



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
ENTRENADOR AUTOTRÓNICO PARA SIMULACIÓN DE
FALLAS EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL
MOTOR DEL VEHÍCULO CHEVROLET ALTO DEL
LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM”.

AUTOR: BARONA DÍAZ DAVID ISRAEL

DIRECTOR: ING. XAVIER SEGOVIA

SANGOLQUÍ

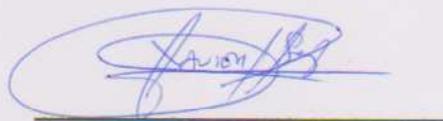
2015

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

Ing. Xavier Segovia.
DIRECTOR DEL PROYECTO

CERTIFICA

El presente proyecto titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTRENADOR AUTOTRÓNICO PARA SIMULACIÓN DE FALLAS EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO CHEVROLET ALTO DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM" fue desarrollado en su totalidad por BARONA DÍAZ DAVID ISRAEL, con CI: 1803679206 ha sido guiado y revisado periódicamente bajo mi dirección, cumpliendo con las normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la ESPE.



Ing. Xavier Segovia
DIRECTOR

Sangolquí, 2015-09-06

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

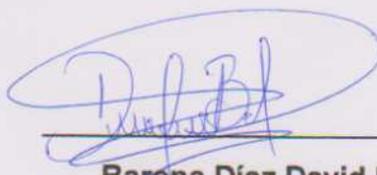
BARONA DÍAZ DAVID ISRAEL

DECLARO QUE:

El proyecto de investigación titulado: "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTRENADOR AUTOTRÓNICO PARA SIMULACIÓN DE FALLAS EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO CHEVROLET ALTO DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan en el texto desarrollado, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.



Barona Díaz David Israel

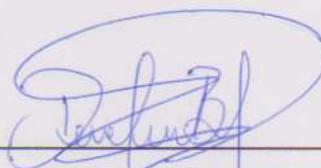
CI: 1803679206

Sangolquí, 2015-09-06

AUTORIZACIÓN

Yo, Barona Díaz David Israel

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTRENADOR AUTOTRÓNICO PARA SIMULACIÓN DE FALLAS EN EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR DEL VEHÍCULO CHEVROLET ALTO DEL LABORATORIO DE MOTORES DEL DECEM”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Barona Díaz David Israel

CI: 1803679206

Sangolquí, 2015-09-06

DEDICATORIA

A mis padres por su amor y apoyo
incondicional.

A mi hija que es la motivación que encuentro
cada día para superar los obstáculos que se
presentan en mi vida.

A mis hermanos por su apoyo y por ser mi
ejemplo a seguir.

A mi primo hermano Luis Rivas que lo
recuerdo siempre.

David Israel Barona Díaz

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, de manera especial al Personal encargado del Laboratorio de Motores de Combustión Interna por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos en el área automotriz, permitiendo fomentar mi pasión por los autos.

Agradezco al Ing. Xavier Segovia, quien a lo largo de este tiempo colaboró para la culminación del proyecto y por los conocimientos brindados durante mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Justificación e Importancia	3
1.4 Viabilidad Técnica	4
1.5 Viabilidad Económica	4
1.6 Viabilidad Ambiental.....	4
1.7 Viabilidad Social.....	4
1.8 Alcance del Proyecto.....	5
1.9 Objetivos	5
1.9.1 General	5

1.9.2	Específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....		7
MARCO TEÓRICO		7
2.1	Motores de Combustión Interna	7
2.2	Elementos Principales del motor de combustión interna.....	8
2.3	Sistemas de Inyección Electrónica.....	10
2.4	Comparación del Sistema de Inyección con el de Carburador..	12
2.5	Computador Automotriz (ECU)	13
2.6	On Board Diagnostic (OBD)	14
2.7	Protocolos OBD-II	15
2.8	Código de Falla (DTC)	18
2.9	El Escáner Automotriz.....	20
2.10	Microcontroladores.....	22
2.11	Clasificación de los Microcontroladores PIC de Microchip	22
2.12	Arquitectura de la Gama Media PIC16XXX.....	23
2.13	Alimentación del PIC	24
2.14	Puertos de Entrada/Salida	24
2.15	Oscilador	25
2.16	Módulo de Comunicación USART.....	27
2.17	PIC16F877	29
2.18	Bluetooth	30
2.19	Módulo HC-06	31
2.20	LCD 16x2	32

2.21	Elementos Eléctricos y Semiconductores	34
2.21.1	Resistor	34
2.21.2	Relé.....	35
2.21.3	El Capacitor.....	36
2.21.4	El Diodo.....	36
2.21.5	El Transistor BJT.....	36
2.22	Software de diseño y programación.....	37
2.22.1	App Inventor.....	37
2.22.2	Altium Desginer.....	39
2.22.3	Proteus Desing Suite.....	39
2.22.4	PIC CCS C Compiler.....	40
CAPÍTULO 3.....		42
DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN.....		42
3.1	Identificación y Diagnóstico.....	42
3.2	Sensor MAP	42
3.2.1	Diagnóstico Sensor MAP	44
3.3	Sensor TPS.....	44
3.3.1	Diagnóstico del TPS.....	46
3.4	Sensor de oxigeno	46
3.4.1	Diagnóstico del Sensor de Oxígeno.....	48
3.5	Sensor VSS.....	48
3.5.1	Diagnóstico del Sensor VSS	50
3.6	Sensor IAT	50

3.6.1	Diagnóstico del Sensor IAT	51
3.7	Sensor ECT.....	52
3.7.1	Diagnóstico del Sensor ECT	53
3.8	Sensor KS.....	53
3.8.1	Diagnóstico del Sensor KS.....	54
3.9	Sensor CMP	55
3.9.1	Diagnóstico del Sensor CMP	56
3.10	Inyectores.....	56
3.10.1	Diagnóstico Inyectores	57
3.11	La Bomba De Combustible	57
3.11.1	Diagnóstico de la Bomba de Combustible.....	58
3.12	Reparación del Sistema Eléctrico/Electrónico	58
CAPÍTULO 4.		70
DISEÑO ELECTRÓNICO Y DE LA INTERFAZ DE USUARIO		70
4.1	Selección de componentes	70
4.2	Selección del microcontrolador	70
4.3	Selección de la Interfaz de Usuario.....	73
4.4	Diseño Electrónico	75
4.5	Diseño del Circuito Electrónico de Control	76
4.6	Cálculo de las entradas y salidas digitales.....	76
4.7	Diseño del Programa.....	84
4.8	Diseño de la Interfaz de Usuario	85
CAPÍTULO 5.		89

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS	89
5.1 Implementación del Circuito de Control.....	89
5.2 Implementación de la Interfaz de Usuario	93
5.3 Validación de Resultados.....	95
CAPÍTULO 6.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
ANEXOS.....	100

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 Elementos de la Figura 6.	12
Tabla 2 Características Técnicas del motor del vehículo Chevrolet Alto	14
Tabla 3 Características de los protocolos principales para OBD-II	18
Tabla 4 Lista de Códigos de Avería (DTC) del vehículo Chevrolet Alto.	19
Tabla 5 Especificaciones técnicas escáner Nextch Carman Scan Lite..	21
Tabla 6 Clasificación General de los Microcontroladores PIC	23
Tabla 7 Corriente Máxima de los Puertos del PIC	25
Tabla 8 Tipos de Osciladores	26
Tabla 9 Valores de Capacitores Recomendados.....	27
Tabla 10 Características Principales PIC16F877.....	30
Tabla 11 Especificaciones Principales Bluetooth.....	31
Tabla 12 Especificaciones Técnicas HC-06.....	32
Tabla 13 LCD 16x2 hd44780	33
Tabla 14 Código de colores de Resistores	35
Tabla 15 Conexiones de la ECU del Manual de Servicio.....	60
Tabla 16 Terminales y Conexiones de la ECU	62
Tabla 17 Resumen de reparaciones en el vehículo Chevrolet Alto.....	67
Tabla 18 Evaluación del peso específico de los criterios de selección..	71
Tabla 19 Evaluación del peso específico del criterio Precio	71
Tabla 20 Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad	72
Tabla 21 Evaluación del criterio Seguridad de la información.....	72
Tabla 22 Evaluación del criterio Entradas y Salidas	72

Tabla 23 Conclusiones de la selección del microcontrolador.....	72
Tabla 24 Evaluación del peso específico de los criterios de selección..	73
Tabla 25 Evaluación del peso específico del criterio Precio	74
Tabla 26 Evaluación del peso específico del criterio Simplicidad	74
Tabla 27 Evaluación del peso específico del criterio Ergonomía.....	74
Tabla 28 Evaluación del peso específico del criterio Confiabilidad.....	74
Tabla 29 Conclusiones de la selección de Interfaz de Usuario.....	75
Tabla 30 Corriente Total del circuito	83
Tabla 31 Características de los textos de la pantalla de presentación ..	86
Tabla 32 Colores de estado del sistema	87
Tabla 33 Configuración de texto	87
Tabla 33 Elementos de la placa PCB	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vehículo Chevrolet Alto	2
Figura 2. Motor Chevrolet Alto	3
Figura 3. Clasificación de los Motores de Combustión Interna	8
Figura 4. Elementos del Motor de Combustión Interna.....	9
Figura 5. Fases del ciclo de un motor de cuatro tiempos.....	10
Figura 6. Esquema General de un Sistema de Inyección Electrónica. ...	11
Figura 7. Computador Automotriz ECU.....	13
Figura 8. ECU Chevrolet Alto.....	14
Figura 9. Lámpara MIL (Check Engine)	15
Figura 10. Puerto OBD-II Protocolo SAE J1850	16
Figura 11. Puerto OBD-II Protocolo ISO 9141	17
Figura 12. Puerto OBD-II Protocolo ISO 15765	17
Figura 13. Códigos de Fallas OBD-II	19
Figura 14. Escáner Nextech Carman Scan Lite	20
Figura 15. Arquitectura Harvard	23
Figura 16. Valores de Voltaje CMOS	24
Figura 17. Modo Sink y Modo Source del PIC	25
Figura 18. Osciladores XT, HS y LP	26
Figura 19. Oscilador RC.....	26
Figura 20. Oscilador de Señal Externa	27
Figura 21. Transmisión Síncrona	28
Figura 22. Transmisión Asíncrona	28

Figura 23. Half Duplex	28
Figura 24. Full Duplex.....	29
Figura 25. PIC16F877.....	29
Figura 26. Bluetooth.....	31
Figura 27. Módulo HC-06.....	31
Figura 28. LCD 16x2.....	32
Figura 29. Resistor.....	34
Figura 30. Codificación Resistores	34
Figura 31. El Relé	35
Figura 32. Capacitores.....	36
Figura 33. El Diodo	36
Figura 34. Transistor BJT.....	37
Figura 35. App Inventor Logo.....	38
Figura 36. Desarrollo de Apps en App Inventor	38
Figura 37. Altium Designer.....	39
Figura 38. Proteus Desing Suite	40
Figura 39. CCS Compiler.....	41
Figura 40 Sensor de Presión Absoluta (MAP).	42
Figura 41. Curva característica del Sensor MAP	43
Figura 42. Esquema Eléctrico del Sensor MAP.	43
Figura 43. Sensor TPS.....	44
Figura 44. Mariposa de Aceleración	45
Figura 45. Circuito Eléctrico del Sensor TPS.....	45

Figura 46. Gráfica de Funcionamiento del Sensor TPS.....	46
Figura 47. Sensor de Oxígeno.....	47
Figura 48.Circuito Eléctrico del Sensor de Oxígeno.	47
Figura 49. Forma de Onda del Sensor de Oxígeno.	48
Figura 50. Sensor de Velocidad del Vehículo.	48
Figura 51. Forma de Onda del Sensor de Velocidad.	49
Figura 52.Conexión Eléctrica del Sensor VSS.....	49
Figura 53. Sensor IAT.....	50
Figura 54. Circuito Eléctrico del Sensor IAT.	51
Figura 55. Curva del Sensor IAT.....	51
Figura 56. Sensor ECT.	52
Figura 57. Circuito Eléctrico del Sensor ECT.....	52
Figura 58. Curva del Sensor ECT.....	53
Figura 59. Sensor de Golpeteo (KS).....	54
Figura 60. Forma de Onda del Sensor de Vibración.....	54
Figura 61. Sensor CMP.....	55
Figura 62. Diagrama Sensor CMP.....	55
Figura 63. Inyector de Combustible.	56
Figura 64. Diagrama de Bloques Inyectores/ECU.....	57
Figura 65. Diagrama Eléctrico de la Bomba de Combustible.....	57
Figura 66. Mazo de Cables Eléctricos mal configurados.....	58
Figura 67. Suelda de empalmes con estaño.....	59
Figura 68. Aplicación de la Cinta Termo-retráctil en los empalmes.....	59

Figura 69. Diagrama de Conexión del Socket de la ECU	59
Figura 70. Equipo de Diagnóstico de la ECU.....	66
Figura 71. ECU en Reparación.	66
Figura 72. Diagrama de Bloque del Sistema.....	75
Figura 73. Diagrama de Bloques del Circuito Electrónico de Control	76
Figura 74. Entrada Digital	77
Figura 75. Led indicador para entradas digitales	78
Figura 76. Salidas a Relé.....	79
Figura 77. Malla Base-Emisor.....	81
Figura 78. Circuito de Alimentación	83
Figura 79. Graficet del Programa.....	84
Figura 80. Pantalla de Presentación	85
Figura 81. Pantalla de Controles del Entrenador Autotrónico	86
Figura 82. Diseño placa PCB.....	91
Figura 83. Placa PCB en 3D.....	91
Figura 84. Placa PCB fabricada.....	92
Figura 85. Placa PCB implementada	92
Figura 86. Simulación del Circuito	93
Figura 87. Pantalla de Presentación	94
Figura 88. Pantalla de Controles.....	94
Figura 89. Circuito de Control Instalado.....	95
Figura 90. Simulación de falla en el sensor TPS	95
Figura 91. Códigos de diagnóstico de avería en el escáner	96

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza el diseño e implementación de un entrenador autotrónico para simulación de fallas en el sistema de control electrónico del vehículo Chevrolet Alto del Laboratorio de Motores de Combustión Interna, este proyecto nace de la necesidad de poner operativo el vehículo que se encontraba averiado desde el año 2004, además de instruir con ejemplos prácticos a los estudiantes de las materias afines en el diagnóstico y corrección de fallas en motores de combustión interna con sistemas de inyección electrónica .

Para llevar a cabo este proyecto primero se investigó sobre el funcionamiento del sistema de inyección electrónica, lo que permitió identificar los sensores y actuadores del sistema para posteriormente rehabilitar la ECU y el arnés de cableado eléctrico. Partiendo de los conocimientos adquiridos sobre inyección electrónica se procede a establecer las condiciones necesarias para simular fallas en el motor, bajo estas condiciones se diseña el sistema entrenador con un control basado en microcontrolador y una interfaz de usuario en un dispositivo móvil (tablet).

Para el diagnóstico del estado del vehículo se utilizará el estándar OBD-II.

Palabras Clave:

- **Entrenador Autotrónico**
- **Inyección Electrónica**
- **Sensores**
- **Actuadores**
- **Microcontrolador**
- **ECU**
- **OBD-II**

ABSTRACT

This project is about the Design and Implementation of an Autotronic Training System for Faults Simulation in the engine electronic control system of the Chevrolet Alto vehicle, this project originates in the need of fixing the ECU and the electronic system that have been damaged since the year 2004, in addition to teach the engineering students with practical examples

In first place it has been done an investigation about Electronic Fuel Injection Systems, this acquired knowledge made possible to identify sensors and actuators of the engine, based on this information it have been chosen the fault conditions of the training system, this project is based in microcontroller and it has a user interface developed in a mobile application.

For the vehicle diagnostic, it is used the OBD-II standard.

KEYWORDS:

- **Autotronic Training System**
- **Fuel Injection**
- **Sensors**
- **Actuators**
- **Microcontroller**
- **ECU**
- **OBD-II**

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La industria automovilística ha evolucionado desde la aplicación de la electrónica para asumir tareas que anteriormente eran realizadas por dispositivos mecánicos, esto ha dado paso a la introducción de nuevas tecnologías basadas en la utilización de la microelectrónica, sistemas computacionales y técnicas sofisticadas de control con la perspectiva no sólo a la eficiencia y a la potencia del motor, sino hacia el confort de los pasajeros y a la seguridad activa/pasiva.

Hoy en día los vehículos están provistos de un gran número de dispositivos electrónicos que son vitales para el funcionamiento del auto moderno. Es tal la influencia de la Autotrónica, que los diferentes centros que imparten carreras de Ingeniería Automotriz debieron revisar sus programas de estudio y complementar un método de enseñanza/aprendizaje que incorpora tanto un software como un hardware de entrenamiento para enseñanza y evaluación de conocimientos del alumno.

Actualmente el Laboratorio de Motores de Combustión Interna del DECEM cuenta con un auto Chevrolet Alto como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Vehículo Chevrolet Alto

El cual se encuentra totalmente deshabilitado desde el año 2004 para la realización de prácticas de laboratorio en las áreas de:

- Motores de Combustión Interna
- Tecnología Automotriz
- Termodinámica Aplicada a la Ingeniería
- Ingeniería Automotriz (Sede ESPE-Latacunga)

1.2 Definición del problema

El vehículo Chevrolet Alto presenta actualmente los inconvenientes descritos a continuación:

El sistema Eléctrico/Electrónico está totalmente desmontado y mal configurado como se muestra en la Figura 2, lo que produce que el vehículo se encuentre no operativo en su totalidad, por lo tanto, los alumnos no pueden hacer uso del mismo para realizar las prácticas de laboratorio.



Figura 2. Motor Chevrolet Alto

Adicionalmente, no se cuenta con un Sistema de Entrenamiento para Simulación de Fallas Autotrónicas que permita capacitar al estudiante en la identificación, diagnóstico y mantenimiento de los motores de combustión interna modernos.

En la Universidad, la falta de disponibilidad de manuales técnicos sobre la configuración del vehículo Chevrolet Alto, ha provocado que el mismo permanezca averiado y desatendido, lo que representa una debilidad en el proceso enseñanza/aprendizaje de los estudiantes que hacen uso del Laboratorio de Motores de Combustión Interna.

1.3 Justificación e Importancia

La Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE líder en educación superior, promueve el desarrollo de proyectos enfocados a la formación de profesionales altamente capacitados, que posean no solo conocimientos teóricos, sino que tengan la capacidad de aplicar dichos conocimientos en situaciones reales y prácticas, ofreciendo soluciones acordes al desarrollo tecnológico. El presente proyecto está dirigido a mejorar el proceso

enseñanza/aprendizaje de profesores y alumnos en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica (DECCEM).

1.4 Viabilidad Técnica

Este proyecto está destinado al diseño e implementación de un entrenador autotrónico y puesta a punto del sistema de control electrónico del motor, para lo cual se cuenta con todos los materiales, repuestos y manuales técnicos disponibles en el mercado, así como los equipos y herramientas necesarios para la realización de dicho proyecto.

1.5 Viabilidad Económica

Los recursos económicos que demanda el desarrollo del proyecto serán financiados por el estudiante encargado de la ejecución del mismo.

El beneficio en el aspecto económico es evidente debido a que la Universidad de la Fuerzas Armadas –ESPE recuperaría la inversión que realizó en la compra del auto, además del costo de adquisición de un entrenador autotrónico, que a través de la aprobación de este proyecto de grado permitiría un ahorro significativo.

1.6 Viabilidad Ambiental

El entrenador autotrónico no afectará ni positiva ni negativamente a la contaminación ambiental debido a las partes que lo conformarán.

1.7 Viabilidad Social

La realización de este proyecto beneficiará a los docentes y alumnos del DECCEM y a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas (Sede ESPE-Latacunga), ya que contarán con un sistema de entrenamiento moderno.

Una vez realizado el análisis de viabilidades se concluye que el proyecto es apto para su ejecución.

1.8 Alcance del Proyecto

En el presente proyecto grado se realizará el diseño e implementación de un Entrenador Autotrónico para Simulación de Fallas en el Sistema de Control Electrónico del motor del vehículo Chevrolet Alto

El desarrollo del proyecto iniciará con la identificación y diagnóstico de sensores, actuadores y controladores que corresponden al Sistema Eléctrico/Electrónico del motor con el fin de evaluar daños para posteriormente plantear soluciones. A continuación se procederá con la rehabilitación, calibración y mantenimiento del Sistema de Control Electrónico del motor para ponerlo operativo y funcional.

Para el diseño del entrenador autotrónico se utilizará un control electrónico basado en microcontrolador que manipulará las señales provenientes de los sensores y de la Unidad de Control del Motor (ECU) para simular averías en tiempo real y sin intervención humana directa sobre el dispositivo de estudio.

La interfaz entre el usuario y el sistema de entrenamiento será simple e intuitiva lo que permitirá un uso apropiado del mismo.

Además se dará una capacitación al personal encargado del Laboratorio de Motores de Combustión Interna acerca del uso y funcionamiento del entrenador autotrónico.

Se entregará el Manual de Usuario para la operación y mantenimiento.

1.9 Objetivos

1.9.1 General

Diseñar e Implementar un Entrenador Autotrónico para Simulación de Fallas en el Sistema de Control Electrónico del motor del vehículo Chevrolet Alto del Laboratorio de Motores del DECEM.

1.9.2 Específicos

- Diagnosticar el estado operativo de cada uno de los elementos del sistema eléctrico/electrónico del motor para evaluar los daños presentes.

