

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA**



## **CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO DE ZIRCONIO COMÚN, PARA QUE TRABAJE EN BANDA ANCHA Y OPERE CON UN MONITOREO CONTINUO DEL CATALIZADOR”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

### **AUTORES:**

**Iván Ramiro Heredia Pichucho  
Emilio Leonardo Jiménez González**

**DIRECTOR: Ing. Mauricio Cruz  
CODIRECTOR: Ing. Marco Singaña**

**LATACUNGA, JULIO DE 2013**

**CERTIFICADO**  
**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Ing. Mauricio Cruz (Director)  
Ing. Marco Singaña (Codirector)

El trabajo titulado **“Implementación de un dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, para que trabaje en banda ancha y opere con un monitoreo continuo del catalizador”** fue realizado en su totalidad por el Sr. Iván Ramiro Heredia Pichucho y el Sr. Emilio Leonardo Jiménez González, el cual ha sido guiado y revisado periódicamente cumpliendo con las normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de UN empastado y UN disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizamos para que los mencionados señores reproduzcan el documento y lo entreguen al Director de la Carrera de Ingeniería Automotriz.

Latacunga, Julio de 2013.

-----  
**Ing. Mauricio Cruz**  
**DIRECTOR**

-----  
**Ing. Marco Singaña**  
**CODIRECTOR**

## **CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Iván Ramiro Heredia Pichucho y el Sr. Emilio Leonardo Jiménez González, bajo nuestra supervisión.

.....  
ING. MAURICIO CRUZ  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

.....  
ING. MARCO SINGAÑA  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

.....  
ING. JUAN CASTRO  
**DIRECTOR DE LA CARRERA**

.....  
DR. RODRIGO VACA  
**SECRETARIO ACADÉMICO**

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Iván Ramiro Heredia Pichucho  
Emilio Leonardo Jiménez González

### DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“Implementación de un dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, para que trabaje en banda ancha y opere con un monitoreo continuo del catalizador.”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

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

Latacunga, Julio de 2013.

.....  
IVAN RAMIRO HEREDIA P.

.....  
EMILIO LEONARDO JIMENEZ G.

# ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

## AUTORIZACIÓN

**Nosotros,** Iván Ramiro Heredia Pichucho  
Emilio Leonardo Jiménez González

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo denominado **“Implementación de un dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, para que trabaje en banda ancha y opere con un monitoreo continuo del catalizador.”** cuyo contenido, ideas y criterios son de NUESTRA exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Julio de 2013.

.....  
**Iván Ramiro Heredia P.**

.....  
**Emilio Leonardo Jiménez G.**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado de manera muy especial a Dios, a mi hermano fallecido, a mi novia, a mi hijo/a, a mis queridos padres y a mis hermanos, en vista que fueron el pilar fundamental para alcanzar las metas y objetivos trazados al principio de mi carrera que con gran esfuerzo, sacrificio y paciencia me supieron comprender y apoyar, para alcanzar una profesión y ser un hombre de bien ante la sociedad y mi País.

**Emilio**

## **AGRADECIMIENTO**

¿Cómo hago para decir “muchas gracias”, cuando hay tantas personas a quién agradecer? Obviamente este Manual es un gracias a DIOS NUESTRO SEÑOR por haberme permitido vivir y poder tener la capacidad de entendimiento para desarrollar este trabajo.

Al finalizar una etapa más de mi vida, en una de las mejores instituciones del país; la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga; quiero dejar impregnado mi más sincero agradecimiento a esta distinguida institución.

Mi agradecimiento a mis abnegados maestros, quienes con dedicación y profesionalismo supieron sembrar en mí, la generosa semilla del conocimiento.

**Emilio**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios.**

Por haberme dado salud y fuerza para lograr mis objetivos.

Al permitirme seguir adelante cuando empezaba a decaer y darme cuenta, de que no se trata de un triunfo definitivo sino de una lucha sin fin.

### **A mi madre.**

Por haberme apoyado en todo momento, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

### **A mi padre.**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan, y por el valor mostrado para salir adelante, son las semillas que sembró y hoy darán sus frutos con la culminación de uno de sus anhelos.

### **A mis hermanas.**

Por su apoyo incondicional y estar siempre presente cuando más las necesite y motivarme para seguir adelante.

**Iván**



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primero a Dios por haberme dado la salud, a mis padres por ser el apoyo moral y económico, por enseñarme a seguir adelante cada día.

De igual manera a todos los docentes de esta noble institución que con gran desempeño ético han sabido enseñarme todos los conocimientos que ahora me respalda para poder desenvolverme de mejor manera en mi vida profesional.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ing. Mauricio Cruz y al Ing. Marco Singaña por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de este Proyecto de Grado. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia ya que su participación ha enriquecido aún más los conocimientos en el presente trabajo realizado.

**Iván**

## ÍNDICE

CERTIFICADO.....	ii
CERTIFICACIÓN .....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
AGRADECIMIENTO .....	ix
ÍNDICE.....	x
RESUMEN .....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	1
1.3 Justificación e Importancia del problema a resolver.....	2
1.4 Objetivos.....	2
1.4.1 Objetivo General .....	2
1.4.2 Objetivos Específicos .....	3
1.5 Hipótesis.....	3
1.6 Variable Dependiente.....	3
1.7 Variable Independiente .....	4
1.8 Fuentes y Técnicas de recopilación de información y análisis de datos .....	4
CAPÍTULO II.....	5

<b>COMPONENTES DEL DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Capacitores .....	5
a. Capacitor Electrolítico .....	7
b. Capacitor Cerámico.....	7
2.1.2 Amplificador Operacional.....	8
a. Conexión sin realimentación del amplificador operacional.....	10
2.1.3 Diodo Zener .....	11
2.1.4 Potenciómetros.....	12
a. Potenciómetro lineal (multivuelta) .....	12
b. Potenciómetro logarítmico.....	13
2.1.5 Regulador de Voltaje 7812 .....	14
<b>2.2 SENSORES DE OXÍGENO.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Sensor de Oxígeno de Zirconio.....	15
a. Operación del Sensor de Oxígeno de Zirconio .....	18
b. Coeficiente de aire o relación lambda.....	20
2.2.2 Sensor de Oxígeno con Calefactor.....	21
2.2.3 Cableado de la sonda Lambda de Zirconio .....	22
2.2.4 Sensor de oxígeno aire/combustible (Banda Ancha).....	23
a. Operación del Sensor de oxígeno aire/combustible (Banda Ancha).....	25
<b>2.3 LAZO CERRADO .....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Señal de activación para los inyectores.....	27
2.3.2 Ajustes de combustible a largo y corto plazo .....	31
a. Estrategia de la PCM, con los ajustes de combustible.....	33
2.3.3 Voltajes de trabajo del sensor de oxígeno.....	34
<b>2.4 EL CATALIZADOR.....</b>	<b>35</b>
2.4.1 Esquema de posición del catalizador en el sistema de escape .....	37
2.4.2 Función del catalizador.....	37

a. Función de oxidación .....	39
b. Función de reducción.....	39
<b>2.5 SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO ABORDO .....</b>	<b>40</b>
2.5.1 Sistemas OBDI .....	41
2.5.2 Sistemas OBDII.....	42
2.5.3 Código de falla (DTC).....	44
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>46</b>
<b>SELECCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM318.....</b>	<b>46</b>
<b>3.2 SENSOR DE OXÍGENO DE ZIRCONIO COMÚN PARA EL MONITOREO DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE AVEO LS.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 DIODO ZENER 5V6 .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4 MEDIDOR DE LA RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE CON EL CIRCUITO INTEGRADO LM3914.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5 CONECTOR DE DIAGNÓSTICO OBDII .....</b>	<b>51</b>
3.5.1 Ubicación del conector OBDII .....	52
<b>3.6 INTERFACE ELM327 .....</b>	<b>52</b>
3.6.1 Ubicación de la interface ELM327 .....	53
<b>3.7 ANALIZADOR DE GASES NEXTECH NGA-6000.....</b>	<b>54</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>56</b>
<b>DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....</b>	<b>56</b>
<b>4.1 DISEÑO DEL DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO .....</b>	<b>56</b>
4.1.1 Diseño en el software Proteus.....	56
a. Voltaje de salida del amplificador operacional.....	62
4.1.2 Diseño del circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno en la placa de baquelita.....	67

4.1.3 Construcción de la placa de baquelita del dispositivo.....	71
4.1.4 Diagrama de conexión del dispositivo al vehículo .....	72
4.1.5 Implementación del dispositivo en el vehículo de prueba .....	73
<b>4.2 SIMULACIÓN DEL DISPOSITIVO QUE REALIZARÁ EL MONITOREO DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE (CATALIZADOR).....</b>	<b>75</b>
4.2.1 Simulación en el Software Proteus.....	75
4.2.2 Diseño del circuito del dispositivo en la placa de baquelita .....	76
4.2.3 Implementación del Dispositivo de Monitoreo de la mezcla Aire - Combustible del Automóvil de prueba .....	78
<b>4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR AIRE – COMBUSTIBLE Y DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO AL VEHÍCULO AVEO LS.....</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>80</b>
<b>INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>5.1 OSCILOSCOPIO (OWON).....</b>	<b>80</b>
5.1.1 Medición de la señal del sensor de oxígeno de zirconio .....	80
5.1.2 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla rica .....	83
5.1.3 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla estequiométrica .....	84
5.1.4 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla pobre.....	85
<b>5.2 INTERFACE ELM327 .....</b>	<b>86</b>
5.2.1 Monitoreo Continuo del catalizador .....	86
<b>Figura 5.11: Ubicación de los sensores de oxígeno en el catalizador. ....</b>	<b>87</b>
<b>5.3 ANALIZADOR DE GASES .....</b>	<b>89</b>
5.3.1 Análisis de gases en ralentí sin el dispositivo .....	89
5.3.2 Análisis de gases en ralentí con el dispositivo mezcla rica .....	91

5.3.3	Análisis de gases en ralenti con el dispositivo mezcla estequiometrica..	92
5.3.4	Análisis de gases en ralenti con el dispositivo mezcla pobre .....	93
5.3.5	Comparación de datos en mezclas rica, estequiometrica y pobre en ralenti .....	94
<b>5.4</b>	<b>PRUEBAS DE CAMPO.....</b>	<b>95</b>
5.4.1	Pruebas de desempeño en carretera .....	95
<b>5.5</b>	<b>PRESUPUESTO GENERAL.....</b>	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>.....</b>	<b>114</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES</b>	<b>.....</b>	<b>114</b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>6.2</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>119</b>
<b>NETGRAFÍA</b>	<b>.....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO A: MANUAL DE USUARIO</b>	<b>.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO B: MANUAL DEL PROGRAMA</b>	<b>.....</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Imagen del interior del capacitor. ....	6
Figura 2.2: Representación eléctrica de los capacitores. ....	6
Figura 2.3: Capacitor Electrolítico.....	7
Figura 2.4: Capacitor Cerámico.....	7
Figura 2.5: Amplificador Operacional de 8 pines. ....	9
Figura 2.6: Simbología del Amplificador Operacional de 8 pines. ....	10
Figura 2.7: Conexión de retroalimentación entre pin 3 y pin 6. ....	10
Figura 2.8: Diodo Zener. ....	11
Figura 2.9: Interior de un potenciómetro. ....	12
Figura 2.10: Potenciómetro lineal (multivuelta). ....	13
Figura 2.11: Gráfica Grados de Giro vs Resistencia.....	13
Figura 2.12: Potenciómetro logarítmico.....	13
Figura 2.13: Gráfica Grados de Giro vs Resistencia.....	14
Figura 2.14: Regulador de Voltaje 7812.....	14
Figura 2.15: Sensor de oxígeno de zirconio con elemento de cerámica.....	16
Figura 2.16: Ubicación del Sensor de oxígeno de zirconio en el flujo de los gases de escape. ....	17
Figura 2.17: Monitoreo del sensor de oxígeno con un osciloscopio.....	18
Figura 2.18: Curvas de señales de voltaje mezcla rica y mezcla pobre.....	19
Figura 2.19: Estequiometría de la mezcla aire/combustible. ....	20
Figura 2.20: Circuito del elemento calefactor del Sensor de Oxígeno. ....	22
Figura 2.21: Distribución de cables del Sensor de Oxígeno.....	23
Figura 2.22: Sensor de Oxígeno Aire/Combustible.....	24
Figura 2.23: Ciclo cerrado de un sensor de aire/combustible. ....	27
Figura 2.24: Conexión del inyector a la PCM y a la batería.....	27

