruido. Debido a que la tensión permanece constante para una gran variación de corriente son empleados como regulador de voltaje.

Tabla 16. Características del diodo zener

Característica	Símbolo	1N4007A (RL 107)	Unidad
Voltaje de Reversa Pico Máximo Requerido	V_{RRM}	1000	v
Voltaje Máximo RMS	V_{RMS}	700	v
Máximo Voltaje de Bloqueo DC	V_{DC}	1000	v
Máximo Grado Progresivo de Corriente Rectificada a $T_a = 55^{\circ}C$	IO	1.0	Amps.
Típica Confluencia de Capacitancia	C_J	15	pF
Rango de Temperatura de Operación y Almacenaje	T_J, T_{STG}	-65 a +175	$^{\circ}C$

Fuente: http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/1/N/4/7/1N4728.shtml

De acuerdo a las características anteriores la selección del diodo zener apto para el diseño del circuito electrónico en este trabajo es el 1N4007A (RL 107).

Su función es actuar como un puente de ruidos, para evitar que el ruido generado durante la conexión de los contactos en el circuito de los relés regrese hacia el microcontrolador y alteren su funcionamiento.

7) Resistencia eléctrica

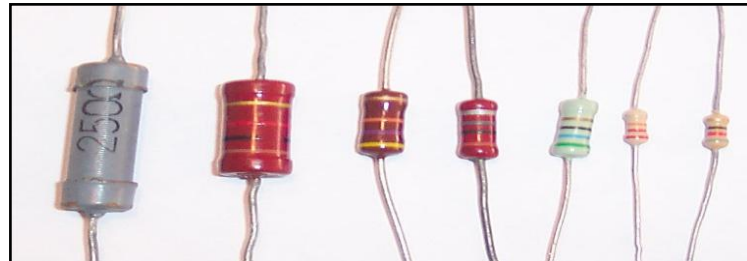
La resistencia eléctrica es la relación que existe entre la diferencia de potencial de un componente y la intensidad de corriente que lo atraviesa. Todos los componentes eléctricos y electrónicos presentan en mayor o menor medida resistencia al paso de corriente. Pero sin embargo existen componentes eléctricos denominados resistencias, que se introducen a los circuitos con la finalidad de disminuir la intensidad de corriente protegiendo así a los demás componentes.

Existen diferentes tipos de resistencias como: resistencias fijas, resistencias variables, resistencias de precisión, resistencias NTC etc.

La corriente máxima de una resistencia viene condicionada por la máxima potencia que puede disipar en su cuerpo. La identificación de su valor se puede identificar por rayas

de colores en su cuerpo y multiplicando por el multiplicador indicado para cada resistencia. Los valores de resistencia de cada una se mide en ohmios (Ω) y los submúltiplos depende del multiplicador que va desde R (1), K (kilo = 1000) y M (mega = 1000000).

Figura 23. Resistencias eléctricas



Fuente: www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3

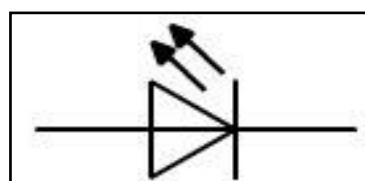
Con el objeto de limitar la corriente que pasa a los diferentes componentes electrónicos como: microcontrolador, led, LCD entre otros, empleados en la placa de control y así evitar el daño algunos de estos componentes; se selecciona las resistencias que estén dentro de los siguientes rangos: de 250 Ω a 350 Ω y de 1 K a 10K.

8) Diodo LED

El diodo emisor de luz (LED) por sus siglas en inglés, es muy utilizado como un indicador en algunos dispositivos y comúnmente se usan para iluminación. Estos diodos van polarizados directamente en los circuitos. La ventaja de estos es que se encienden muy rápido (aproximadamente en dos segundos).

Estos diodos tienen polaridad es decir un terminal positivo y un terminal negativo. Para encenderlos la tensión suministrada por la fuente deber ser mayor a la tensión de umbral del diodo. Pero se debe evitar que la corriente que circule por ellos este fuera de los límites o se dañaría irreversiblemente el LED, esto se puede hacer anteponiendo una resistencia.

Figura 24. Símbolo de un diodo LED



Fuente: www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3

Estos diodos en el diseño del circuito electrónico de este trabajo, son empleados como indicadores de activación y desactivación de válvulas; y también nos indican cuando los parámetros establecidos para este sistema estén fuera de los límites establecidos, es decir nos indicaran cuando un sistema falla.

9) Reloj oscilador

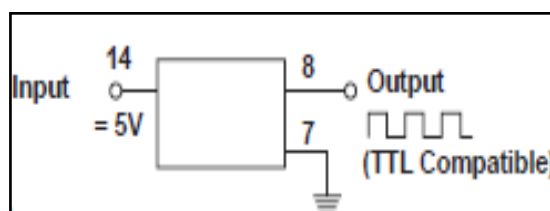
Este es un componente básico para el correcto funcionamiento de un microcontrolador, permitiendo la estabilización en la frecuencia de transmisión de datos. Siendo el de 4.0MHz el más utilizado para un PIC 16F877A. Este componente presenta las siguientes especificaciones:

Tabla 17. Especificaciones de un reloj oscilador

Especificaciones Eléctricas Estándares				
Rango de Frecuencia (MHZ)	Frecuencia de Estabilidad (%)	Corriente de Entrada Max. (mA)	Voltaje de Entrada (v)	Temperatura de Operación (°C)
4.0 a 9.99	0.1 Estándar (0.0025, + 0.005 opcional)	40	+5.0 VDC ± 0.5 v	0 a + 70 (-40 a 85 opcional)

Fuente: www.vishay.com

Figura 25. Pines de un oscilador



Fuente: www.vishay.com

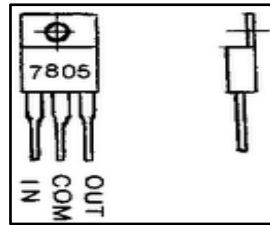
- Pin 14: +5 VDC
- Pin 7: Tierra (GND)
- Pin 8: Salida

10) Regulador de voltaje

Los reguladores de voltaje son muy usados en circuitos electrónicos porque tiene una salida ideal para alimentar otros circuitos y microcomponentes. Uno de ellos es el

regulador 7805 este puede recibir un voltaje de hasta 20v por un lado y entrega 5v por el otro; estos reguladores poseen tres pines el del medio va a tierra (GND), el de la izquierda entrada (hasta 20v) y el restante entrega 5v.

Figura 26. Regulador de voltaje 7805



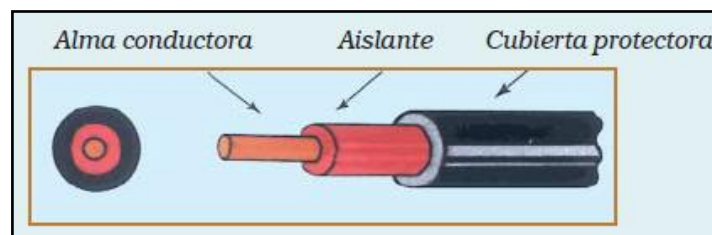
Fuente: www.jprogr.com/2012/05/como-usar-un-regulador-de-voltaje-7805.html

11) Conductores eléctricos

Se denomina conductor eléctrico a un cuerpo capaz de conducir corriente eléctrica a través de él. Los materiales para la fabricación de estos conductores son el cobre y el aluminio, siendo el cobre el más utilizado. Dependiendo del diámetro de estos, la resistencia que estos oponen al paso de corriente será mayor o menor.

La clasificación de estos es muy extensa por esta razón se hace énfasis en el tipo de conductor denominados alambres; estos constan de un solo hilo metálico revestidos por un aislante. Par la selección del tipo de conductor a emplear en este diseño se tiene muy en cuenta el voltaje y corriente con el que se va a trabajar.

Figura 27. Conductor eléctrico (alambre)



Fuente: www.procobrecuador.org

3.3 Selección de sensores y actuadores

3.3.1 Generalidades. El desarrollo de este proyecto tiene la finalidad de reducir la contaminación de vehículos alimentados por carburador, para lo cual es necesario de un sistema de control que permita controlar la apertura y el cierre de actuadores como son electroválvulas y este a su vez de otras válvulas como son EGR y EVAP.

Para que todo esto se realice de manera correcta y precisa el sistema de control necesita información de ciertos parámetros del motor como son: contenido de oxígeno en los gases de escape, temperatura y las revoluciones del motor. Esta información es enviada por sensores en forma de señales eléctricas.

Los sistemas que básicamente se tratarán en este proyecto son:

a) Sistema EGR (recirculación de gases de escape)

Este sistema como ya se estudió en los capítulos anteriores sirve para recircular una cierta cantidad de gases del sistema de escape y llevarlos nuevamente a la admisión, para que se mezcle con la emulsión aire/combustible y así reducir la formación de NO_x, que es un gas tóxico resultante de la combustión que se genera a altas temperaturas. La presencia de estos gases ya combustionados reducirán la temperatura y harán un mejor llenado de la cámara, debido a que estos gases ya no reaccionaran porque ya perdieron su oxígeno.

b) Sistema EVAP (control de emisiones evaporativas)

Al igual que el sistema anterior este sistema ya se trató en los capítulos anteriores, puesto a que la gasolina es muy volátil, debido a las altas temperaturas y a las constantes vibraciones del tanque de combustible al circular por las vías hace que la gasolina se evapore. Estos vapores de HC estarán en el tanque hasta una cierta presión para luego ser abandonados directamente a la atmósfera sin ser tratados como es en el caso del vehículo en cuestión que no cuenta con un sistema que controle estos gases que son muy contaminantes para la atmósfera.

Estos vapores por ser muy termoactivos tardarán muchos años para disolver sus moléculas. La finalidad de estos sistemas es llevar vapores a la admisión para ser combinados con la mezcla aire/combustible en el colector de admisión y así ser quemados.

c) Sistema PCV (ventilación positiva del cárter)

Este sistema aunque no parezca importante pero es fundamental, pues durante el funcionamiento del motor se genera altas presiones y temperaturas que hacen que el aceite de engrase se descomponga formando vapores en el interior del cárter. Antiguamente estos vapores eran enviados directamente a la atmósfera, pero hoy en día este sistema permite llevar estos vapores para ser aprovechados en la combustión.

d) Sistema catalítico

Los sistemas catalizados son uno de los más importantes en un vehículo que ayudan a reducir la contaminación. Estos sistemas se basan en reacciones químicas de reducción y oxidación, entre el elemento que está compuesto el catalizador y los gases de escape. Al reaccionar estos gases tóxicos como son HC y CO principalmente, son convertidos en gases menos tóxicos como O₂, CO₂ y vapores de agua. El vehículo que se trata en este proyecto no cuenta con este sistema por lo que se va implementar.

Para que el sistema de control electrónico de emisiones funcione correctamente se selecciona los elementos electrónicos como son sensores y electroválvulas, y otros elementos como válvulas y actuadores; en base a la estructura y diseño del motor del vehículo seleccionado para lo cual primero se analiza las características técnicas de dicho vehículo:

Tabla 18. Características técnicas del vehículo

Característica técnica	Descripción
Marca del vehículo	Mazda
Modelo	1990
Origen	Japonés
Cilindrada	2000cc
Número de cilindros	4
Disposición de los cilindros	4 cilindros en línea
Tipo de combustible	Nafta (Gasolina)
Forma de alimentación	Por Carburador
Tipo de múltiple de admisión	Un solo cuerpo
Tipo de múltiple de escape	Independientes, uno por cada dos cilindros
Sistema de escape	Un solo tubo en el acople del múltiple de escape
Ventilación positiva del cárter	Ventilación positiva al depurador, permanentemente abierta
Tipo de distribución	Un solo árbol de levas, con distribuidor de 4 levas en su eje
Sistema de refrigeración	Por radiador con ventilador, refrigerado por refrigerante-antioxidante controlado por termostato de 75°C, normalmente cerrado
Lectura de temperatura	Al tablero por medio de un trompo variante en resistencia interna

Fuente: Autor

En base a la información anterior se seleccionarán los sensores y actuadores para el correcto diseño y montaje del sistema al vehículo.