- Rehabilitar el arnés de cableado eléctrico del sistema de inyección para poner en marcha el motor.
- Analizar las características y especificaciones técnicas de los elementos del sistema de control electrónico del motor de combustión interna para el acoplamiento con el sistema de entrenamiento.
- Implementar un entrenador autotrónico a través de una interfaz simple e intuitiva que permita una correcta interacción con el usuario para el manejo adecuado del sistema.
- Validar la implementación del entrenador realizada en el vehículo mediante pruebas de funcionamiento para verificar que sea adecuado.
- Elaborar el Manual de Usuario para la operación y mantenimiento del sistema.

CAPÍTULO 2.

MARCO TEÓRICO

2.1 Motores de Combustión Interna

Los motores de combustión interna son máquinas que transforman la energía química del combustible en energía mecánica, estas máquinas han mejorado considerablemente desde sus inicios, utilizando diferentes materiales se han vuelto más eficientes llegando a producir altas potencias, por lo tanto su aplicación se ha difundido a nivel mundial en innumerables áreas como por ejemplo la producción de energía eléctrica (plantas termoeléctricas) y el transporte (automóviles), destacando que esta última aplicación es la más difundida del motor de combustión interna debido a que muchas personas utilizan algún medio de transporte basado en esta tecnología.

En los motores alternativos teniendo en cuenta el tipo de combustible usado, se pueden señalar las características más resaltantes relacionadas con el tipo de formación de mezcla y el tipo de encendido de la misma en el interior del cilindro [...] motores con proceso de formación de mezcla externa y encendido por chispa y motores con proceso de formación de mezcla interna y encendido por compresión. (Fygueroa S. & Araque M., 2005, pág. 7)

De acuerdo a la cita anterior se puede distinguir de manera muy general dos clases de motores de acuerdo a su tipo de encendido como se muestra en la Figura 3, el motor de encendido por chispa y el motor de encendido por compresión, los cuales utilizan gasolina y diésel como combustible respectivamente.

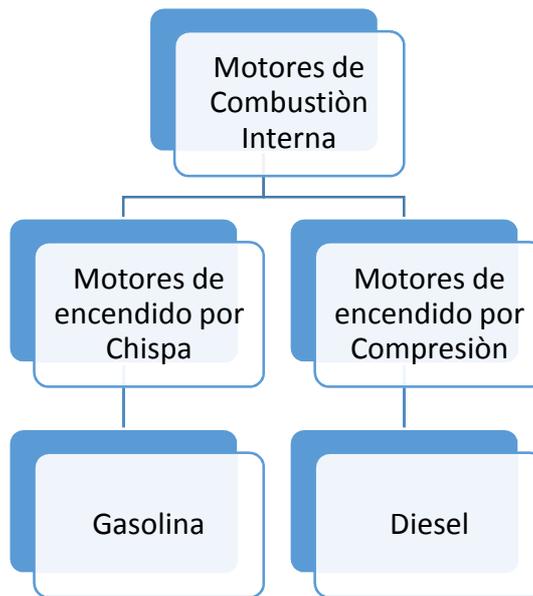


Figura 3. Clasificación de los Motores de Combustión Interna

Cabe mencionar que los motores se clasifican también por su ciclo de trabajo, de esta manera se dispone de motores de dos tiempos (2T) y cuatro tiempos (4T).

2.2 Elementos Principales del motor de combustión interna

Se puede distinguir tres partes principales del motor de combustión interna como se expone en la Figura 4.

- Culata
- Bloque del Motor
- Carter

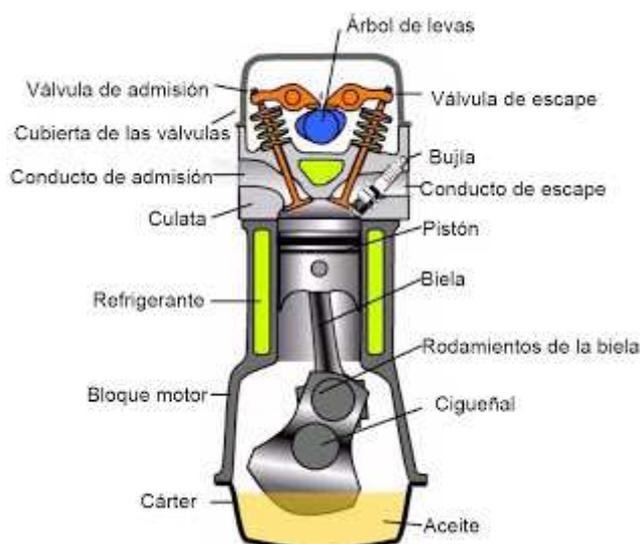


Figura 4. Elementos del Motor de Combustión Interna.

Fuente: <http://www.fondosmil.com/motor-combustion-interna/>

La Culata es la parte superior del motor, a través de la cual ingresa el aire filtrado y el combustible necesario para la combustión, está constituida por los siguientes elementos: árbol de levas, válvulas de admisión, válvulas de escape, cubierta de válvulas, bujías, conductos de admisión y escape.

El Bloque de Motor es la parte central y la de mayor tamaño, en ella se ubican los cilindros donde se desplazan los pistones, internamente tiene conductos por donde circula el refrigerante además de conductos para el lubricante, está formado por pistones, biela y cigüeñal.

El Cárter es la parte inferior, en ella se almacena el aceite esencial para lubricación de los elementos móviles del motor.

Funcionamiento del motor de combustión interna

El objeto de estudio es un motor de combustión interna de cuatro tiempos a gasolina, por lo tanto a continuación se describe el funcionamiento de dicho motor.

Básicamente el motor de combustión interna de encendido por chispa utiliza una mezcla de aire y combustible pulverizado que ingresan a los cilindros del motor, en donde ésta mezcla produce una explosión que mueve

los pistones. Este proceso se repite cíclicamente y se define a través de cuatro tiempos (4T) que se exponen en la Figura 5.

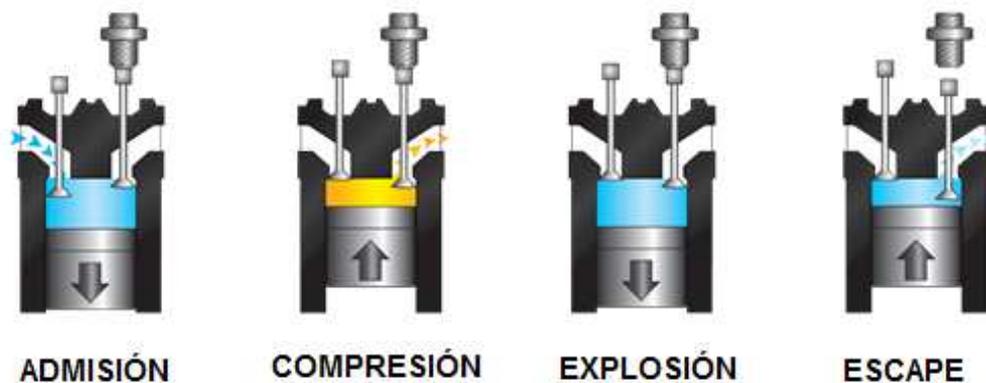


Figura 5. Fases del ciclo de un motor de cuatro tiempos.

Fuente: <http://www.mecanicaymotores.com/el-motor-de-cuatro-tiempos.html>

Primer Tiempo: La primera fase del ciclo del motor se denomina Admisión, en la cual el pistón desciende y abre la válvula de admisión permitiendo el ingreso de la mezcla aire/combustible en el cilindro.

Segundo Tiempo: Esta fase se denomina Compresión, el pistón asciende comprimiendo la mezcla aire/combustible, al comprimir la mezcla aumenta la temperatura y presión lo que permite que sea más rápida la combustión.

Tercer Tiempo: Llamado Explosión, enciende la mezcla comprimida a través de una chispa, los gases se expanden desplazando el pistón hacia abajo produciendo un trabajo.

Cuarto Tiempo: La válvula de escape se abre permitiendo la salida de los gases residuales de la combustión, los cuales son desplazados por el pistón en movimiento ascendente. Las cuatro fases se repiten cíclicamente a lo largo del funcionamiento del motor.

2.3 Sistemas de Inyección Electrónica

Todos los sistemas de inyección electrónica de gasolina actuales realizan la inyección del combustible en el múltiple de admisión, antes de la válvula de

admisión; mediante los inyectores, se pulveriza el combustible, creando una emulsión con el aire.

Los inyectores electrónicos son controlados mediante su tiempo de apertura, es decir, el control electrónico que se aplica en los inyectores es del tipo ON/OFF, debido a que presentan la misma sección de paso, bajo esta consideración cabe citar lo siguiente: “Es de gran importancia que la presión del combustible en los inyectores sea constante, sin fluctuaciones, pues la cantidad de combustible inyectado sólo debe depender del tiempo de apertura de los inyectores” (Martí Parera, 1990, pág. 4).

El tiempo de duración de apertura de los inyectores lo realiza el módulo de control electrónico denominado ECU (Engine Control Unit), a través de lo que se conoce como PWM (Modulación por Ancho de Pulso) en función de la velocidad del motor (RPM) y del aire de la admisión midiendo su caudal o presión.

En el Figura 6 se muestra el esquema general de un Sistema de Inyección Electrónica para un Motor de Combustión Interna a gasolina.

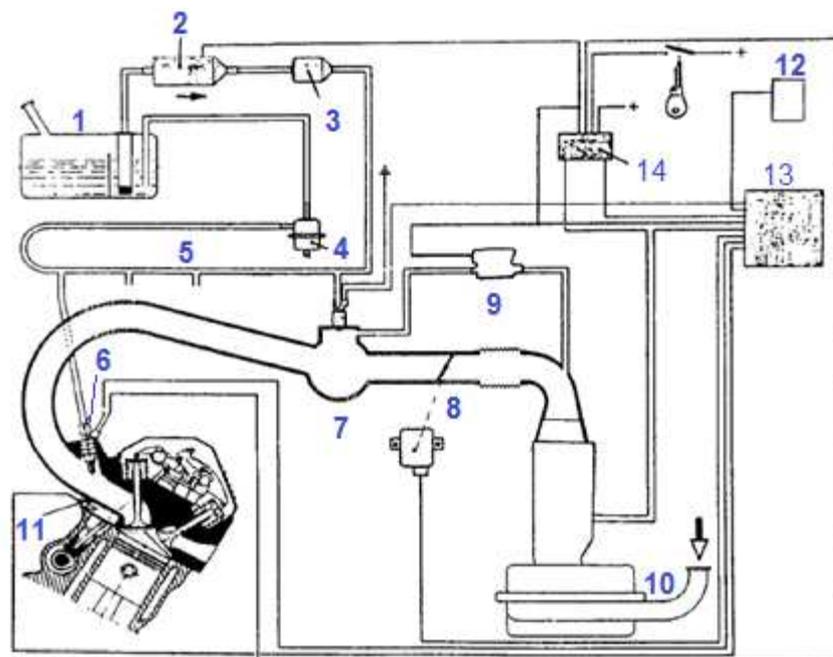


Figura 6. Esquema General de un Sistema de Inyección Electrónica.

Fuente: (Martí Parera, 1990, p. 7)

En la Tabla 1 se detalla cada componente del esquema.

Tabla 1
Elementos de la Figura 6.

Número	Elemento
1	Depósito de Combustible
2	Bomba Eléctrica de Combustible
3	Filtro de Combustible
4	Válvula Reguladora de Presión
5	Riel de Inyectores
6	Inyector Electromagnético
7	Colector de Admisión
8	Potenciómetro de la mariposa de aceleración (TPS)
9	Regulador de aire adicional al ralentí (IAC)
10	Filtro de Aire
11	Sonda de temperatura del motor (IAT)
12	Captador de revoluciones del motor y posición del cigüeñal
13	Módulo Electrónico
14	Relés de Arranque

2.4 Comparación del Sistema de Inyección con el de Carburador

El sistema de inyección electrónica a gasolina suministra el combustible durante la etapa de admisión, en los motores a Diésel el inyector suministra el combustible en la etapa de compresión.

En los motores a carburador, el aire de admisión arrastra el combustible, por depresión, es decir, la mezcla aire/combustible se realiza por la diferencia de presión creada en el conducto de aspiración.

Los sistemas de inyección electrónica son más eficientes, debido a que solo inyectan la cantidad necesaria para mantener en funcionamiento el motor, a diferencia de los motores a carburador, en los cuales la cantidad de combustible suministrada al motor depende del diámetro del difusor (Venturi). Como desventaja de los sistemas a inyección se puede señalar que son más complejos y más costosos pero su precio se justifica con la eficiencia.

2.5 Computador Automotriz (ECU)

La Unidad de Control de Motor (Figura 7) es la encargada de gobernar el funcionamiento del motor de combustión interna a través de la Inyección Electrónica, la ECU controla la sincronización y el tiempo de apertura de los Inyectores basada en la información que recibe de los diferentes sensores presentes en el motor.



Figura 7. Computador Automotriz ECU

Fuente: <http://www.rollingmotion.co.uk/images/ecu.jpg>

Para el desarrollo del presente proyecto es necesario identificar las características correspondientes al motor del vehículo, a continuación se describe sus características en la Tabla 2.

Tabla 2
Características Técnicas del motor del vehículo Chevrolet Alto

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CHEVROLET ALTO AÑO 2003	
Posición	Transversal
Desplazamiento	996 C.C
Nº de Cilindros	4 en Línea
Nº de válvulas	16
Inyección	Electrónica/Multipunto
Nº de Inyectores	4

El Sistema de Control Electrónico del vehículo Chevrolet Alto está formado por la ECU, sensores y actuadores que se muestran en la Figura 8.

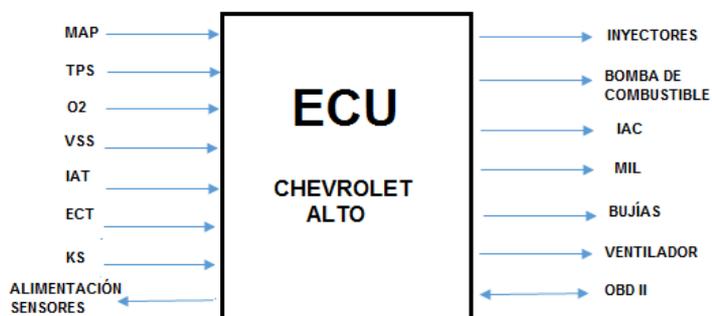


Figura 8. ECU Chevrolet Alto

2.6 On Board Diagnostic (OBD)

OBD (Diagnóstico Abordo) es un conjunto de normas implantadas por Estados Unidos para el control de las emisiones en los autos con motores de combustión interna, OBD-I fue introducida en el 1988 por el estado de California para el control de emisiones, la primera generación de OBD monitorizaba principalmente el sensor de oxígeno (Sonda Lambda) y alertaba al conductor cuando se producía una falla a través de la lámpara MIL (Malfunction Indicator Lamp) mostrada en la Figura 9 en sus diferentes

versiones, por lo tanto se indicaba cuando se requería un servicio de mantenimiento para el control de emisiones.



Figura 9. Lámpara MIL (Check Engine)

Fuente: http://www.aa1car.com/library/check_engine_lights.jpg

En 1996 los Estados Unidos a través de una Ley Federal establece que todos los carros producidos e importados deben cumplir con la segunda generación de OBD conocida como OBD-II , la cual incorpora el diagnóstico de averías y disminuye el índice de emisiones contaminantes en los vehículos. La norma OBD II es extensa y está asociada a las normas SAE e ISO. Un DTC (Data Trouble Code) Código de Falla es almacenado en la Memoria de Almacenamiento cuando un mal funcionamiento es detectado por la ECU, para borrar los DTC´s es necesario usar un Escáner Automotriz.

2.7 Protocolos OBD-II

Existen tres protocolos principales para OBD-II, los cuales son SAE J1850, ISO 9141 e ISO 15765, cada protocolo presenta variaciones en cuanto a comunicación entre la ECU y el Escáner Automotriz. De manera general se puede mencionar que los vehículos marca Chrysler, Vehículos europeos y asiáticos utilizan el protocolo ISO 9141, los vehículos de GM utilizan el protocolo SAE J1850 y los vehículos producidos después del 2008 deben implementar como uno de sus protocolos ISO 15765. Una manera de determinar el protocolo usado en el vehículo es revisar las conexiones del puerto OBD-II, además de considerar el año y marca del vehículo.

En el protocolo SAE J1850 (Figura 10) la asignación de pines en el puerto OBD-II tiene la siguiente configuración:

Los pines 4 y 5 de color negro son GND, el pin 16 de color rojo para alimentación de +12 VDC, los pines 2 (Bus+) y 10 (Bus-) de color amarillo para comunicación.

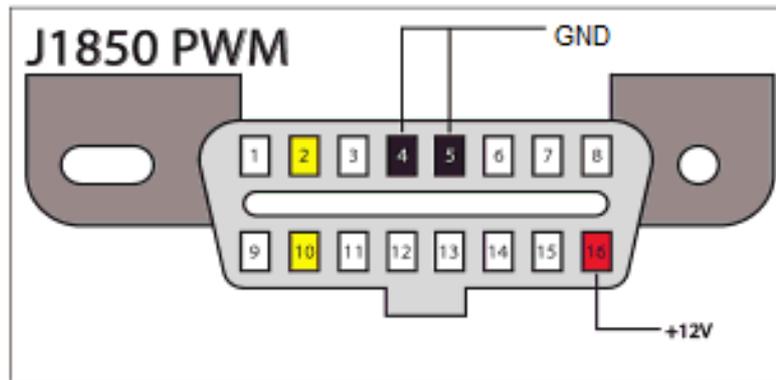


Figura 10. Puerto OBD-II Protocolo SAE J1850

Fuente: <https://books.google.com.ec/books?id=kyEtsrPk9ZQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

En el protocolo ISO 9141 (Figura 11) la asignación de pines en el puerto OBD-II tiene la siguiente configuración:

Los pines 4 y 5 de color negro son GND, el pin 16 de color rojo para alimentación de +12 VDC, el pin 7 (Línea K) de color amarillo y el pin 15 (Línea L) de color verde para comunicación, es importante aclarar que la Línea K es de comunicación bidireccional, mientras que la Línea L es opcional para el "Wake-Up" de la ECU, el término Wake Up hace referencia a una señal que se envía al computador para activar la comunicación debido a que algunos fabricantes implementan lo que se denomina "Sleep Mode", es decir, mientras el auto se encuentra con el motor apagado pone a la ECU modo de bajo consumo de energía.

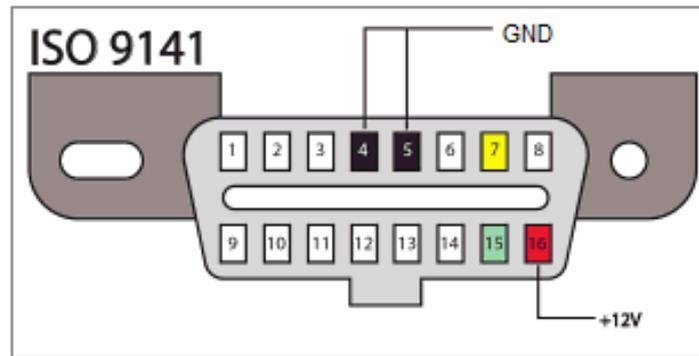


Figura 11. Puerto OBD-II Protocolo ISO 9141

Fuente: <https://books.google.com.ec/books?id=kyEtsrPk9ZQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

En el protocolo ISO 15765 (Figura 12) la asignación de pines en el puerto OBD-II tiene la siguiente configuración:

Los pines 4 y 5 de color negro son GND, el pin 16 de color rojo para alimentación de +12 VDC, los pines 6 (CANH) y 14 (CANL) de color amarillo para comunicación.

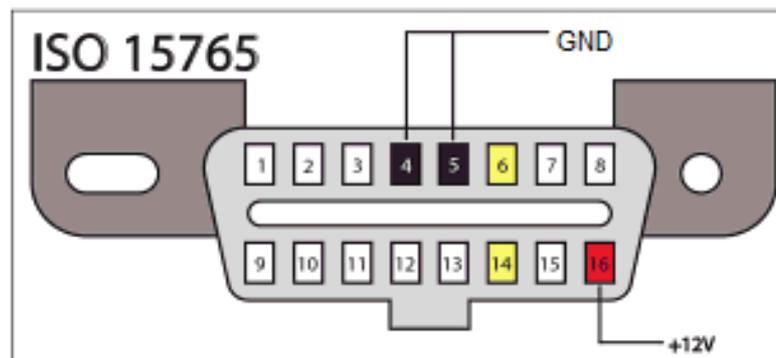


Figura 12. Puerto OBD-II Protocolo ISO 15765

Fuente: <https://books.google.com.ec/books?id=kyEtsrPk9ZQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

A continuación se resume en la Tabla 3 las características principales de los protocolos anteriormente señalados.

Tabla 3
Características de los protocolos principales para OBD-II

Protocolo	Velocidad de Transmisión	Pines de Comunicación	Características Eléctricas	Características Especiales
SAE J1850	41.6 kbps	pin 2: Bus+ pin 10: Bus–	Voltaje en Alto: +5 V (min/máx. 3.80 a 5.25) Voltaje en bajo: 0V (min/máx. 0.00 a 1.20)	Modulación por Ancho de Pulso (PWM)
ISO 9141	10.4 kbps	Pin 7: Línea-K para comunicación bidireccional Pin 15: Línea-L opcional para activar la ECU	Voltaje en Alto: +12 V (min/máx. 9.60 a 13.5) Voltaje en Bajo: 0 V (min/máx. 0.00 a 2.40)	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (UART), 8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de stop
ISO 15765	250 kbps o 500 kbps	Pin 6: CAN High (CANH) Pin 14: CAN Low (CANL)	Voltaje CANH: 3.5 V (min/máx. 2.75 a 4.5) Voltaje CANL: 1.5 V (min/máx. 0.5 a 2.25)	CAN (Controller Area Network)

2.8 Código de Falla (DTC)

El estándar SAE J2Q12 define un código de falla (DTC) de 5 dígitos, cada dígito representa un valor predeterminado. Los códigos definidos por SAE son genéricos para todos los sistemas OBD-II y otros son específicos de los

fabricantes. En la Figura 13 se muestra la codificación de las fallas en OBD-II.