Figura 2.25: Señal del inyector mostrada en el osciloscopio.....	28
Figura 2.26: Señal del inyector monitoreado en ralentí. ....	29
Figura 2.27: Análisis del pulso de inyección. ....	29
Figura 2.28: Pulso de inyección simulado en el programa Livewire.....	30
Figura 2.29: Proporción Lambda. ....	35
Figura 2.30: Esquema de los gases catalizados.....	36
Figura 2.31: Ubicación del catalizador en el sistema de escape.....	37
Figura 2.32: Componentes del catalizador.....	38
Figura 2.33: Función oxidación.....	39
Figura 2.34: Luz Mil forma de un motor.....	41
Figura 2.35: Luz Mil palabra service engine soon.....	41
Figura 2.36: Conector OBDI de la PCM. ....	42
Figura 2.37: Conector OBDII de 16 pines. ....	43
Figura 3.1: Amplificador operacional LM318.....	46
Figura 3.2: Sensor de oxígeno de zirconio común Aveo LS.....	47
Figura 3.3: Diodo Zener 5V6. ....	48
Figura 3.4: Medidor aire – combustible con el LM3914. ....	49
Figura 3.5: Encapsulado del LM3914.....	50
Figura 3.6: Conector OBDII de 16 pines. ....	51
Figura 3.7: Ubicación del conector OBDII. ....	52
Figura 3.8: Interface ELM 327. ....	53
Figura 3.9: Conexión de la interface al conector de 16 pines.....	53
Figura 3.10: Mediciones con el programa TORQUE. ....	54
Figura 3.11: Analizador de gases NEXTECH NGA-6000.....	55
Figura 4.1: Regulador de Voltaje 7812.....	57
Figura 4.2: Conexión del diodo zener y resistencia en proteus.....	59
Figura 4.3: Alimentación del pin 7 y 4 en proteus. ....	60



Figura 4.4: Divisor de tensión. ....	60
Figura 4.5: Reemplazo de la resistencia R2 por el potenciómetro. ....	61
Figura 4.6: Voltajes simulados del divisor de tensión en Proteus. ....	62
Figura 4.7: Voltaje de salida del amplificador operacional LM318. ....	63
Figura 4.8: Gráfica del factor y voltajes. ....	65
Figura 4.9: Voltajes de salida del amplificador y alimentación al pin 7. ....	67
Figura 4.10: Diagrama del circuito del amplificador operacional en PCB Wizard. ....	68
Figura 4.11: Opciones Tools, Convert y Design to Printed Circuit Board.....	68
Figura 4.12: Opciones Shape, Width y Height. ....	69
Figura 4.13: Opción posición de los símbolos.....	70
Figura 4.14: Diagrama del circuito impreso del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.....	70
Figura 4.15: Armado el circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.....	71
Figura 4.16: Diagrama de conexión del dispositivo al vehículo. ....	72
Figura 4.17: Conexión de cables al socket del sensor de oxígeno. ....	73
Figura 4.18: Conexión de cables a las señales de entrada y salida del dispositivo.....	74
Figura 4.19: Conexión de cables a los bornes positivo y negativo de la batería. ....	74
Figura 4.20: Interruptor de encendido y apagado del dispositivo. ....	75
Figura 4.21: Circuito del dispositivo monitoreador del catalizador. ....	75
Figura 4.22: Diagrama del circuito del medidor aire -combustible.....	76
Figura 4.23: Diagrama del circuito impreso del medidor aire - combustible. ..	77
Figura 4.24: Dispositivo que realizará el monitoreo de la mezcla aire – combustible (catalizador). ....	77
Figura 2.25: Medidor aire – combustible en cilindro de aluminio.....	78

Figura 4.26: Conexión del dispositivo monitorador al socket de la PCM. ....	78
Figura 4.27: Dispositivo de monitoreo de la mezcla aire – combustible (catalizador) de forma cilíndrica.....	79
Figura 4.28: Dispositivos implementados en la guantera del vehículo.....	79
Figura 5.1: Sonda de oxígeno del sensor. ....	80
Figura 5.2: Aumento y disminución de inyección medido con el osciloscopio.	81
Figura 5.3: Aumento de inyección de combustible en mezcla pobre. ....	82
Figura 5.4: Disminución de inyección de combustible en mezcla rica. ....	82
Figura 5.5: Señal modificada 0 a 1 voltio. ....	83
Figura 5.6: Medidor de aire – combustible en rico. ....	83
Figura 5.7: Sensor de zirconio (mezcla estequiométrica).....	84
Figura 5.8: Señal de la mezcla estequiométrica. ....	85
Figura 5.9: Mezcla Pobre.....	85
Figura 5.10: Medidor en lean (mezcla pobre). ....	86
Figura 5.11: Ubicación de los sensores de oxígeno en el catalizador. ....	87
Figura 5.12: Señal oscilante del primer sensor.....	88
Figura 5.13: Señal continua del segundo sensor.....	88
Figura 5.14: Toma de datos con el analizador de gases en ralentí.....	90
Figura 5.15: Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla rica en ralentí.....	91
Figura 5.16: Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla estequiométrica en ralentí.....	92
Figura 5.17: Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla pobre en ralentí. ....	93
Figura 5.18: Sector Aeropuerto de Latacunga con el dispositivo. ....	95
Figura 5.19: Prueba N° 1.....	96
Figura 5.20: Prueba N° 2.....	97
Figura 5.21: Prueba N° 3.....	99

Figura 5.22: Prueba N° 4.....	100
Figura 5.23: Prueba N° 5.....	102
Figura 5.24: Prueba N° 6.....	103
Figura 5.25: Análisis de la Prueba N° 1 en la gráfica de dispersión.....	105
Figura 5.26: Análisis de la curva de temperatura vs la curva del sensor de oxígeno.....	106
Figura 5.27: Sector Calacalí (Quito) sin el dispositivo.....	106
Figura 5.28: Prueba N° 7.....	107
Figura 5.29: Prueba N° 8.....	108
Figura 5.30: Prueba N° 9.....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Características de los capacitores .....	8
Tabla 2.2: Rangos de entrada de tensión y tensiones de salida de los LM78XX .....	15
Tabla 2.3: Relación Lambda y valores de mezcla aire - combustible .....	21
Tabla 2.4: Datos del vehículo Chevrolet Aveo LS de voltajes de sensores, oxígeno y revoluciones del motor .....	33
Tabla 2.5: Distribución de pines del conector OBDII .....	43
Tabla 3.1: Características del amplificador operacional LM318 .....	46
Tabla 3.2: Características del sensor de oxígeno de zirconio común .....	48
Tabla 3.3: Características del diodo zener 5V6 .....	49
Tabla 3.4: Características del analizador de gases NEXTECH NGA-6000 ....	55
Tabla 4.1: Voltajes de salida del amplificador y señal del sensor de oxígeno	65
Tabla 4.2: Comparación de voltajes de saturación positivo y negativo .....	67
Tabla 4.3: Descripción de la simbología del diagrama .....	72
Tabla 5.1: Mezcla rica, mezcla pobre y consumo de oxígeno .....	81
Tabla 5.2: Parámetros del funcionamiento del catalizador en ralentí .....	89
Tabla 5.3: Parámetros del funcionamiento del catalizador en ralentí .....	90
Tabla 5.4: Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla rica ....	91
Tabla 5.5: Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla estequiométrica .....	92
Tabla 5.6: Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla pobre ..	93
Tabla 5.7: Valores comparativos de la mezcla aire - combustible .....	94
Tabla 5.8: Valores descritos de la Prueba N° 1 .....	97
Tabla 5.9: Valores descritos de la Prueba N° 2 .....	98
Tabla 5.10: Comparación de las pruebas 1 y 2 .....	98
Tabla 5.11: Valores descritos de la Prueba N° 3 .....	100

Tabla 5.12: Valores descritos de la Prueba N° 4 .....	101
Tabla 5.13: Comparación de las pruebas 3 y 4.....	101
Tabla 5.14: Valores descritos de la Prueba N° 5 .....	103
Tabla 5.15: Valores descritos de la Prueba N° 6 .....	104
Tabla 5.16: Comparación de las pruebas 5 y 6.....	104
Tabla 5.17: Valores descritos de la Prueba N° 7 .....	107
Tabla 5.18: Valores descritos de la Prueba N° 8 .....	108
Tabla 5.19: Valores descritos de la Prueba N° 9 .....	109
Tabla 5.20: Tabla comparativa con y sin el dispositivo.....	110
Tabla 5.21: Tabla comparativa de las pruebas 1 y 8 .....	111
Tabla 5.22: Costos de los componentes del dispositivo y monitoreo del catalizador .....	112
Tabla 5.23: Costo total del diseño y construcción del sistema .....	113

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1: Diferencia de voltajes de alimentación.....	11
Ecuación 2.2: Factor de multiplicación .....	11
Ecuación 2.3: Voltaje de salida del amplificador .....	11
Ecuación 2.4: Relación lambda .....	20
Ecuación 4.1: Potencia .....	57
Ecuación 4.2: Voltaje .....	57
Ecuación 4.3: Corriente Máxima.....	57
Ecuación 4.4: Resistencia Ley de Ohm.....	58
Ecuación 4.5: Intensidad Ley de Ohm.....	58
Ecuación 4.6: Divisor de Tensión .....	61
Ecuación 4.7: Variación de porcentaje del potenciómetro.....	61
Ecuación 4.8: Voltaje de salida del amplificador operacional.....	63
Ecuación 4.9: Voltaje del pin 6 del amplificador.....	63
Ecuación 4.10: Cálculo del factor ganancia .....	63
Ecuación 4.11: Distancia entre dos puntos .....	66
Ecuación 4.12: Voltaje de saturación negativo .....	66
Ecuación 4.13: Voltaje de saturación positivo.....	66

## RESUMEN

El dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común es una innovación en cuanto a la interacción con la computadora del vehículo.

El software TORQUE y la placa electrónica permitirán verificar y variar la mezcla aire – combustible a condiciones extremadamente pobres y ricas del vehículo, lo cual servirá como un aporte al estudio a la eficiencia del motor en estas dos condiciones, por lo que se tendrá variaciones en la potencia, sonda lambda del sensor de oxígeno, partes por millón en los hidrocarburos, gases contaminantes y consumo de combustible.

Se tendrá un conocimiento más profundo acerca de la mezcla estequiométrica y de los límites de mezcla rica y pobre.

También con el software TORQUE y la interface ELM327 se tendrá un monitoreo continuo del catalizador o convertidor catalítico, que permitirá el monitoreo de algunos sensores como son: sensor de oxígeno (downstream), sensor de oxígeno (upstream), TPS (sensor de posición del acelerador), ECT (sensor de temperatura del refrigerante) y IAT (sensor de temperatura de aire), obteniendo así un completo monitoreo de la emisión de gases contaminantes en vehículos de tipo OBDII y prevenir daños en el convertidor catalítico.

Se realizará mediciones con el analizador de gases, scanner automotriz y osciloscopio sin y con el dispositivo, para comparar los datos del fabricante del vehículo Aveo LS con los datos modificados del dispositivo, y verificar que el dispositivo ahorra combustible y reduce las emisiones de gases, sin tener pérdida de potencia.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

En la actualidad no existe normativas que controlen a los vehículos que se importan y que se ensamblan en el país, estos autos traen tecnología antigua, la mayoría sin monitoreo de catalizador, sin monitoreo de Evap (Emisiones Evaporativas); esto quiere decir sin ningún interés en el medio ambiente, es por esto que se desarrollará un dispositivo electrónico el cual sea capaz de alterar la mezcla aire-combustible y las emisiones de los gases contaminantes, así también un monitoreo continuo del catalizador, el cual nos permita saber en qué condiciones se encuentra.

### **1.2 Planteamiento del Problema**

Con este preámbulo surgió el estudio, para poder resolver la imposibilidad de detectar fallas en los sistemas de emisiones en vehículos OBDII, como son de catalizador que existen en el mercado ecuatoriano, habiendo así, un monitoreo de componentes.