3.3.2 Selección de actuadores. El sistema requiere de válvulas que actúen para poder lograr el propósito planteado, por lo tanto se van utilizar electroválvulas que reaccionen ante un impulso eléctrico y que permitan el flujo de gases en los diferentes sistemas; siendo así:

- Para el sistema EGR se utilizará una válvula EGR que funciona por vacío (con diafragma), y mediante una electroválvula o solenoide de vacío normalmente cerrado que será controlado por el microcontrolador previamente programado para que genere el vacío en ciertas circunstancias sin afectar al funcionamiento normal del motor, servirá para generar el vacío para dicha válvula y así poder recircular los gases de escape hacia la admisión.
- Mientras que para el sistema EVAP se utiliza igualmente una electroválvula o solenoide de vacío normalmente cerrado que también será controlado por el microcontrolador previamente programado para que deje pasar el vacío desde el carburador y de esta manera llevar los vapores del tanque hacia el colector de admisión sin afectar al funcionamiento normal del motor.

3.3.3 Selección de sensores. Para que el sistema de control electrónico de emisiones controle las válvulas de los sistemas anticontaminantes sin alterar el correcto funcionamiento del motor, es necesario que el sistema de control reciba información de operación del motor.

Luego de analizar la estructura y el diseño del motor del vehículo en cuestión, se encontró la necesidad de instalar sensores que permitan determinar la información de algunos parámetros de funcionamiento de dicho motor.

1. Sensor de temperatura

La temperatura de funcionamiento del motor es un parámetro fundamental que el sistema de control debe conocer para poder realizar la realimentación de los gases a la admisión. Por lo tanto este sistema funcionará solo cuando la temperatura del motor sea la normal es decir entre 80°C y 90°C. Siendo la temperatura del motor la primera señal que el microcontrolador recibirá; dicha señal será tomada desde el trompo de temperatura que originalmente este motor incorpora, pero como este sensor es del tipo

NTC es decir que varía su resistencia conforme varia la temperatura del líquido refrigerante del motor y puesto a que el microcontrolador no puede interpretar directamente esta señal es necesario modificarla mediante un divisor de voltaje.

Este voltaje ya acondicionado será fácilmente convertido en una señal digital para que el microcontrolador pueda evaluar de manera periódica la temperatura de funcionamiento del motor.

2. Revoluciones del motor (RPM)

Otro de los parámetros que el sistema de control necesita son las revoluciones del motor, pues los sistemas que van a ser controlados solo funcionarán dependiendo de las RPM a las que se encuentre el motor, es decir que habrá momentos en los que se necesitará una mezcla rica o mezcla pobre pero en ninguna circunstancia las revoluciones serán las mismas.

Para que el microcontrolador reciba la señal de las RPM del motor, se aprovechó del circuito de un tacómetro digital el mismo que se acopló a la placa de control. El tacómetro va instalado en el primario de la bobina.

3. Sensor de oxígeno

Una vez que el microcontrolador haya recibido señales de temperatura y revoluciones del motor, se habrá ya cumplido las dos condiciones para que el sistema de control pueda abrir o cerrar las válvulas de los sistemas que se va controlar.

Pero el microcontrolador no sabe en qué estado se encuentra la mezcla en el carburador, es decir no sabría si la mezcla es rica o pobre, situación que causaría desestabilidad en el correcto funcionamiento del motor. Para poder informar al microcontrolador el estado de la mezcla es necesario incluir en el sistema un sensor de oxígeno el cual mediante su operación que es la de comparar el contenido de oxígeno en los gases de escape con el oxígeno de la atmósfera y mediante esta diferencia enviar una señal en forma de voltaje la misma que será interpretada por el microcontrolador el cual mediante esta información podrá controlar la activación de las válvulas en los momentos precisos cuando el motor requiera una mezcla rica o pobre; y así beneficiar al motor con estos gases.

Para el diseño se selecciona un sensor de oxígeno de 4 cables con resistencia calefactora, debido a que luego de la determinación del punto más caliente en sistema

de escape cuya temperatura no alcanzaba la ideal para el normal funcionamiento del sensor de oxígeno.

El funcionamiento de este sensor se basa en la comparación del porcentaje de oxígeno que existe en el exterior del múltiple de escape con el del interior, en base a esta comparación el sensor de oxígeno emite un voltaje en la siguiente relación: El porcentaje promedio de la concentración de oxígeno en el exterior del múltiple es de 20 %.

En base a éste porcentaje el sensor de oxígeno calcula el tipo de mezcla en la siguiente relación:

a. Cálculo del sensor de oxígeno (Mezcla rica)

Mezcla rica: Concentración de oxígeno en el múltiple del 1% al 5%.

• **Comparación del sensor de oxígeno**

$X = \text{Porcentaje de } O_2 \text{ en el exterior del múltiple} - \text{Porcentaje de } O_2 \text{ en el interior del múltiple.}$

Si X es mayor o igual al 15 % y menor o igual al 19 %, el sensor de oxígeno emite un voltaje de señal entre 0,65v y 0.95v, este rango de voltaje ingresará al microcontrolador previamente programado bajo estas condiciones e indicará que la mezcla en el carburador es rica. Con este valor el microcontrolador activará la válvula EGR, la cual a su vez permitirá el paso de una pequeña proporción de los gases de escape hacia el depurador; de esta forma, la mezcla tendrá un volumen mayor de O_2 y se acercará a una concentración de una mezcla ideal (14.7 partes de O_2 por cada 1 de combustible en la mezcla).

b. Cálculo del sensor de oxígeno (Mezcla pobre)

Mezcla pobre: Concentración de oxígeno en el múltiple del 6 % al 11 %.

• **Comparación del sensor de oxígeno**

$X = \text{Porcentaje de } O_2 \text{ en el exterior del múltiple} - \text{Porcentaje de } O_2 \text{ en el interior del múltiple.}$

Si X es mayor o igual al 9 % y menor o igual al 14 %, el sensor de oxígeno emite un voltaje de señal entre 0,1v y 0.35v, este rango de voltaje ingresará al microcontrolador

previamente programado bajo estas condiciones e indicará que la mezcla en el carburador es pobre. Con este valor el microcontrolador activará la válvula EVAP la cual a su vez permitirá el paso de los vapores del tanque de almacenamiento de combustible y de esta forma, la mezcla tendrá un volumen mayor de combustible y podrá acercarse a una concentración de una mezcla ideal (1 parte de combustible por cada 14.7 partes de aire en la mezcla).

c. Cálculo del sensor de oxígeno (Mezcla ideal)

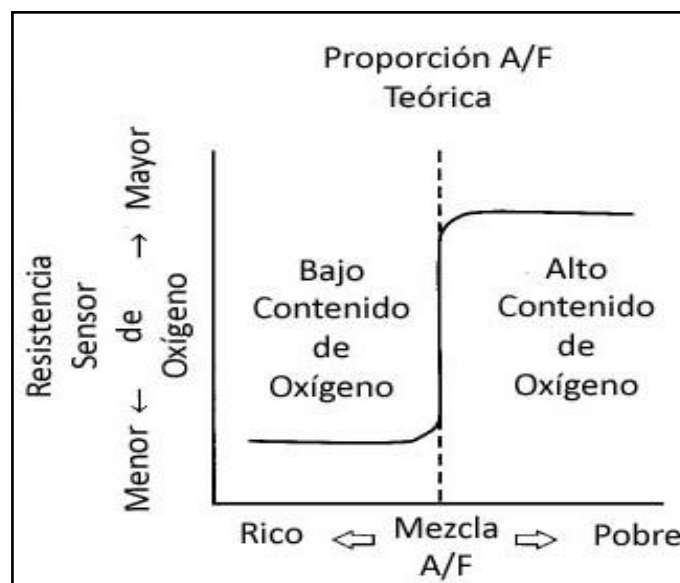
Mezcla ideal: Concentración de oxígeno en el múltiple del 4.9 % al 5.9 %.

• Comparación del sensor de Oxígeno

$X = \text{Porcentaje de O}_2 \text{ en el exterior del múltiple} - \text{Porcentaje de O}_2 \text{ en el interior del múltiple}$.

Si X es mayor o igual al 14.1 % o menor o igual al 15.9 %, el sensor de oxígeno emite un voltaje de señal entre 0.36v y 0.60v, este rango de voltaje ingresará al microcontrolador previamente programado bajo estas condiciones e indicará que la mezcla en el carburador es ideal. Con este valor el microcontrolador no activará ninguna de las válvulas del sistema, la mezcla se encuentra en la proporción aire y combustible adecuada, para que las emisiones del motor sean menos nocivas y contaminantes.

Figura 28. Relación lambda para mezclas pobres y ricas



Fuente: www.encendidoelectronico.com/curso-sensor-de-oxigeno.

3.4 Diseño electrónico del sistema

3.4.1 Generalidades. Para el control de las válvulas de los sistemas anticontaminantes implementados durante este proyecto a un vehículo a carburador que no posee estos sistemas, es necesario diseñar una placa electrónica la misma que hará la función de las modernas computadoras que poseen los automotores más nuevos y mediante estos sistemas electrónicos de inyección cumplen con las normas anticontaminantes impuestas por los gobiernos.

Por lo tanto, la rapidez con la que se necesita que se activen y desactiven algunas válvulas para el correcto funcionamiento del motor y del sistema de control de emisiones diseñado no sería posible sin la ayuda de la electrónica.

El uso de elementos electrónicos y software de programación es inevitable en este proyecto.

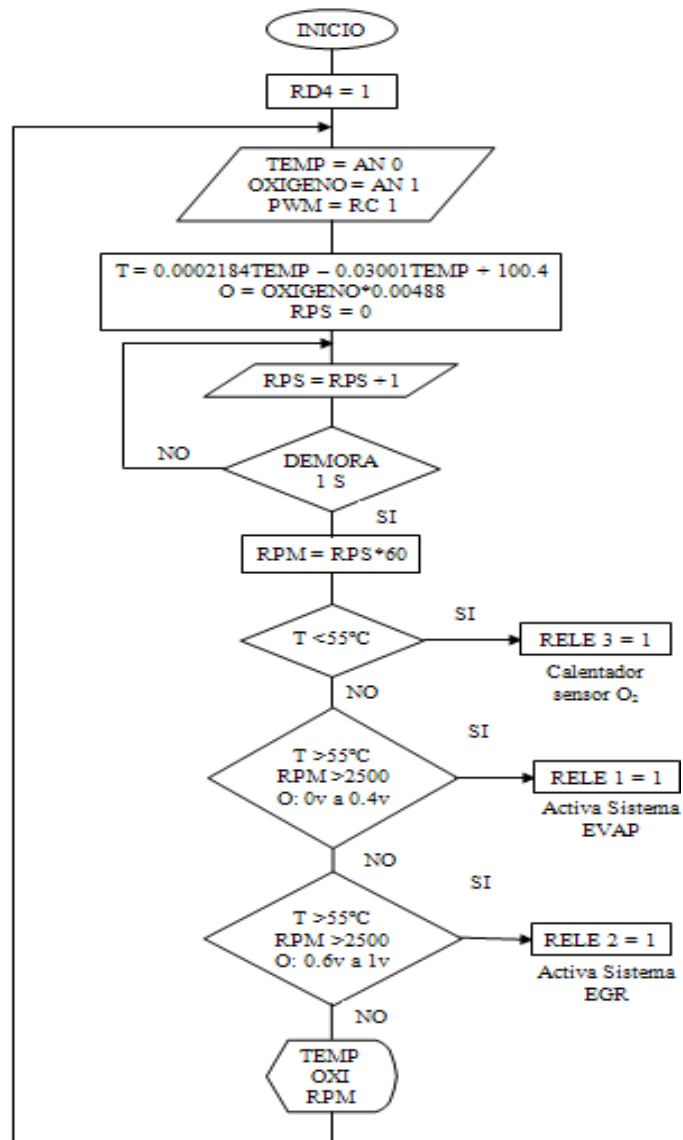
3.4.2 Programación del microcontrolador. El programa empleado para la programación del microcontrolador es microCode studio, debido al fácil manejo de variables y parámetros durante su programación; como ya se estudió en capítulos anteriores y tomando en cuenta las condiciones de funcionamiento del sistema de control de emisiones que se está diseñando se procede a programar en el microcontrolador, siguiendo las líneas y sintaxis como se observa en el (ANEXO A).