Figura 13. Códigos de Fallas OBD-II

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=119

El Chevrolet Alto cuenta con la lista de códigos de averías que se muestran en la Tabla 4 en lo que se refiere al Sistema de Inyección Electrónica.

Tabla 4
Lista de Códigos de Avería (DTC) del vehículo Chevrolet Alto

Código	Avería
P0105	Sensor de Presión Absoluta (MAP)
P0120	Sensor de Posición de la Mariposa de aceleración (TPS)
P0130	Sensor de Oxígeno (O2 – Sonda Lambda)
P0340	Sensor de Posición del Árbol de Levas (CMP)
P0500	Sensor de Velocidad (VSS)
P0325	Sensor de Vibración (KS)
P0109	Sensor de Temperatura del Aire de Admisión (IAT)
P0115	Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (ECT)

Los códigos mostrados en la Tabla 4 se adquieren mediante la conexión del escáner automotriz, para el uso adecuado del escáner ver el manual de usuario.

2.9 El Escáner Automotriz

Es un dispositivo electrónico usado como herramienta automotriz para interactuar con la computadora del auto (ECU). Las funciones principales del escáner son las siguientes:

- Leer la identificación de la ECU, así como los códigos de avería presentes (DTC).
- Borrar los códigos de avería (DTC)
- Realizar un autodiagnóstico del estado global del auto.

Existen diferentes tipos y marcas de escáneres en el mercado, desde dispositivos que tienen solo lectura de códigos hasta aquellos que permiten programación de parámetros en la ECU.

Para el vehículo Chevrolet Alto se dispone del escáner multi-marca Nextech modelo Carman Scan Lite (Figura 14), en la Tabla 5 se muestra las especificaciones técnicas.



Figura 14. Escáner Nextech Carman Scan Lite

Tabla 5
Especificaciones técnicas escáner Nextch Carman Scan Lite

Características	Descripción
Marca	Nextch
Modelo	Carman Scan Lite
Pantalla	LCD B/N 320x240
Memoria Interna	256 MB
Protocolos de Comunicación	OBD-II(ISO 9141-2) - OBD-II(SAE-J1850) - KWP-2000 - CAN - SAE J1587
Cobertura por Marcas	<p>Americanos: General Motors, Ford, Chrysler/Jeep</p> <p>Japoneses: Toyota, Mitsubishi, Nissan, Suzuki, Honda, Mazda, Lexus, Subaru, Isuzu, Daihatsu, Acura, Infiniti, Proton, Perodua.</p> <p>India: Tata</p> <p>Coreanos: Daewoo, Hyundai, Kia, Ssangyong.</p> <p>Europeos: Mercedes Benz, BMW, Audi, Volkswagen, Seat, Skoda, Opel, Saab, Lada, Renault, Citroën, Peugeot, Fiat, Alfa Romeo, Lancia, Volvo.</p> <p>Chinos: Great Wall, Xinkai.</p>
Cobertura por Años	<p>Americanos: 1995 hasta el presente (OBD-II)</p> <p>Asiáticos: todos los años.</p> <p>Europeos: OBD-II y algunos OBD-I</p> <p>Chinos: OBD-II</p>
Cobertura por Sistema	Motor, Caja de Velocidades, Frenos ABS, Bolsa de Aire, SRS, Tablero IPC, HVAC.
Dimensiones (LxWxH)	540mm x 240mm x 430mm
Peso	8 kg

2.10 Microcontroladores

“El microcontrolador es hoy en día la piedra angular de lo que será el imperio tecnológico del siglo XXI, dentro de unos años estaremos rodeados de microcontroladores y serán indispensables para la vida cotidiana” (Reyes, 2006, pág. xii). Considerando lo que cita el autor, se puede señalar que su uso es muy extenso tanto en aplicaciones industriales como en aplicaciones domésticas. Hoy en día millones de dispositivos electrónicos están formados por microcontroladores, desde dispositivos cotidianos como impresoras, lavadoras, hornos microondas etc. hasta aplicaciones más complejas como robots, drones, el control electrónico del motor de un automóvil, entre otros.

“Un microcontrolador es un circuito integrado, en cuyo interior posee toda la arquitectura de un computador, esto es CPU, memorias RAM, EEPROM, y circuitos de entrada y salida” (Reyes, 2006, pág. 17). El microcontrolador es un dispositivo programable, al cual se le puede asignar diferentes funciones, incluyendo funciones básicas como compuertas lógicas AND, OR, NAND, XOR, conversores Analógicos/Digitales, Temporizadores, PWM, CCP, etc.

Los PIC's (Peripheral Interface Controller), son microcontroladores fabricados por la empresa Microchip Technology Inc., los cuales han sido aceptados ampliamente en el mercado debido a sus altas prestaciones como el bajo consumo, tamaño reducido, calidad, fiabilidad, disponibilidad de información y bajos precios, características por las cuales la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, promueve el uso de la tecnología Microchip en las Carreras de: Electrónica en Automatización y Control, Mecatrónica, a través de las asignaturas competentes.

2.11 Clasificación de los Microcontroladores PIC de Microchip

Los microcontroladores PIC de manera general se clasifican en 3 familias, que se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6
Clasificación General de los Microcontroladores PIC

Familia	Instrucciones	Nomenclatura
Gama Baja	33 instrucciones de 12 bits	PIC12XXX y PIC14XXX
Gama Media	35 instrucciones de 14 bits	PIC16XXX
Gama Alta	58 instrucciones de 16 bits	PIC17XXX y PIC18XXX

2.12 Arquitectura de la Gama Media PIC16XXX

Los microcontroladores de la Familia PIC16XXX poseen Arquitectura Harvard como se muestra en la Figura 15, la característica principal de esta arquitectura es la utilización de dos bloques independientes de memoria, uno para Instrucciones y otro para Datos, cada una con sus respectivos buses, permitiendo acceso simultáneo a estos bloques, lo que se traduce en velocidad de procesamiento.

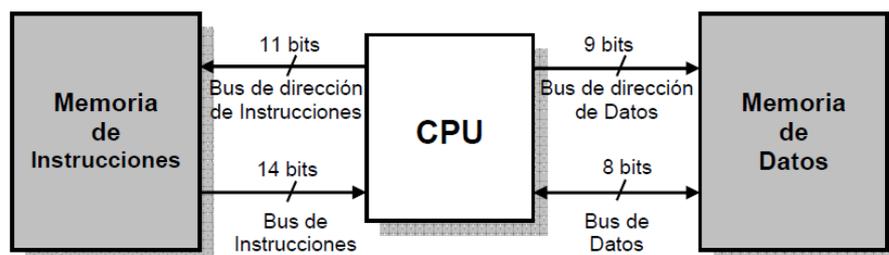


Figura 15. Arquitectura Harvard

Esta familia cuenta con dos tipos de memorias que se describen a continuación:

RAM (Random Acces Memory), memoria de acceso casual, esta memoria es de tipo volátil, la cual contiene los registros de propósito general, es decir variables.

ROM (Read Only Memory), memoria de solo lectura, utiliza una memoria del tipo EEPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory), en esta memoria se almacenan datos que el programador requiera aun cuando el circuito se apague, esta memoria se programa usando un programador de PIC.

2.13 Alimentación del PIC

El PIC utiliza tecnología CMOS (Semiconductor Complementario de Óxido Metálico), se alimenta con 5V en el pin VDD y 0V en el pin VSS, Los valores lógicos de voltaje para CMOS son los que se muestran en la Figura 16.

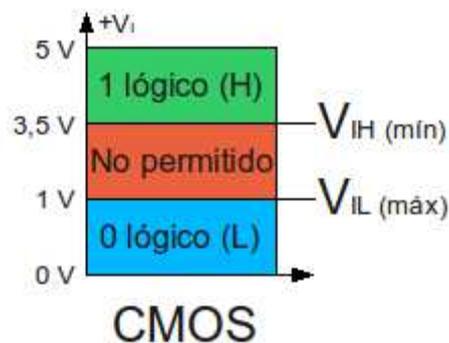


Figura 16. Valores de Voltaje CMOS

2.14 Puertos de Entrada/Salida

Los puertos de Entrada/Salida funcionan en los valores de voltaje comprendidos entre 0V y 5V, cada puerto se puede configurar mediante software, para trabajar como entrada o salida, de la misma manera cada pin se puede configurar como entrada o salida.

Cada línea de Entrada/Salida maneja una capacidad de corriente máxima, para modo sumidero (sink) o modo fuente (source) la corriente máxima es de 25 mA por cada línea como se muestra en la Figura 17, pero la corriente máxima que soporta cada puerto se describe en la Tabla 7.

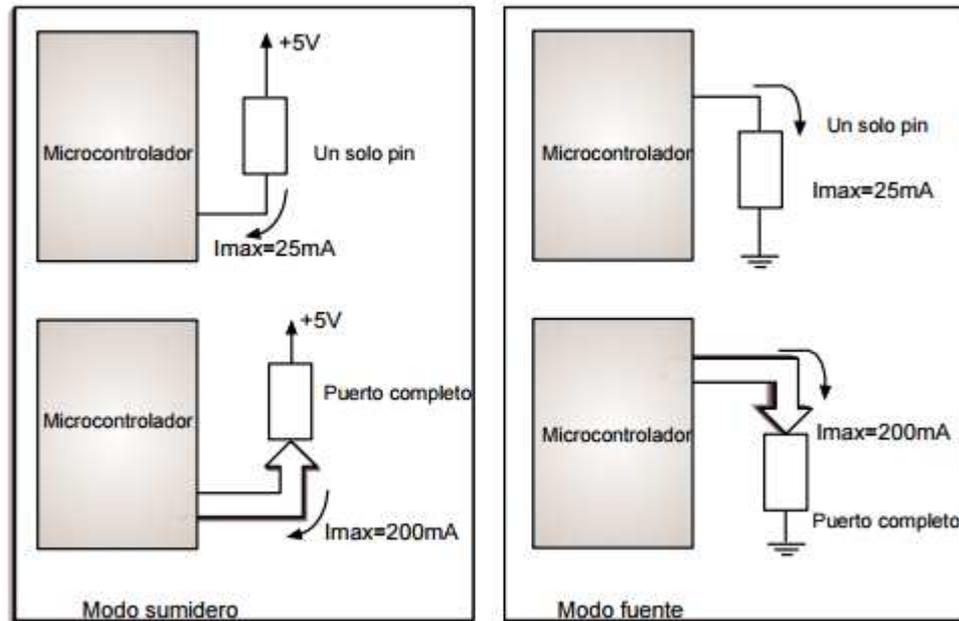


Figura 17. Modo Sink y Modo Source del PIC

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~eduque/arquitect/PIC16F877.pdf>

Tabla 7
Corriente Máxima de los Puertos del PIC

	PUERTO A	PUERTO B	PUERTO C	PUERTO D
Modo sumidero	150 mA	200 mA	200 mA	200 mA
Modo fuente	150 mA	200 mA	200 mA	200 mA

2.15 Oscilador

“Todo microcontrolador requiere de un circuito que le indique la velocidad de trabajo, es el llamado oscilador o reloj. Éste genera una onda cuadrada” (Palacios, Remiro, & López, 2004, pág. 4). El circuito oscilador es necesario para sincronizar las operaciones del PIC.

Los tipos de osciladores que se pueden utilizar se describen en la Tabla 8.

Tabla 8
Tipos de Osciladores

OSCILADORES	
XT	Cristal de cuarzo
RC	Oscilador con resistencia y condensador
HS	Cristal de alta velocidad
LP	Cristal de baja frecuencia
EXTERNA	Señal cuadrada externa

La configuración de los osciladores tipo XT, HS y LP es la que se muestra en la Figura 18.

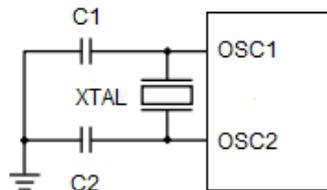


Figura 18. Osciladores XT, HS y LP

La configuración del oscilador tipo RC es la que se muestra en la Figura 19.

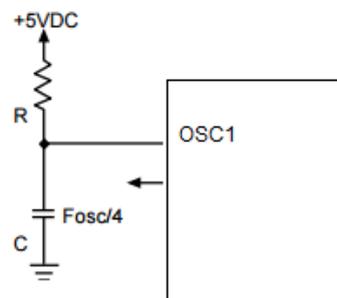


Figura 19. Oscilador RC

La configuración para el oscilador de señal externa se muestra en la Figura 20.

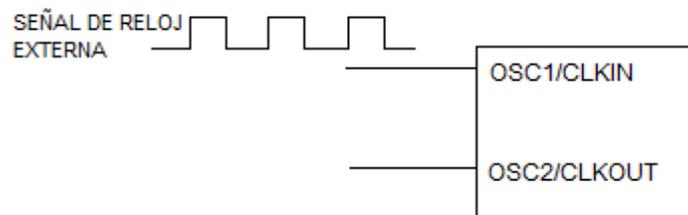


Figura 20. Oscilador de Señal Externa

Para utilizar osciladores del tipo cristal, el fabricante recomienda usar valores de capacitores mostrados en la Tabla 9.

**Tabla 9
Valores de Capacitores Recomendados**

Modo	Frecuencia típica	Capacitores recomendados	
		C1	C2
LP	32 khz	68 a 100 pf	68 a 100 pf
	200 khz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
XT	100 khz	68 a 150 pf	150 a 200 pf
	2 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	4 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
HS	8 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	10 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	20 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf

Fuente: <http://apuntes-electronicos.blogspot.com/2013/02/caracteristicas-generales-del-pic-16f877.html>

2.16 Módulo de Comunicación USART

El módulo de comunicación USART (Transmisor/Receptor Síncrono/Asíncrono Universal) tiene la función de transmitir o recibir información en forma serial ya sea de manera Síncrona o Asíncrona, “La transmisión síncrona utiliza una señal de reloj y una línea de datos, mientras que la transmisión asíncrona no se envía la señal de reloj, porque el emisor y el receptor deben tener relojes con la misma frecuencia y fase” (García Breijo, 2008, pág. 168). En Las Figuras 21 y 22 se puede observar la comunicación síncrona y asíncrona respectivamente.

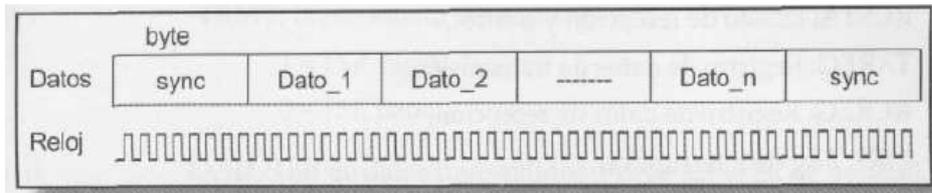


Figura 21. Transmisión Síncrona

Fuente: (García Breijo, 2008, pág. 169)

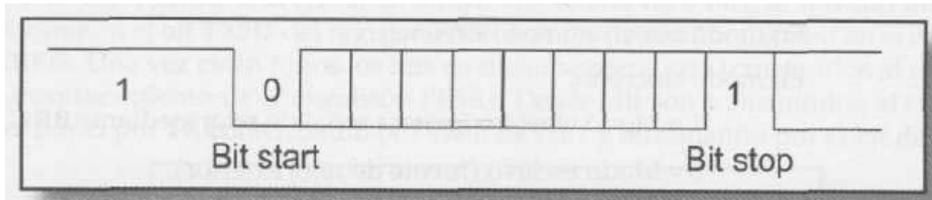


Figura 22. Transmisión Asíncrona

Fuente: (García Breijo, 2008, pág. 169)

La transmisión Síncrona es del tipo Half-Duplex (Figura 23), es decir por una misma línea de comunicación se transmite la información en ambas direcciones de forma alternada, no se puede transmitir simultáneamente. La transmisión Asíncrona es Full Dúplex (Figura 24), en este tipo de transmisión se utilizan dos líneas de comunicación, la una Tx para transmisión, y la otra Rx para recepción; se puede enviar y recibir información en forma simultánea.

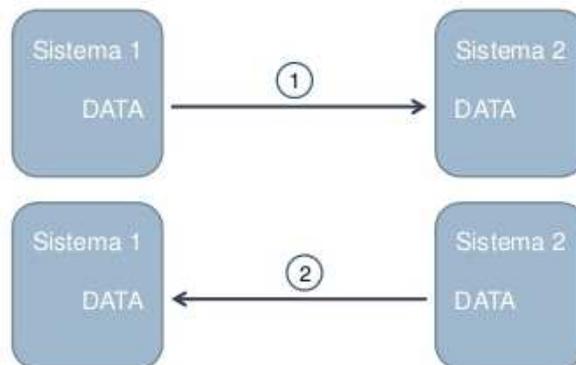


Figura 23. Half Duplex

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/09-comunicacinserie-111019064750-phpapp01/95/comunicacin-serie-4-638.jpg?cb=1423201823>



Figura 24. Full Duplex

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/09-comunicacinserie-111019064750-phppapp01/95/comunicacin-serie-4-638.jpg?cb=1423201823>

2.17 PIC16F877

El PIC16F877 de la Figura 25 pertenece a la gama media de microcontroladores de Microchip y posee las características mencionadas en la Tabla 10.

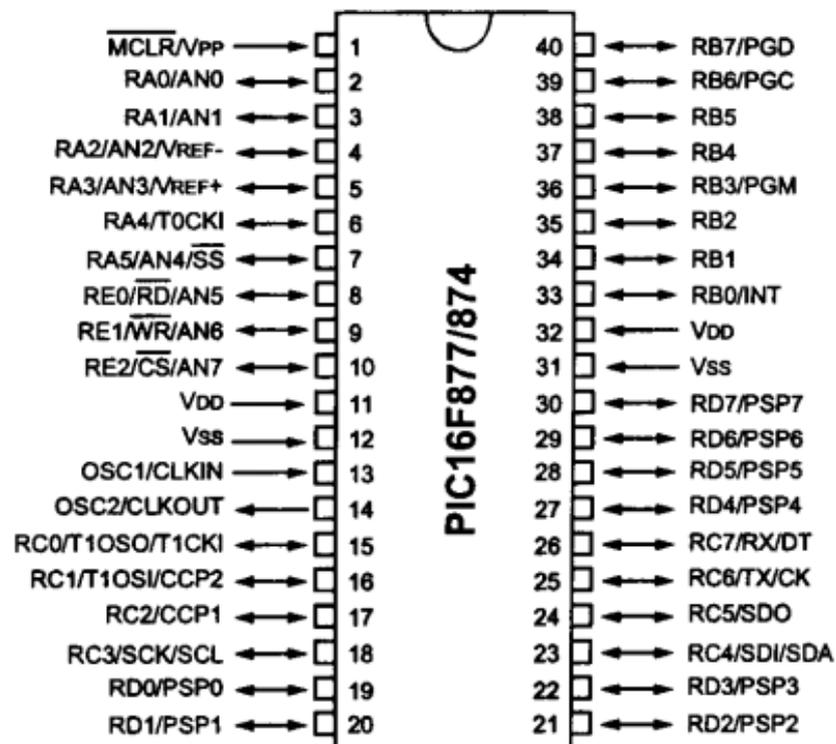


Figura 25. PIC16F877

Fuente: <http://microrato.ua.pt/main/Actividades/Estagios/docs/pic16f87x.pdf>

Tabla 10
Características Principales PIC16F877

Características	PIC16F877
Frecuencia Máxima	20 MHz
Memoria de Programa (ROM)	8K de instrucciones de 14 bits
Memoria de Datos (RAM)	368 bytes
Líneas de E/S	Puerto A = 6, puerto B = 8, Puerto C = 8, Puerto D = 8 y Puerto E = 3, además de 8 entradas análogas
Comunicación	USART
Corriente máxima absorbida/suministrada (sink/source) por línea	25 mA
Oscilador	Soporta los cuatro tipos: RC, LP, XT y HS

Las características mencionadas anteriormente son las utilizadas en el desarrollo del presente proyecto, cabe mencionar que los microcontroladores de gama media poseen otras características adicionales como módulos PWM, CCP, TIMERS, conversores A/D, etc.

2.18 Bluetooth

Bluetooth (Figura 26) es una tecnología de comunicación inalámbrica (IEEE 802.15.1) para la transmisión de voz y datos entre dispositivos, utiliza enlaces de radio de corto alcance. Para la transmisión de datos utiliza la banda de los 2.4 GHz y tiene la capacidad de transmitir a través obstáculos, las características principales del Bluetooth se describen en la Tabla 11.



Figura 26. Bluetooth

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BluetoothLogo.svg>

Tabla 11
Especificaciones Principales Bluetooth

Características	Descripción
Banda de Operación	2.4 GHz
Alcance máximo	10 m sin obstáculos
Velocidad de Transmisión de datos	1 Mbit/s (V1.0) 3 Mbit/s (V2.0) 24 Mbit/s (V3.0)

2.19 Módulo HC-06

El HC-06 (Figura 27) es un módulo Bluetooth SPP (Serial Port Profile) que permite la conversión de un puerto serial a Bluetooth, SPP es un servicio que emula un puerto serial y provee una interfaz de reemplazo de comunicaciones basadas en RS-232.