Otra razón es la de alterar la relación aire - combustible, puesto que con el dispositivo mejorador del sensor de oxígeno se logrará relaciones desde 9:1 hasta 25:1, también modificando la emisión de gases contaminantes.

El uso desmesurado de combustibles, el cambio climático, la destrucción de nuestras fuentes de vida hacen que los profesionales tomen conciencia en la conservación del planeta y se investigue sistemas efectivos que contrarresten estos problemas, y así con este primer



prototipo se tenga una alternativa de transformación de energía y ayuda al medio ambiente.

### **1.3 Justificación e Importancia del problema a resolver**

La adaptación de un sistema electrónico a vehículos que no cuentan con un sistema de alteración de emisiones de gases, responde a la necesidad de buscar un mejoramiento de la calidad de aire que se respira.

La evaluación de este dispositivo electrónico mostrará resultados que se puedan evaluar como es la disminución del consumo de combustible que está relacionado con la reducción de emisión de gases, he aquí la dedicación de la ESPE en formar profesionales que aporten en la solución de los problemas provocados por los vehículos por su número y por su descuido en el mantenimiento.

La realización de este proyecto es muy importante ya que el estudio de este tema logrará crear una cultura de investigación en la eficiencia del motor de combustión interna, además tratar de obligar a las grandes multinacionales que envíen productos de calidad y que se amplíe el conocimiento en los sistemas de autodiagnóstico OBDII.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Implementar un dispositivo que convierta al sensor de oxígeno común de zirconio en uno de banda ancha, con un monitoreo del catalizador, para reducir la contaminación que generan los vehículos de inyección electrónica.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Diseñar un dispositivo comparador electrónico de voltajes para controlar el ajuste de combustible y mejorar la eficiencia del vehículo.
- ✓ Implementar el dispositivo de monitoreo del catalizador en el panel de control para referenciar al conductor que el vehículo se encuentra contaminando.
- ✓ Modificar la relación aire - combustible, en el rango de 9 hasta 25 gramos de aire y 1 gramo de combustible.
- ✓ Comparar los parámetros contaminantes del vehículo a investigar para ver sus beneficios con el dispositivo.

### **1.5 Hipótesis**

Permitirá implementar un dispositivo que ayude al medio ambiente, modificando la mezcla aire – combustible en el rango de 9 hasta 25 partes de aire y una de combustible, y por ende las emisiones de los gases contaminantes, teniendo un monitoreo continuo del catalizador.

### **1.6 Variable Dependiente**

Amplificadores operacionales, sensor de oxígeno, un sistema de emisión de gases (catalizador), medidores de la relación aire-combustible y trucaje de la computadora.

## **1.7 Variable Independiente**

Dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, que opere con un monitoreo continuo del catalizador.

## **1.8 Fuentes y Técnicas de recopilación de información y análisis de datos**

### **Uso del Osciloscopio (Owon):**

- ✓ Verificar las oscilaciones del sensor de oxígeno sin y con el dispositivo. Esta herramienta obtendrá datos de las oscilaciones cuando el sensor trabaje en banda ancha.
- ✓ Tomar datos de la oscilación de un inyector para verificar el pulso de inyección.

### **Uso del Scanner:**

- ✓ Verificar los lazos abierto y cerrado de la PCM, para el correcto funcionamiento del catalizador.

### **Uso del Analizador de Gases:**

- ✓ Tomar datos del automóvil en ralentí de los gases contaminantes (HC, CO y CO<sub>2</sub>), sin y con el dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.
- ✓ Realizar tabla de valores comparativos de los resultados de la medición con el analizador de gases en ralentí.

## **CAPÍTULO II**

### **COMPONENTES DEL DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO**

#### **2.1 PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS**

##### **2.1.1 Capacitores**

Es un dispositivo formado por dos conductores o armaduras, generalmente en forma de placas o láminas, separados por un material dieléctrico (actúa como aislante) o por el vacío, que sometidos a una diferencia de potencial adquieren una determinada carga eléctrica.

Esta propiedad de almacenamiento de carga se le denomina capacidad o capacitancia. En el Sistema Internacional de unidades se mide en Faradios (F).

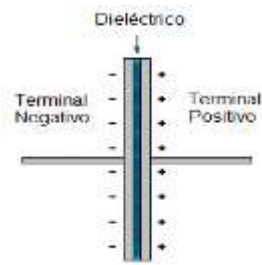
“Los capacitores son encontrados básicamente dentro de los módulos de control. En un automóvil la batería se comporta como un gran capacitor que amortigua la tensión cambiante generada por el sistema de carga.

Básicamente un capacitor es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma de campo eléctrico.”<sup>1</sup>

En la Figura 2.1 se observa el interior de un capacitor con las placas negativa y positiva, y el material dieléctrico.

---

<sup>1</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 2: Electricidad y Electrónica. (s.p)



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

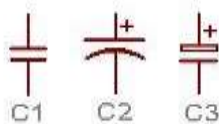
**Figura 2.1:** Imagen del interior del capacitor.

Los capacitores superiores a 1  $\mu\text{F}$  tienen polaridad, lo cual se debe aplicar la tensión prestando atención a sus terminales positivo y negativo, ya que pueden quemarse en el caso de que su conexión sea incorrecta. Al contrario que los inferiores a 1  $\mu\text{F}$ , a los que se puede aplicar tensión en cualquier sentido.

En la Figura 2.2 se muestra la representación eléctrica para los siguientes capacitores:

C1 es un capacitor no polarizado, entre ellos los más usados para el filtrado de interferencias y son de material cerámico.

C2 y C3 son capacitores polarizados, los mejores son los de tantalio, también están los electrolíticos no siendo tan eficientes como los de tantalio, pero con un menor costo.



Fuente: <http://www.todopic.com.ar/interferencias.htm>

**Figura 2.2:** Representación eléctrica de los capacitores.

### a. Capacitor Electrolítico

El capacitor electrolítico que se muestra en la Figura 2.3, contiene un ácido llamado electrolito y que se aplica en estado líquido. Debido al ácido electrolítico, estos capacitores aíslan mejor la tensión (V) y tienen mayor capacidad en micro Faradios ( $\mu\text{F}$ ).

Siempre tienen polaridad, y una capacidad superior a  $1 \mu\text{F}$ . Se los puede encontrar en los módulos de control o en sistemas que incorporen una electrónica avanzada.



**Fuente:** <http://www.electronicinformatica.blogspot.com/2011/10/capacitores-que-son.html>

**Figura 2.3:** Capacitor Electrolítico.

### b. Capacitor Cerámico

“El dieléctrico utilizado por estos capacitores es la cerámica de la Figura 2.4, ya que permite que resista del calor y de la humedad. Sus valores de capacidad están comprendidos entre  $0.5 \text{ pF}$  y  $47 \text{ nF}$ . Son los más comunes, son pequeños.”<sup>2</sup>



**Fuente:** <http://www.retroamplis.com/50V-Ceramic-disc-Capacitor>

**Figura 2.4:** Capacitor Cerámico.

---

<sup>2</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 2: Electricidad y Electrónica. (s.p)

Sus características se pueden comparar con los diferentes tipos de capacitores en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1:** Características de los capacitores

<b>Dieléctrico</b>	<b>Construcción</b>	<b>Capacitancia</b>	<b>Voltaje de ruptura (V)</b>
Aire	Placas intercaladas	10-400 pF	400
Cerámica	Cilíndrico o tubular	0.5-1600 pF	500-20000
	En forma de disco	0.002-0.1 $\mu$ F	
Electrolítico	Aluminio	5-1000 $\mu$ F	10-450
	Tantalio	0.01-300 $\mu$ F	6-50
Mica	De hojas sobrepuestas	10-5000 pF	500-20000
Papel o Película De Plástico	De papel metalizado	0.001-1 $\mu$ F	200-1600

**Fuente:** <http://www.rduinostar.com/documentacion/componentes/condensador-o-capacitor>

### 2.1.2 Amplificador Operacional

Es una unidad electrónica que se comporta como una fuente de tensión controlada por tensión.

Un amplificador operacional puede sumar señales, amplificar una señal, integrarla o diferenciarla.

Se encuentran integrados, de forma que en una pastilla pueden haber 1, 2 o 4 amplificadores operacionales. Uno habitual es el de ocho terminales, el cual está integrado por 1 amplificador operacional.

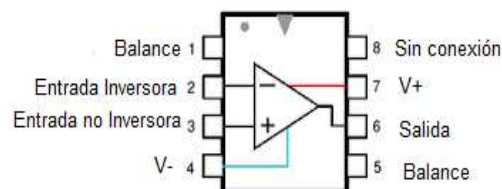
“El propósito general de los amplificadores es la de optimizar o incorporar ciertas características.

La variedad de su uso se da a conocer en lo siguiente:

1. Capacidad de alta corriente, alto voltaje o ambos.
2. Módulos para sonar de emisión y recepción.
3. Amplificadores múltiples.
4. Instrumentación y control automotriz.
5. Circuitos integrados para comunicaciones.”<sup>3</sup>

En la Figura 2.5 se observa el encapsulado del amplificador operacional de 8 pines. La terminal 8 no se usa, y las terminales 1 y 5 son de escaso interés. Las cinco terminales importantes son:

- La entrada inversora, terminal 2.
- La entrada no inversora, terminal 3.
- La salida de señal, terminal 6.
- El suministro de potencia positivo V+, terminal 7.
- El suministro de potencia negativo V-, terminal 4.



**Fuente:** <http://mundoelectronics.blogspot.com/2009/04/el-amplificador-operacional-i.html>

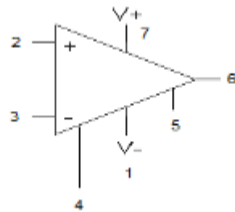
**Figura 2.5:** Amplificador Operacional de 8 pines.

En la Figura 2.6 se indica la simbología electrónica del amplificador operacional de 8 pines. Tiene dos entradas y una salida. Las entradas se han marcado con los signos menos (-) y más (+) para especificar las entradas inversora y no inversora, respectivamente. Una entrada aplicada

<sup>3</sup> Coughlin, R. F. (1993). Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales, Editorial Ellen Denning. (pp. 3 - 4)



a la terminal no inversora pin 3 (+) aparecerá con la misma polaridad en la salida (pin 6), mientras que una entrada aplicada a la terminal inversora pin 2 (-) aparecerá invertida en la salida (pin 6).

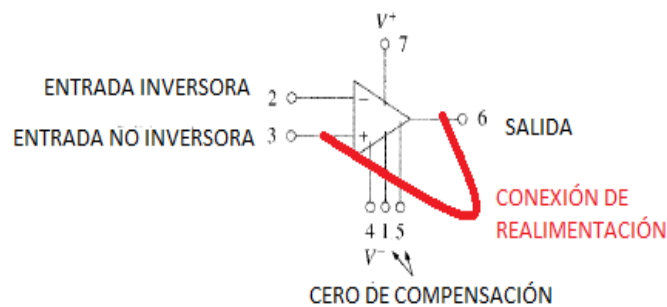


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.6:** Simbología del Amplificador Operacional de 8 pines.

### a. Conexión sin realimentación del amplificador operacional

Si no existe realimentación (alimentación conectada de la salida a cualquiera de las señales de entrada inversora o no inversora), mostrada en la Figura 2.7.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.7:** Conexión de retroalimentación entre pin 3 y pin 6.

La salida del amplificador operacional será la resta de sus dos entradas multiplicada por un factor (A), como en las ecuaciones 2.1 y 2.2. Este factor A suele ser del orden de 100.000 (que se considerará infinito en cálculos con el componente ideal). Por lo tanto si la diferencia entre las dos tensiones es de 1V la salida debería estar saturada (valor infinito). Si

la tensión más alta es la aplicada al pin (+) la salida será la que corresponde a la alimentación  $V_{s+}$ , mientras que si la tensión más alta es la del pin (-) la salida será la alimentación  $V_{s-}$ .

$$V_d = V_{(+)} - V_{(-)} \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$V_o = A * V_d \quad \text{Ec. 2.2}$$

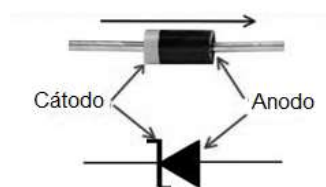
Remplazando la ecuación 2.1 en la ecuación 2.2 se obtiene:

$$V_o = A * (V_{(+)} - V_{(-)}) \quad \text{Ec. 2.3}$$

### 2.1.3 Diodo Zener

Un diodo zener, es un diodo de silicio que funciona como un regulador de tensión. Al circular una corriente a través de éste se produce una pequeña caída de tensión de ruptura. También mantiene la tensión entre sus terminales constante en un amplio rango de intensidad y temperatura.