Además del manejo de variables y parámetros para la programación del sistema de control, es necesario que cada una de las acciones que se van a realizar durante el funcionamiento de todo el sistema siga un determinado proceso, es decir habrá un principio y un fin de las acciones.

Este proceso iniciará al momento en que se ponga la llave de encendido en contacto, en esta posición el sistema es alimentado y empieza a leer las señales del sensor de oxígeno, trompo de temperatura y tacómetro.

Una vez que se enciende el motor el sistema recibe las señales de los elementos antes mencionados y envía señales para la activación de las electroválvulas a través de los relés. La duración de este proceso será durante el tiempo en que el motor este funcionando y finalizará una vez que se cierre la llave de encendido; para volver a iniciarse nuevamente en cuanto se encienda el motor.

Figura 29. Diagrama de flujo del sistema de control



Fuente: Autor

3.4.3 Simulación del sistema de control electrónico. El software utilizado para realizar la simulación del sistema de control electrónico de emisiones es el proteus, debido a la facilidad de manejo de este programa. Para la simulación se debe tomar muy en cuenta el funcionamiento de los sensores para poder seleccionar el elemento electrónico que va simular a dicho sensor; siendo así se realiza la simulación como se observa en el (ANEXO B).

3.4.4 Señales de entrada y salida, hacia y desde el microcontrolador

a. Señales de entrada

- Alimentación del sistema.
- Señales de la temperatura del motor desde el trompo de temperatura.

- Señales de las revoluciones del motor desde el tacómetro digital.
- Señales desde el sensor de oxígeno.

b. Señales de salida

- Alimentación para la resistencia calefactora del sensor de oxígeno
- Señal de activación para las electroválvulas tanto del sistema EGR como del EVAP

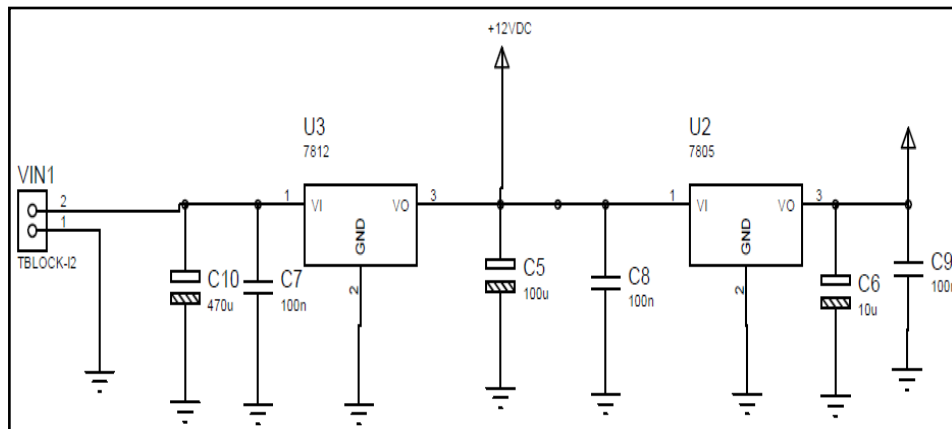
3.4.5 Adecuación y diseño electrónico de las señales de entrada

a. Alimentación del sistema

Para la alimentación eléctrica del sistema de control se lo hace desde el swich del vehículo cuyo voltaje que proviene desde la batería oscila entre 12v a 14v, pero como el voltaje de operación de un microcontrolador va desde 0v a 5v, este voltaje sería demasiado el cual podría averiar el sistema.

Por lo tanto se ajusta este voltaje con el uso de componentes electrónicos como son reguladores de voltajes y capacitores, para que el microcontrolador reciba un voltaje de 5v para su operación, en la siguiente figura se muestra el diagrama de dicho circuito:

Figura 30. Circuito de alimentación del sistema.



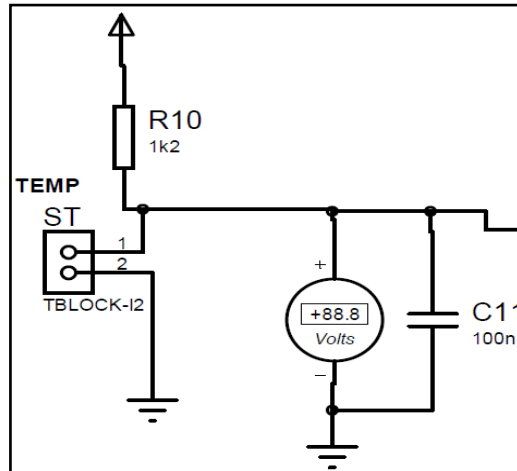
Fuente: Autor

b. Señal de temperatura del motor

El sistema de control de emisiones funcionará solo cuando la temperatura del motor sea la adecuada es decir de 80°C a 90°C. Por lo tanto esta información es importante para el sistema, para lo cual se usa la señal enviada por el trompo de temperatura del propio motor, que no es nada más que una resistencia que varía según la temperatura del líquido refrigerante.

Pero como esta señal no puede ser interpretada por el microcontrolador es necesario modificarla utilizando un modelo matemático, de esta manera transformar en señal digital y poder leerla en un LCD.

Figura 31. Circuito de señal de temperatura

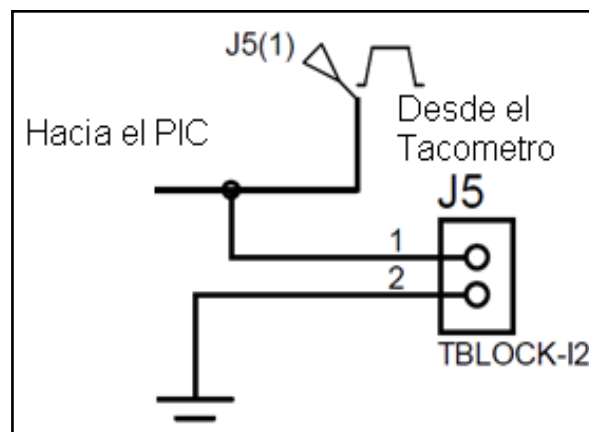


Fuente: Autor

c. Señal de las revoluciones del motor

El vehículo al que se incorpora estos sistemas, es de escasa tecnología no cuenta con ningún sensor que interprete la señal requerida, por lo tanto es necesario diseñar un circuito auxiliar al del tacómetro digital para que el microcontrolador pueda usar la misma señal. El tacómetro usa en su circuito un integrado el cual debe entrar en comunicación con el PIC usado en el sistema para lo cual se debe determinar el pin correcto y conectarlo al pin del microcontrolador del sistema de control y para de esta manera poder mostrar esta información en un LCD.

Figura 32. Circuito de las revoluciones del motor



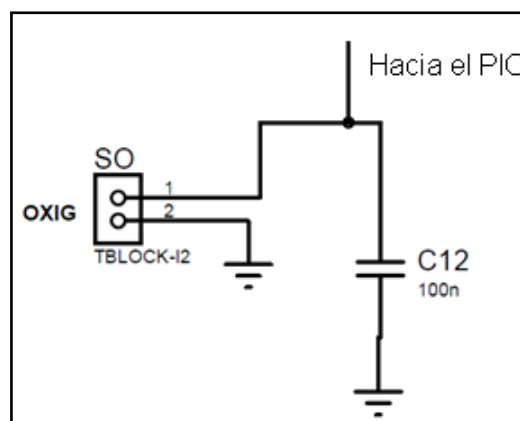
Fuente: Autor

d. Señal del sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno usa un dispositivo de zirconio que al entrar en contacto con los gases de escape genera un voltaje entre 0v y 1v el cual es interpretado como una señal que es usada por la ECU para de esta manera determinar el estado de la mezcla mediante el contenido de O₂ en los gases de escape.

El sistema de control diseñado utilizará la señal del sensor de oxígeno para activar y desactivar las válvulas de los sistemas anticontaminantes, es decir si el voltaje emitido está entre 0v – 0.4v la mezcla es pobre, por lo tanto se activará el sistema EVAP; en cambio si la señal está entre 0.6v – 0.98v la mezcla es rica, por lo tanto se activará el sistema EGR. Y por ultimo si la señal oscila entre 0.45v – 0.55v la mezcla es ideal, por lo tanto no activará ninguna electroválvula.

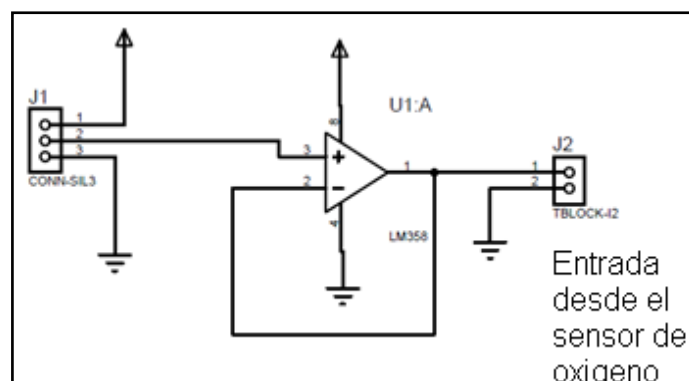
Figura 33. Circuito de la señal del sensor de oxígeno



Fuente: Autor

Debido a que el voltaje es muy bajo es necesario amplificar esta señal como se ve en la figura:

Figura 34. Circuito amplificador de señal del sensor de oxígeno



Fuente: Autor

3.4.6 Adecuación y diseño electrónico de las señales de salida

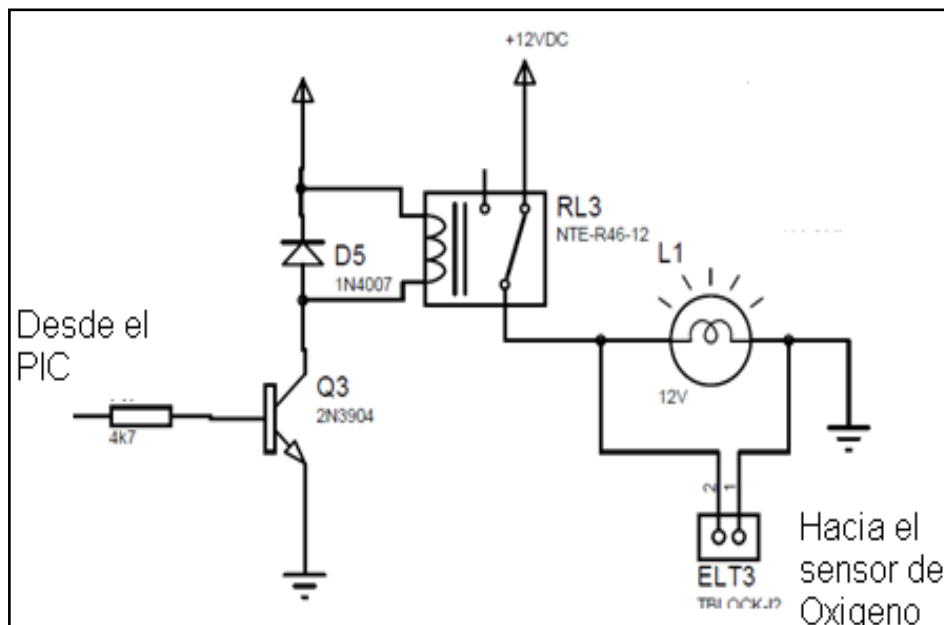
a. Alimentación a la resistencia calefactora del sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno usado en el sistema es de 4 cables es decir uno para señal, otro como masa del sensor y los dos últimos son masa y alimentación del calefactor.