Figura 27. Módulo HC-06

Fuente: http://botscience.net/store/image/cache/data/products/MODCOM/TEL0001/Bluetooth_Module_bb-500x500.jpg

Este módulo opera como Maestro/Esclavo, es decir recibe y genera conexiones hacia otros dispositivos, utiliza una interfaz UART (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal) con velocidad de transmisión programable, las características principales del HC-06 se describen en la Tabla 12.

Tabla 12
Especificaciones Técnicas HC-06

Características	Descripción
Sensibilidad Típica	- 80 dBm
Potencia de Transmisión	+4 dBm
Velocidad de transmisión en baudios	9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 460800
Voltaje de Operación	Desde 3.3 V a 5V
Distancia máxima	10 m

2.20 LCD 16x2

El LCD (Figura 28) es un dispositivo para visualización de caracteres o símbolos, dispone de 2 filas, cada una de 16 caracteres, cada carácter está formado por una matriz de 5x7 pixeles, internamente el LCD tiene un microcontrolador el cual es el encargado de gestionar la comunicación para imprimir la información en la pantalla.



Figura 28. LCD 16x2

Fuente: <http://cdn.instructables.com/FOW7UVB/H8I44EG4/FOW7UVBH8I44EG4.LARGE.jpg>

Las características del LCD son:

- Pantalla de caracteres ASCII
- Desplazamiento de caracteres hacia la izquierda o la derecha.
- Dirección de la posición absoluta o relativa del carácter.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite hasta 8 caracteres programables.
- Conexión a un microcontrolador a través de un bus de comunicación de 4 u 8 líneas.

Las especificaciones técnicas del LCD hd44780 se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13
LCD 16x2 hd44780

Pin	Símbolo	Descripción
1	Vss	Tierra (GND)
2	Vdd	Alimentación +5 VDC
3	Vo	Contraste del cristal líquido (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS=0 Selección registro de control RS=1 Selección registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura: R/W=0 Escritura (Write) R/W=1 Lectura (Read)
6	E	Habilitación del módulo (Enable): E=0 Módulo desconectado E=1 Módulo conectado
7-14	D0-D7	Bus de datos bidireccional.

2.21 Elementos Eléctricos y Semiconductores

2.21.1 Resistor

“Podemos definir resistencia R como la oposición de un material determinado al flujo de cargas eléctricas a través de él. La unidad de medida de la resistencia es el Ohm (Ω). Los elementos que ofrecen resistencia en un circuito eléctrico se los denomina resistores o resistencias” (Rodríguez, 2001, pág. 6). En la Figura 29 se muestra un resistor comercial.

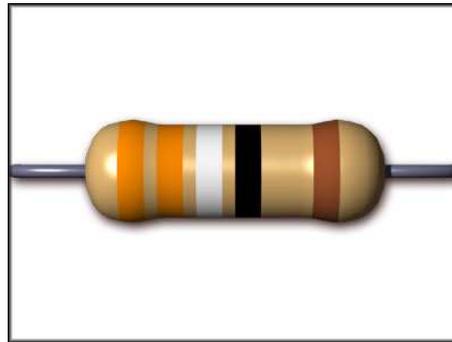


Figura 29. Resistor

Fuente: http://www.cdxetextbook.com/images/resistorratings_03.jpg

El valor de los resistores se determina a través del color de las bandas (Figura 30) mediante la codificación que se establece en la Tabla 14.

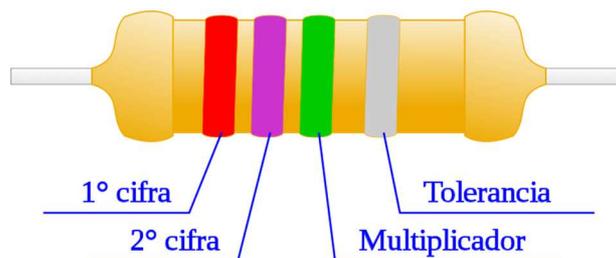


Figura 30. Codificación Resistores

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Resistencia.svg>

Tabla 14
Código de colores de Resistores

Color de la banda	Valor de la 1ª cifra significativa	Valor de la 2ª cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	1	-
Marrón	1	1	10	±1%
Rojo	2	2	100	±2%
Naranja	3	3	1 000	-
Amarillo	4	4	10 000	±4%
Verde	5	5	100 000	±0,5%
Azul	6	6	1 000 000	±0,25%
Morado	7	7	10 000 000	±0,1%
Gris	8	8	100 000 000	±0.05%
Blanco	9	9	1 000 000 000	-
Dorado	-	-	0,1	±5%
Plateado	-	-	0,01	±10%
Ninguno	-	-	-	±20%

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Resistor>

2.21.2 Relé

“El relé es un tipo de interruptor electromagnético que se acciona por medio de un electroimán” (Ruíz Vadillo, 2011). Este dispositivo posee un juego de uno o más contactos que se cierran o abren según su configuración como se muestra en la Figura 31.

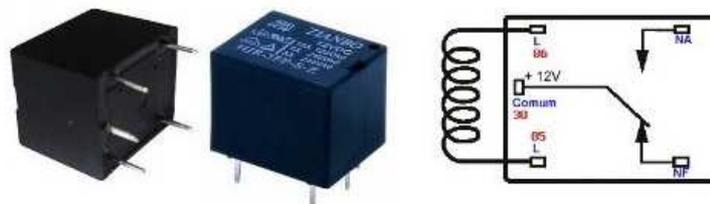


Figura 31. El Relé

Fuente: http://blog.projseg.com.br/wp-content/uploads/2013/11/rele12v_completo.jpg

2.21.3 El Capacitor

“El capacitor o condensador eléctrico es un dispositivo capaz de poder almacenar una carga eléctrica. Su estructura básica consiste en dos placas metálicas separadas entre sí y aisladas una de la otra por un material aislante llamado dieléctrico” (Rodríguez, 2001, pág. 20). La unidad de medida del capacitor (Figura 32) es el Faradio [F].



Figura 32. Capacitores

Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Capacitors_\(7189597135\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Capacitors_(7189597135).jpg)

2.21.4 El Diodo

“El diodo es un dispositivo de dos terminales cuyo comportamiento no es lineal: deja pasar corriente en un sentido y la bloquea en sentido contrario” (Edicions UPS, 1999, pág. 149). En la Figura 33 se muestra un diodo.



Figura 33. El Diodo

Fuente: http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2013/05/diodo_real-300x243.jpg

2.21.5 El Transistor BJT

“El transistor bipolar de uniones, conocido también por BJT (siglas de su denominación inglesa Bipolar Junction Transistor), es un dispositivo de tres

terminales denominados emisor, base y colector” (Edicions UPS, 1999, pág. 204). El transistor (Figura 34) tiene las siguientes funciones:

- Amplificador de señal (radio, televisión, instrumentación)
- Generador de señal (osciladores, generadores de ondas)
- Conmutador, actuando de interruptor (control de relés, fuentes de alimentación conmutadas, control de luminarias, PWM)
- Detección de radiación luminosa (fototransistores)

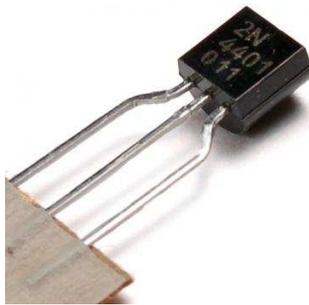


Figura 34. Transistor BJT

Fuente: http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20138/BJT%20transistor_0122104272e6dccd3400459eb19fff7eb26ecb52.png

2.22 Software de diseño y programación

2.22.1 App Inventor

App Inventor (Figura 35) es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para la creación de aplicativos para la plataforma Android, es un programa de libre distribución y desarrollo (Open Source) basado en Web. App Inventor es al mismo tiempo un lenguaje de programación y una herramienta para el diseño de interfaces.



Figura 35. App Inventor Logo

Fuente: <http://s445852199.mialojamiento.es/peponees/appinventorspanish/learn/whatis/index.html>

Para la creación de aplicaciones se debe realizar básicamente tres pasos (Figura 36).

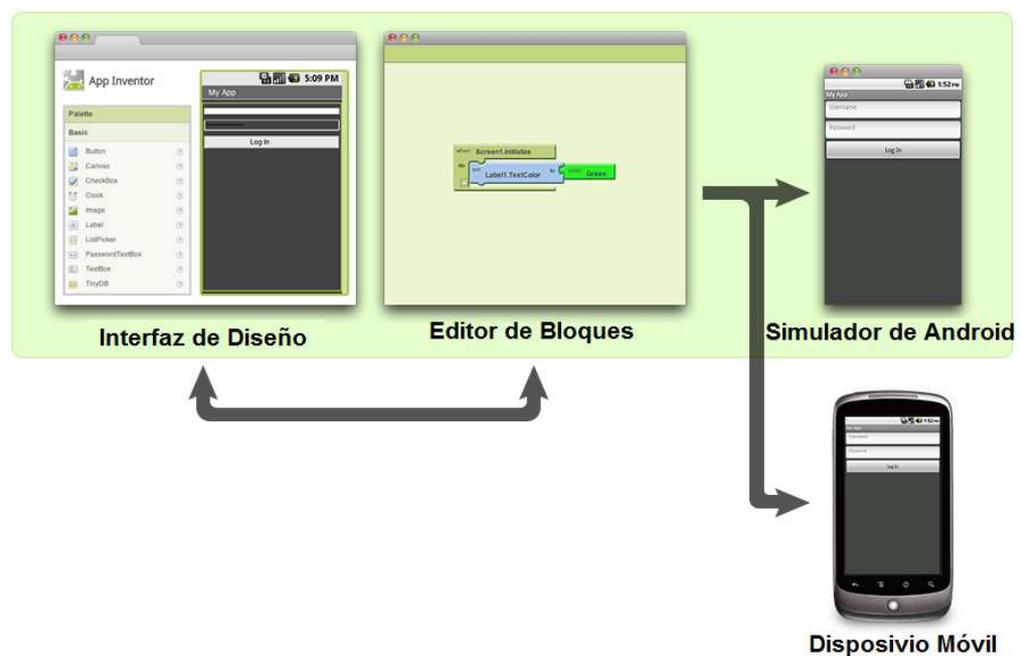


Figura 36. Desarrollo de Apps en App Inventor

El primer paso es diseñar la interface gráfica de la aplicación, en la cual se colocan textos, imágenes, botones, etc. Además de agregar las diferentes ventanas que necesita la aplicación.

El segundo paso es la programación de los elementos de interfaz a través de bloques de programación que funcionan igual que un código estructurado,

a través de la edición de bloques se puede gestionar las funciones de la aplicación.

El tercer paso es la simulación de la aplicación a través de una máquina virtual, el objetivo de la simulación es la corrección de errores.

Una vez culminado estos tres pasos se procede a instalar la aplicación en el dispositivo móvil (teléfono/tablet).

2.22.2 Altium Desginer

“Altium Designer es un conjunto de programas para el diseño electrónico en todas sus fases y para todas las disciplinas, ya sean esquemas, simulación, diseño de circuitos impresos, implementación de FPGA, o desarrollo de código para microprocesadores” (Capel, 2015).

Altium Designer (Figura 37) permite crear proyectos en los cuales se puede integrar esquemas para circuitos impresos, programas para microprocesadores, esquemas de simulación, etc.



Figura 37. Altium Designer

Fuente: <http://www.altium.com/resources/images/media-release/20131017-altium-designer-14-heroshot.jpg>

2.22.3 Proteus Desing Suite

Proteus Desing Suite (Figura 38) un conjunto de paquetes informáticos para diseño y simulación de circuitos electrónicos, es propiedad de Labcenter

Electronics y consta de dos programas principales ISIS y ARES, y los módulos VSM y Electra.

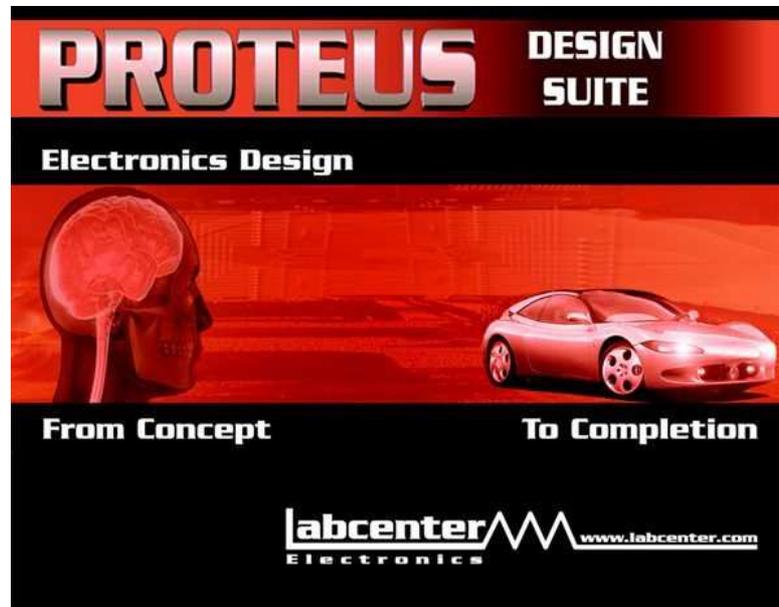


Figura 38. Proteus Desing Suite

Fuente: <http://www.software.com.ar/p/labcenter-proteus-2196>

El programa ISIS (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite elaborar esquemas eléctricos, incluye una librería con más de 6000 elementos, desde resistencias hasta microcontroladores, además del diseño permite la simulación de circuitos en tiempo real mediante el módulo VSM que viene integrado en ISIS.

El programa ARES es una herramienta para el diseño de PCB (Placas de Circuitos Impresos), esta herramienta permite el enrutado, ubicación y edición de componentes en sus diferentes capas, de manera general se usa las capas superficial (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

2.22.4 PIC CCS C Compiler

CCS Compiler (Figura 39) es un compilador de Lenguaje C para microcontroladores de la marca Microchip, este programa permite convertir el código escrito en lenguaje C (alto nivel) a ensamblador (bajo nivel), de esta manera permite al programador desarrollar aplicaciones complejas con un reducido número de instrucciones.



Figura 39. CCS Compiler

Fuente: <http://www.ccsinfo.com/images/catalog/largebox.jpg>

CAPÍTULO 3.

DIAGNÓSTICO Y REHABILITACIÓN

3.1 Identificación y Diagnóstico

Para realizar el diagnóstico del sistema eléctrico/electrónico es necesario identificar los elementos y su funcionamiento, a continuación se detalla cada uno de los elementos de dicho sistema y su diagnóstico.

3.2 Sensor MAP

Denominado MAP por sus siglas en inglés Manifold Absolute Presion (Figura 40), es un sensor de presión absoluta, se encuentra posicionado en la parte externa del motor, su función radica en medir la presión en la tubería de admisión tomando como referencia la presión atmosférica, está compuesto por un chip de silicio sellado en una cámara de referencia, este chip esta sellado al vacío o con una presión referencial dentro de la cámara, el Sensor MAP cambia su resistencia proporcionalmente al cambio de presión, es decir, está compuesta por un material piezorresistivo por lo tanto al aplicar una corriente a través de la resistencia variable, tiene como salida con determinado voltaje que se interpreta como la presión medida.

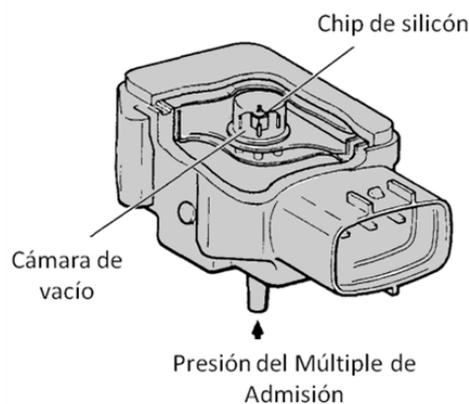


Figura 40 Sensor de Presión Absoluta (MAP).

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=221

El sensor MAP posee la curva característica mostrada en la Figura 41.

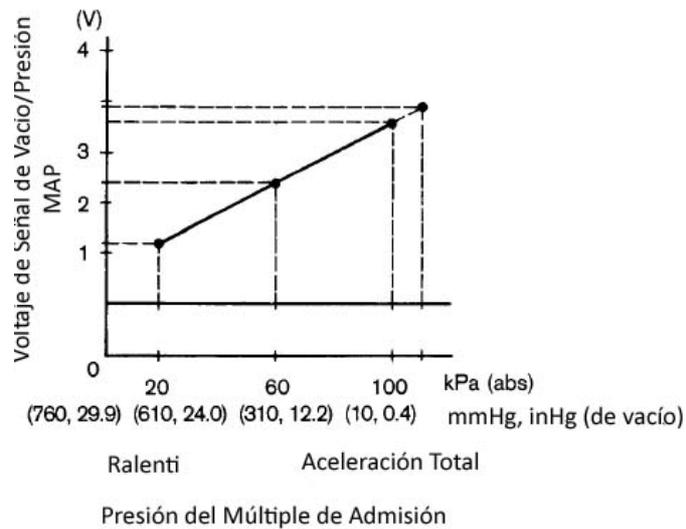


Figura 41. Curva característica del Sensor MAP

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=221

Como se puede observar en la Figura 41, el voltaje que entrega el sensor es proporcional a la presión que se encuentra en el múltiple de admisión, tiene relación lineal.

La Figura 42 muestra el esquema eléctrico y conexión del sensor hacia la computadora del auto.

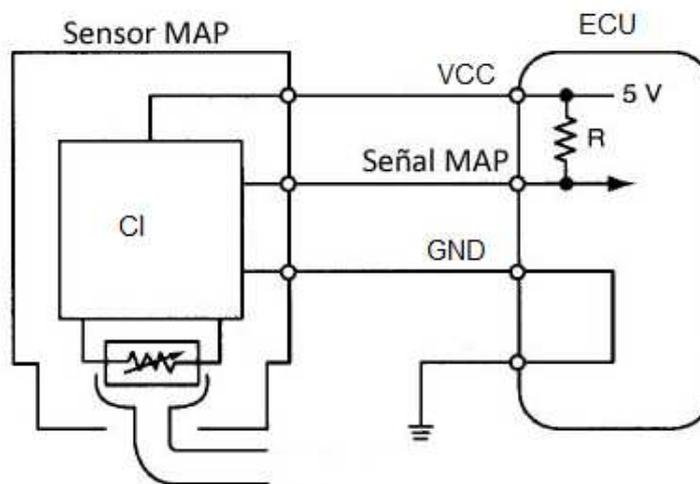


Figura 42. Esquema Eléctrico del Sensor MAP.

Fuente: <http://encendidoelectronico.com/wp-content/uploads/2015/07/map-6.jpg>

3.2.1 Diagnóstico Sensor MAP

Para diagnosticar el sensor se comprobó las conexiones eléctricas, y su posicionamiento.

El sensor se encuentra totalmente desconectado del arnés de cables, no tiene alimentación y el cable de la señal no llega al computador.

Al alimentar al sensor con 5 Voltios y con el motor apagado, se midió en el pin de salida del sensor un voltaje de 3.48 Voltios que corresponde a la presión atmosférica (101.32 kPa), por lo tanto este sensor se encuentra en condiciones de operación.

3.3 Sensor TPS

TPS (Throttle Position Sensor), Sensor de Posición de la Mariposa de aceleración (Figura 43), está formado por un resistor variable (potenciómetro) el cual determina la posición angular de la Mariposa, entiéndase por Mariposa a la placa metálica (dorada) que se encuentra en el colector de admisión como se muestra en la Figura 44.

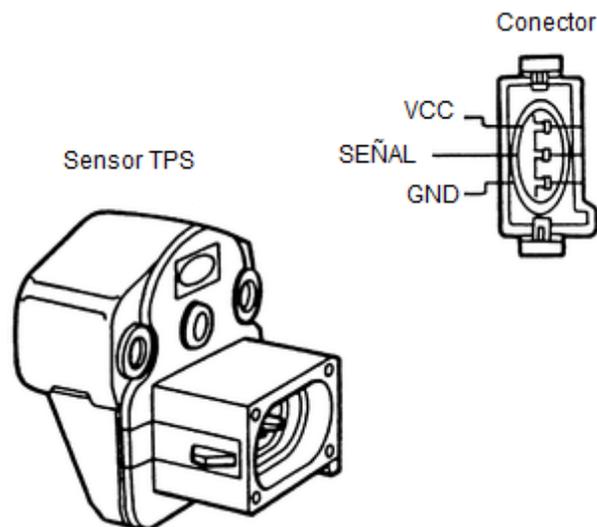


Figura 43. Sensor TPS.

Fuente: <http://www.freeautomechanic.com/tps-throttle-position-sensor.html>



Figura 44. Mariposa de Aceleración

Fuente: <http://i0.wp.com/www.enauto.cl/wp-content/uploads/2012/07/mariposa-aceleracion.jpg>

El cerebro del auto usa la información enviada por este sensor para saber el estado de operación del motor, determinando tres condiciones:

Ralentí: El acelerador se encuentra cerrado

Aceleración parcial: El acelerador se encuentra parcialmente cerrado.

Aceleración intensa: El acelerador se encuentra totalmente abierto.

Como se puede observar en la Figura 45, el circuito eléctrico del sensor está provisto de tres pines, que son VCC, GND y Señal respectivamente.