Para que trabaje el diodo zener como un regulador de tensión debe conectarse inversamente, para lo cual se debe reconocer cuál es el ánodo y cuál es el cátodo, como se puede apreciar en la Figura 2.8.



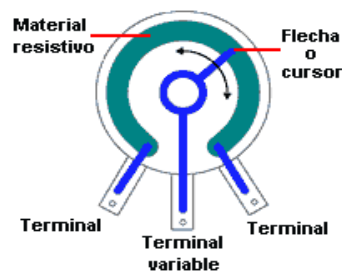
**Fuente:** <http://www.radioelectronica.es/radioaficionados/19-inversion-polaridad>

**Figura 2.8:** Diodo Zener.

## 2.1.4 Potenciómetros

Un potenciómetro es un componente electrónico similar a los resistores pero cuyo valor de resistencia en vez de ser fijo es variable, permitiendo controlar la intensidad de corriente a lo largo de un circuito, conectándolo en paralelo o la caída de tensión al conectarlo en serie. Los potenciómetros sirven para regular el voltaje de acuerdo al operador.

Está compuesto por una resistencia constante o material resistivo (zona celeste) de la Figura 2.9, a lo largo de la cual se mueve una flecha o cursor que es un contacto móvil, por lo que al mover el cursor, sea a lado izquierdo o derecho, una de las terminales aumentará en su resistencia, mientras que en la otra terminal disminuirá. A la hora de conectar un potenciómetro, se puede utilizar el valor de su resistencia total o el de una de las resistencias variables que se encuentran en los extremos, ya que los potenciómetros tienen tres terminales.



Fuente: [http://www.unicrom.com/Tut\\_resistenciavariabile.asp](http://www.unicrom.com/Tut_resistenciavariabile.asp)

**Figura 2.9:** Interior de un potenciómetro.

### a. Potenciómetro lineal (multivuelta)

La Figura 2.10 es un potenciómetro lineal, que al mover el cursor 360° van respondiendo progresivamente con el giro, es decir, que la variación

de resistencia va constante con el desplazamiento del cursor y por lo cual su gráfica es lineal, mostrada en la Figura 2.11.



Fuente: <http://www.mabisat.com/81-potenciómetros-ajustables-multivoltas>

**Figura 2.10:** Potenciómetro lineal (multivuelta).



Fuente: <http://rduinostar.com/documentacion/componentes/potenciometro>

**Figura 2.11:** Gráfica Grados de Giro vs Resistencia.

## b. Potenciómetro logarítmico

El potenciómetro logarítmico de la Figura 2.12 al desplazar el cursor, tienden a crecer en el valor de la resistencia muy rápidamente, y por lo cual la variación de resistencia no es proporcional al desplazamiento angular de dicho cursor, y por ende la gráfica no es lineal como en la Figura 2.13.



Fuente: <http://www.taringa.net/posts/hazlo-tu-mismo/13438415/Amplificador-con-1m3886.html>

**Figura 2.12:** Potenciómetro logarítmico.



Fuente: <http://rduinostar.com/documentacion/componentes/potenciometro>

**Figura 2.13:** Gráfica Grados de Giro vs Resistencia.

### 2.1.5 Regulador de Voltaje 7812

“El 7812 es el regulador de voltaje más común y muy usado en diseños de circuitos. El 7812 de la Figura 2.14, es un regulador lineal hecho por varios fabricantes como Fairchild, o ST Microelectronics.”<sup>4</sup> Puede venir en varios tipos de encapsulados. Regula la tensión a 12 V.

Consta de tres terminales:

1. El de la derecha es la salida de tensión regulada.
2. La terminal del medio va conectado a tierra.
3. La terminal de la izquierda es por donde entra la tensión sin ser regulada.



Fuente: <http://www.myplogger.com/article-9fb793fcdba9a83e990745d37d250bef>

**Figura 2.14:** Regulador de Voltaje 7812.

<sup>4</sup> Regulador de voltaje 7812 para su diseño.  
<http://www.automatismos-mdq.com.ar/blog/2008/06/regulador-de-voltaje-7805-para-su-diseo.html>

A continuación se presenta en la Tabla 2.2 la familia de los reguladores LM78XX con sus tensiones de salida y rangos de tensiones de entrada.

**Tabla 2.2:** Rangos de entrada de tensión y tensiones de salida de los LM78XX

Designación	Tensión de salida (v)	Rango de entrada (v)
LM7805	5	7 – 25
LM7806	6	8 – 25
LM7808	8	10,5 – 25
LM7809	9	11,5 – 25
LM7810	10	12,5 – 25
LM7812	12	14,5 – 30
LM7815	15	17,5 – 30
LM7818	18	21 – 33
LM7824	24	27 – 38

**Fuente:** <http://www.practica16c14.blogspot.com/2011/03/regulador-7805.html>

Beneficios de utilizar un Regulador de voltaje.-

- Funcionamiento permanente y seguro de todos sus equipos.
- Eliminar los recursos económicos gastados innecesariamente, aprovechando todo el potencial instalado: recursos técnicos, humanos, materiales, y de tiempo.
- Incremento en la eficiencia del sistema protegido así como aumento de la vida útil de sus equipos.

## 2.2 SENSORES DE OXÍGENO

### 2.2.1 Sensor de Oxígeno de Zirconio

“Es el más utilizado en la mayoría de los automóviles, también se le conoce como sensor de oxígeno convencional. El elemento más

importante que tiene es la cerámica”<sup>5</sup>, como se la observa en la Figura 2.15.



**Fuente:** <http://merida.olx.com.mx/sensor-de-oxigeno-nuevo-para-mazda-ford-iid-458304305>

**Figura 2.15:** Sensor de oxígeno de zirconio con elemento de cerámica

A temperaturas inferiores a 300 °C el sensor se comporta como un circuito abierto (resistencia infinita).

A temperaturas mayores de 300 °C la cerámica se transforma en una pila cuya tensión depende de la diferencia de concentración de oxígeno entre los dos electrodos.

La señal del sensor cambia en forma brusca en el voltaje de acuerdo a la cantidad de oxígeno en el escape.

Los cables de señal del sensor de oxígeno son sensibles, y no deben estar descubiertos ni pegados al múltiple de escape para evitar pérdidas de señal y mayor consumo de combustible.

---

<sup>5</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 6: Inyección Electrónica Avanzada, (pp. 64)

En la Figura 2.16 se encuentra la ubicación del sensor de oxígeno de zirconio.



**Fuente:** Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.16:** Ubicación del Sensor de oxígeno de zirconio en el flujo de los gases de escape.

“El sensor de oxígeno de zirconio, está ubicado en el flujo de los gases de escape. Estos sensores son fundamentales porque con su señal la PCM toma decisiones sobre cuanto combustible debe inyectarse al motor.”<sup>6</sup>

Existen diferentes tipos de sensores de oxígeno, pero dos de los tipos más comunes son:

- Sensor de Oxígeno de Rango Angosto, que es el estilo más antiguo, simplemente llamado sensor de oxígeno.
- Sensor de Oxígeno de Amplio Rango, que es el tipo más novedoso, y que en el mercado se le conoce como Sensor de Ratio Aire/Combustible (Sensor A/F o Air/Fuel Ratio).

---

<sup>6</sup> Tipos de Sonda Lambda.  
<http://www.todomecanica.com/escape/sonda-lambda-y-sensores.html>



### a. Operación del Sensor de Oxígeno de Zirconio

Cuando la gasolina se quema en el cilindro se generan humos de escape, dentro de esos humos hay pocas cantidades de oxígeno que no alcanzaron a consumirse por completo, cuando la gasolina se quemó. Algunas veces esos remanentes de oxígeno serán más, otras veces serán menos, pero el punto importante es que las cantidades remanentes de oxígeno estarán cambiando siempre que el motor esté funcionando, pues son precisamente esas variaciones en la concentración de oxígeno en los gases de escape las que el sensor de oxígeno se encarga de monitorear. No se puede apreciar a simple vista, pero si se puede aprovechar las propiedades del óxido de zirconio para realizar mediciones de oxígeno que se conviertan en señales eléctricas que la PCM pueda aprovechar y que además se pueda monitorear con el scanner automotriz y su interface ELM327 de la Figura 2.17, o mejor aún con un osciloscopio.



Fuente: Scanner Automotriz interface ELM327

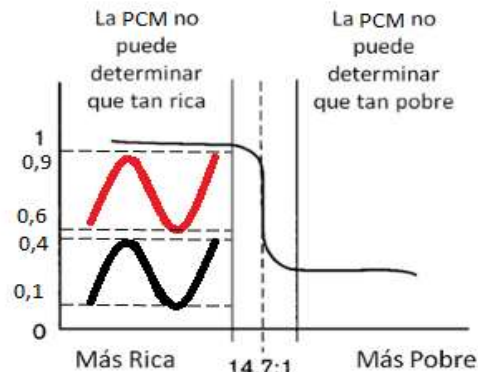
**Figura 2.17:** Monitoreo del sensor de oxígeno con un osciloscopio.

Cuando el contenido de oxígeno en los gases de escape es alto, el sensor de oxígeno produce un voltaje bajo. Por el contrario, cuando el contenido de oxígeno en los gases de escape es bajo, el sensor de oxígeno produce

un voltaje alto. Entre menos oxígeno haya en los gases y humos de escape, la señal de voltaje que el sensor produce crecerá cada vez más.

“Dependiendo del contenido de oxígeno en los gases, la PCM puede determinar la composición de aire/combustible que está ingresando a los cilindros”<sup>7</sup>; si la mezcla resulta ser "pobre" o mejor dicho, con mucho aire y poco combustible, produciendo así un voltaje bajo, la PCM se encarga de "enriquecer" la mezcla, es decir, de inyectar más gasolina. Si por el contrario la mezcla resulta ser "rica" (poco aire y mucho combustible), lo cual produce una señal de voltaje alto, entonces la PCM se encargará de empobrecer la mezcla, es decir, de inyectar menos gasolina. Estos ajustes se están realizando de 30 a 40 veces por minuto.

En la Figura 2.18 se muestra las gráficas de mezcla rica y mezcla pobre.



**Fuente:** [http://e-auto.com.mx/manual\\_detalle.php?manual\\_id=228](http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=228)

**Figura 2.18:** Curvas de señales de voltaje mezcla rica y mezcla pobre.

Una mezcla rica consume casi todo el oxígeno, entonces la señal de voltaje será "alta", en el rango de 0.6 - 0.9 voltios.

<sup>7</sup> Beto Booster. (2010). Cursos de Sensores de Oxígeno, (pp. 4-5)

Una mezcla pobre tiene más oxígeno disponible luego de que ocurre la combustión, por lo que la señal de voltaje es "baja", en el rango de 0.1 - 0.4 voltios.

El equilibrio de la composición de la mezcla aire/combustible, se la conoce como "estequiometría".

Este término se refiere a la perfección de la mezcla, que es cuando se tiene 14.7 partes de aire por 1 de combustible, como se muestra en la Figura 2.19. Cuando la mezcla alcanza esa proporción se podrá ver reflejado en la señal de voltaje que el sensor de oxígeno produce y siempre será alrededor de 0.45 voltios.



Fuente: [http://e-auto.com.mx/manual\\_detalle.php?manual\\_id=228](http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=228)

**Figura 2.19:** Estequiometría de la mezcla aire/combustible.

## b. Coeficiente de aire o relación lambda

Para saber los parámetros de la mezcla aire – combustible y la relación lambda ( $\lambda$ ) se utiliza la ecuación 2.4:

$$\lambda = \frac{\text{masa de aire aportado}}{\text{masa de aire necesario para la combustión estequiométrica}} = \frac{x}{14.7} \text{ Ec. 2.4}$$

La masa de aire aportado ( $x$ ) es la masa que se puede medir con un analizador de gases o se puede obtener de los datos del fabricante del vehículo.