La finalidad de esta resistencia calefactora en estos tipos de sensores es lograr alcanzar la temperatura de funcionamiento del sensor durante el arranque en frío del motor todo esto se logra durante los primeros 10 minutos de encender en vehículo.

Para poder cumplir con lo requerido es necesario diseñar un circuito de alimentación de 12v, el mismo que funcionará solo durante el arranque en frío.

Figura 35. Circuito para el calefactor (sensor de oxígeno)



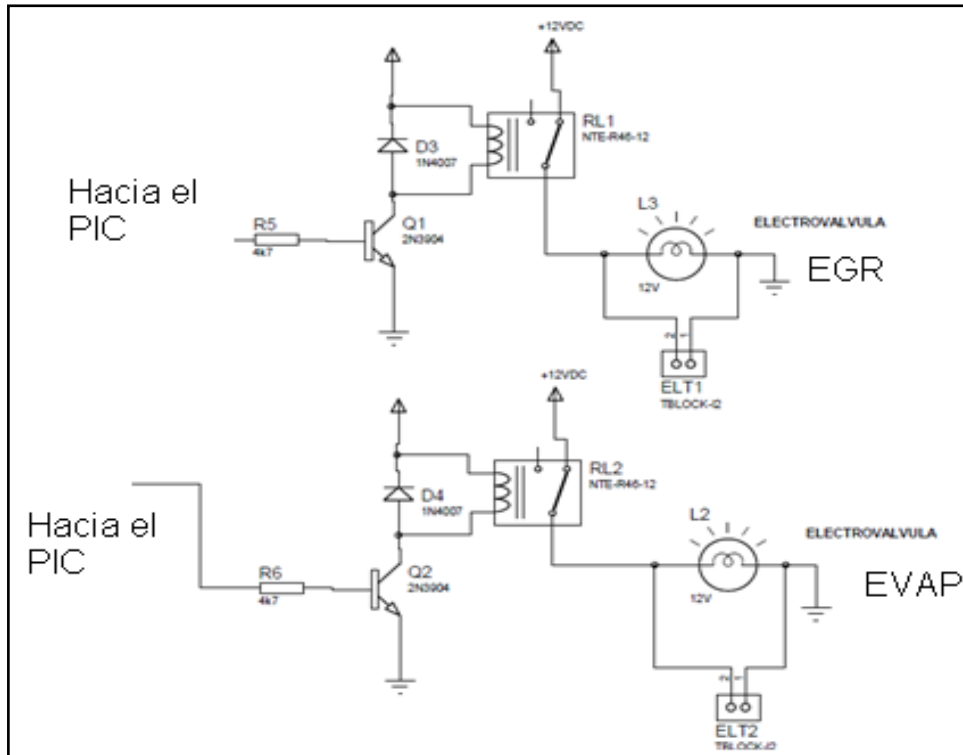
Fuente: Autor

b. Señal de activación para las electroválvulas tanto del sistema EGR como del EVAP

Una vez que el microcontrolador interprete las señales de entrada de los diferentes parámetros de funcionamiento del motor como son: temperatura, revoluciones y el estado de la mezcla aire/combustible; y su correcta programación es necesario que el microcontrolador envíe una señal de activación a las electroválvulas de ambos sistemas.

Es necesario diseñar un circuito que envíe una activación de 12v a través de relés hacia estas electroválvulas.

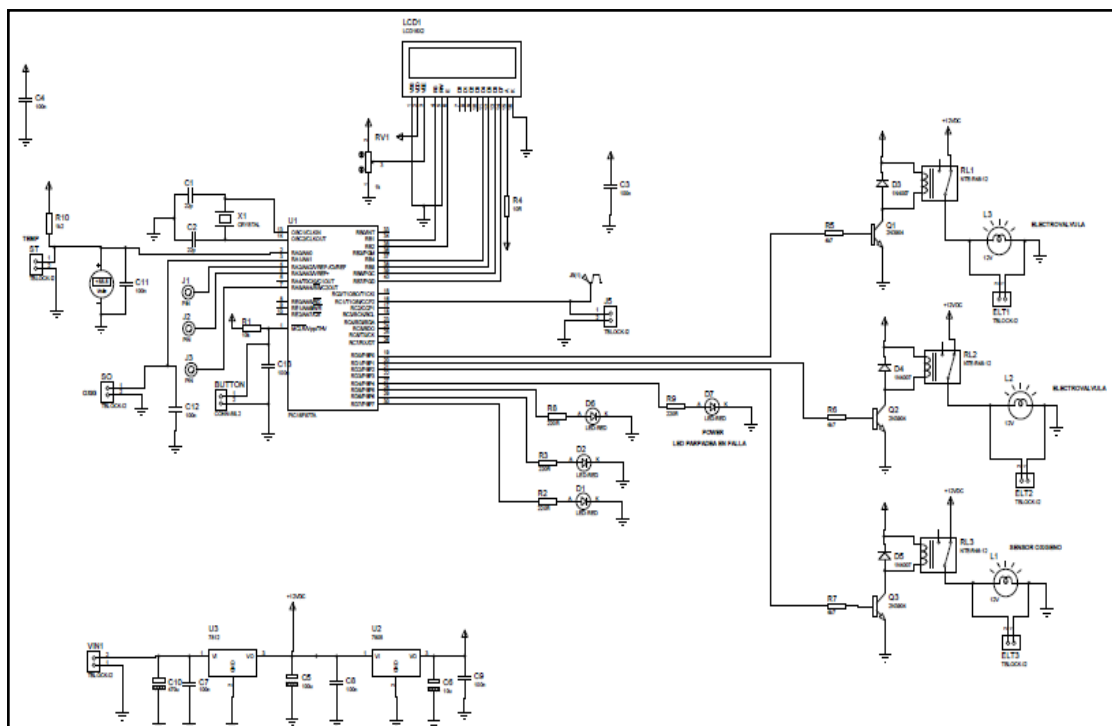
Figura 36. Circuito de activación de electroválvulas del sistema EGR y EVAP



Fuente: Autor

3.4.7 *Diseño electrónico del sistema de control de emisiones.* En el siguiente esquema se puede ver la disposición de los diferentes elementos electrónicos que forman parte de la placa del sistema de control.

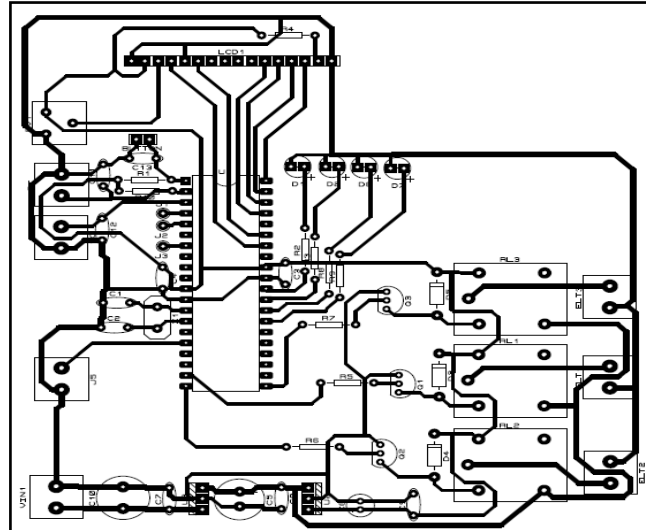
Figura 37. Diseño electrónico del sistema de control



Fuente: Autor

3.4.8 *Diseño de la placa del sistema de control.* En la siguiente figura se esquematiza la placa de conexión de los elementos electrónicos del sistema de control.

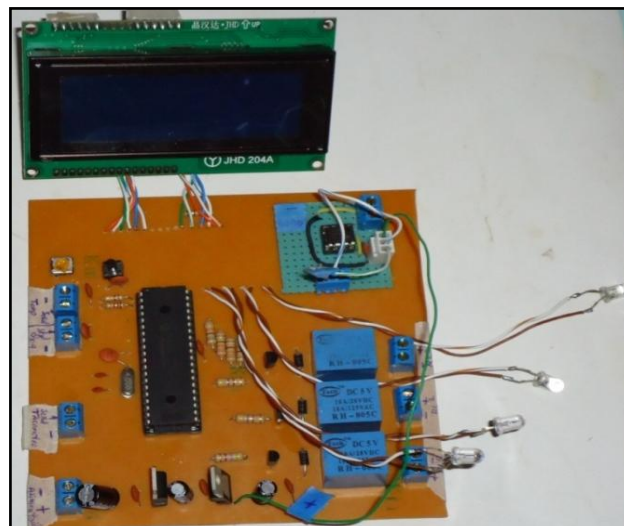
Figura 38. Diseño de la placa del sistema de control (ARES)



Fuente: Autor

3.4.8 *Construcción de la placa del sistema de control.* Una vez programado, diseñado y simulado el sistema electrónico, se procede a la construcción de la placa de control como se puede ver en la siguiente figura.

Figura 39. Construcción de la placa del sistema de control



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

4.1 Puesta a punto del motor del vehículo al cual se va instalar el sistema

Para un mejor desempeño en el funcionamiento del vehículo se debe complementar con los diferentes mantenimientos entre estos están preventivos y de rutina, de esta manera se pretende mantener a los diferentes sistemas del vehículo dentro de las tolerancias correctas de funcionamiento y para así reducir costos futuros de reparaciones.

Todos estos mantenimientos deben ser realizados bajo normas técnicas y recomendaciones de los fabricantes.

Además el mantenimiento rutinario del vehículo se complementa con el ABC de motor que consiste en la revisión y reemplazo de algunos elementos que forman parte de la ignición del motor para que el automotor este operando en buenas condiciones y así evitar problemas mecánicos en futuro.

El sistema encendido y equipamiento tecnológico son diferentes, por lo tanto los mantenimientos también varían; como es en el caso de motores a inyección electrónica y motores a carburador que debido a la limitada tecnología que estos motores incorporan resulta aplicable este proyecto.

Para que el motor del vehículo seleccionado para este proyecto funcione en buenas condiciones, se debe realizar un ABC de motor en cual se detalla a continuación:

4.1.1 *ABC DE MOTOR MAZDA B2000 1990*

a) **Previo al ABC de motor:**

Al tratarse de un motor antiguo se debe tener en cuenta que debe estar caliente para analizarlo en correcta operación, para lo cual se debe realizar una prueba de ruta que permita comprobar que el motor desarrolle toda su potencia sin dificultad, en el transcurso de esta ruta se debe ubicar posibles fallas para posteriormente analizarlas y corregirlas.

Se debe conducir el vehículo en altas como en bajas cargas y ver si existen atracones o cualquier anomalía en estas condiciones.

Además se deben escuchar y tomar muy en cuenta sonidos extraños en el motor.