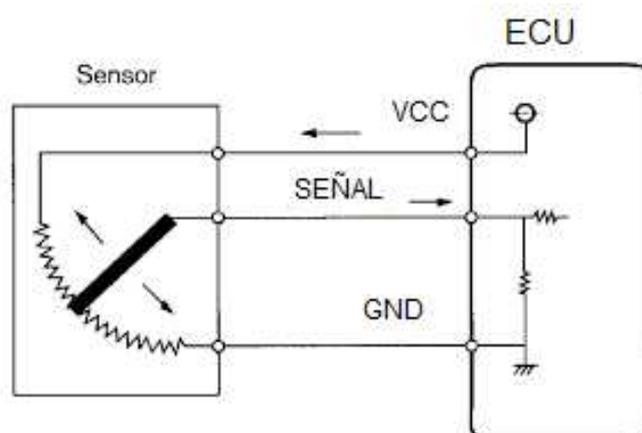


Figura 45. Circuito Eléctrico del Sensor TPS.

Fuente: <http://ttec-4848sensorsbytung.blogspot.com/2011/09/tps-testing.html>

A través de la señal del TPS, la computadora puede determinar la relación Aire-Combustible que se debe suministrar al motor.

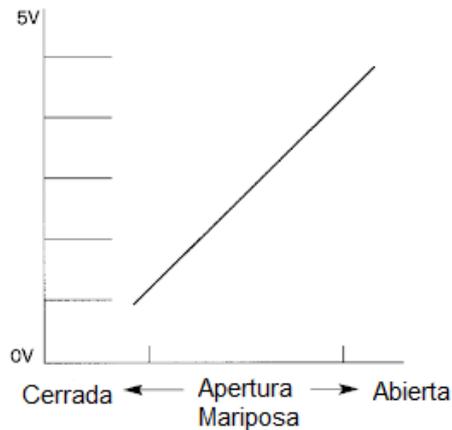


Figura 46. Gráfica de Funcionamiento del Sensor TPS

Fuente: <http://ttec-4848sensorsbytung.blogspot.com/2011/09/tps-testing.html>

La Figura 46 muestra que el sensor tiene relación lineal con la apertura de la mariposa, al ser un potenciómetro varía entre 0 y 5V, cuando se encuentra en ralentí envía 0V y cuando está totalmente abierta envía 5V.

3.3.1 Diagnóstico del TPS

Para diagnosticar el TPS se debe observar que el sensor esté posicionado correctamente y su circuito eléctrico esté conectado de acuerdo al diagrama. Para probar que el sensor este funcional se conecta a 5V y a GND y se mide la salida, el voltaje de salida debe estar en el rango indicado por la gráfica de funcionamiento. Se determinó que el sensor estaba mal posicionado por lo tanto al variar la mariposa no varía el voltaje en la señal de salida, además los cables estaban cortados, es decir, no había ninguna conexión eléctrica para este sensor.

3.4 Sensor de oxígeno

El sensor de oxígeno (Figura 47) conocido también como sonda lambda mide la concentración de oxígeno en los gases de escape, el sensor determina si la mezcla aire combustible es óptima, en el caso de no serla, la ECU realiza el ajuste necesario basado en los datos que envía este sensor.



Figura 47. Sensor de Oxígeno.

Fuente: http://mlm-s2-p.mlstatic.com/sensor-de-oxigeno-honda-accord-22l-23l-30l-au1-4684-MLM4925970062_082013-F.jpg

Se encuentra ubicado en el sistema de escape del motor y necesita una temperatura de 300 °C para funcionar, por lo tanto tiene un calentador eléctrico como se indica en la Figura 48.

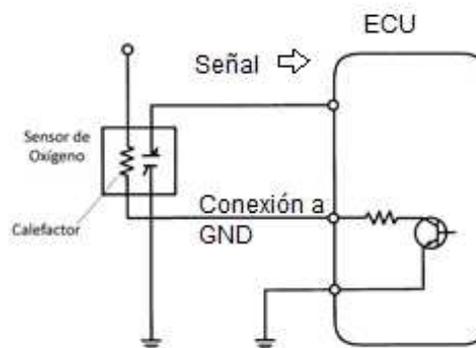


Figura 48. Circuito Eléctrico del Sensor de Oxígeno.

Fuente: <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=37>

En la Figura 49 se muestra la forma de onda del sensor lambda, los valores de voltaje determinan si la mezcla aire/combustible es óptima, rica o pobre, Un voltaje de 0.2 V representa una mezcla pobre donde hay oxígeno en el flujo del escape. Una lectura de 0.8 V representa una mezcla rica en donde hay poco o nada de oxígeno en el flujo del escape. El punto ideal es 0.45 V, que es donde las cantidades de aire y combustible están en la relación óptima, la ECU toma como referencia 0.45V como un punto medio en un rango de voltaje para controlar el reajuste del combustible para el ciclo del pulso del inyector.

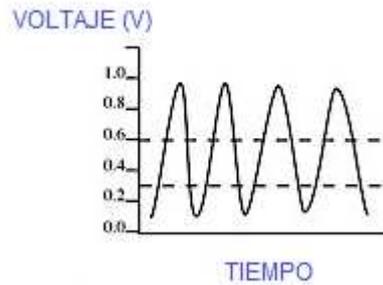


Figura 49. Forma de Onda del Sensor de Oxígeno.

Fuente: <http://www.servicioautomotriz.com/cuando-se-debe-reemplazar-un-sensor-de-oxigeno/>

3.4.1 Diagnóstico del Sensor de Oxígeno

El auto posee originalmente el sensor de oxígeno, pero no se encontraba presente en el vehículo.

3.5 Sensor VSS

El sensor de Velocidad del Vehículo VSS denominado así por sus siglas en inglés Vehicle Speed Sensor, es el encargado de medir la velocidad en la transmisión, a través de un captador magnético como se muestra en la Figura 50, el sensor contiene un imán giratorio que genera una onda de corriente alterna AC (senoidal) de frecuencia variable, la cual es directamente proporcional a la velocidad del vehículo. Cuenta con un Interruptor Reed, este tipo de interruptor se activa en presencia de un campo magnético

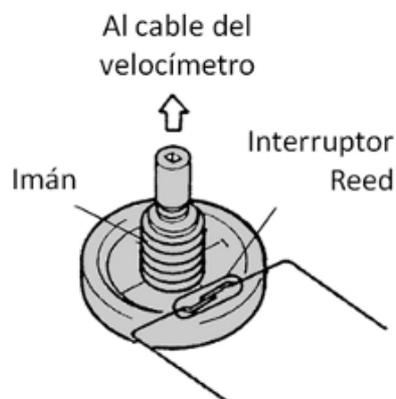


Figura 50. Sensor de Velocidad del Vehículo.

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=223

La computadora del automóvil toma la información proveniente de este sensor para enviarla al tablero de instrumentos, en donde la información es interpretada por el velocímetro y el odómetro para mostrar la información al conductor.

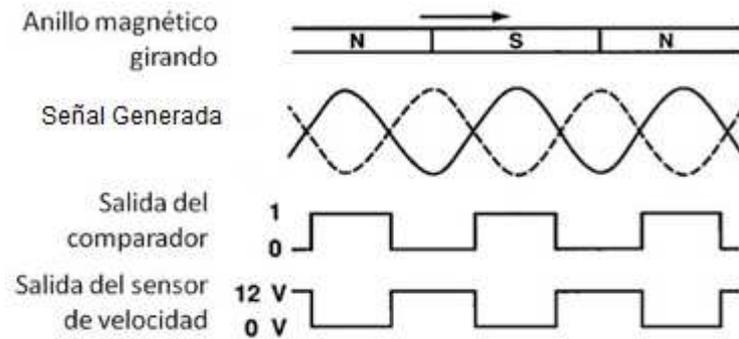


Figura 51. Forma de Onda del Sensor de Velocidad.

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=223

Como se muestra en la Figura 51, al aumentar la velocidad del sensor, aumenta la frecuencia, esto se traduce a velocidad, es decir la frecuencia es proporcional a la velocidad del vehículo.

A continuación se muestra la conexión eléctrica del sensor VSS (Figura 52) hacia la ECU del vehículo.

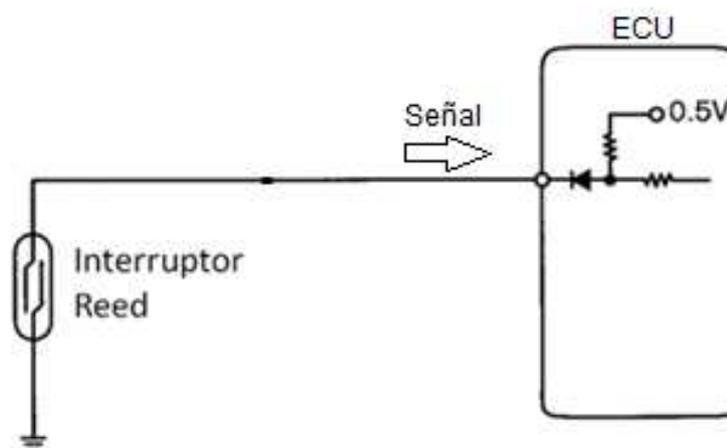


Figura 52. Conexión Eléctrica del Sensor VSS.

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=223

Como se puede observar en la Figura 52 el sensor de velocidad utiliza el principio de funcionamiento del Interruptor Reed, el cual es activado por el campo magnético producto del movimiento del imán, el cual se mueve por la acción del cable del velocímetro, este sensor es del tipo activo, es decir genera voltaje en respuesta a la rotación del imán.

3.5.1 Diagnóstico del Sensor VSS

No existe conexión del sensor hacia la computadora.

3.6 Sensor IAT

Denominado sensor IAT por sus siglas en inglés Intake Air Temperature, es el Sensor de Temperatura de Aire de Admisión Figura 53. Está formado por un termistor del tipo NTC (20 K Ω) y es el encargado de detectar la temperatura del aire del ambiente en un arranque frío y la temperatura del aire que sigue calentando el motor mientras va ingresando.

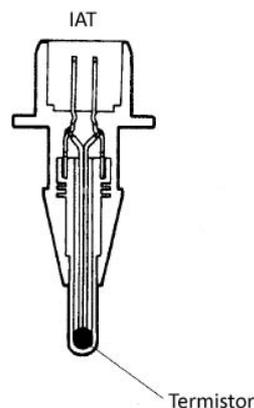


Figura 53. Sensor IAT.

Fuente: <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=45>

El sensor se conecta en serie con una resistencia como se indica en la Figura 54, la computadora del automóvil mide la temperatura a través de la diferencia de potencial eléctrico que presenta el sensor al cambiar el valor de su resistencia, cuando la temperatura es baja, la resistencia es mayor y por lo tanto el voltaje medido es mayor, a medida que aumenta la temperatura la resistencia disminuye al igual que la señal de voltaje que ingresa a la computadora.

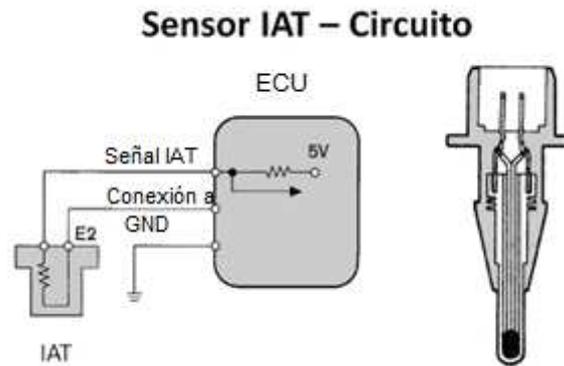


Figura 54. Circuito Eléctrico del Sensor IAT.

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=225

3.6.1 Diagnóstico del Sensor IAT

Para diagnosticar el sensor IAT es necesario revisar las conexiones eléctricas y determinar el valor de la resistencia del sensor de acuerdo a la temperatura a la que encuentra y comparar las mediciones con la curva del sensor de la figura 55.

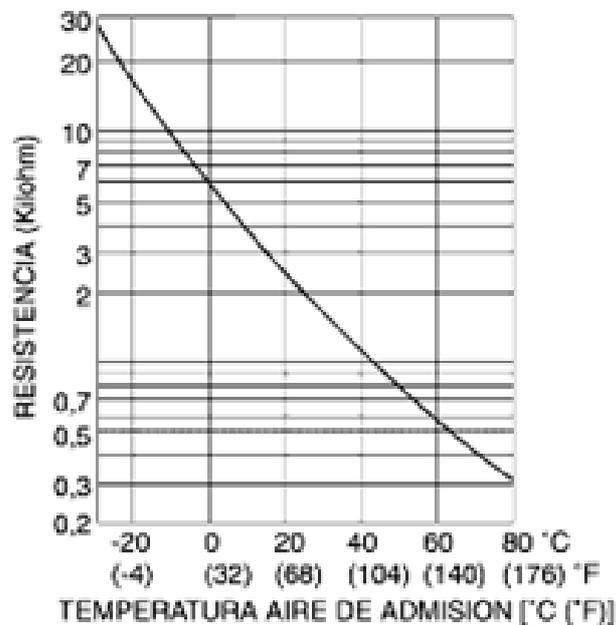


Figura 55. Curva del Sensor IAT.

Fuente: http://www.clubmazdavenezuela.com/apps/manuals/3/man_taller_m3/esicont/es/srv/html/B3E014018840W06.html

El sensor se encuentra totalmente desconectado del arnés de cables eléctricos y sin conexión a la computadora, el valor de resistencia es de 2.3 K Ω , que corresponde al valor medido a temperatura ambiente (25 °C).

3.7 Sensor ECT

El sensor ECT denominado así por sus siglas en inglés Engine Coolant Temperature que significa Sensor de Temperatura del Refrigerante del Motor (Figura 56), como su nombre lo indica es el sensor que supervisar la temperatura del motor y enviar la información a la computadora del automóvil para determinar el tiempo de apertura de los inyectores y la velocidad alta de ralentí.

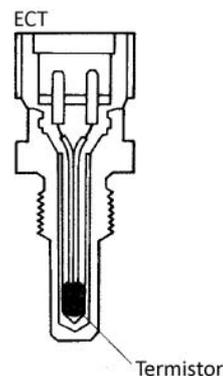


Figura 56. Sensor ECT.

Fuente: <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=45>

Este sensor está formado por un termistor del tipo NTC (20 K Ω), coeficiente negativo, es decir su resistencia disminuye al aumentar la temperatura.

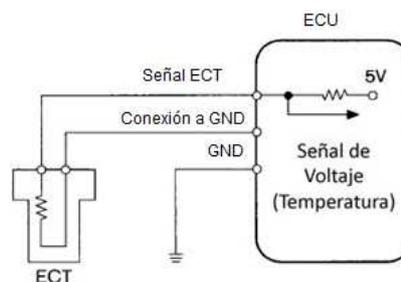


Figura 57. Circuito Eléctrico del Sensor ECT.

Fuente: <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=45>

Como se dispone en la Figura 57, el sensor se conecta con una resistencia en serie que se encuentra internamente en la placa de la ECU, la computadora mide la diferencia de potencial eléctrico que se produce en el sensor y determina el valor de la temperatura.

3.7.1 Diagnóstico del Sensor ECT

Para diagnosticar el sensor ECT es necesario revisar las conexiones eléctricas y determinar el valor de la resistencia del sensor de acuerdo a la temperatura a la que encuentra y comparar las mediciones con la curva del sensor de la Figura 58.

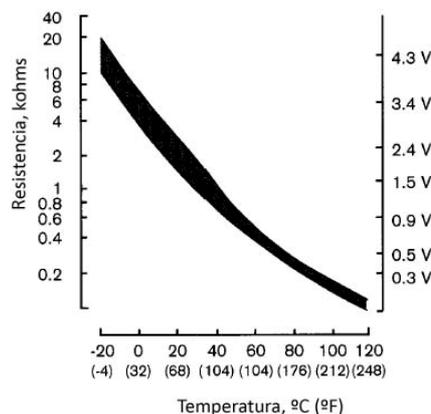


Figura 58. Curva del Sensor ECT.

Fuente: <http://www.encendidoelectronico.com/vista.php?id=46>

El sensor se encuentra totalmente desconectado del arnés de cables eléctricos y sin conexión a la computadora, el valor de resistencia es de 2.2 KΩ, que corresponde al valor de temperatura ambiente (25 °C) por lo tanto está en buen estado.

3.8 Sensor KS

El sensor KS (Knock Sensor) o Sensor de Vibración, es el encargado de medir la detonación del motor, cuando el motor se encuentra operativo el sensor mide las vibraciones del motor y envía la información a la ECU. El

sensor de vibración se encuentra en el bloque de motor como indica la Figura 59.

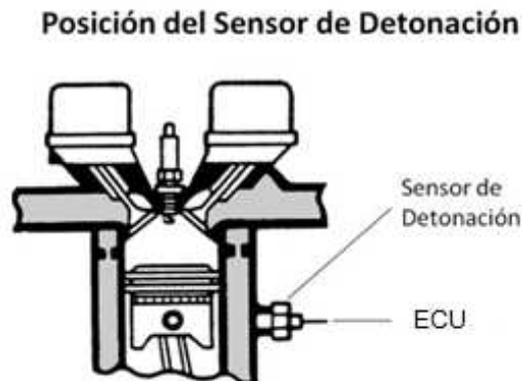


Figura 59. Sensor de Golpeteo (KS).

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=229

A partir de las vibraciones del motor, el sensor de vibración genera una tensión de salida debido a que está formado por un material piezoeléctrico, dicha tensión se encuentra a una determinada frecuencia (Figura 60), la computadora del auto usa esta información para saber el estado el motor y hacer los ajustes necesarios.

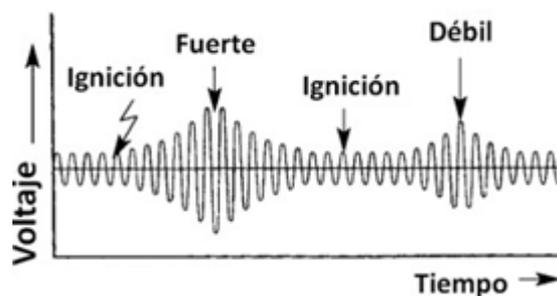


Figura 60. Forma de Onda del Sensor de Vibración.

Fuente: http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=229

3.8.1 Diagnóstico del Sensor KS

El Sensor KS se encuentra posicionado en el bloque de motor pero esta desconectado del mazo de cables principal y de la computadora.

3.9 Sensor CMP

Denominado CMP (Figura 61) por sus siglas en inglés Camshaft Position, es el sensor de Posición del Árbol de Levas, este sensor permite a la ECU determinar la secuencia de activación de los inyectores y de las bujías. Este sensor es de Efecto Hall, este efecto se produce cuando circula una corriente eléctrica por una placa metálica y a través de la placa fluye un campo magnético transversal produciendo una diferencia de potencial eléctrico.



Figura 61. Sensor CMP

Fuente: http://mlm-s1-p.mlstatic.com/sensor-cmp-posicion-arbol-de-levas-chrysler-dodge-op4-12915-MLM20069452399_032014-F.jpg

El árbol de levas tiene en su extremo un pequeño imán como se muestra en la Figura 62, y en cada giro sobre el sensor CMP, produce una salida de voltaje indicando el punto muerto superior del pistón del primer cilindro.

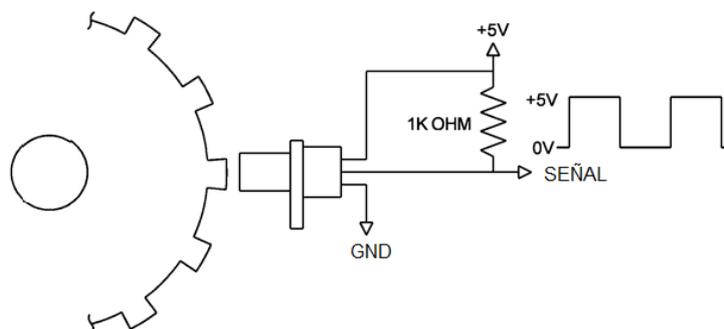


Figura 62. Diagrama Sensor CMP

Fuente: http://www.daytona-twintec.com/sensor_data/CKP_Sensor_Waveforms.gif

3.9.1 Diagnóstico del Sensor CMP

El sensor CMP se encontraba desconectado del arnés de cables principal, por lo tanto la señal del sensor no estaba conectada a la computadora.

3.10 Inyectores

El inyector es un dispositivo formado por una bobina de solenoide, un inducido de solenoide (émbolo) y una válvula de aguja como se muestra en la Figura 63, su principal función es pulverizar el combustible en forma de aerosol para introducirlo en la cámara de combustión, el combustible proviene del tanque y se desplaza gracias a la acción de la bomba.

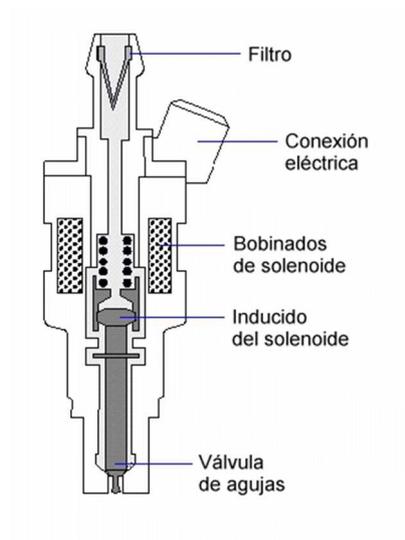


Figura 63. Inyector de Combustible.

Fuente: http://www.miac.es/marcas/pico/develop/hta/mpi_current.tjk

El computador del automóvil es el encargado de regular el funcionamiento de los inyectores a través de la apertura y cierre de cada uno de ellos, la computadora conecta cada uno de los inyectores a tierra para que se abran por un tiempo aproximado de 1 ms, al desconectar la bobina, se cierra el inyector y vuelve a su posición inicial. La Figura 64 muestra un diagrama de bloques de la conexión de inyectores y computador automotriz.