En la Tabla 2.3 se encuentra la relación lambda  $\lambda$  y los valores de las mezclas estequiométrica, pobre y rica.

**Tabla 2.3:** Relación Lambda y valores de mezcla aire - combustible

X	Aire	Mezcla	$\lambda$	Observaciones
<14.7	Defecto	Rica	<1	Déficit de aire o mezcla rica, aumento de potencia
=14.7	Equilibrio	Estequiométrica	=1	El volumen de aire aspirado corresponde al valor teóricamente necesario
>14.7	Exceso	Pobre	>1	Exceso de aire mezcla pobre, menor consumo de combustible y menor potencia

Fuente: Documento de Combustión en los motores de gasolina<sup>8</sup>

### 2.2.2 Sensor de Oxígeno con Calefactor

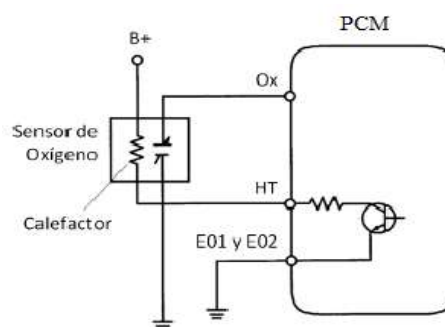
Para que el sensor de oxígeno funcione adecuadamente y genere señales de voltaje precisas necesita estar a una alta temperatura (300 °C – 400 °C). El problema se presenta en los primeros minutos de funcionamiento del motor en los cuales el sensor no ha llegado a su temperatura de operación, por lo cual se hace necesario colocarle un calentador o calefactor llamado elemento PTC (Coeficiente térmico positivo) que le permita llegar a su temperatura rápidamente. Este elemento se encuentra en el interior del sensor de oxígeno generando calor a medida que pasa corriente a través de él, calentando al sensor.

<sup>8</sup> Combustión en los Motores de Gasolina.  
[http://www.iessierradeguara.com/documentos/departamentos/automocion/circuitos\\_auxiliares/Mezclas%20y%20gases%20de%20escape/combustion\\_mezcla.pdf](http://www.iessierradeguara.com/documentos/departamentos/automocion/circuitos_auxiliares/Mezclas%20y%20gases%20de%20escape/combustion_mezcla.pdf)

La PCM enciende el circuito del calentador basado en la temperatura del refrigerante del motor y la carga del motor (determinado por la señal del sensor MAF o MAP). Este circuito del calentador utiliza aproximadamente 2 amperios.

“La resistencia del elemento calefactor se puede comprobar con un multímetro digital. Cuanto mayor sea la temperatura del calentador, mayor será la resistencia.”<sup>9</sup>

En la Figura 2.20 se encuentra el circuito del calefactor PTC y como está conectado a la PCM (computadora del automóvil).



Fuente: Manual Beto Booster sensor de oxígeno

**Figura 2.20:** Circuito del elemento calefactor del Sensor de Oxígeno.

### 2.2.3 Cableado de la sonda Lambda de Zirconio

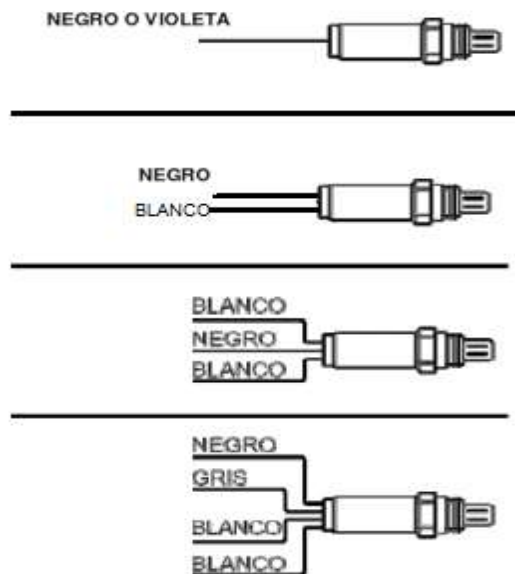
La cantidad de cables que puede tener esta sonda es de:

- 1 cable – señal.
- 2 cables – 1 cable señal de voltaje y 1 cable de señal de masa.
- 3 cables – 1 cable señal y 2 cables para calefacción de sonda.
- 4 cables – 1 para señal de voltaje, 1 de señal de masa y los 2 últimos para calefacción de sonda.
- Negro o Violeta – señal.

<sup>9</sup> Beto Booster. (2010). Cursos de Sensores de Oxígeno, (pp. 14)

- Blanco – 12 V de calefacción o masa de calefacción.
- Gris – masa de señal.

En la Figura 2.21 se encuentra la distribución de cables del sensor de oxígeno.



Fuente: <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1161/3/CAPITULO%20II.pdf>

**Figura 2.21:** Distribución de cables del Sensor de Oxígeno.

#### 2.2.4 Sensor de oxígeno aire/combustible (Banda Ancha)

El sensor Aire/Combustible de la Figura 2.22, se parece mucho al sensor de oxígeno tradicional, está construido de una forma diferente y por consiguiente, tiene características diferentes de operación. Se distingue de los demás sensores por ser de rango amplio debido a su capacidad de detectar "ratios" o proporciones de aire/combustible en un rango más amplio de voltajes.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.22:** Sensor de Oxígeno Aire/Combustible.

La ventaja de emplear sensor Aire/Combustible es que la PCM puede medir de una forma mucho más exacta la cantidad de combustible que ha de inyectarse, con lo cual se reduce muchísimo el consumo de combustible.

Para lograr esto el sensor de banda ancha opera a una temperatura de 650 grados centígrados, mucho más caliente que un sensor de oxígeno tradicional que opera más o menos a 400 grados centígrados. Modifica su amperaje de salida a la PCM en relación a la cantidad de oxígeno presente en la corriente de humos de escape.

De esta forma se puede llevar al motor a condiciones de trabajo donde las emisiones sean mucho más bajas y tener una operación más económica.

“Es importante recordar que el sensor de oxígeno está comparando la cantidad de oxígeno entre el interior y el exterior del motor. Si se obstruye la toma al exterior ya sea porque se cubre con aceite, el sensor se bloquea, y la comparación ya no es posible.”<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Begoña, M. B. Sensores en el Automóvil, Editorial DISA. (pp. 48)

La relación aire combustible ideal para un motor de gasolina es de 14.7:1, es decir 14.7 gramos de oxígeno por un gramo de combustible.

La sonda lambda de banda ancha es utilizada para poder determinar con una cierta precisión la mezcla aire - combustible en un rango de trabajo amplio, que oscila entre 11:1 a 22:1.

#### **a. Operación del Sensor de oxígeno aire/combustible (Banda Ancha)**

Un circuito de detección dentro de la PCM detecta el cambio y la fuerza del flujo de corriente eléctrica y emite una señal de voltaje relativamente proporcional al contenido de oxígeno de la mezcla de gases de escape. Esta señal de voltaje solo es posible medirla usando un scanner especial OBD II. No es posible medir directamente y con exactitud la corriente de salida del sensor A/C.

El sensor A/C está diseñado de tal manera que en la "zona de estequiometría", no haya flujo de corriente eléctrica y el voltaje de salida en el circuito de detección es de 4.5 voltios.

Una mezcla rica, la cual deja muy poco oxígeno en la corriente de gases de escape, produce un flujo negativo de corriente eléctrica. Entonces, el circuito de detección en la PCM producirá un voltaje por debajo de 450 milivoltios.

Por otro lado, una mezcla pobre, la cual tiene más oxígeno en la corriente de gases de escape, produce un flujo de corriente positivo. En este caso el circuito de detección en la PCM ahora producirá una señal de voltaje por encima de 450 milivoltios.



“Un motor funcionando en lazo abierto, trabaja con una mezcla más rica que lo ideal (450 milivoltios).”<sup>11</sup>

Se nombra algunas ventajas del sensor de oxígeno de banda ancha:

Ventajas:

- ✓ Ahorra dinero en costos de combustible.
- ✓ Mejora el funcionamiento del motor.
- ✓ Reduce la contaminación del aire.
- ✓ Evita fallas prematuras del convertidor catalítico.

### **2.3 LAZO CERRADO**

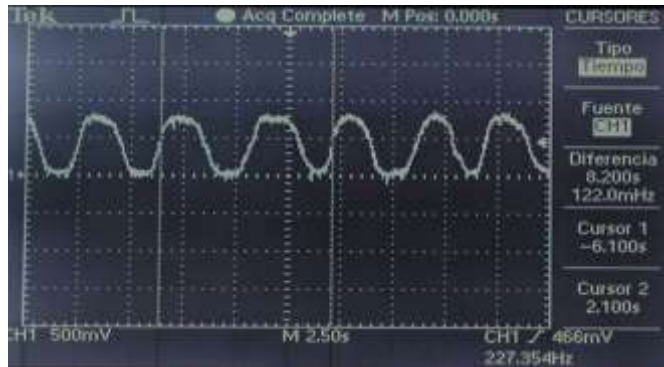
Se alimenta al computador con una señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de retroalimentación (proveniente principalmente de la sonda lambda de los gases de escape) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente.

Un ejemplo de un sistema de circuito cerrado es el sistema de carga del vehículo. El regulador de voltaje ajusta el voltaje de salida del alternador, si la tensión es demasiado baja, el regulador de tensión incrementará la salida del alternador. Sin el regulador de voltaje, la salida del alternador no podría ser ajustada para que coincida con las cargas eléctricas. Cuando la PCM corrige la relación aire/combustible basada en el sensor de oxígeno o en el sensor aire/combustible, se dice que es el sistema es de lazo cerrado o de bucle cerrado.

---

<sup>11</sup> Begoña, M. B. Sensores en el Automóvil, Editorial DISA. (pp. 49)

En la Figura 2.23 se observa cómo oscila el sensor de aire/combustible en un ciclo cerrado, sube/baja ligeramente rica y pobre.



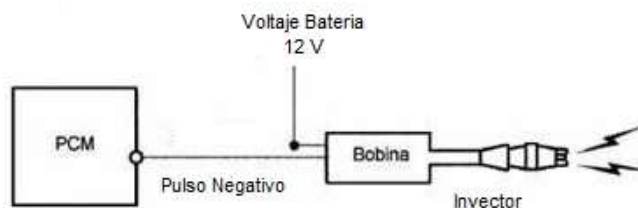
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.23:** Ciclo cerrado de un sensor de aire/combustible.

### 2.3.1 Señal de activación para los inyectores

“La activación de los inyectores se realiza por parte de la PCM a través de un pulso a masa, el inyector es una electroválvula la cual se encuentra colocada directamente a positivo y en su otro extremo es controlada por el pulso negativo de la PCM.”<sup>12</sup>

En la Figura 2.24 se observa la conexión del inyector a la PCM y a la batería.



Fuente: Manual Beto Booster sensor de oxígeno

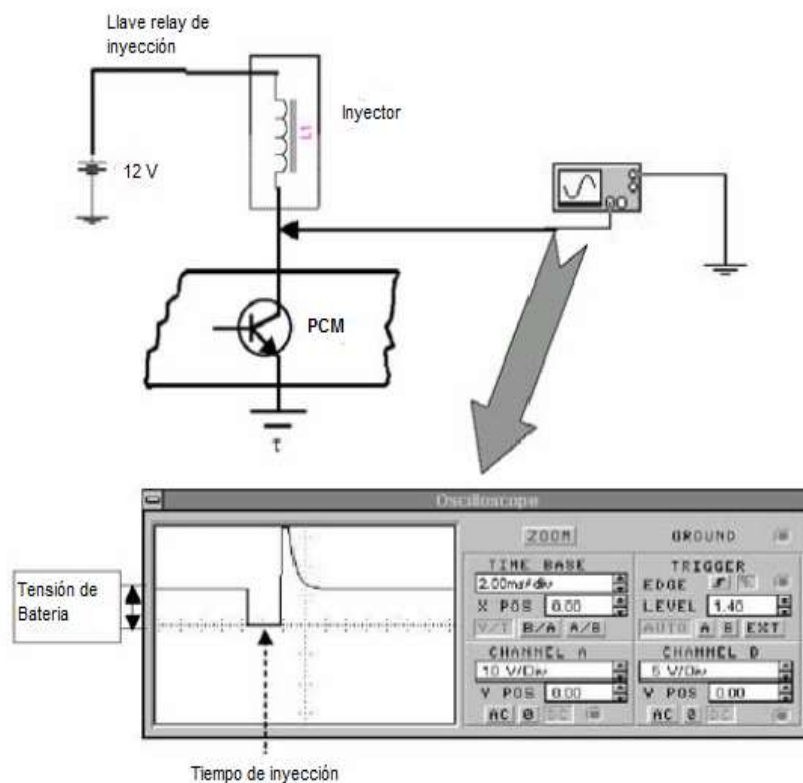
**Figura 2.24:** Conexión del inyector a la PCM y a la batería.