- **Conclusiones de la prueba de ruta:**

Una vez terminado la prueba de ruta se determina que el motor del vehículo desarrolla en perfectas condiciones, con una conducción suave y un sonido de motor en buen estado; sin embargo está quemando mucho combustible, se procederá a realizar los siguientes trabajos para corregir la falla antes mencionada y mejorar el desempeño del motor; y posteriormente poder instalar el sistema de control y los diferentes dispositivos anticontaminantes planteados en este proyecto:

- b) Limpieza del carburador:**

Este es uno de los trabajos más importantes que se debe realizar, el carburador es el mecanismo encargado de pulverizar el combustible con la cantidad proporcional de aire, de esto dependería el correcto funcionamiento del motor.

Una vez ubicado el carburador se procede a realizar su limpieza tanto interna como externamente y además todas sus cavidades de entrada y salida de aire como de combustible. La calibración y el cambio de elementos como economizadores, calibres y otros se lo hace de acuerdo a las especificaciones del fabricante. En la siguiente figura se puede verificar lo dicho.

Figura 40. Limpieza del carburador



Fuente: Autor

- c) Calibración y cambio de Platinos:**

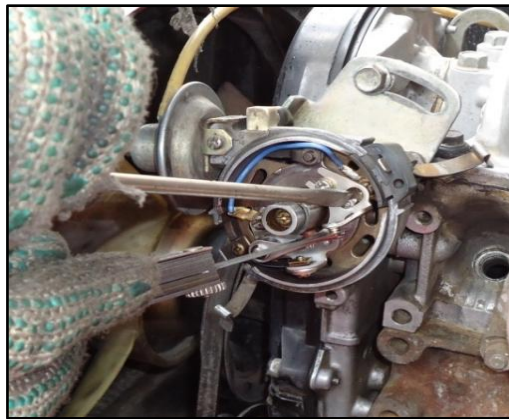
Se procede a inspeccionar el estado de este sistema, se puede verificar que el platino y sus contactos están desgastados lo cual indica que esta puede ser una de las causas de que este quemando demasiado combustible. El platino es el elemento encargado de poner en contacto el seguidor del distribuidor con el condensa, para así generar la

chispa adecuada para posteriormente transmitir mediante el rotor a cada uno de los contactos de la tapa del distribuidor y desde aquí a cada una de las bujías.

Cuando la chispa en las bujías no tiene la intensidad suficiente la combustión es incompleta y por tanto pasa una cantidad de combustible sin quemar. Por este motivo se procede a cambiar de platino y condenso; los mismos que son de fabricación Japonesa y de marca New-Era.

La calibración de distancia entre los contactos con el seguidor en el punto alto del eje de levas del distribuidor es de 0.45mm; la herramienta utilizada para la calibración es un calibrador de lánas.

Figura 41. Calibración de distribuidor



Fuente: Autor

d) **Cambio de Bujías:**

Al inspeccionar el estado de las bujías indica que tan bien está operando internamente un motor, en este caso al desmontar las bujías de cada uno de los cilindros se puede ver que estaba carbonizadas, razón por la cual se pudo confirmar que esta es la razón por la cual se está quemando demasiado combustible, la chispa generada por las bujías en este estado no es suficiente para quemar toda la mezcla del cilindro.

Figura 42. Bujías carbonizadas



Fuente: Autor

Las bujías se deben reemplazar de la misma marca recomendadas por el fabricante para este tipo de vehículo NGKBP5ES y la calibración entre el electrodo y tierra para este tipo de vehículo es de 1mm.

e) **Cambio del filtro de aire**

Al revisar el sistema de admisión de aire se puede determinar que el filtro de aire se encontraba saturado de impurezas. Esta es otra de las razones por la cual un motor quema demasiado combustible, el aire que ingresa para formar la mezcla no es suficiente y por tanto queda combustible no combustionado. A continuación se lo reemplaza.

Figura 43. Cambio de filtro de aire



Fuente: Autor

4.2 Análisis de gases antes de la instalación del sistema de control electrónico de emisiones

El análisis de los porcentajes de gases nocivos emitidos por este automotor se lo realiza una vez terminado con las operaciones anteriores y sin instalar ningún dispositivo anticontaminante, para de esta manera poder saber en qué porcentaje se reducirá la emisión de estos gases con la implementación de este sistema de control de emisiones propuesto en este proyecto.

Para el efecto es necesario acudir hasta la ciudad de Cuenca al taller MEKANIK EXPRESS (Cristóbal Colon y Fray de León) del Ing. Pablo Pugo, taller autorizado por Cuenca Aire para realizar este tipo de pruebas.

Para el análisis es necesario que el motor este caliente a una temperatura normal de funcionamiento de 75°C a 80°C, además esta prueba de gases se realiza en dos condiciones del motor primero se lo hace con el motor girando en ralentí y luego a 2500

RPM. Utilizando un analizador de gases BRAIN BEE Tipo AGS – 688 en la siguiente tabla se presentan los resultados de gases nocivos emitidos por este vehículo en las condiciones antes mencionadas:

Figura 44. Analizador de gases



Fuente: Autor

Tabla 19. Análisis de gases antes de la instalación del sistema

Medición	A ralentí *	A 2500 RPM **	Unidad
Temperatura	-	-	°C
RPM	850	2500	1/min.
CO	9.99	9.88	% Vol.
CO ₂	6.8	8.1	% Vol.
HC	1047	988	ppm Vol.
O ₂	0.77	0.99	% Vol.
Lambda	0.707	0.776	-
* Ver ANEXO C			
* Ver ANEXO D			

Fuente: Autor

4.3 Instalación de sensores en el motor

4.3.1 Instalación del trompo de temperatura. La temperatura es uno de los parámetros más importantes para que el motor de un vehículo se encuentre dentro del correcto funcionamiento, por lo tanto es importante verificar el correcto funcionamiento de todos los elementos que conforman el sistema de refrigeración del motor y así de importante es también que el conductor pueda saber en todo momento de ese parámetro a través de un aviso en el tablero. Si la pluma que indica la temperatura del motor del vehículo no marca se procede a verificar la conexión y determinar si el trompo de temperatura está funcionando correctamente.

Siendo así se reemplaza, la señal de este sensor será usado como un parámetro importante para el funcionamiento del sistema de control.

Figura 45. Trompo de temperatura averiado



Fuente: Autor

4.3.2 Instalación del sensor de oxígeno

- **Previo a la instalación del sensor de oxígeno:**

Antes de proceder a instalar el sensor de oxígeno y el catalizador en el escape del vehículo primeramente se debe chequear el estado del tubo de escape, luego verificar el punto más caliente en el escape este paso se lo realiza con el motor caliente a una temperatura de 80°C mediante un pirómetro (medidor de temperatura a laser).

Tabla 20. Mediciones del punto más caliente en el tubo de escape

Nº de Medición	Temperatura (°C)
Primera	128
Segunda	150
Tercera	180
Cuarta	200
Quinta	218

Fuente: Autor

Luego de todas las verificaciones se determina que el tubo de escape está en buenas condiciones con una pequeña fisura pero que se procede a solucionar. En cuanto al punto más caliente se selecciona la zona después de la unión de los dos tubos como la más conveniente y porque ahí la temperatura era la más alta.

Figura 46. Determinación del punto más caliente en el escape



Fuente: Autor

- **Proceso de instalación del sensor de oxígeno:**

Primero determinar el espacio en el que se va colocar el sensor y es necesario diseñar una tuerca con la misma rosca del sensor para así poder sujetarlo en el tubo de escape.

Figura 47. Punto en el que se montará el sensor de oxígeno



Fuente: Autor

A continuación se monta el sensor de oxígeno:

Figura 48. Sensor de oxígeno montado en el tubo de escape



Fuente: Autor

4.4 Instalación de actuadores en el motor

Una vez seleccionado los diferentes actuadores para el proyecto es hora de instalar los mismos al vehículo, para que mediante el sistema de control diseñado permita aprovechar tanto los gases de escape como los vapores del tanque de combustible de manera que beneficien favorablemente al funcionamiento del motor y también para de alguna manera contribuir a la protección del medioambiente.

Estos gases son muy contaminantes y más aún en vehículos de escasa tecnología como es el caso de los vehículos a carburador que no poseen estos sistemas anticontaminantes.

4.4.1 Instalación de sistema EGR. Para la instalación la válvula EGR que es uno de los componentes más importantes de los sistemas anticontaminantes se realizan los siguientes pasos:

- Primero es necesario determinar de dónde se tomará el vacío para la activación de la válvula EGR seleccionada, se aprovecha del vacío generado en el interior del carburador.
- Luego de analiza si el vacío del carburador es el suficiente para la activación de dicha válvula, para lo cual mediante un vacuómetro se mide el vacío requerido por la válvula y también el vacío generado por el carburador.

Figura 49. Medición de vacío en el carburador

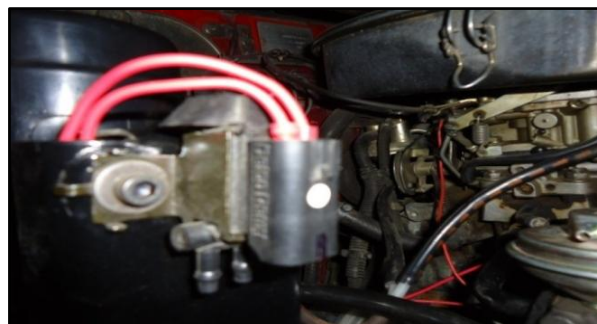


Fuente: Autor

El vacío requerido por la válvula es de 0.2719Kg/cm^2 , y el vacío generado por el carburador es de 0.3Kg/cm^2 . Siendo así el vacío generado por el carburador es más que suficiente para activar la válvula EGR.

- A continuación se procede a instalar el solenoide de vacío, el mismo que recibirá un pulso de activación desde el sistema de control y permitirá el paso del vacío desde el carburador hacia la válvula EGR, todo esto se realizará en ciertos momentos que el motor necesite una mezcla rica o pobre. En la figura inferior se puede ver el solenoide ya instalado:

Figura 50. Solenoide del sistema EGR



Fuente: Autor

- Por último se realiza la adaptación de la válvula EGR al motor, para lo cual es necesario diseñar un neplo de acoplamiento tanto para la llegada como la salida de

los gases de escape en la válvula, se atornilla a un orificio original que posee el carburador cerca del punto en el que se realiza la mezcla aire/combustible.

Figura 51. Instalación de la válvula EGR



Fuente: Autor

La toma de gases de escape para el sistema EGR se lo hace mediante un tubo galvanizado de 1" de diámetro directamente del tubo de escape desde el punto en que se unen los dos tubos que salen del múltiple de escape.

Y para la salida de los gases de la válvula hacia la admisión se utiliza un tubo galvanizado de 1/2" de diámetro, la llegada de los gases de escape es hacia el punto en donde se realiza la mezcla aire/combustible dentro del carburador.

Figura 52. Tubo para toma de gases de escape



Fuente: Autor

4.4.2 Instalación de sistema EVAP. Para la instalación de los elementos de este sistema que es importante cuando se habla de evitar la contaminación al medio ambiente, se procede primero verificar si en el tanque existe una salida de estos gases a la atmósfera de hecho este vehículo posee unas cañerías que conducen estos vapores hacia la atmósfera. Por lo tanto se aprovecha estas salidas para conducir los HC hacia el sistema.

Figura 53. Toma de vapores de HC desde el tanque de combustible



Fuente: Autor

Luego como el sistema requiere de vacío para poder llevar los vapores una vez que estén en el cánister, mediante el solenoide para lo cual se toma vacío del propio motor.