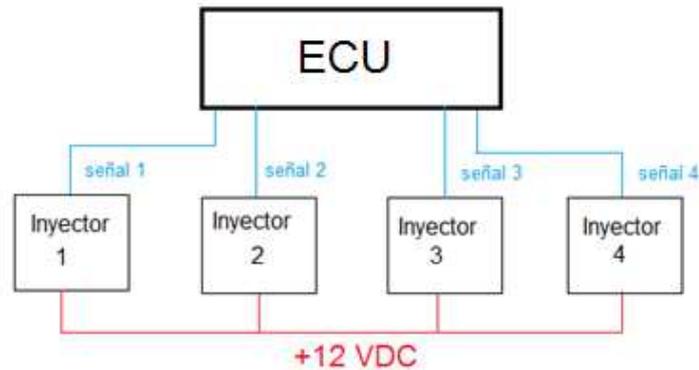


Figura 64. Diagrama de Bloques Inyectores/ECU

3.10.1 Diagnóstico Inyectores

Los inyectores se encontraron instalados en el motor pero no tenían conexión eléctrica a 12V y GND, tampoco sus señales estaban conectadas al computador. Se midió la resistencia de la bobina de los inyectores, se midió un valor de 11.8Ω , que corresponde al valor de impedancia de las bobinas, por lo tanto se encuentran en buen estado.

3.11 La Bomba De Combustible

Es un dispositivo cuya función es llevar el combustible desde el tanque de almacenamiento hace el riel de inyectores, necesario para el funcionamiento del motor. La bomba de combustible está controlada por la ECU a través de un relé como se muestra en la Figura 65.

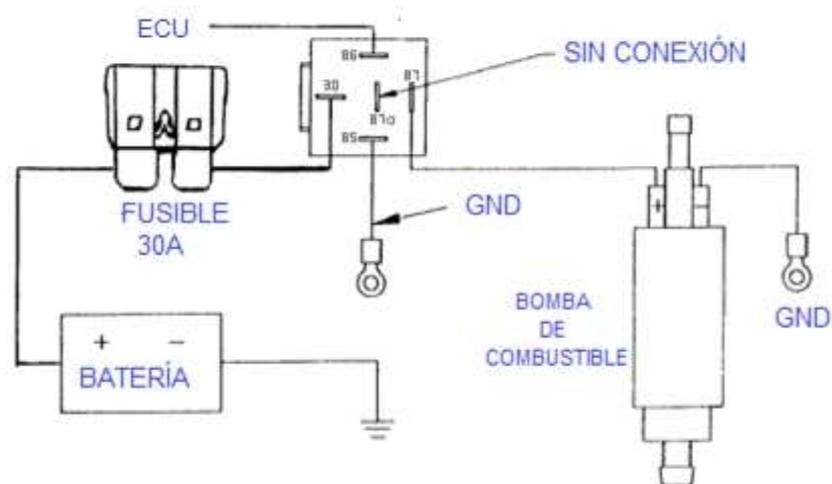


Figura 65. Diagrama Eléctrico de la Bomba de Combustible

3.11.1 Diagnóstico de la Bomba de Combustible

La bomba de Combustible se encuentra funcionando, envía el combustible hacia el riel pero se encuentra desconectado del arnés de cables, no tiene relé ni conexión a la computadora del auto.

3.12 Reparación del Sistema Eléctrico/Electrónico

Una vez revisado las conexiones y estado operativo de los sensores y actuadores se procede a realizar los ajustes necesarios para poner en funcionamiento el motor.

El mazo de cables eléctricos se encuentra enredado (Figura 66), soldado con cables y relés adicionales, los cuales se usaban en una tesis previa. A continuación se procede a desenredar los cables y retirar los elementos extras.



Figura 66. Mazo de Cables Eléctricos mal configurados

Primero se retira el arnés de cables del auto, se cortan los cables enredados para organizar el arnés y se sueldan con estaño, adicionalmente se aíslan eléctricamente los empalmes con cinta termo-retráctil como se muestra en las Figuras 67 y 68.

Como se observa en la Figura 69, los pines de la computadora se dividen en tres puertos, A, B y C, cada uno de ellos posee su propio socket de conexión. Todos los terminales están numerados y sus cables poseen un color para identificación.

Para poder identificar cada uno de los pines de la ECU, se utilizó como referencia la Tabla 15, la cual corresponde a la versión de transmisión automática del Vehículo Chevrolet Alto, dicha tabla se tomó del Manual de Servicio.

Tabla 15
Conexiones de la ECU del Manual de Servicio.

TERMINAL POSITION	WIRE COLOR	CIRCUIT	NORMAL VOLTAGE	CONDITION
A1	B/R	Power source	10 – 14V	Ignition switch ON
A2	B/W	Ignition switch signal	10 – 14V	Ignition switch ON
A3	Lg	ECT sensor	About 2.9 V	Engine coolant temp.: 20°C
			About 0.8 V	Engine coolant temp.: 80°C
A4	W/B	A/C evaporator temp. sensor	About 2.4 V	A/C ventilator outlet temp.: 20°C
A5	W	Knock sensor	About 2.5 V	Engine running at idle speed
A6	Gr/Bl	TP sensor	0 – 1 V	Throttle valve at idle position
			About 4 V	Throttle valve at full open position
A7	R	Heated oxygen sensor	Deflects between 0 V and 1 V	Engine running at normal operating temperature
A8	Lg/R	MAP sensor	About 2.0 V	Ignition switch ON and engine stopped
			About 1.0 V	Engine running at idle speed
A9	B	CMP sensor (-)	0 – 1 V	Ignition switch ON
A10	W	CMP sensor (+)	0 – 1 V	Ignition switch ON
A11	—	Not used	—	—
A12	P/B	A/C compressor magnet clutch	10 – 14 V	A/C compressor: ON
			0 – 1 V	A/C compressor: OFF
A13	B	Ground	0 – 1 V	—
A14	—	Not used	—	—
A15	Lg/B	IAT sensor	About 2.9 V	IAT sensor ambient temp.: 20°C
			About 0.8 V	IAT sensor ambient temp.: 80°C

Continúa 

A16	—	Not used	—	—
A17	G/W	Stop light switch	10 – 14 V	Brake pedal depressed
			0 – 1 V	Brake pedal not depressed
A18	V	VSS	Deflects between 0 V and 10 – 14 V	Ignition switch ON and front wheel turned slowly with another wheel locked
A19	Gr/R	Power supply for sensors	4 – 5 V	—
A20	—	Not used	—	—
A21	W/R	Power source for back up	10 – 14 V	—
A22	Br/W	Main relay	10 – 14 V	Ignition switch OFF
			0 – 1 V	Ignition switch ON
B1	V/W	Diagnosis switch terminal	10 – 14 V	Ignition switch ON
			0 – 1 V	Ignition switch ON and diagnosis switch terminal grounded
B2	G	Transmission range switch "D" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in "D" range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than "D" range
B3	Gr/Or	Transmission range switch "N" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in "N" range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than "N" range
B4	R	Transmission range switch "R" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in "R" range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than "R" range
B5	Or	Transmission range switch "P" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in "P" range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than "P" range
B6	R/Bl	IAC valve (step motor 1)	0 – 1 V	Ignition switch ON

B7	W/Bl	Shift solenoid No. 2	10 – 14 V	Shift lever in "L", "2", "D" range and vehicle stopped
			below 1.5 V	Shift lever in "P", "N", "R" range
B8	W/R	Shift solenoid No. 1	10 – 14 V	Shift lever in "L", "2", "D" range and vehicle stopped
			below 1.5 V	Shift lever in "P", "N", "R" range
B9	P/B	Test switch terminal	10 – 14 V	Ignition switch ON
			0 – 1 V	Ignition switch ON and test switch terminal grounded
B10	Bl	Data link connector	—	—
B11	Bl/W	Transmission range switch "L" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in L range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than L range
B12	G/Y	Transmission range switch "2" range	10 – 14 V	Ignition switch ON and transmission range switch in 2 range
			0 – 1 V	Ignition switch ON and transmission range switch in other than 2 range
B13	R/Y	IAC valve (step motor 4)	10 – 14 V	Ignition switch ON
B14	R/B	IAC valve (step motor 3)	10 – 14 V	Ignition switch ON
B15	R/W	IAC valve (step motor 2)	0 – 1 V	Ignition switch ON
B16	Br	Tachometer signal	10 – 14 V	Ignition switch ON
C1	B/Or	ECM/PCM ground	0 – 1 V	—
C2	B/Y	EVAP canister purge valve	10 – 14 V	Ignition switch ON
C3	Y/R	Ignitor	About 0.3 V	Engine running at idle speed
			1 V	Engine running at 4000 rpm
C4	P	Fuel pump relay	10 – 14 V	Fuel pump OFF (3 seconds after ignition switch ON)
			0 – 1 V	Fuel pump ON (for 3 seconds after ignition switch ON)
C5	Bl	Radiator fan control relay	10 – 14 V	Engine cooling fan OFF
			0 – 1 V	Engine cooling fan ON
C6	—	No used	—	—

Continúa 

C7	V/Y	MIL (Diagnosis output terminal)	0 – 1 V	Ignition switch ON
			Deflects between 0 V and 10 – 14 V	Ignition switch ON and diagnosis switch terminal grounded
C8	—	Not used	—	—
C9	—	Not used	—	—
C10	Y	EGR solenoid vacuum valve	10 – 14 V	Ignition switch ON
C11	B	Ground	0 – 1 V	—
C12	Y/G	No. 3 injector	10 – 14 V	Ignition switch ON
C13	Bl/Y	No. 1 injector	10 – 14 V	Ignition switch ON
C14	Or	Sensor ground	0 – 1 V	—
C15	B/R	Power source for shift solenoid	10 – 14 V	Ignition switch ON
C16	—	Not used	—	—
C17	—	Not used	—	—
C18	R/W	Electric load (rear defogger)	10 – 14 V	Rear defogger switch OFF
			0 – 1 V	Rear defogger switch ON
C19	R/Y	Electric load (small light)	10 – 14 V	Small light OFF
			0 – 1 V	Small light ON
C20	P/Bl	Electric load (blower fan)	10 – 14 V	Blower fan OFF
			0 – 6 V	Blower fan ON
C21	Bl/R	A/C switch (with A/C)	10 – 14 V	A/C switch or blower fan OFF
			0 – 1 V	A/C switch and blower fan ON
C22	P/G	Duty output terminal	4 – 5 V	Ignition switch ON and diagnosis switch terminal grounded
			0 – 1 V	Ignition switch ON
C23	—	Not used	—	—
C24	B	Heated oxygen sensor heater	0 – 1 V	Engine running after engine warmed up
			10 – 14 V	Ignition switch ON
C25	Bl	No. 4 injector	10 – 14 V	Ignition switch ON
C26	Br/W	No. 2 injector	10 – 14 V	Ignition switch ON

A continuación se muestra en la Tabla 16 el color de los conductores de cada pin y su circuito.

Tabla 16
Terminales y Conexiones de la ECU

TERMINAL	COLOR DEL CABLE	CIRCUITO
A1	Negro/Rojo	Alimentación 12V
A2	Negro/Blanco	Señal de ignición del Switch
A3	Verde Claro	Sensor ECT
A4	----	No se usa
A5	Blanco	Sensor de Choque KS
A6	Gris/Azul	Sensor TPS

Continúa 

A7	Rojo	Sensor de Oxígeno (Sonda Lambda)
A8	Verde Claro/Rojo	Sensor MAP
A9	Negro	Sensor CMP (-)
A10	Blanco	Sensor CMP (+)
A11	----	No se usa
A12	----	No se usa
A13	Negro	Tierra
A14	----	No se usa
A15	Verde Claro/Negro	Sensor IAT
A16	----	No se usa
A17	----	No se usa
A18	Violeta	Sensor VSS
A19	Gris/Rojo	Alimentación para los sensores 5V
A20	----	No se usa
A21	Blanco/Rojo	Alimentación de respaldo 12V
A22	Marrón/Blanco	Relé Principal
B1	----	No se usa
B2	----	No se usa
B3	----	No se usa
B4	----	No se usa

B5	----	No se usa
B6	Rojo/Blanco	Válvula IAC (señal 1)
B7	----	No se usa
B8	----	No se usa
B9	----	No se usa
B10	Azul	Línea de Datos OBDII
B11	----	No se usa
B12	----	No se usa
B13	Rojo/Amarillo	Válvula IAC (señal 4)
B14	Rojo/Negro	Válvula IAC (señal 3)
B15	Rojo/Blanco	Válvula IAC (señal 2)
B16	----	No se usa
C1	Negro/Naranja	Tierra ECU
C2	----	No se usa
C3	----	No se usa
C4	Rosado	Relé de la Bomba de Combustible
C5	Azul	Relé del Ventilador del Radiador
C6	----	No se usa
C7	Violeta/Amarillo	MIL (Check Engine)
C8	----	No se usa
C9	----	No se usa

Continúa 

C10	Amarillo	Válvula de vacío EGR
C11	Negro	Tierra
C12	Amarillo/Verde	Inyector N°3
C13	Azul/Amarillo	Inyector N°1
C14	Naranja	Tierra de los Sensores
C15	----	No se usa
C16	----	No se usa
C17	----	No se usa
C18	----	No se usa
C19	----	No se usa
C20	----	No se usa
C21	----	No se usa
C22	----	No se usa
C23	----	No se usa
C24	Negro	Calentador de Oxígeno
C25	Azul	Inyector N°4
C26	Marrón/Blanco	Inyector N°2

Al comprobar cada una de las conexiones descritas anteriormente, se procede a realizar las pruebas de laboratorio de la computadora automotriz, a través de un equipo electrónico que se muestra en la Figura 70, el cual es capaz de simular las señales de los sensores necesarios para que la computadora trabaje como si estuviera conectada en el vehículo. El objetivo principal de la prueba de laboratorio es determinar si la computadora envía las señales hacia los inyectores, debido a que si la computadora recibe las señales necesarias

para poner en marcha el motor y este no trabaja, se diagnostica inmediatamente que el computador esta averiado.



Figura 70. Equipo de Diagnóstico de la ECU

La ECU no se encontraba operativa, por lo que se procedió a verificar con el osciloscopio los pines de alimentación y tierra, así como las señales de control. Se determinó que los transistores que controlan el pulso negativo de los inyectores estaban quemados, por lo tanto los inyectores no estaban activándose. Se cambiaron los transistores de tipo MOSFET (Figura 71) y se procedió re-soldar con pistola de calor los pines de conexión del socket y el sector de los transistores de potencia, con este procedimiento se reparó la ECU.

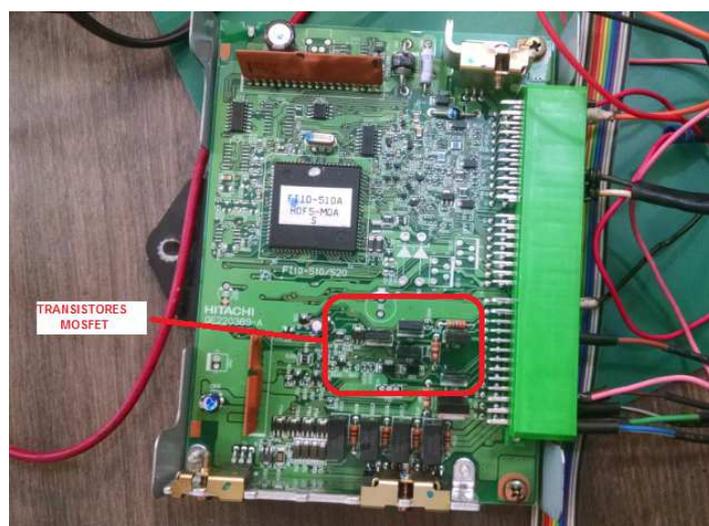


Figura 71. ECU en Reparación.

Adicionalmente se rehabilitó la comunicación de la ECU a través del Estándar OBD-II, debido a que no existía conexión, ni el puerto de comunicación para ingresar el Scanner Automotriz.

En la Tabla 17 se resume las reparaciones realizadas en el Vehículo Chevrolet Alto.

Tabla 17
Resumen de reparaciones en el vehículo Chevrolet Alto

Elemento	Diagnóstico	Estado Actual
Arnés de Cables Eléctricos	Las líneas de comunicación hacia la computadora no existen, relés adicionales soldados, cables de alimentación cortados.	Totalmente Reparado, se eliminó los relés adicionales y se organizó los conductores eléctricos a través de tubería anillada de 1/2 y 3/8 de pulgadas
Sensor MAP	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Sensor TPS	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos, posicionado en la mariposa de aceleración.	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos. Se encuentra posicionado correctamente en la mariposa de aceleración.

Continúa 

Sensor de Oxígeno	El sensor de oxígeno no se encuentra presente en el vehículo	Se instaló el sensor de oxígeno en el vehículo
Sensor VSS	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Sensor IAT	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Sensor ECT	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Sensor KS	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Sensor CMP	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Inyectores	Desconectado de la computadora y del arnés de cables eléctricos	Conectado a la computadora y al arnés de cables eléctricos
Bomba de Combustible	Desconectado del relé de activación, el cual	Se reemplazó el relé de activación de la bomba

	tiene conexión a la computadora.	de combustible, y se está conectada la señal de activación proveniente de la computadora
Relés	No dispone del relé principal y relés secundarios	Se instaló los relés faltantes
Bujías	No dispone de bujías	Se instaló las 4 bujías
Conector OBD-II	No dispone de conector OBD-II	Se instaló un conector OBD-II para comunicación
Batería 12V	Batería Dañada	Se instaló una batería de 12V
Fusibles	2 Fusibles de 25 A quemados	Se reemplazó los Fusibles quemados
Tablero de Instrumentos	El tablero está desconectado en su totalidad, lámpara Check Engine Quemada	El tablero de instrumentos esta rehabilitado y cuenta con todos los indicadores del vehículo
ECU	Dañada, no envía pulsos a los inyectores ni las señales para activación de las bujías	Se reparó la ECU y se encuentra operativa

CAPÍTULO 4.

DISEÑO ELECTRÓNICO Y DE LA INTERFAZ DE USUARIO

4.1 Selección de componentes

En el proceso de diseño se debe realizar una evaluación de las diferentes alternativas que se pueden utilizar para la solución de un determinado problema, y posteriormente la toma de decisiones. Para realizar la evaluación de las diferentes opciones que se pueden implementar, se utiliza el Método Ordinal Corregido de Criterios Ponderados.

Este método se basa en la creación de tablas donde cada criterio (o posible solución) se compara con los restantes criterios (o posibles soluciones). En cada tabla se asignan las siguientes valoraciones:

- **1** Si el criterio de las filas es de mayor valor que el de las columnas.
- **0,5** Si el criterio de las filas es de igual valor que el de las columnas.
- **0** Si el criterio de las filas es de menor valor que el de las columnas.

“Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio”. (Riba Romeba, 2002, pág. 60).

4.2 Selección del microcontrolador

Para la selección del microcontrolador se consideró los siguientes criterios de valoración:

- a) Precio, debido a que es un factor importante a la hora de realizar una inversión.
- b) Disponibilidad, se debe considerar los productos presentes en el mercado.

- c) Seguridad de la información, es un factor clave a la hora de proteger la propiedad intelectual de un programa.
- d) Entradas y Salidas, el tipo y el número de entradas y salidas es determinante a la hora de acoplar el microcontrolador a las necesidades del diseño.

En la Tabla 18 se calcula el peso específico de cada uno de los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 18
Evaluación del peso específico de los criterios de selección

<i>Criterios</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>a</i>		0,5	1	0	2,5	0,25
<i>b</i>	0,5		1	0,5	3	0,3
<i>c</i>	0	0		0	1	0,1
<i>d</i>	1	0,5	1		3,5	0,35
				Suma	10	1

Cada uno de los criterios se valora en función de 3 tipos de microcontroladores, PIC, Arduino y ARM, luego se calcula los pesos específicos a través de las Tablas 19, 20, 21, 22 y 23.

Tabla 19
Evaluación del peso específico del criterio Precio

<i>Micro</i>	<i>PIC</i>	<i>Arduino</i>	<i>ARM</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>PIC</i>		1	1	3	0,5
<i>Arduino</i>	0		1	2	0,33333333
<i>ARM</i>	0	0		1	0,16666667
			Suma	6	1

Tabla 20
Evaluación del peso específico del criterio Disponibilidad

<i>Micro</i>	<i>PIC</i>	<i>Arduino</i>	<i>ARM</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>PIC</i>		1	1	3	0,5
<i>Arduino</i>	0		1	2	0,33333333
<i>ARM</i>	0	0		1	0,16666667
			Suma	6	1

Tabla 21
Evaluación del criterio Seguridad de la información

<i>Micro</i>	<i>PIC</i>	<i>Arduino</i>	<i>ARM</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>PIC</i>		1	0,5	2,5	0,41666667
<i>Arduino</i>	0		0	1	0,16666667
<i>ARM</i>	0,5	1		2,5	0,41666667
			Suma	6	1

Tabla 22
Evaluación del criterio Entradas y Salidas

<i>Micro</i>	<i>PIC</i>	<i>Arduino</i>	<i>ARM</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>PIC</i>		1	1	3	0,5
<i>Arduino</i>	0		0	1	0,16666667
<i>ARM</i>	0	1		2	0,33333333
			Suma	6	1

Tabla 23
Conclusiones de la selección del microcontrolador

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>Pondera</i>
<i>PIC</i>	0,5*0,25	0,5*0,3	0,41*0,1	0,5*0,35	0,49
<i>Arduino</i>	0,33*0,25	0,33*0,3	0,16*0,1	0,167*0,35	0,26
<i>ARM</i>	0,166*0,25	0,166*0,3	0,41*0,1	0,33*0,35	0,25
			Suma		1,00

Como se puede observar en las tablas anteriores, se puede concluir que el microcontrolador PIC es el que mejor se ajusta a los criterios anteriormente mencionados, con una ponderación de 0.49.