<sup>12</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 1: Electricidad y Electrónica, (pp. 20)

El tiempo que es activado el inyector se llama pulso de inyección. Este pulso depende de todas las condiciones del funcionamiento del motor, como temperatura, carga, revoluciones, entre otras.

Si este pulso se analiza con el osciloscopio, se tendrá una señal que va de los 12 voltios del sistema de carga a masa, y una vez cortado dicho pulso, se genera un pico inductivo de aproximadamente 90 voltios. El pulso de inyección se mide en milésimas de segundo para el desarrollo máximo del motor de combustión.

En la Figura 2.25, se muestra esta señal de tal forma como se presenta en un osciloscopio.

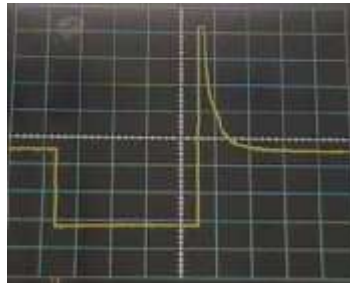


Fuente: Osciloscopio<sup>13</sup>

Figura 2.25: Señal del inyector mostrada en el osciloscopio.

<sup>13</sup> Erazo G. (2005). Duración de la inyección básica y de enriquecimiento. Tesis de Grado publicada en repositorio digital 0201, Latacunga, Escuela Politécnica del Ejército.

La toma de señal del inyector del Aveo LS en ralentí con el osciloscopio, se tiene en la Figura 2.26.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.26:** Señal del inyector monitoreado en ralentí.

Se pueden analizar varias condiciones importantes que se describen en la Figura 2.27.



Fuente: Manual Beto Booster sensor de oxígeno

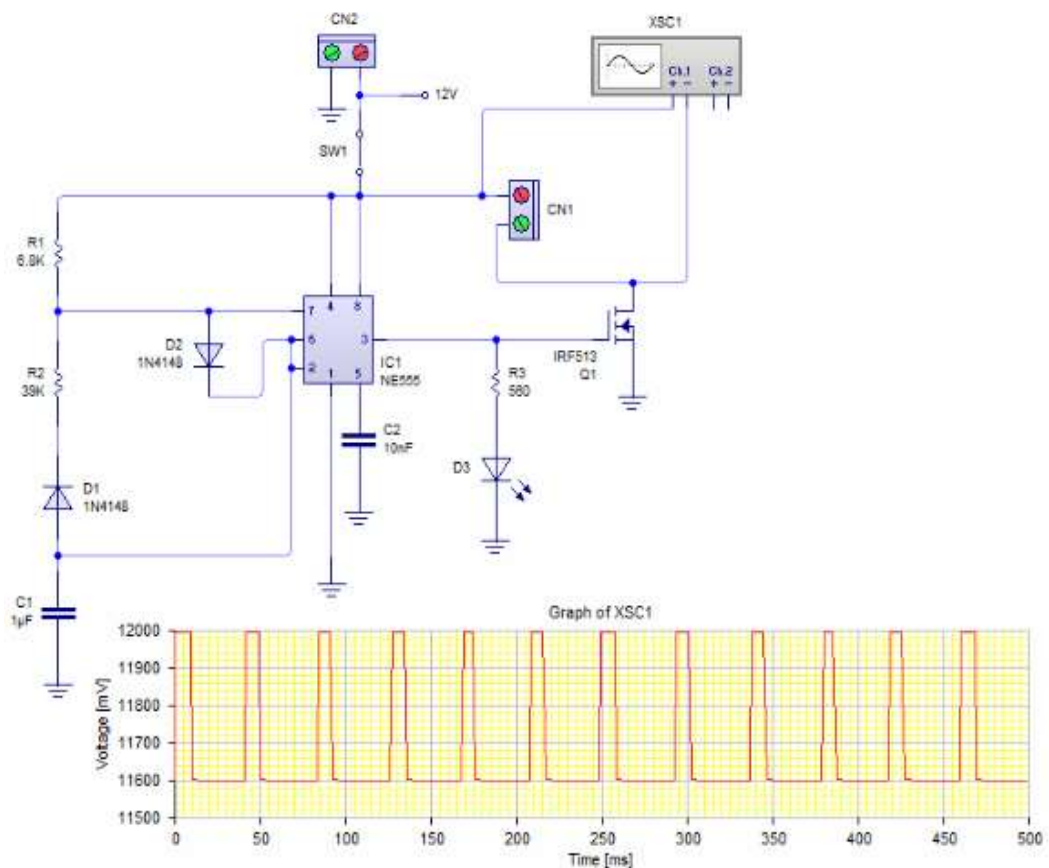
**Figura 2.27:** Análisis del pulso de inyección.

1. PICO INDUCTIVO: Representa el buen funcionamiento del inyector, el valor aproximado de este pico inductivo debe estar entre 60 y 90 voltios.

2. SEÑAL A MASA: La señal a masa es el tiempo que actúa el inyector, esta señal debe ser óptima, para que pueda funcionar correctamente el inyector, en caso de encontrarse correcta se debe trabajar sobre el análisis de las masas del motor.

3. PULSO DE INYECCION: El tiempo que es colocada la señal a masa, se llama pulso de inyección. “Esta señal de pulso de inyección puede ser también verificada con el scanner como ancho del pulso en milésimas de segundo, el valor del pulso de inyección en milésimas de segundo va para una condición de marcha mínima a una condición de aceleración aproximadamente de 3 a 15 ms.”<sup>14</sup>

En la Figura 2.28 se encuentra el diagrama del circuito de pulso de inyección (señal) simulado en el programa Livewire.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.28:** Pulso de inyección simulado en el programa Livewire.

<sup>14</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 1: Electricidad y Electrónica, (pp. 22)

### **2.3.2 Ajustes de combustible a largo y corto plazo**

El término ajuste de combustible está apareciendo hoy en día en una mayor cantidad de publicaciones, aplicaciones y conversaciones. Ajustar la proporción de combustible de una forma u otra, ha estado siempre presente en motores de combustión interna y en vehículos que no utilizan distribuidor, que lo hacen el control de encendido (chispa) por medio de un sensor de revolución instalado en el volante del motor (sensor CKP).

En los motores con gestión electrónica se puede rápidamente calcular, activar y chequear los resultados del reparto del combustible. El procesador de la PCM moderno puede realizar millones de cálculos por segundo. Una vez que toda la información requerida esté disponible, comenzará el cálculo de combustible.

Si el valor obtenido indica una condición pobre, el procesador usará su estrategia de ajuste de combustible para activar por más tiempo un actuador en la misma condición.

Si la condición permanece, el procesador recontará la duración del pulso del actuador. Este proceso es muy usual y se lleva a cabo rápidamente.

Debido a la velocidad y eficiencia de esta estrategia, se han establecido límites que indican cuanto la PCM tiene permitido recontar o compensar la proporción aire/combustible.

Para ello existen dos ajustes de combustible:

- LFT. (Long Fuel Trim), Ajuste de combustible a largo plazo, indica un valor programado del ajuste sobre el promedio de cambios del sensor de oxígeno, en valores de porcentaje este puede ser

positivo o negativo de acuerdo a la condición, en el caso de alcanzar un valor de 25% se genera un código continuo denominado LFT 1 y LFT 2 (Long Fuel Trim corrections = Correcciones del ajuste de combustible de largo alcance), lo que permite a la PCM corregir el ancho de pulso. La corrección permitida es de más o menos un 20%, pero los valores típicos oscilan entre más o menos un 12%.

Los valores del LFT son un indicador que la PCM está percibiendo un problema en desarrollo (marcha lenta pobre o alta presión de combustible).

- SFT. (Short Fuel Trim), Ajuste de combustible a corto plazo, indica la compensación de combustible en la cámara de combustión que coloca la PCM de acuerdo al promedio de cambios de la señal del sensor de oxígeno. El valor medido se presenta en el flujo de datos como porcentaje positivo o negativo. El código continuo generado por la computadora es SFT1 y SFT2 (Short Fuel Trim correction = Corrección del ajuste de combustible corto).

Esta señal es la causante del cambio de rico a pobre, de los sensores de oxígeno. En muchos casos, el SFT estará entre más o menos 10%.

“Cuando ocurre un cambio de carga extrema (fuerte aceleración), es común tener un ajuste de corta duración de más o menos 25%. Durante una aceleración a fondo, el SFT se irá a 0% mientras que el sistema de combustible está en lazo abierto.”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Cise Electrónica. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 6: Inyección Electrónica Avanzada, (pp. 7-8)

### a. Estrategia de la PCM, con los ajustes de combustible

En la Tabla 2.4 se encuentran los datos de fábrica del vehículo Chevrolet Aveo LS en ralentí con los voltajes de los sensores, el oxígeno y las revoluciones del motor, con los cuales la PCM trabaja para realizar los ajustes de combustible.

**Tabla 2.4:** Datos del vehículo Chevrolet Aveo LS de voltajes de sensores, oxígeno y revoluciones del motor

<b>RPM</b>	<b>800</b>	<b>800</b>	<b>810</b>	<b>800</b>	<b>810</b>	<b>800</b>	<b>810</b>	<b>800</b>	<b>800</b>
<b>TPS:(V)</b>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
<b>MAP:(V)</b>	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
<b>ECT:(V)</b>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<b>O<sub>2</sub></b>	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0
<b>INJ: (ms)</b>	2.9	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1
<b>LFTRIM: (%)</b>	+15	+15	+15	+15	+16	+16	+16	+17	+17

Fuente: Manual Aveo LS.

La mariposa se encuentra cerrada puesto que el voltaje del TPS (sensor de posición de la mariposa de aceleración) es siempre un valor bajo. En las RPM se confirma la condición de marcha mínima 800 RPM.

Se puede evaluar que la señal del sensor de oxígeno es baja indicando pobreza, lo cual debe presentar un elevado ajuste de combustible en condición de pobreza.

Evidentemente el ajuste de combustible está a largo plazo en + 15 y va aumentando lo que indica que la PCM está viendo al sensor de oxígeno funcionando, aunque marcando muy bajo.

Como dato adicional sería importante establecer si el sensor que le indica la carga del motor (sensor MAP) a la PCM se encuentra en valores



normales en este caso para marcha mínima el valor es de 1.3 V, lo que significa que es razonable este valor.

Nunca debe faltar la confirmación de la temperatura del motor que en este caso, aunque con voltaje se puede deducir una condición de alta temperatura, voltaje de 0.5 V. Si el motor estuviese frío este podría ser un detalle a tener en cuenta, pero en este caso debe estar caliente puesto que el ajuste de combustible ya empezó su trabajo y eso lo hace solo si el sensor de oxígeno ( $O_2$ ) está ciclando, condición que se logra si los gases de escape alcanzan condiciones de temperaturas altas.

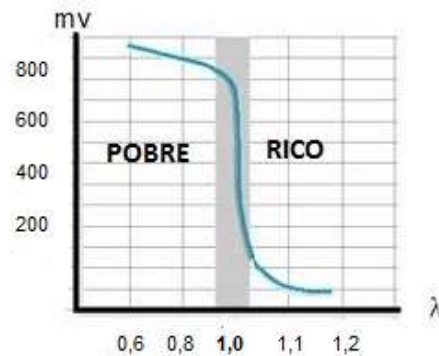
En estas condiciones, al notar la presencia de oxígeno en el escape, se debería revisar el sistema de encendido, alimentación incluyendo el trabajo de los inyectores para lograr una eficiente corrección del problema.