Figura 54. Instalación del solenoide del sistema EVAP



Fuente: Autor

4.4.3 Ventilación positiva del cárter. Este sistema ya incluye el vehículo de fábrica, su ubicación por lo general es en la parte superior del motor sobre el tapa válvulas, su función es la de llevar los vapores generados por la circulación del aceite, sin este desfogue existiría sobrepresiones en el interior del motor. Por lo que no es necesaria la instalación de ningún actuador para este sistema.

En la siguiente figura se puede ver este sistema:

Figura 55. Ventilación positiva del cárter



Fuente: Autor

4.4.4 Instalación del catalizador. De la misma manera que para el sensor de oxígeno, para la instalación del catalizador se determina el punto más caliente en el escape y se procede a montarlo:

Primero es necesario diseñar unas bridas las mismas que servirán para empernar el catalizador en el escape, estas bridas tienen un espesor de 8mm para soportar las vibraciones que se generan en el tubo de escape.

Figura 56. Brida para sostener el catalizador



Fuente: Autor

Posteriormente se instala el catalizador en el tubo de escape, para evitar que existan fugas de gases de escape es necesario imponer unos empaques entre las bridas para una mejor hermeticidad.

Figura 57. Catalizador montado en el tubo de escape



Fuente: Autor

4.5 Planes de mantenimiento de los sistemas anticontaminantes

Con la finalidad de extender la vida útil de cada uno de los componentes de los sistemas anticontaminantes y en si de todo el vehículo, es necesario definir planes de mantenimiento que a continuación se detallan:

Mantenimiento Preventivo.- Este mantenimiento tiene por finalidad detectar y corregir daños menores, que vayan a repercutir posteriormente en el funcionamiento correcto del automóvil; evitando gastos elevados en reparaciones.

Mantenimiento Predictivo.- Con este mantenimiento se trata de monitorear posibles fallas que se puedan presentar en los diferentes sistemas del vehículo, para lo cual se hace el uso de equipos como el escáner u otros.

Mantenimiento Correctivo.- En este mantenimiento se procede a corregir fallas y problemas que se presente en el vehículo, reemplazando elementos rotos o desgastados por agotamiento de la vida útil. Los elementos que se reemplacen deben estar de acuerdo a lo recomendado por el fabricante.

Los sistemas anticontaminantes no son tomados en cuenta al momento de dar mantenimiento o diagnosticar fallas en el vehículo. Estos simplemente se reemplazan cuando fallan o dejan de funcionar; para evitar gastos en reparaciones de estos sistemas, se debe realizar el respectivo mantenimiento a sistemas como alimentación, encendido entre otros sistemas que intervienen en el correcto funcionamiento del motor.

a. Plan de mantenimiento de los sistemas evaporativos

Para que el sistema funcione correctamente, uno de los puntos importantes es que no exista fuga de gases por la tapa del tanque de combustible esto haría que el sistema quede abierto, esto se comprueba si al quitar la tapa existe succión de gases. Para lo cual se debe revisar el estado del empaque de la tapa y de la misma, y de ser necesario reemplazar.

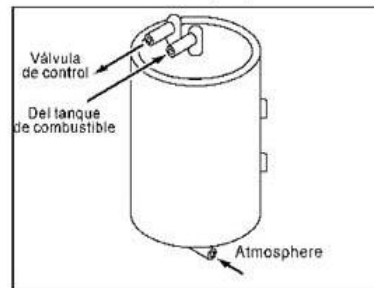
Evitar llenar el tanque de combustible en exceso, la gasolina averiaría los componentes del sistema EVAP. Verificar el estado de las mangueras, si están rotas o cortadas se debe reemplazar.

Para verificar el estado del solenoide de vacío, se debe desconectar las mangueras y el soque eléctrico; luego alimentarlo con 12v y comprobar si se abre el paso de aire, para lo cual se debe soplar por una de sus entradas dejando pasar libremente el aire caso contrario reemplazarlo. Al momento de soplar se debe evitar entrar en contacto directo con el solenoide es necesario anteponer una tela o franela.

Si el cánister se encuentra inundado de combustible liquido, es necesario reemplazarlo por otro con las mismas características.

El mantenimiento periódico que se debe dar a estos sistemas es cada 50.000Km.

Figura 58. Filtro cánister



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

b. Plan de mantenimiento del sistema EGR

El sistema EGR es el encargado de reducir la formación de NO_x, lo cual genera la formación de carbonilla en los elementos involucrados en el sistema. La acumulación de hollín en la válvula EGR ocasiona que esta no se pueda abrir o permanezca cerrada.

El mal funcionamiento de este sistema afectaría a la correcta operación del motor. Primero se debe determinar las causas de la alta formación de carbonilla en la válvula y tubo EGR, entre las causas pueden ser filtro de aire obstruido, carburador sucio, bujías en mal estado, quema de aceite por rines flojos etc.

Para dar el correcto mantenimiento a este sistema, se empieza verificando que no haya fugas de gas por alguna manguera o tubo EGR del sistema, reparar y corregir estas anomalías. Verificar el estado de funcionamiento del solenoide de vacío, para lo cual se desconecta las mangueras y el conector eléctrico; se proporciona 12v al conector del solenoide y se determina si deja pasar el aire por su entrada caso contrario reemplazarlo.

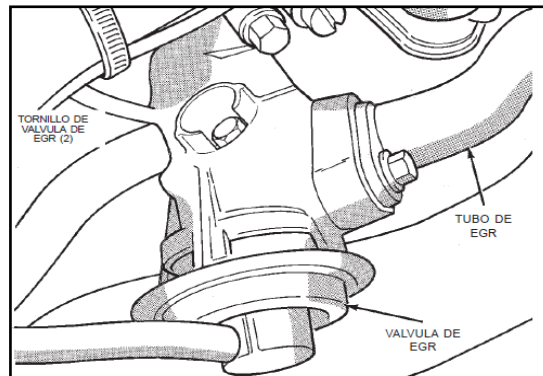
Comprobación de la válvula EGR, con el motor funcionando a bajas revoluciones (ralentí), desconectar la manguera que proporciona el vacío para la válvula y conectarla directamente a vacío, la velocidad de ralentí bajará incluso el motor debe calarse; si esto no acontece entonces se procede a desmontar la válvula EGR. Una vez desmontada se limpia la carbonilla y verifica el estado del diafragma presionando con los dedos si este sube pero no regresa se debe reemplazar la válvula.

Las precauciones que se deben tener al realizar mantenimientos y reparaciones en estos sistemas, el contacto directo con el tubo y la válvula EGR debido a que los gases resultantes de la combustión salen a altas temperaturas al pasar por estos elementos elevan la temperatura de los mismos; esto podría ocasionar quemaduras graves, para lo

cual se debe usar la EPP (equipos de protección personal) adecuado, como son guantes, mascarillas, gafas etc.

El mantenimiento periódico que se debe dar a estos sistemas es cada 25.000Km.

Figura 59. Desmontaje de la EGR



Fuente: Fuente: www.automecanico.com

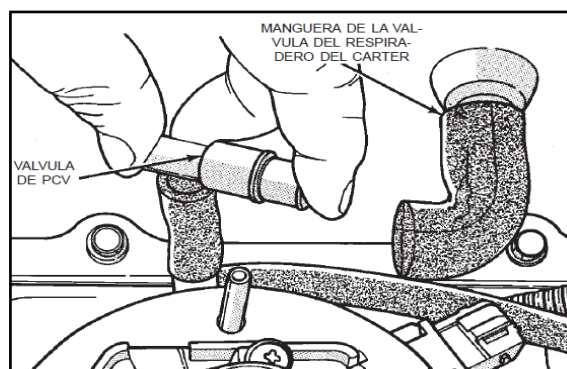
c. Mantenimiento del sistema PCV

Aparentemente este sistema no influye en la operación del motor, pero si el cárter no se ventila el aceite se contamina rápidamente y se forman lodos en el interior del mismo. Las partes internas del motor lubricadas por el aceite se oxidarán y desgastarán rápidamente.

En los sistemas de ventilación positiva del cárter cerrada, el mantenimiento es obligatorio. Se debe verificar el estado de la válvula con el motor en ralentí desconectar la válvula de su fijación, si su funcionamiento es correcto, se sentirá un fuerte vacío si se coloca el dedo sobre la entrada de la válvula de lo contrario reemplazarla, no se debe intentar limpiar la válvula usada. Utilizar el EPP adecuado.

El mantenimiento periódico de este sistema es cada 30.000Km.

Figura 60. Prueba de PCV



Fuente: www.automecanico.com

d. Mantenimiento del catalizador

El catalizador es un dispositivo anticontaminante, compuesto internamente por materiales preciosos como platino, paladio y rodio. El envenenamiento o taponamiento de este se puede dar por elementos químicos como fósforo, azufre, zinc; contenidos en lubricantes. Se debe evitar metales pesados como plomo, arsénico, vanadio y silicón que vienen como aditivos en los lubricantes.

Para alargar la vida del catalizador, es recomendable emplear lubricantes con bajo contenido de fósforo. Filtraciones de lubricantes al sistema de escape, dañarían totalmente el catalizador en cuestión de pocas horas o días. Una manera fácil de detectar un catalizador averiado es por el olor que estos emiten por el tubo de escape.

El mantenimiento periódico a este dispositivo se da cada 50.000Km.

e. Mantenimiento del sensor de oxígeno

Su ubicación es justo antes del catalizador, su función principal es brindar información a la ECU sobre el estado de la mezcla, para que esta a través de otros actuadores corrija la mezcla. Si el sensor falla la información enviada sería errónea y por lo tanto el consumo de combustible será mayor, esto implica mayor contaminación.

Las causas principales para que este dispositivo se averíe son:

- Presencia de anticongelante en la cámara de combustión (decoloración verdosa).
- Consumo excesivo de aceite (ennegrecida, manchas de aceite).
- Mezcla aire/combustible demasiado rica (decoloración café oscuro).
- Aditivos en la gasolina (decoloración rojiza o blanca).
- Tensión excesiva del cable (cable roto).
- Impacto externo (tubo del cable dañado).

Figura 61. Estado de un sensor de oxígeno



Fuente: www.bosch.com.mx/triptico-sensor-de-oxigeno-universales

Para verificar estos daños es necesario desmontar el sensor, para lo cual se debe desconectar el soque y aflojarlo con la herramienta adecuada. Otra manera de comprobar es midiendo su voltaje con el uso de un multímetro automotriz, el mismo debe variar rápidamente entre 0v-1v. Por su operación el sensor eleva su temperatura hasta 350°C por lo cual se debe tener la precaución de tocarlo y esperar que se enfríe.

Si se comprueba que el sensor esta averiado, se lo debe reemplazar con otro que tenga las mismas características técnicas recomendadas por el fabricante. Para montar el sensor nuevo se debe conocer muy bien la designación de los colores de los cables, diferenciando la alimentación, masa del sensor, calefactor y masa del calefactor.