4.3 Selección de la Interfaz de Usuario

Para la selección de la interfaz de usuario se considera los siguientes criterios de valoración:

- a) Precio, es un factor principal a considerar para realizar una inversión
- b) Simplicidad, debe ser simple de aprender, de usar y de configurar.
- c) Ergonomía, se refiere a la capacidad de la interfaz para amoldarse al usuario.
- d) Confiabilidad, la información mostrada al usuario no debe ser ambigua.

En la Tabla 24 se calcula el peso específico de cada uno de los criterios mencionados anteriormente.

Tabla 24
Evaluación del peso específico de los criterios de selección

<i>Criterios</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>a</i>		1	0,5	0,5	3	0,3
<i>b</i>	0		0	0,5	1,5	0,15
<i>c</i>	0,5	1		1	3,5	0,35
<i>d</i>	0,5	0,5	0		2	0,2
				Suma	10	1

A continuación se procede a evaluar los pesos específicos para las diferentes opciones de interfaz de usuario, se consideraron 3 tipos de interfaces que son: móvil, PC y tablero de control. La evaluación de pesos específicos se realiza en las Tablas 25, 26, 27, 28 y 29.

Tabla 25
Evaluación del peso específico del criterio Precio

<i>Interfaz</i>	<i>Móvil</i>	<i>PC</i>	<i>Tablero</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>Móvil</i>		1	0,5	2,5	0,41666667
<i>PC</i>	0		0	1	0,16666667
<i>Tablero</i>	0,5	1		2,5	0,41666667
			Suma	6	1

Tabla 26
Evaluación del peso específico del criterio Simplicidad

<i>Interfaz</i>	<i>Móvil</i>	<i>PC</i>	<i>Tablero</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>Móvil</i>		1	0,5	2,5	0,41666667
<i>PC</i>	0		0	1	0,16666667
<i>Tablero</i>	0,5	1		2,5	0,41666667
			Suma	6	1

Tabla 27
Evaluación del peso específico del criterio Ergonomía

<i>Interfaz</i>	<i>Móvil</i>	<i>PC</i>	<i>Tablero</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>Móvil</i>		1	1	3	0,5
<i>PC</i>	0		0,5	1,5	0,25
<i>Tablero</i>	0	0,5		1,5	0,25
			Suma	6	1

Tabla 28
Evaluación del peso específico del criterio Confiabilidad

<i>Interfaz</i>	<i>Móvil</i>	<i>PC</i>	<i>Tablero</i>	$\Sigma+1$	<i>Pondera</i>
<i>Móvil</i>		1	1	3	0,5
<i>PC</i>	0		1	2	0,33333333
<i>Tablero</i>	0	0		1	0,16666667
			Suma	6	1

Tabla 29
Conclusiones de la selección de Interfaz de Usuario

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>Pondera</i>
<i>Móvil</i>	0,41*0,3	0,41*0,15	0,5*0,35	0,5*0,2	0,46
<i>PC</i>	0,16*0,3	0,16*0,15	0,25*0,35	0,33*0,2	0,23
<i>Tablero</i>	0,41*0,3	0,41*0,15	0,25*0,35	0,16*0,2	0,31
				Suma	1,00

Como se puede observar en la Tabla 29 la selección de un dispositivo móvil se ajusta mejor a los requerimientos del proyecto con una ponderación de 0.46, basándose en los criterios de selección anteriormente mencionados.

4.4 Diseño Electrónico

Para el diseño del circuito es necesario empezar por un diagrama de bloques que permita un entendimiento global del sistema. En la Figura 72 se muestra el diagrama de bloques de todo el sistema, en el cual se puede observar 3 bloques principales, el circuito electrónico de control, que es el encargado de interactuar sobre los componentes del auto y la interfaz de usuario que interactúa con el circuito de control de forma inalámbrica.

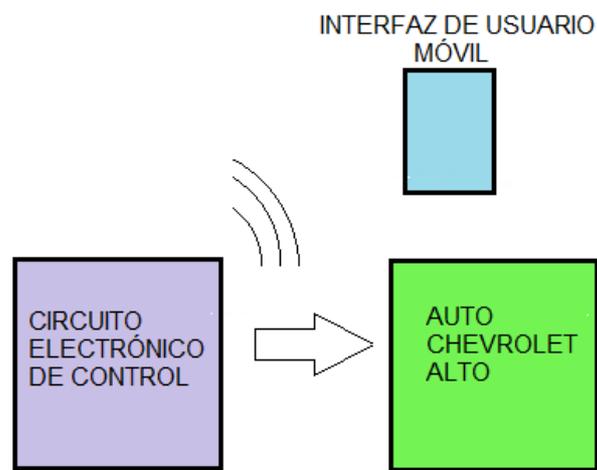


Figura 72. Diagrama de Bloque del Sistema

4.5 Diseño del Circuito Electrónico de Control

El circuito electrónico de control (Figura 73) de control consta de los siguientes bloques:

- Entradas: Son las entradas físicas para control del sistema.
- Salidas: Las salidas interactúan directamente con el auto.
- Información Local: Se visualiza el estado operativo del sistema a través de un LCD en la placa PCB.
- Comunicación Interfaz: Este bloque es el encargado de realizar la comunicación con la Interfaz de Usuario.

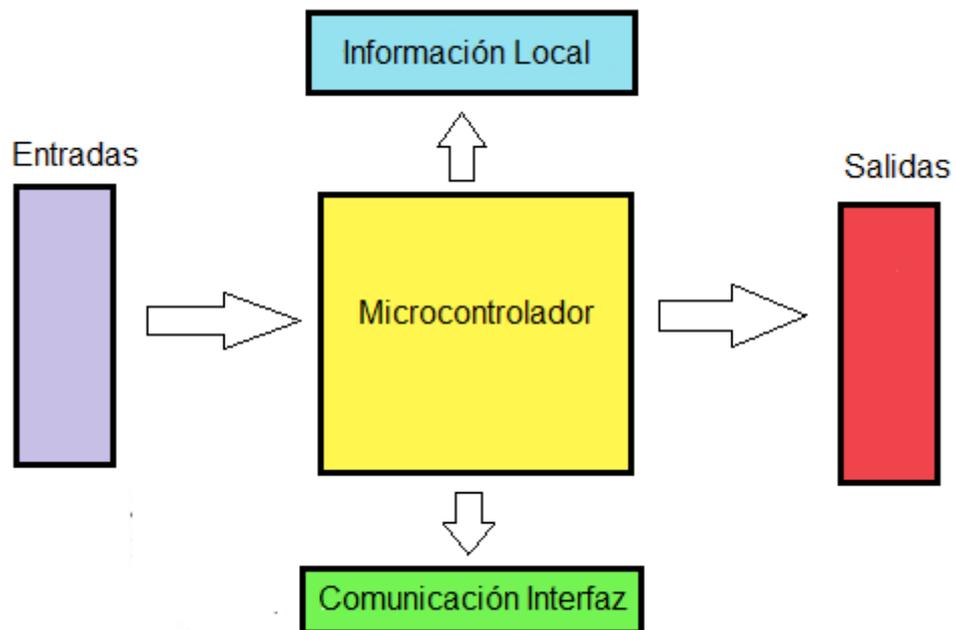


Figura 73. Diagrama de Bloques del Circuito Electrónico de Control

4.6 Cálculo de las entradas y salidas digitales

Para el dimensionamiento de las entradas digitales al microcontrolador se toma como referencia los valores de la Tabla 7 y se procede con el cálculo del valor de las resistencias:

El valor máximo de corriente de entrada por puerto de 200 mA, cada puerto cuenta con un bus de 8 líneas por lo tanto:

$$I_l = \frac{I_P}{N}$$

Donde:

I_l Corriente máxima por línea [mA]

I_P Corriente máxima por puerto [mA]

N Número de líneas por puerto

$$I_l = \frac{200 \text{ mA}}{8} = 25 \text{ mA}$$

La corriente máxima que soporta cada línea es de 25 mA, por lo tanto se calcula el valor de resistencia mínima para que no sobrepase la corriente permitida. Se tiene el diagrama mostrado en la Figura 74.

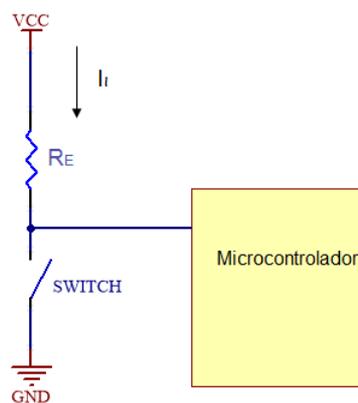


Figura 74. Entrada Digital

$$V_{cc} = I_l * R_E$$

Donde:

V_{cc} Voltaje de alimentación [V]

I_l Corriente máxima por línea [A]

R_E Resistencia de entrada digital [Ω]

$$R_E = \frac{5 \text{ V}}{0.025 \text{ A}} = 200 \ \Omega$$

La resistencia de entrada digital debe cumplir lo siguiente:

$$R_E \geq 200 \Omega$$

Por lo tanto:

$$R_E = 1 k\Omega$$

Se selecciona una resistencia de 1 kΩ debido a que se desea minimizar el consumo de corriente al tener 9 entradas digitales. Para una resistencia de 1 kΩ, se calcula la corriente de entrada al microcontrolador.

$$I_E = \frac{5 V}{1 k\Omega} = 0.005 A = 5 mA$$

Donde:

I_E Corriente de entrada digital [A]

Adicionalmente se cuenta con luces indicadoras, en la Figura 75 se muestra el circuito para un led de color verde.

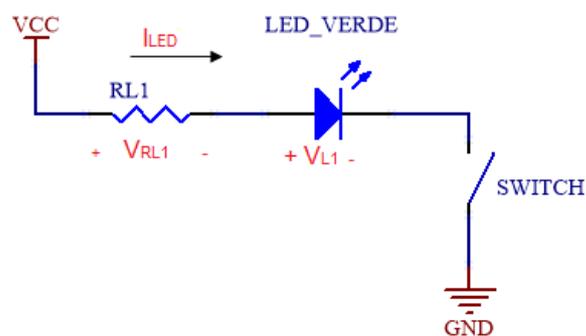


Figura 75. Led indicador para entradas digitales

$$R_{L1} = \frac{V_{RL1}}{I_{LED}} = \frac{V_{CC} - V_{L1}}{I_{LED}}$$

Donde:

R_{L1} Resistencia para led [Ω]

V_{RL1} Voltaje de funcionamiento de led [V]

I_{LED} Corriente de funcionamiento de led [A]

$$R_{L1} = \frac{(5 - 3) V}{0.010 A} = 200 \Omega$$

Para un led de color verde se necesita un voltaje de 3V y una corriente de 10 mA, el mismo procedimiento se utiliza para un led de color rojo, pero el voltaje de activación es de 2V y la corriente de 10 mA, por lo tanto:

$$R_{L2} = \frac{(5 - 2)V}{0.010 A} = 300 \Omega$$

Las salidas del circuito son salidas a relé, las salidas permitirán la conmutación de las señales de los sensores del sistema de inyección electrónica para producir fallas. En la Figura 76 se muestra la configuración de las salidas a relé con luces indicadoras de estado.

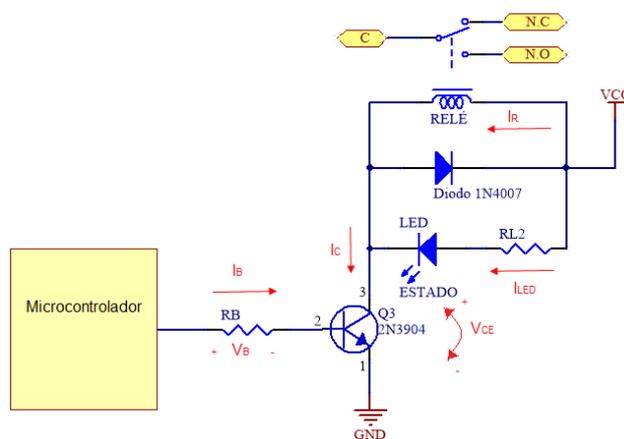


Figura 76. Salidas a Relé

Para activar el relé se necesita de un transistor actuando como interruptor, es decir se necesita que trabaje en la zona de corte-saturación, para que el transistor entre en saturación se necesita la siguiente condición.

$$V_{CE} = 0 V$$

Donde:

V_{CE} Voltaje Colector-Emisor [V]

A continuación se calcula la corriente del relé.

$$I_R = \frac{V_{CC}}{R_R}$$

Donde:

I_R Corriente del relé [A]

R_R Resistencia del relé [Ω]

$$I_R = \frac{5 V}{70 \Omega} = 0.071 A = 71 mA$$

La corriente de colector es la suma de la corriente consumida por el relé, más la corriente del led.

$$I_C = I_R + I_{LED}$$

Donde:

I_C Corriente de Colector [A]

$$I_C = 0.071 + 0.010 = 0.081 A = 81 mA$$

Luego se calcula la corriente de base a partir de la siguiente ecuación.

$$I_C = \beta I_B$$

Donde:

I_B Corriente de Base [A]

β Ganancia del Transistor

Despejando se obtiene

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{0.081}{200} = 0.0004 A = 0.4 mA$$

Luego se considera la malla de la Figura 77.

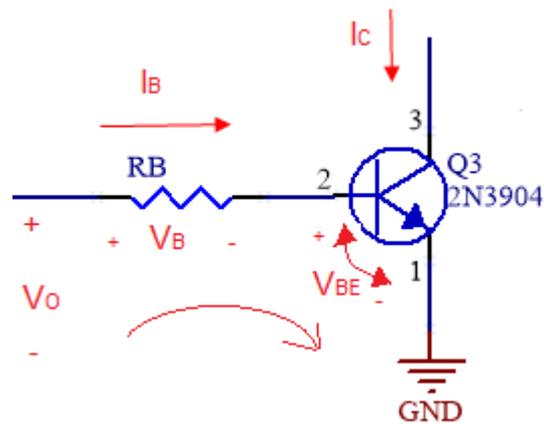


Figura 77. Malla Base-Emisor

$$V_O = V_B + V_{BE}$$

Donde:

V_O Voltaje de salida del microcontrolador [V]

V_B Voltaje de la resistencia de base [V]

V_{BE} Voltaje Base-Emisor [V]

$$V_B = V_O - V_{BE} = 5\text{ V} - 0.7\text{ V} = 4.3\text{ V}$$

Aplicando la Ley de Ohm

$$R_B = \frac{V_B}{I_B}$$

Donde:

R_B Resistencia de Base [V]

$$R_B = \frac{4.3\text{ V}}{0.0004\text{ A}} = 10750\ \Omega = 10.75\text{ k}\Omega$$

Es la resistencia máxima para garantizar una corriente de mínima de 0.4 mA, para la implementación se aproxima a un valor comercial de 10 kΩ.

Ahora se procede a calcular la corriente de todo el sistema, se suman las corrientes de los siguientes elementos:

- Entradas (Leds y Resistencias)

- Salidas (Leds, Resistencias, Relés)
- Microcontrolador
- LCD
- Módulo Bluetooth

Primero se calcula la corriente total de las entradas:

$$I_{TE} = N_E(I_E + I_{LED})$$

Donde:

I_{TE} Corriente total de entradas [A]

N_E Número de entradas

I_E Corriente de entrada digital [A]

I_{LED} Corriente de led

$$I_{TE} = 9(0.005 A + 0.010 A) = 0.135 A = 135 mA$$

Luego se procede a calcular la corriente total de salidas:

$$I_{TS} = N_S(I_C + I_B + I_{LED})$$

Donde:

I_{TS} Corriente total de salidas [A]

N_S Número total de salidas

I_C Corriente de Colector [A]

I_B Corriente de Base [A]

I_{LED} Corriente de led [A]

$$I_{TS} = 9(0.081 A + 0.0004 A + 0.010 A) = 0.823 A = 823 mA$$

La corriente total del sistema se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30
Corriente Total del circuito

Elementos	Corriente [A]
Entradas	0.135
Salidas	0.823
Microcontrolador	0.004
LCD	0.035
Módulo Bluetooth	0.050
TOTAL	1.05

A partir de este valor se dimensionan los elementos para alimentación (Figura 78), se utiliza un el regulador de voltaje ya que se alimenta al circuito con los 12 V de la batería del auto, los reguladores 7805 tienen una corriente máxima de 1 A por lo que se colocan dos reguladores para abastecer al circuito. El fusible de protección se dimensiona para un valor del 25% más de la corriente total que es 1.05 A pero el valor comercial inmediato superior es de 2 A y se coloca un diodo de protección en caso de polarizar inversamente a los bornes de alimentación.

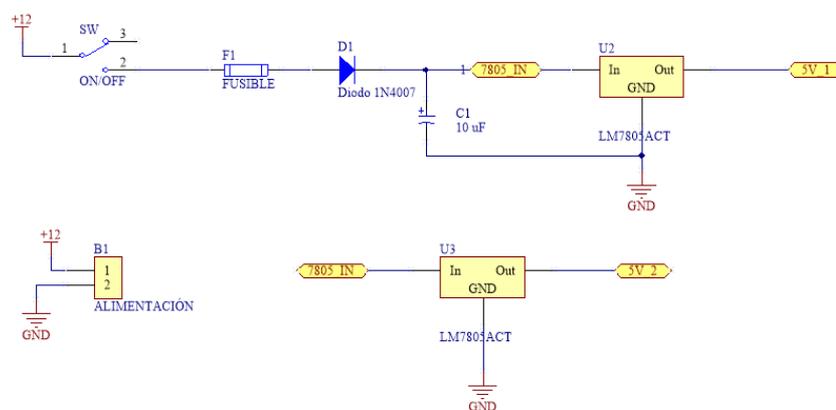


Figura 78. Circuito de Alimentación

Para visualizar el circuito de todo el sistema, ver los planos eléctricos adjuntos en anexos.

4.7 Diseño del Programa

En la Figura 79 se muestra el Grafcet de la estructura del programa, donde se puede observar que existen dos modos de operación, en el Modo Local, el ingreso de información se realiza mediante las entradas digitales del PIC, las cuales están conectadas a interruptores, en el Modo Remoto, se ingresa la información a través de un dispositivo móvil, utilizando comunicación serial.

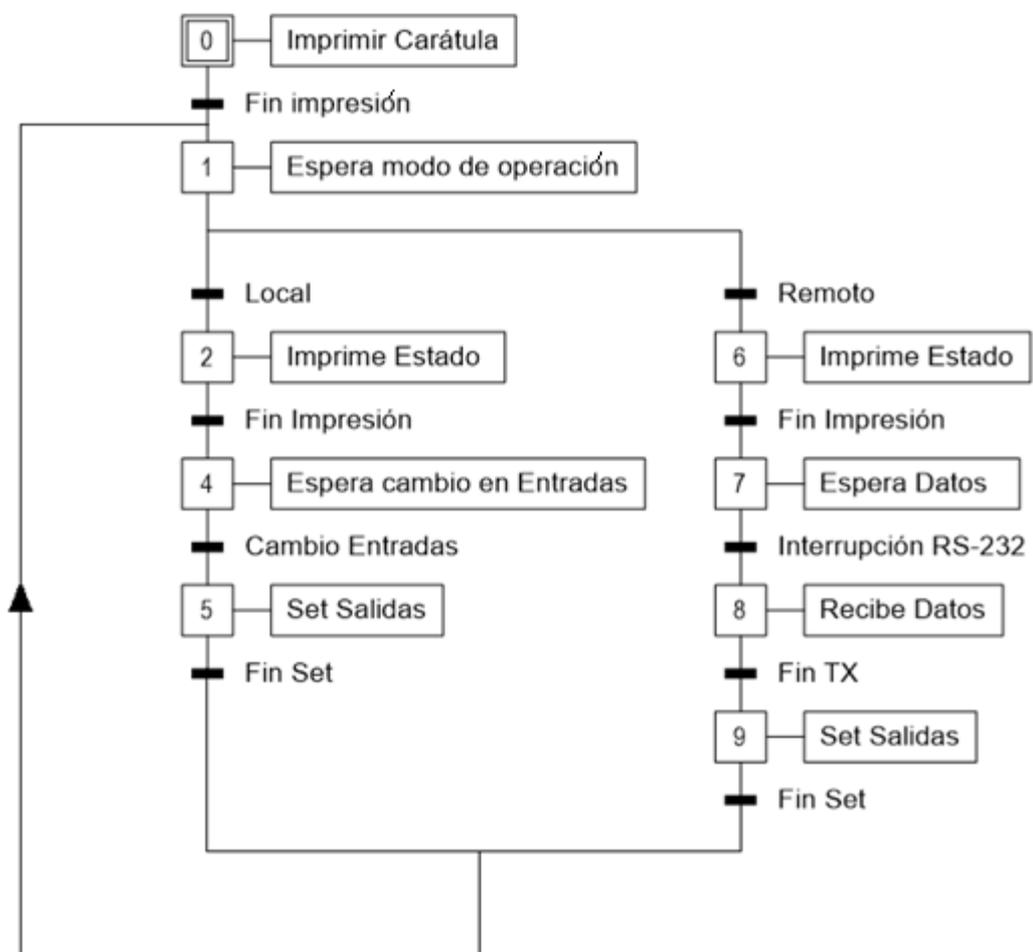


Figura 79. Grafcet del Programa

4.8 Diseño de la Interfaz de Usuario

La interfaz será realizada para un dispositivo móvil, en este caso una tablet de 7 pulgadas. Se contará con dos pantallas orientadas en modo panorámico (landscape) para distribuir todos los elementos de tal forma que no se necesite hacer un barrido de pantalla, lo que permitirá acceder de manera más eficiente a la información, manteniendo la simplicidad. Se dispone de una pantalla de presentación y otra para los controles del entrenador autotrónico.