### **2.3.3 Voltajes de trabajo del sensor de oxígeno**

El sensor de oxígeno genera señales analógicas de 0 a 1 voltio, basándose en el concepto lambda (es el símbolo griego que los ingenieros usan para indicar la proporción de un número de otro). Para controlar el oxígeno y el combustible, lambda indica la cantidad estequiometría de aire.

El margen efectivo de la señal del sensor es de 0.1 a 0.9 voltios (100 a 900 milivoltios).

A una proporción de 14.7 de oxígeno y 1 de combustible como se mencionó anteriormente, es donde se combina la mayor cantidad de aire posible con el combustible; entonces lambda es igual a 1, dando la mezcla estequiometría, la cual se observa en la Figura 2.29.



Fuente: <http://www.mástercise.zapto.org/login.asp>

**Figura 2.29:** Proporción Lambda.

En mezcla pobre la proporción es de 15, 16, o 17 de oxígeno y 1 de combustible, lo que queda un exceso de oxígeno después de la combustión. La proporción Lambda de exceso de oxígeno es mayor que 1 y puede ser 1.03, 1.07, 1.15 o algún otro valor. Con una mezcla rica la cantidad de oxígeno es de 12, 13, 14,1, la proporción lambda es inferior a 1; puede ser 0.97, 0.93, 0.89, etc.

Cuando el contenido de oxígeno en el escape es bajo, existe una mezcla rica y el voltaje del sensor es alta (450 a 900 milivoltios). Cuando el contenido de oxígeno en el escape es elevado, existe una mezcla pobre y el voltaje en el sensor es baja (100 a 450 milivoltios).

El voltaje del sensor cambia con mayor rapidez, lo cual hace ideal para mantener una proporción estequiométrica. Además el sensor debe siempre de calentarse para poder realizar mediciones con el osciloscopio.

## 2.4 EL CATALIZADOR

Los catalizadores tienen la ventaja de efectuar una transformación química de los gases contaminantes en otros de menor daño para la salud, medio ambiente y sobre todo el calentamiento global, que hoy en

día, se busca otra alternativa de combustible que no sea derivado del petróleo.

“Cuando el gas de hidrocarburo (HC), monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOX) son calentados en oxígeno a 500 °C (932 °F) en el múltiple de admisión del motor, no hay prácticamente ninguna reacción química entre estos gases. Sin embargo, cuando pasan por un catalizador, ocurre una reacción química y estos gases son convertidos en compuestos inofensivos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y nitrógeno (N<sub>2</sub>).”<sup>16</sup>

La producción de compuestos contaminantes en el motor depende principalmente de la relación aire-combustible. A medida que la mezcla se vuelve más rica en oxígeno, los productos que no sufrieron una combustión completa disminuyen y también la concentración de óxidos de nitrógeno.

En la Figura 2.30 se observa un esquema de los gases contaminantes catalizados.



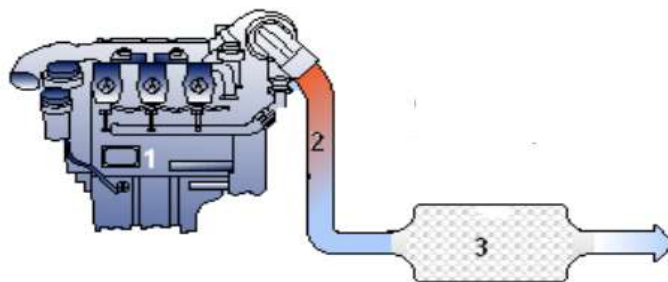
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.30:** Esquema de los gases catalizados.

<sup>16</sup> Stubblefield, M. y Haynes. (1996) J. Manual Haynes de Diagnostico de Inyección de Combustible. USA, Haynes Norte América. (pp. 4-19)

### 2.4.1 Esquema de posición del catalizador en el sistema de escape

Este elemento se ubica luego del múltiple de escape en la Figura 2.31, esto se debe básicamente a que para su buen funcionamiento el catalizador debe incrementar su temperatura y esto lo realiza ganando energía térmica de los mismos gases de escape.



Fuente: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1133/4/CAPITULO%20III.pdf>

**Figura 2.31:** Ubicación del catalizador en el sistema de escape.

Las partes del esquema son las siguientes:

1. Motor.
2. Gases de Escape.
3. Catalizador

### 2.4.2 Función del catalizador

“La función básica del catalizador es tratar de disminuir las imperfecciones de la combustión creando una segunda reacción química al interior de él, expulsando gases menos nocivos al medio ambiente. Para esto realiza dos procesos químicos denominados oxidación y reducción.”<sup>17</sup> Esto se logra puesto que el catalizador contiene una serie de compuestos químicos que permiten catalizar los productos de la combustión (gases

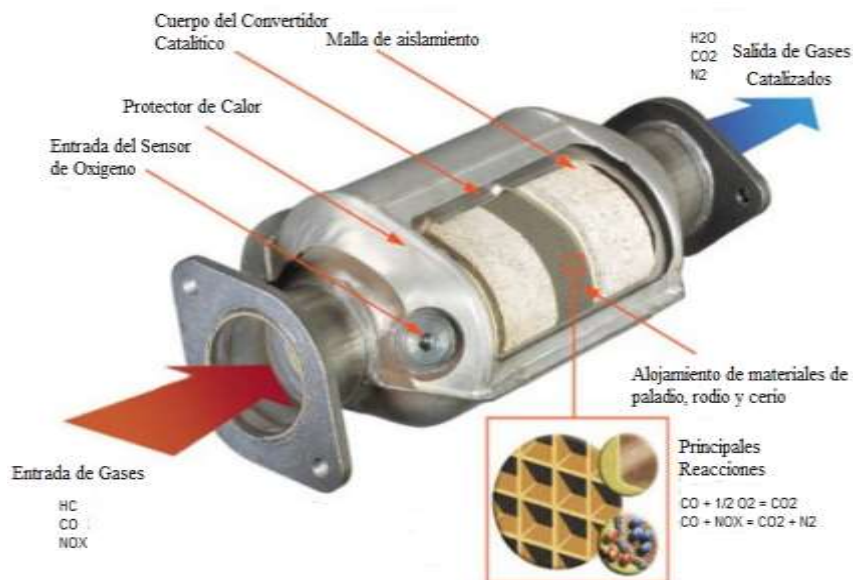
<sup>17</sup> Stubblefield, M. y Haynes. (1996) J. Manual Haynes de Diagnostico de Inyección de Combustible. USA, Haynes Norte América. (pp. 4-18)

nocivos) y con una reacción química controlada tener gases menos contaminantes que en el mejor de los casos serán CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>.

Los principales elementos para este fin son:

- PLATINO / PALADIO: Es un oxidador catalizante para el HC y el CO.
- RODIO: Es un catalizador reductor para el NOX.
- CERIO: Promueve el almacenamiento de oxígeno, funciona como un red para atrapar el oxígeno en el escape para que puedan funcionar los otros procesos especialmente la Oxidación.

En la Figura 2.32 se observa los componentes del catalizador con sus principales reacciones químicas.

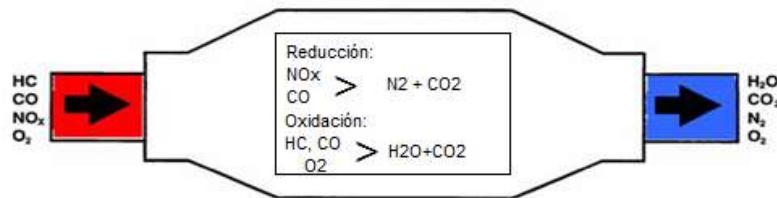


**Fuente:** <http://www.motorzoom.es/mundo-auto/articulo/catalizador>

**Figura 2.32:** Componentes del catalizador.

### a. Función de oxidación

Tiene como meta reaccionar los hidrocarburos, el monóxido de carbono y el gas de oxígeno, para tratar de llegar a dióxido de carbono y agua, dentro de este proceso se eleva la temperatura del componente acelerando aún más la reacción, como se muestra en la Figura 2.33. El Platino y el Paladio se encargan de reducir los Hidrocarburos y los Monóxidos de carbono en sustancias inocuas.



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.net/catalizadores.htm>

**Figura 2.33:** Función oxidación.

### b. Función de reducción

Básicamente busca descomponer el CO y el NOX dejando libres muchas moléculas de oxígeno.

La acción de reducción está localizada en el primer segmento del convertidor, esta usa platino y rodio para la reducción de los óxidos de nitrógeno. Cuando una molécula de óxido de nitrógeno hace contacto con el convertidor, este divide la molécula de nitrógeno en nitrógeno libre y oxígeno, el nitrógeno libre se une con otros átomos de nitrógeno formando N<sub>2</sub>.

El proceso puede ser usado en combinación de otras tecnologías de control de emisión de gases como filtros de partículas.

## 2.5 SISTEMAS DE DIAGNÓSTICO ABORDO

En la medida que los circuitos electrónicos, los sensores y las computadoras fueron integrados al automóvil, se hizo necesaria la función de sistemas de diagnóstico. Estos sistemas también electrónicos se pueden clasificar en dos categorías:

- Diagnóstico externo.
- Diagnóstico interno o de abordó.

En el diagnóstico externo se emplean instrumentos separados del vehículo en donde se corren rutinas de diagnóstico del vehículo.

El diagnóstico interno incorpora las pruebas en la computadora del auto (PCM).

El sistema de auto diagnóstico de abordó (OBD) cuenta con una luz piloto que se denomina "check engine" e informa al conductor que hay una falla y debe prestar atención.

Cuando se enciende la luz del tablero en un sistema con la norma OBD II, se puede conectar un scanner (herramienta electrónica) para leer el código de fallas y así poder reparar la falla en el vehículo. Para ello hay que concurrir a un taller especializado.

Al quedar solucionada la falla, la luz se apaga y el automóvil pasa a funcionar correctamente. Algunas fallas pueden derivar en una mala combustión y de allí mayor contaminación del ambiente, elevado consumo de combustible y daños a futuro en el vehículo.

### 2.5.1 Sistemas OBDI

Los sistemas de OBDI no son tan efectivos porque solamente monitorean algunos de los componentes relacionados con las emisiones y no son calibrados para un nivel específico de emisiones.

Los vehículos que tienen sistema OBDI, llevan una lámpara indicadora de mal funcionamiento llamada luz mil o chek engine, que se enciende como la imagen de un motor o encendiéndose la palabra service engine soon en el panel de control de las Figuras 2.34 y 2.35 respectivamente, para alertar al conductor sobre cualquier falla detectada.



Fuente: <http://www.paulsautoinc.com/information.html>

**Figura 2.34:** Luz Mil forma de un motor.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

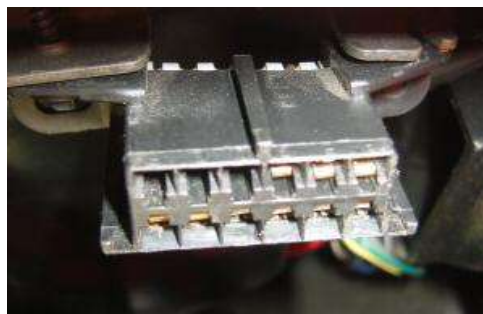
**Figura 2.35:** Luz Mil palabra service engine soon.

Los sistemas OBDI no detectan muchos problemas relacionados con las emisiones de gases, como fallas en el convertidor catalítico o fallas en la combustión y fallas en el encendido. Para cuando se detecte que un



componente realmente falla y la luz mil se ilumine, el vehículo puede estar produciendo emisiones excesivas por algún tiempo. Además esta luz no se enciende, ya que en algunos sistemas no están diseñados para detectar ciertas fallas.

En la Figura 2.36, se observa el tipo de conector OBDI que tiene la PCM en los vehículos.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.36:** Conector OBDI de la PCM.

### **2.5.2 Sistemas OBDII**

Es un sistema de diagnóstico electrónico integrado en el vehículo. Es capaz de monitorear funciones del motor y generar códigos de fallas, pudiendo tomar decisiones a través de todos los sensores, y en base a estas decisiones lograr controlar las emisiones contaminantes hacia la atmósfera, teniendo también un modo de conducción segura (consumo mínimo de combustible y a una velocidad máxima de unos 30 Km/h).