Alambre de señal: Negro

Alambre de calentador (2 alambres): Blanco

Alambre de puesta a tierra: Gris

El mantenimiento periódico al sensor de oxigeno se le da cada 25.000Km.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE DATOS

5.1 Análisis de gases después de la instalación de dispositivos anticontaminantes

Una vez instalado todos los dispositivos anticontaminantes y el sistema de control, ya en el vehículo se procede a realizar el análisis de los gases emitidos por este vehículo, para lo cual como en el análisis anterior se acude a un taller autorizado a realizar este tipo de pruebas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos luego de la instalación de estos dispositivos:

a. Análisis después de la instalación del catalizador

El catalizador es uno de los elementos más importantes de todos los dispositivos anticontaminantes, su función principal es la de reducir el contenido de algunos gases nocivos presentes en los gases de escape. Al realizar el análisis de gases ya con el catalizador instalado en el escape del vehículo se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 21. Análisis de gases después de la instalación del catalizador

Medición	A Ralentí *	A 2500 RPM **	Unidad
Temperatura	-	-	°C
RPM	850	2500	1/min.
CO	0.35	5.44	% Vol.
CO ₂	13.7	11.4	% Vol.
HC	190	358	ppm Vol.
O ₂	2.12	0.85	% Vol.
Lambda	1.086	0.874	-
* Ver ANEXO E ** Ver ANEXO F			

Fuente: Autor

b. Análisis después de la instalación de todos los dispositivos anticontaminantes y el sistema de control

Luego de instalar las válvulas correspondientes al sistema EGR, EVAP y el sistema de control correspondiente, se realiza el análisis de gases. A continuación en la siguiente tabla se presenta estos resultados:

Tabla 22. Análisis de gases después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes

Medición	A ralenti *	A 2500 RPM **	Unidad
Temperatura	-	-	°C
RPM	850	2500	1/min.
CO	0.61	4.48	% Vol.
CO ₂	13.0	11.0	% Vol.
HC	210	522	ppm Vol.
O ₂	2.60	2.01	% Vol.
Lambda	1.104	0.939	-
* Ver ANEXO G			
** Ver ANEXO H			

Fuente: Autor

5.2 Interpretación de los datos obtenidos en los análisis de gases antes y después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes

Para la interpretación de los datos obtenidos en cada análisis, es importante basarse en la relación lambda para mezclas pobres y ricas de la figura 28. Mediante esta relación se puede determinar el exceso o falta de aire en una mezcla aire/combustible. Y también en el porcentaje de contenido de O₂ en cada análisis.

a. Interpretación de datos antes de la instalación de ningún dispositivo anticontaminante

Para los resultados obtenidos en la Tabla 21.

- Resultados de porcentaje de lambda:

Ralenti: 850 RPM – 0.707 lambda

Acelerando: 2500 RPM – 0.746 lambda

Obtener una lectura de lambda 1.10 (16.17:1) indica un 10% de exceso de aire (mezclas pobres), un lambda de 0.90 (13.33:1) indica un 10% de exceso de combustible (mezclas ricas).

850 RPM – 0.707 lambda ($1-0.707=0.293$) 29.3% de exceso de combustible (mezcla rica).

2500 RPM – 0.746 lambda ($1-0.746=0.254$) 25.4% de exceso de combustible (mezcla rica).

- Resultados de porcentaje de O₂:

Ralentí: 850 RPM – 0.77% O₂

Acelerando: 2500 RPM – 1.09% O₂

Interpretando los porcentajes anteriores en ralentí el contenido de O₂ es bajo por lo tanto hay mayor consumo de combustible (mezcla rica); a 2500 RPM el contenido de O₂ aumenta un 0.32% el consumo de combustible disminuye pero la mezcla aún sigue siendo rica.

- Resultados de porcentaje de CO₂:

Ralentí: 850 RPM – 6.8% CO₂

Acelerando: 2500 RPM – 8.1% CO₂

De los datos anteriores en ralentí emite menor contenido de CO₂ que a 2500 RPM, por lo tanto se da mayor contaminación en ralentí.

- Resultados de porcentaje de CO:

Ralentí: 850 RPM – 9.99% CO

Acelerando: 2500 RPM – 9.88% CO

Los valores de CO tanto en ralentí como a 2500 RPM permanecen casi constantes, pero están fuera de los rangos permitidos para circular; es decir el nivel de contaminación es elevado.

- Resultados de porcentaje de HC:

Ralentí: 850 RPM – 1047 ppm HC

Acelerando: 2500 RPM – 988 ppm HC

El contenido de HC en ralentí es mayor que a 2500 RPM, por lo que la contaminación es mayor en ralentí.

b. Interpretación de datos después de la instalación del catalizador al sistema

Para los resultados obtenidos en la Tabla 23.

- Resultados de porcentaje de lambda:

Ralentí: 850 RPM – 1.086 lambda

Acelerando: 2500 RPM – 0.874 lambda

850 RPM – 1.086 lambda ($1-1.086=-0.086$) 8.6% de exceso de aire (mezcla pobre).

2500 RPM – 0.874 lambda ($1-0.874=0.126$) 12.6% de exceso de combustible (mezcla rica).

- Resultado de porcentaje de O₂:

Ralentí: 850 RPM – 2.12% O₂

Acelerando: 2500 RPM – 0.85% O₂

Los valores anteriores indican que en ralentí es una mezcla casi normal, pero a 2500 RPM la mezcla se vuelve rica existiendo mayor consumo de combustible por lo que el contenido de O₂ es menor.

- Resultados de porcentaje de CO₂:

Ralentí: 850 RPM – 13.7% CO₂

Acelerando: 2500 RPM – 11.4% CO₂

En nivel de emisiones de CO₂ es menor en 2500 RPM que en ralentí, por lo tanto hay mayor contaminación a 2500 RPM.

- Resultados de porcentaje de CO:

Ralentí: 850 RPM – 0.35% CO

Acelerando: 2500 RPM – 5.44% CO

Existe una gran variación del contenido de CO en ralentí y a 2500 RPM, estos resultados indican una mayor contaminación cuando el motor esta sobre las 2500 RPM.

- Resultados de porcentaje de HC:

Ralentí: 850 RPM – 190 ppm HC

Acelerando: 2500 RPM – 358 ppm HC

Los valores de HC son más elevados a 2500 RPM, esto quiere decir que hay mayor contenido de HC sin quemar en el escape por consiguiente mayor contaminación.

c. Interpretación de datos después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes

Para los resultados obtenidos en la Tabla 24.

- Resultados de porcentaje de lambda:

Ralentí: 850 RPM – 1.104 lambda

Acelerando: 2500 RPM – 0.939 lambda

850 RPM – 1.104 lambda ($1-1.104=-0.104$) 10.4% de exceso de aire (mezcla pobre).

2500 RPM – 0.939 lambda ($1-0.939=0.061$) 6.1% de exceso de combustible (mezcla rica).

- Resultado de porcentaje de O₂:

Ralentí: 850 RPM – 2.60% O₂

Acelerando: 2500 RPM – 2.01% O₂

Los valores del contenido de O₂ se encuentran dentro de una mezcla casi normal, es decir de acuerdo con el valor de Lambda está cercana a una mezcla estequiométrica.

- Resultados de porcentaje de CO₂:

Ralentí: 850 RPM – 13.0% CO₂

Acelerando: 2500 RPM – 11.0% CO₂

El contenido de CO₂ es menor a 2500 RPM por lo que hay mayor contaminación.

- Resultados de porcentaje de CO:

Ralentí: 850 RPM – 0.61% CO

Acelerando: 2500 RPM – 4.48% CO

Existe una gran variación del contenido de CO en ralentí y a 2500 RPM, estos resultados indican una mayor contaminación cuando el motor esta sobre las 2500 RPM.

- Resultados de porcentaje de HC:

Ralentí: 850 RPM – 210 ppm HC

Acelerando: 2500 RPM – 522 ppm HC

Los valores de HC son más elevados a 2500 RPM, esto quiere decir que hay mayor contenido de HC sin quemar en el escape por consiguiente mayor contaminación.

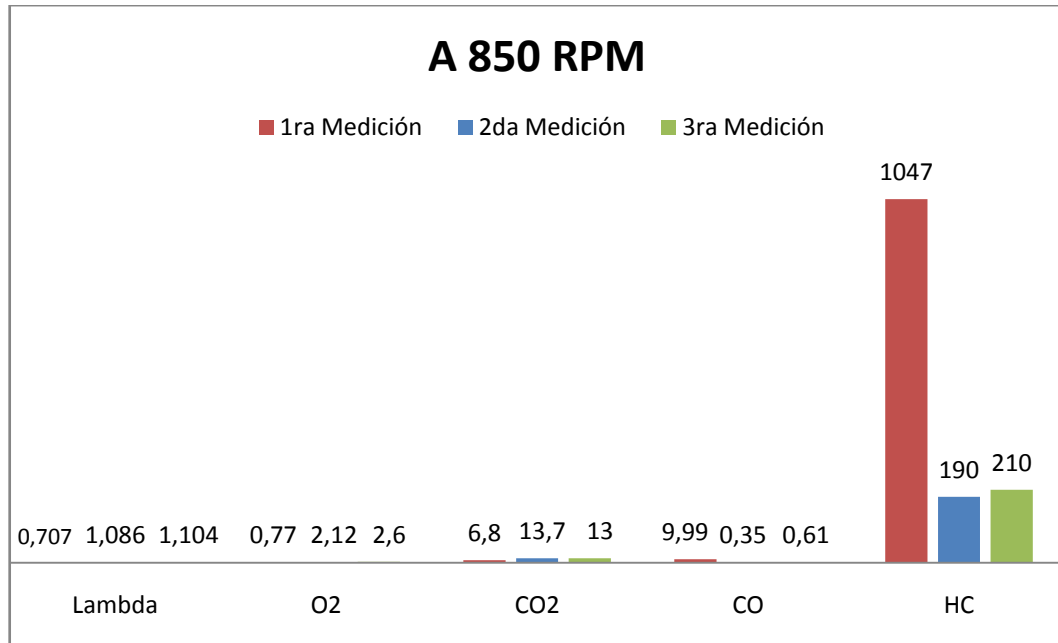
Tabla 23. Análisis comparativo de datos de cada prueba

A 850 RPM				
Medición	1^{ra} Medición	2^{da} Medición	3^{ra} Medición	Unidad
Lambda	0.707	1.086	1.104	-
O₂	0.77	2.12	2.60	% Vol.
CO₂	6.8	13.7	13.0	% Vol.
CO	9.99	0.35	0.61	% Vol.
HC	1047	190	210	ppm Vol.
A 2500 RPM				
Medición	1^{ra} Medición	2^{da} Medición	3^{ra} Medición	Unidad
Lambda	0.746	0.874	0.939	-
O₂	1.09	0.85	2.01	% Vol.
CO₂	8.1	11.4	11.0	% Vol.
CO	9.88	5.44	4.48	% Vol.
HC	988	358	522	ppm Vol.
¹ Medición: Antes de la instalación del sistema. ² Medición: Después de la instalación del catalizador. ³ Medición: Después de la instalación de los dispositivos anticontaminantes.				

Fuente: Autor

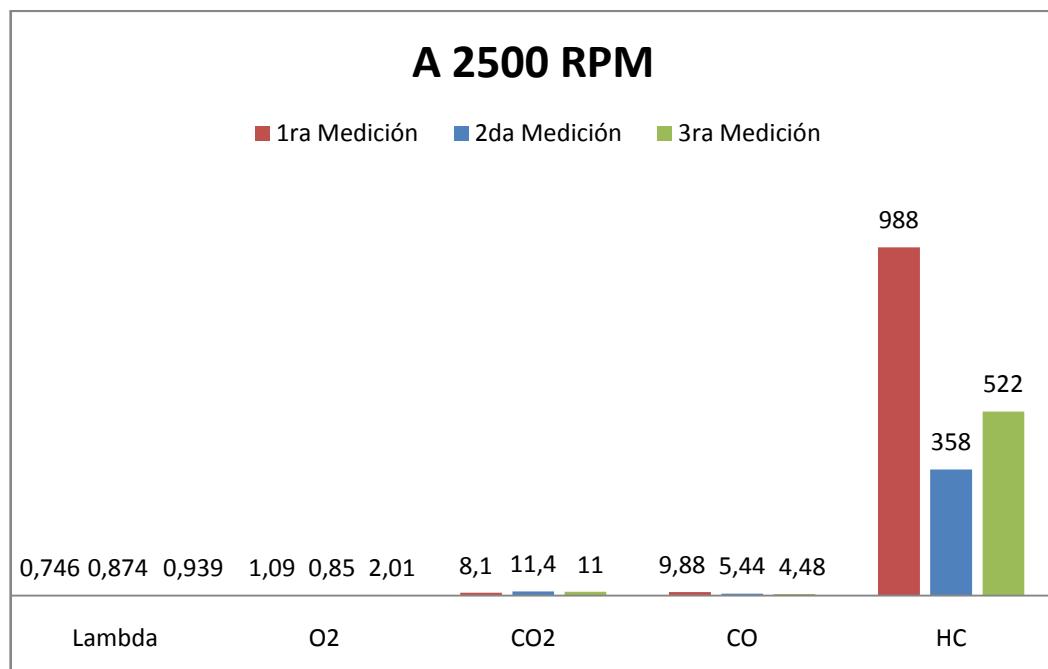
Una vez interpretado y verificado los resultados de cada análisis, se determina que inicialmente (1^{ra} Medición) los rangos de emisiones estaban fuera de los límites permitidos en la ciudad de Cuenca. Luego de la instalación de este sistema (2^{da} y 3^{ra} Medición) estos valores disminuyeron como se puede ver en la Tabla 23 y esquematizado en los gráficos siguientes, quedando de esta manera el vehículo apto para circular y pasar las pruebas en Cuenca Aire.