Para el diseño de la interfaz del entrenador autotrónico se consideró la Guía sobre Diseño de Interfaces de Usuario Android, publicado por Google en su sitio web.

La pantalla de presentación tiene la configuración mostrada en la Figura 80.



Figura 80. Pantalla de Presentación

Los textos de la pantalla de presentación tienen las propiedades mostradas en la Tabla 31.

Tabla 31
Características de los textos de la pantalla de presentación

Texto	Tamaño	Fuente	Color RGB
Título de la Ventana	14	Sans Serif	(255,255,255)
Título del Proyecto de Tesis	22	Sans Serif	(0,0,0)
Nombre del Laboratorio del DECEM	18	Sans Serif	(0,0,0)
Etiqueta del Botón de Ingreso	18	Sans Serif	(0,0,0)

La guía de diseño recomienda el uso de colores oscuros con fondos claros o viceversa, como se considera un fondo blanco se utiliza el color negro en el texto de la pantalla de presentación.

Para la pantalla de controles del entrenador autotrónico tiene la configuración mostrada en la Figura 81.

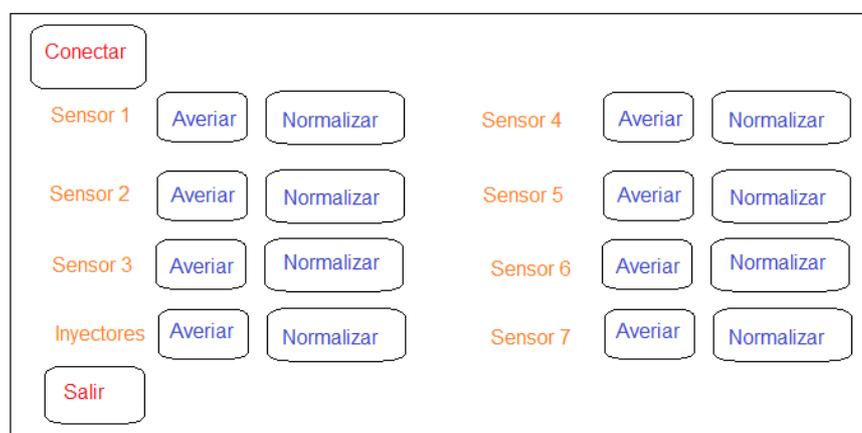


Figura 81. Pantalla de Controles del Entrenador Autotrónico

En la pantalla de controles se considera un fondo de color RGB (0,0,0) (Negro), el color de los indicadores se determinan según las condiciones mencionadas en la Tabla 32.

Tabla 32
Colores de estado del sistema

Condición	Color RGB
Inactivo	(192,192,192)
Normal	(0,255,0)
Avería	(255,0,0)
Mensaje General	(0,255,255)

Los botones de la pantalla sirven a la vez como indicadores, ya que su color cambia en función de las condiciones de la Tabla 32. Por defecto los botones al no ser presionados permanecen inactivos de color gris claro, y cambian de color al estar en Avería o Normal. El color de mensaje general sirve para el botón de conectar, el cual toma el color azul claro cuando se encuentra establecida la conexión entre el módulo bluetooth del circuito de control y la interfaz.

Los textos de la pantalla de controles tienen las propiedades mostradas en la Tabla 33.

Tabla 33
Configuración de texto

Texto	Tamaño	Fuente	Color RGB
Título de la Ventana	14	Sans Serif	(255,255,255)
Identificador de Botones (Sensor, Inyectores)	14	Sans Serif	(255,165,0)

Averiar	12	Sans Serif	(0,0,0)
Normalizar	12	Sans Serif	(0,0,0)
Conectar	14	Sans Serif	(0,0,0)
Salir	14	Sans Serif	(255,255,255)

Según las recomendaciones de la guía de diseño se consideró máximo 3 tamaños de letra, además de considerar los colores característicos de cada condición.

Al ser una interfaz táctil, la interacción con el usuario es directa, es decir no requiere de periféricos adicionales, es recomendable hacer los botones con una longitud mínima entre 10 y 14 mm, que corresponden al tamaño promedio de la yema de un dedo humano, al disponer de una pantalla de 7 pulgadas, el tamaño mínimo de cada botón será de 25 píxeles.

CAPÍTULO 5.

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

5.1 Implementación del Circuito de Control

El circuito de control se implementó con un PIC16F877 que corresponde a la gama media, se seleccionó este microcontrolador debido a que posee el número de entradas y salidas digitales necesarias para los requerimientos del proyecto, además posee un puerto de comunicación serial RS-232 para interactuar con la interfaz de usuario.

Para la implementación del circuito impreso se utilizaron los componentes de la Tabla 33.

Tabla 34
Elementos de la placa PCB

Elemento	Cantidad
Bornera para PCB de 2 pines	1
Bornera para PCB de 3 pines	9
Capacitor electrolítico de 10 uF	1
Diodo 1N4007	10
Dipswitch 9 pines	1
Fusible de 2 A	1
Led rojo de alta luminosidad	9

Continúa 

Led verde de alta luminosidad	9
Pantalla LCD 16x2	1
Módulo Bluetooth HC-06	1
Potenciómetro 5 kΩ	1
Resistencia 1 kΩ	10
Resistencia 200 Ω	9
Resistencia 300 Ω	9
Resistencia 10 kΩ	9
Transistor 2N3904	9
Relé 5V	9
Interruptor	1
Pulsador	1
PIC16F877	1
Oscilador 4 MHz	1
Socket de 40 pines	1
Portafusible	1
LM7805	2

La placa PCB del circuito se diseñó en el software Altium Designer, se consideró hacer un circuito de doble capa debido al número de elementos que posee, en la Figura 82 se muestra el diseño de la placa, las líneas de color rojo representan la capa superior (Top Copper) y las líneas de color azul representan la capa inferior (Bottom Copper), se colocó un plano de tierra

(áreas de color azul) en los espacios vacíos entre las líneas de datos para reducir el ruido.

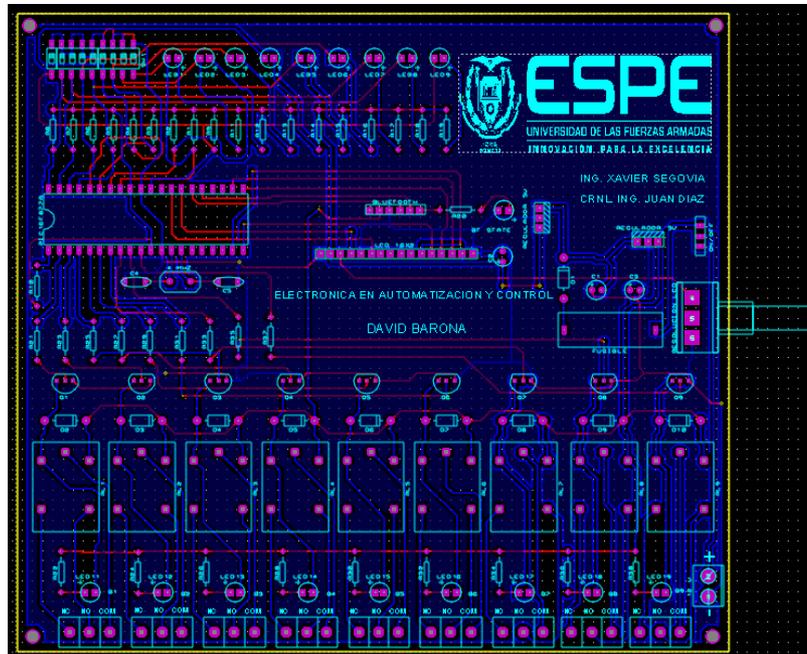


Figura 82. Diseño placa PCB

Una vez realizado el ruteo de las líneas en la placa, se genera el modelo en 3D para tener una visión de la placa física y la distribución de los elementos dentro de la misma como se observa en la Figura 83.



Figura 83. Placa PCB en 3D

En la Figura 84 se muestra la placa PCB fabricada a doble lado con agujero metalizado y pistas estañadas, con máscara antisolder y máscara silk screen, la cual tiene una dimensión 193X172 mm.

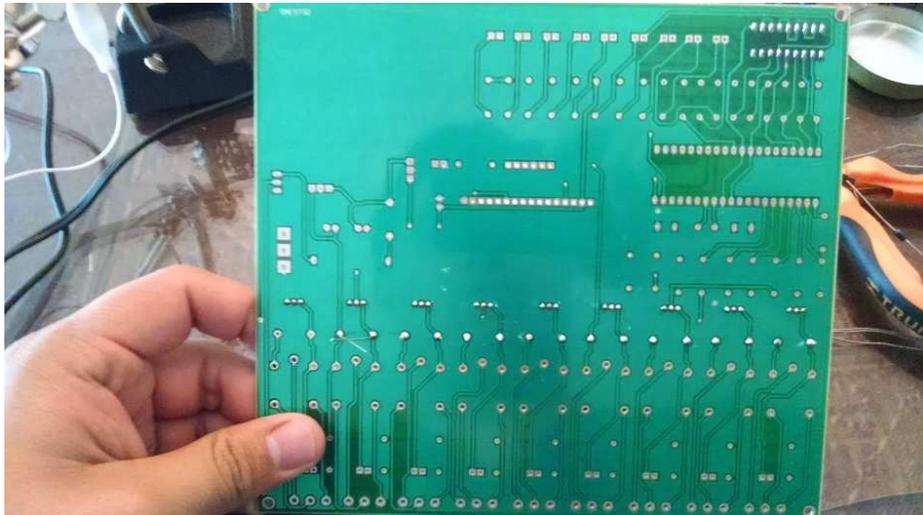


Figura 84. Placa PCB fabricada

La Figura 85 se muestra el producto final después de soldar todos los elementos de la Tabla 33.



Figura 85. Placa PCB implementada

A continuación se programa el PIC en lenguaje C, utilizando el compilador CCS Compiler, la comunicación serial asíncrona tiene los siguientes parámetros:

- Velocidad: 9600 baudios
- Paridad: sin paridad
- Bits de parada: 1

Estos parámetros son requeridos para poder establecer comunicación con el módulo bluetooth HC-06.

Para validar la programación se simuló el circuito en el programa Proteus ISIS como se muestra en la Figura 86, la comunicación serial se comprobó con la herramienta Virtual Terminal.

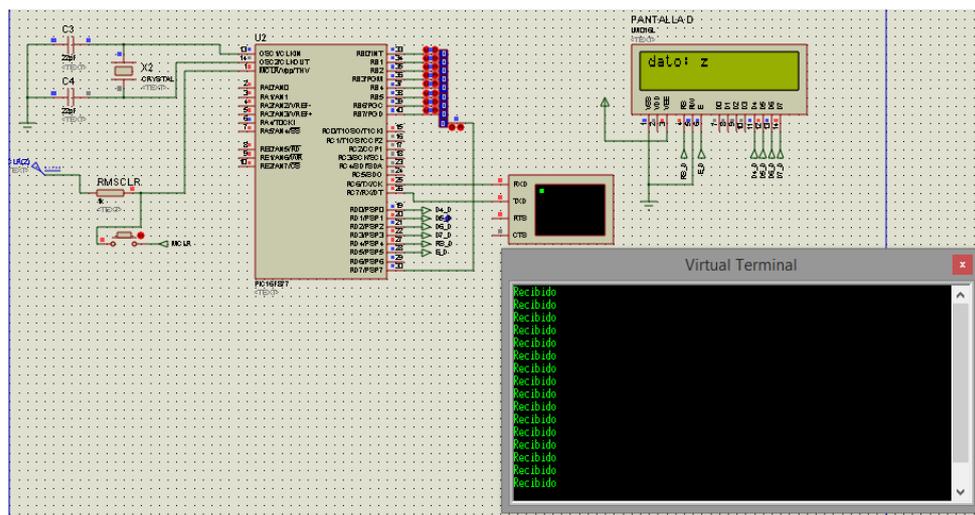


Figura 86. Simulación del Circuito

5.2 Implementación de la Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario se desarrolló en el programa APP Inventor, se seleccionó este programa debido a que es un paquete de uso libre por lo tanto no requiere licencias para su uso, además de ser una herramienta de diseño gráfico, permite la programación gráfica a través de bloques, estas características permiten el desarrollo de aplicaciones robustas.

La aplicación desarrollada se instaló en una tablet de 7 pulgadas con sistema operativo Android versión 4.3, en la Figura 87 se puede observar la pantalla de presentación del entrenador autotrónico.



Figura 87. Pantalla de Presentación

La pantalla de controles del entrenador autotrónico se muestra en la Figura 88.

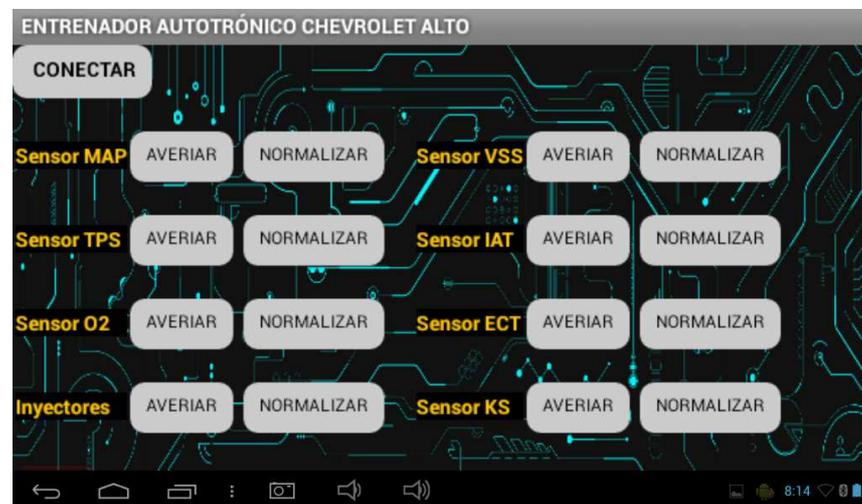


Figura 88. Pantalla de Controles

Se prosigue con la instalación de la placa, conectando las señales de los sensores e inyectores entre la placa de control y la ECU como se indica en la Figura 89.

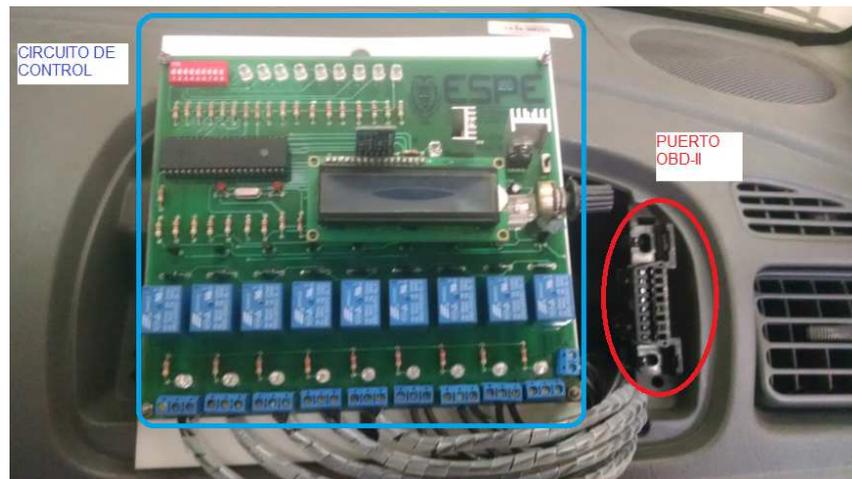


Figura 89. Circuito de Control Instalado

El circuito de control se encuentra ubicada en la parte superior derecha del tablero, junto a la placa se ubicó en puerto OBD-II para fácil acceso del usuario al puerto, debido a que el escáner automotriz trabaja en conjunto con el sistema entrenador.

5.3 Validación de Resultados

Para validar que el entrenador autotrónico está cumpliendo con su función, se provoca las fallas utilizando la interfaz de usuario y se comprueba a través del estándar OBD-II, para lo cual se utiliza el escáner automotriz Nextech Carman Scan. En la Figura 90 se provoca una falla en el sensor TPS, esta acción enciende de la lámpara Check Engine en el tablero, luego se verifica la avería en el escáner como se muestra en la Figura 91.



Figura 90. Simulación de falla en el sensor TPS

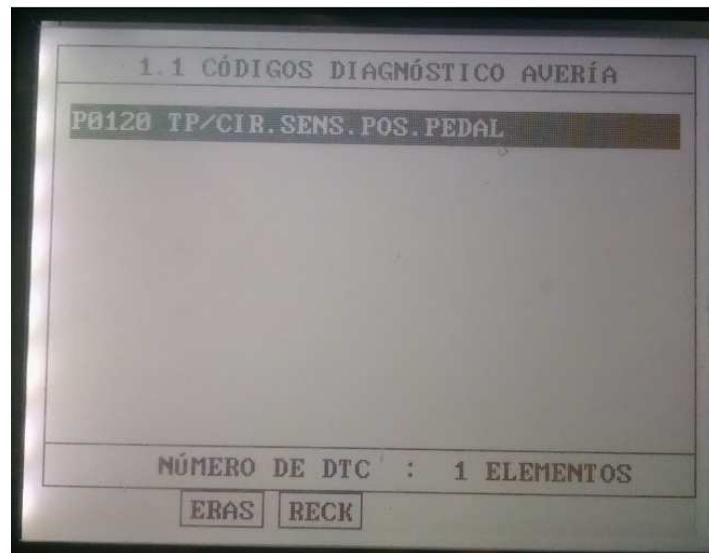


Figura 91. Códigos de diagnóstico de avería en el escáner

Este procedimiento se puede realizar con el resto de sensores del vehículo.

CAPÍTULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Después de reparar el arnés de cables eléctricos y la ECU, se logró poner 100% operativo al sistema de inyección electrónica, incluyendo el tablero de instrumentos y el puerto de comunicación OBD-II.
- Se determinó que, para simular fallas en el auto es necesario enviar a la ECU señales con valores fuera del rango normal de operación de los sensores, la ECU para detectar un error se basa en dos condiciones principales, un corto circuito o un circuito abierto, por lo tanto a partir de esta característica se proyectó el diseño del entrenador autotrónico.
- En el desarrollo del proyecto se determinó que no era necesario mostrar la información de los sensores en la interfaz de usuario, debido a que el propósito del entrenador es instruir a los estudiantes en el diagnóstico de averías en una situación real de mantenimiento, haciendo uso de las herramientas correspondientes como son el escáner automotriz, el multímetro y el osciloscopio.
- Al distribuir en una sola pantalla todos los controles con sus respectivas etiquetas e indicadores, la información que se muestra es clara y precisa, por lo tanto no se carga de información al usuario.
- Se observó que el uso de un microcontrolador en una aplicación automotriz es factible, porque no se produjeron fallas durante el funcionamiento del circuito, siempre y cuando se incluyan las protecciones eléctricas necesarias.
- La comunicación inalámbrica a través del bluetooth, no se vio afectada por las perturbaciones generadas por el funcionamiento del motor, llegando a operar óptimamente hasta una distancia

máxima de 10 metros, por lo tanto es viable el uso de bluetooth en futuros proyectos a realizarse en el vehículo.

- El presente proyecto fortalece el proceso enseñanza/aprendizaje en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, porque se incorpora el uso del vehículo Chevrolet Alto en las futuras prácticas del Laboratorio de Motores de Combustión Interna.

6.2 Recomendaciones

- Leer el manual de usuario antes de utilizar el entrenador autotrónico para tener una idea clara sobre el uso del mismo.
- Poseer un conocimiento previo sobre la utilización del escáner automotriz marca Nextech Carman Scan Lite, debido a que es una herramienta necesaria para realizar las prácticas de laboratorio.
- Instalar el escape en el motor porque se emite mayores niveles de contaminación producto de los gases de combustión.
- Rehabilitar la transmisión, para poner en movimiento el vehículo y comprobar el desempeño del mismo antes y después de haber simulado las fallas.
- Realizar las prácticas en un área con ventilación para prevenir accidentes producto de los gases de combustión.
- Desarrollar un prototipo de ECU basada en microcontrolador, en futuros proyectos de autotrónica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Capel. (01 de 08 de 2015). *Captura Electrónica*. Obtenido de Captura Electrónica: http://www.redeweb.com/_txt/643/26.pdf
- Edicions UPS. (1999). *Circuitos y dispositivos de electrónica Fundamentos de electrónica*. Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Figueroa S., S. J., & Araque M., J. O. (2005). *EL PROCESO DE COMBUSTIÓN EN MOTORES DE*. Mérida, Venezuela: CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- García Breijo, E. (2008). *Compilador CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Martí Parera, A. (1990). *Inyección electrónica en motores de gasolina*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.
- Palacios, E., Remiro, F., & López, L. J. (2004). *Microcontrolador PIC16F84 Desarrollo de Proyectos*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Reyes, C. A. (2006). *Microcontroladores PIC Programación en Basic*. Quito, Ecuador: RISPERGRAF.
- Riba Romeba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.
- Rodríguez, P. C. (2001). *COMPONENTES ELECTRÓNICOS Teoría Constructiva, Montajes y circuitos típicos*. Buenos Aires, Argentina: Alsina.
- Ruíz Vadillo, D. M. (2011). *Montaje y reparación de sistemas eléctricos y electrónicos de bienes de equipo y máquinas industriales*. Málaga: INNOVACIÓN Y CUALIFICACIÓN S.L.

ANEXOS