Figura 62. Comparación de resultados a 850 RPM



Fuente: Autor

Figura 63. Comparación de resultados a 2500 RPM



Fuente: Autor

5.3 Análisis técnico-económico del sistema

El sistema de control diseñado y construido en este proyecto, hablando económicamente no favorecerá al ahorro de combustible pues el consumo será igual. Pero si hablamos de preservar y cuidar el medioambiente, contribuirá mucho a los esfuerzos que hacen los gobiernos para este fin.

Por lo tanto para el diseño y construcción del sistema se requiere del uso de un software, elementos electrónicos, válvulas, sensores entre otros. Y además de equipos y herramientas, que influyen en el costo total del sistema.

5.3.1 Análisis de costos

a. Materiales

Tabla 24. Análisis de costos de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
PIC 16F877A	u	1	\$ 9,00	\$ 9,00
Regulador de voltaje 7805 CT	u	3	\$ 0,49	\$ 1,47
Relé 5V DC	u	3	\$ 0,89	\$ 2,67
Condensador 100uF	u	2	\$ 0,15	\$ 0,30
Display LCD 16x4	u	1	\$ 12,05	\$ 12,05
Resistencia de 330 Ω	u	4	\$ 0,04	\$ 0,16
Resistencia 4.7k Ω	u	3	\$ 0,04	\$ 0,12
Transistor 2N3904	u	3	\$ 0,13	\$ 0,39
Condensador cerámico 22pF	u	2	\$ 0,13	\$ 0,26
Cristal 4Mhz	u	1	\$ 0,75	\$ 0,75
Diodo LED de alta luminosidad	u	4	\$ 0,26	\$ 1,04
Amplificador LM358	u	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Cable proto	metro	1	\$ 0,22/m	\$ 0,22
Placa perforada	10cmx10cm	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Placa	15cmx15cm	2	\$ 3,50	\$ 7,00
Cable N° 18	metro	10	\$ 0,27	\$ 2,70
Conectores	u	6	\$ 0,14	\$ 0,84
Válvula EGR	u	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Cánister	u	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Solenoides de vacío	u	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Sensor de oxígeno BOSCH	u	1	\$ 62,00	\$ 62,00
Catalizador 3 Vías	u	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Sensor de temperatura TZ 287	u	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Tacómetro digital	u	1	\$ 30,00	\$ 30,00
Tubo galvanizado ½ pulgada	metro	1.5	\$ 2,00	\$ 3,00
Tubo de bronce 7/16	metro	0.5	\$ 5,00	\$ 2,50
Tuercas	16mm	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Pernos	7/8x11/2	4	\$ 0,40	\$ 1,60
Arandelas planas	3/8	8	\$ 0,10	\$ 0,80
Spray	negro	1	\$ 2,05	\$ 2,05
Correas plásticas	u	10	\$ 0,25	\$ 2,50
Empaques de grafito	u	2	\$ 2,00	\$ 4,00

Silicona gris	u	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Cañería de combustible 7/16"	metro	3.5	\$ 1,15	\$ 4,02
Cañería plástica 1/4"	metro	1	\$ 0,54	\$ 1,08
Total				\$ 496,02

Fuente: Autor

b. Máquinas y herramientas

Tabla 25. Análisis de costos de máquinas y herramientas

Descripción	Horas - Equipo	Costo/Hora	Subtotal
Osciloscopio	2	\$ 3,00	\$ 6,00
Multímetro Automotriz	18	\$ 1,00	\$ 18,00
Herramientas de Taller	16	\$ 1,50	\$ 24,00
Total			\$ 48,00

Fuente: Autor

c. Mano de obra

Tabla 26. Análisis de costo de mano de obra

Descripción	Horas - Hombre	Salario Real/Hora	Subtotal
Acoplamiento del catalizador y sensor de oxígeno	6	\$ 5,00	\$ 30,00
Diseño de rosca para el sensor de oxígeno	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Diseño de neplos para la válvula EGR	2	\$ 5,00	\$ 10,00
Mecánico	8	\$ 1,50	\$ 12,00
Análisis de gases	3	\$ 15,00	\$ 45,00
Asesoramiento profesional-electrónico	4	\$ 5,00	\$ 20,00
Total			\$ 122,00

Fuente: Autor

d. Transporte

Tabla 27. Análisis de costos de transporte

Descripción	Horas	Costo/hora	Subtotal
Transporte	72	\$ 1,25	\$ 90,00
Total			\$ 90,00

Fuente: Autor

5.3.2 Costo de producción. Para la implementación del sistema de control electrónico de emisiones, se incluye todos los costos que intervienen en el desarrollo de este proyecto. En la siguiente tabla se detalla cada uno de estos costos.

Tabla 28. Costo de producción

Descripción	Valor (USD)
Costo materiales	496,02
Costo máquinas y herramientas	48,00
Costo mano de obra	122,00
Costo transporte	90,00
TOTAL COSTO DE PRODUCCIÓN	\$ 756,02

Fuente: Autor

El costo de producción se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$C.P = C.M + C.M.H + C.M.O + C.T$$

$$C.P = 496,02 + 48,00 + 122,00 + 90,00$$

$$C.P = 756,02$$

Costo de producción total es de \$ 756,02

Donde;

C.P: Costo de producción

C.M: Costo materiales

C.M.H: Costo máquinas y herramientas

C.M.O: Costo mano de obra

C.T: Costo transporte

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Una vez conocido cada uno de los gases y sus efectos, a la salud humana y al medioambiente se ha determinado que los sistemas anticontaminantes en un vehículo son importantes y más aún si se trata de motores alimentados por carburador.

El uso de dispositivos anticontaminantes en automóviles modernos ha permitido contribuir a la protección del medioambiente. Además gracias a la existencia de estos dispositivos facilita la adaptación y control de estos en este proyecto.

La existencia de normas en la actualidad ha obligado a los fabricantes de vehículos construir y diseñar nuevas tecnologías para evitar la contaminación ambiental mediante estas fuentes móviles, así como en el país existen normas que controlan en nivel de emisiones.

Para el correcto funcionamiento del sistema de control se ha elegido los dispositivos en base a la estructura del motor y las características técnicas que posee el vehículo. Y la correcta selección de sensores, válvulas entre otros elementos que se adapten con facilidad al sistema.

Al evaluar los resultados de gases de escape en el primer análisis estos valores se encontraban fuera de los límites permitidos, mientras que en el segundo y tercer análisis luego de la instalación del sistema de control y dispositivos anticontaminantes se obtuvo una disminución en un 74% de monóxido de carbono, 65% de hidrocarburos y 4% de dióxido de carbono.

Mediante la aplicación de la Inferencia Estadística se pudo determinar, que el número de vehículos alimentados por carburador en la ciudad de Cañar es un 36% del total de vehículos existentes, siendo esta otra razón por la que este proyecto resulta ser factible

En lo referente a costos se concluye que este sistema de control electrónico de emisiones es accesible económicamente para personas que estén consientes del daño que causan estos gases al medioambiente y a la salud humana.

6.2 Recomendaciones

Conocer bien el funcionamiento y las características del sensor de oxígeno que se va utilizar antes de diseñar la placa electrónica del sistema de control.

Ubicar adecuadamente la válvula EGR, pues los gases de entrada están a una temperatura considerable, la válvula al estar en contacto con cualquier manguera u otro elemento, ocasionaría daños al motor.

Ubicar los relés en una placa independiente, pues si se encuentran en la misma placa del circuito del LCD el voltaje de activación de los relés generarían ruido eléctrico lo cual haría que se distorsione el mensaje mostrado en la pantalla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZABALA, G. Apuntes de Combustibles y Combustión. 1ra. ed. Ecuador: ESPOCH, 2011. Pág. 64.
- [2] www.revistacesvimap.com
- [3] <http://www.ant.gob.ec/index.php/normas-y-reglamentos-inen-aplicados-al-transporte>
- [4] www.bitsingenio.com/microcode-studio-plus-programa-tus-pic-con-basic
- [5] REYES, C. Microcontroladores PIC Programación en Basic, 3^{ra} Edición, Quito. Rispergraf. 2008. Pág. 18-23.
- [6] http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php/Usando_LCDs

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, José M. Técnicas del Automóvil. 7ma. Ed. España: Paraninfo. 2004.

CANAVOS, George C. Probabilidad y Estadística. México: Mcgraw-hill. 1988.

REYES, C. Microcontroladores PIC Programación en Basic, 3^{ra} Edición, Quito.
Rispergraf. 2008.

ZABALA, G. Apuntes de Combustibles y Combustión. 1ra. ed. Ecuador: ESPOCH,
2011.

LINKOGRAFÍA

GASES CONTAMINANTES PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

[http:// www.efamoratalaz.com/recursos/AnticontaminacionAutomoviles.pdf](http://www.efamoratalaz.com/recursos/AnticontaminacionAutomoviles.pdf)

2012-09-18

TIPOS DE VÁLVULAS EGR

www.aficionadosalamecanica.com

2012-09-18

CATALIZADORES

www.guiautomotrizcr.com

2012-06-16

CONFIGURACIÓN TÍPICA DEL SISTEMA EGR

www.encendidoelectronico.com

2012-10-20

CONTROL DE EMISIONES EVAPORATIVAS

www.automecanico.com

2012-05-01

NORMATIVA EUROPEA SOBRE EL NIVEL DE EMISIONES

<http://www.ceac.com.ar/?cat=46>

2012-03-28

COMPONENTES ELECTRÓNICOS

http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_electronica_3/electronica_indice.html

2012-10-16

INFERENCIA ESTADÍSTICA

http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/ampliacion-de-matematicas/materiales/Tema_10.pdf

2013-01-04

APLICACIÓN INFERENCIA ESTADÍSTICA

<http://web.udl.es/Biomath/Bioestadistica/Dossiers/Temas%20especiales/Estimacion.pdf>

2012-12-28

CATÁLOGO COMPONENTES ELECTRÓNICOS

www.datasheetcatalog.com

2012-05-26

CATÁLOGO DE SENSORES DE OXÍGENO

www.bosch.com.mx/.../Triptico_Sensores_de_Oxigeno_Universales

2012-05-22

MICROCONTROLADOR 16F877A

<http://datasheetpic16f877a©2003microchiptechnologyinc.>

2012-04-18

CÁLCULO DEL SENSOR DE OXÍGENO

[http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2883/CAPITULO III](http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2883/CAPITULO%20III)

2012-06-16