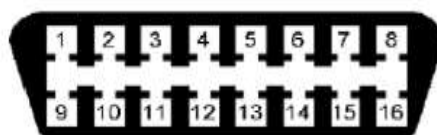
El sistema OBDII almacena una gran cantidad de códigos generales de problemas, junto con códigos específicos de los fabricantes como:

- Código B sistemas de la carrocería.
- Código C sistemas del chasis.

- Código U comunicaciones de la red.
- Código P sistemas del tren de potencia (motor y transmisión).

Monitorea el desempeño del sistema de emisión de gases y alerta al conductor si las emisiones exceden más de 1,5 veces lo aceptado por las normas de emisiones para un vehículo nuevo.

Tiene un conector de 16 pines como se muestra en la Figura 2.37.



Fuente: <http://www.autoocuprog.com/obd2/test/>

**Figura 2.37:** Conector OBDII de 16 pines.

La especificación de los pines está distribuida en la Tabla 2.6 de la siguiente manera:

**Tabla 2.5:** Distribución de pines del conector OBDII

PIN	USO
2	J1850 Bus +
4	Masa de Chasis
5	Masa de Señal
6	CAN High (J-2284)
7	ISO 9141-2 Línea K e ISO/DIS 14230-4
10	J1850 Bus
14	CAN Low (J-2284)
15	ISO 9141-2 Línea L e ISO/DIS 14230-4
16	Alimentación de Batería
1,3,8,9,11, 12,13	Reservados para uso específico del fabricante del vehículo

Fuente:

[https://cv2.sim.ucm.es/moodle/file.php/29017/Materiales\\_de\\_apoyo/Articulo\\_OBDII.pdf](https://cv2.sim.ucm.es/moodle/file.php/29017/Materiales_de_apoyo/Articulo_OBDII.pdf)

### 2.5.3 Código de falla (DTC)

El estándar SAE J2Q12 define un código de 5 dígitos en el cual cada dígito representa un valor predeterminado. Todos los códigos son presentados de igual forma para facilidad del mecánico. Algunos de estos son definidos por este estándar, y otros son reservados para uso de los fabricantes.

El código tiene el siguiente formato YXXXX. Ejemplo: P0308.

Donde:

- Y es el primer dígito, representa la función del vehículo:
  - P - Electrónica del Motor y Transmisión (Powertrain).
  - B - Carrocería (Body).
  - C - Chasis (Chassis).
  - U - No definido (Undefined).
- El **segundo dígito** indica la organización responsable de definir el código:
  - 0 - SAE (código común a todas las marcas).
  - 1 - El fabricante del vehículo (código diferente para distintas marcas).
- El **tercer dígito** representa una función específica del vehículo:
  - 0 - El sistema electrónico completo.
  - 1 y 2 - Control de aire y combustible.
  - 3 - Sistema de encendido.

4 - Control de emisión auxiliar.

5 - Control de velocidad y ralentí.

6 - ECU y entradas/salidas.

7 - Transmisión.

- El **cuarto** y **quinto dígito** están relacionados específicamente con la falla.

**P0308:** este código indica un problema en la electrónica del motor (P), definido por SAE (0), relacionado con el sistema de encendido (3), y falla en el cilindro # 8 (08).

## CAPÍTULO III

### SELECCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

#### 3.1 AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM318

El LM318 de la Figura 3.1, es un amplificador operacional de alta velocidad ya que por su ancho de banda (frecuencia de la curva senoidal) ayuda a comparar el voltaje del sensor de oxígeno que es de 0,1 hasta 0,9 voltios con el voltaje de referencia que es 0,48 voltios. Además los ajustes de combustible se realizan en el rango de microsegundos, lo cual el amplificador funciona en ese rango, teniendo una medición exacta de la señal del sensor de oxígeno, para que la computadora ajuste la mezcla trucada de aire- combustible.



Fuente: <http://www.techzonics.com/opamps-ics.htm>

**Figura 3.1:** Amplificador operacional LM318.

En la Tabla 3.1 se encuentra detallado las características del amplificador LM318.

**Tabla 3.1:** Características del amplificador operacional LM318

Características	Valor Específico	Valor Requerido	Unidades
Tensión de alimentación	20	12	V
Tensión de compensación	4 – 10	10	mV
Corriente de alimentación	5 – 10	8	mA
Ancho de banda	15	1	MHz

Fuente: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/linear/technology/lt0318s8.pdf>

### **3.2 SENSOR DE OXÍGENO DE ZIRCONIO COMÚN PARA EL MONITOREO DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE AVEO LS**

El sensor de oxígeno de zirconio común del Aveo LS de la Figura 3.2, es el más utilizado para monitorear el catalizador, debido a que a la salida del catalizador hay voltajes altos y este sensor los detecta fácilmente.

Si la señal oscila rangos altos o cambia de voltaje en los 450 mv, el catalizador no está funcionando, lo que quiere decir baja eficiencia del catalizador.



**Fuente:** Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 3.2:** Sensor de oxígeno de zirconio común Aveo LS.

Es de bajo mantenimiento, pero su costo varía de acuerdo al modelo del vehículo.

Su arnés no debe presentar oxidación y no puede estar roto, debido a que las terminales son muy sensibles, dando una señal baja de voltaje a la PCM, un control ineficiente de la salida de gases, generar código de falla y consumo alto de combustible.

Sus cables deben estar con protección para que no se dañen y tengan mayor vida útil.

Sus características se encuentran en la Tabla 3.2

**Tabla 3.2:** Características del sensor de oxígeno de zirconio común

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Vida del sensor	5 años
Rango de temperatura	350 °C
Rango de presión	5 bares
Rango operable señal	0.1 – 0.9 mV
Valor de frecuencia	<0.2 Hz

**Fuente:** <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1148/4/CAPITULO%20II.pdf>

### 3.3 DIODO ZENER 5V6

Es utilizado como un regulador de tensión a 5.6 V y 1/2 vatio, para alimentar la entrada positiva del amplificador operacional con 5.6 V y mantener la entrada inversora en 0.81 V, utilizando un divisor de tensión de 10 k (potenciómetro lineal), unido a una resistencia de 27 kΩ.

En la Figura 3.3 se puede observar el diodo zener 5V6.



**Fuente:** [www.sourcingmap.es/12w-56v-tubos-del-regulador-tension-axial-diodos-zener-p-151146.html](http://www.sourcingmap.es/12w-56v-tubos-del-regulador-tension-axial-diodos-zener-p-151146.html)

**Figura 3.3:** Diodo Zener 5V6.

Los diodos zener tienen polaridad. Si su conexión es errónea el circuito donde se va a utilizar el zener podrá cortocircuitarse.

Sus características se encuentran detalladas en la Tabla 3.3.

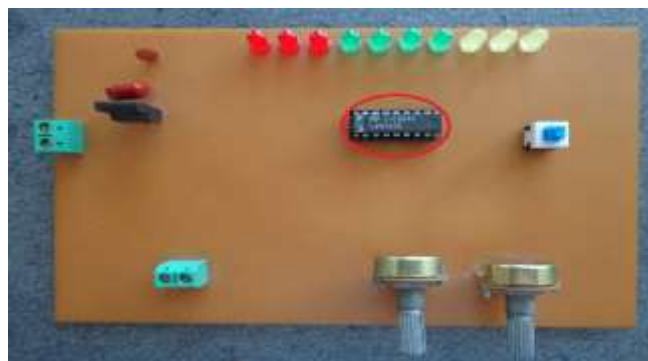
**Tabla 3.3:** Características del diodo zener 5V6

CARACTERÍSTICAS	VALORES
Temperatura ambiente	25 °C
Rango de temperatura	175 °C
Voltaje de regulación	5.6 V
Voltaje de saturación (Vz)	5.2 V - 6 V
Poder de disipación	500 Mw

**Fuente:** Catálogo de Diodos Zener BZX55C.

### 3.4 MEDIDOR DE LA RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE CON EL CIRCUITO INTEGRADO LM3914

LM3914 es un medidor gráfico de barras, proporcionando una indicación visual del nivel de señal de voltaje a la entrada del circuito. Tiene un voltaje máximo y mínimo el cual, se le puede variar, estableciendo una escala de voltajes con los leds conectados a este medidor. El circuito en baquelita de la Figura 3.4 es el medidor de aire – combustible con el LM3914, que básicamente es una cadena de detectores de diferentes tensiones de comparación; la salida suele estar constituida por diodos hasta de 10 leds para su visualización luminosa.



**Fuente:** Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 3.4:** Medidor aire – combustible con el LM3914.



Dispone de 18 pines, dispuestos en dos filas de 9, como es habitual en chips de este tamaño.

En la Figura 3.5 se encuentra el encapsulado del LM3914.



Fuente: <http://www.neoteo.com/lm3914-y-lm3915>

**Figura 3.5:** Encapsulado del LM3914.

Dos de ellos están destinados a la alimentación del integrado por lo que, el pin número 2 deberá conectarse al negativo de la fuente de alimentación y el pin 3 al positivo. La fuente debe entregar una tensión de corriente continua de entre 3 y 15 voltios.

El pin 1 es el que controla el primer led de la escala. Los demás leds deberán conectarse a los pines 18 al 10 (leds 2 al 10 respectivamente). Esta numeración, que a primera vista puede parecer extraña, tiene una importante razón de ser. Al estar distribuidos de esta manera, los leds se conectan a todos los pines de un mismo lado del integrado, con la excepción del led 1 que se conecta al pin 1.

El pin número 9 es el encargado de seleccionar el modo de funcionamiento del chip. En efecto, si se conecta este pin directamente a 0 V, el display formado por los leds funcionará en modo punto, mientras que si se conecta a +V funcionará en modo barra.

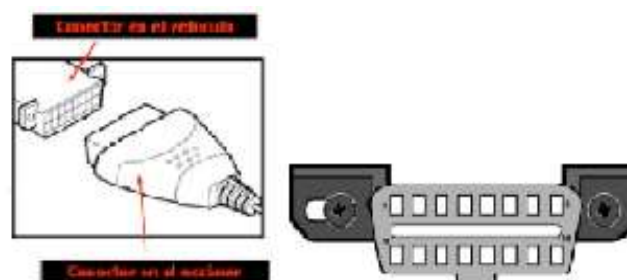
La corriente que circula por el pin 7 es la que determina el brillo de los leds. Un brillo adecuado se obtiene conectando una resistencia de unos 1200 ohmios entre este pin y 0 V.

El pin 8 es que se encarga de tomar la referencia de la escala. Mediante una resistencia conectada entre este pin y 0 V se puede correr la escala.

Los pines 4 y 6 son los extremos (bajo y alto respectivamente) del divisor. Por último, el pin número 5 es la entrada de la tensión a medir, la que será tratada internamente para decidir que leds se encienden y cuales deben permanecer apagados.

### 3.5 CONECTOR DE DIAGNÓSTICO OBDII

El conector de diagnóstico OBDII permite la conexión con la herramienta de diagnóstico (escáner). Este conector está estandarizado para permitir el uso del escáner original de la marca del vehículo, de un escáner alternativo o genérico. El conector está formado por 16 pines como se observa en la Figura 3.6.



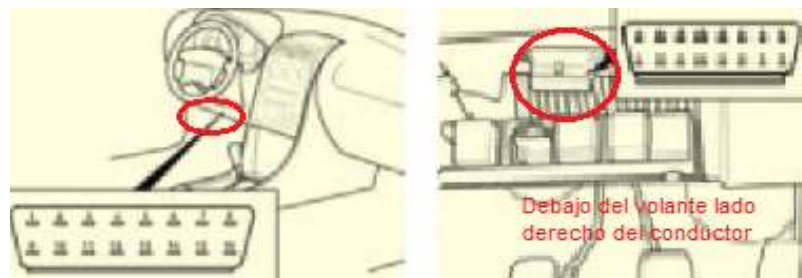
**Fuente:** Soporte magnético, Ing. Vicente Celani, Curso de Graduación 2007.<sup>18</sup>

**Figura 3.6:** Conector OBDII de 16 pines.

<sup>18</sup> Capítulo II: Descripción del Sistema  
<http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1142/5/CAPITULO%20II.pdf>

### 3.5.1 Ubicación del conector OBDII

Se requiere que el conector este ubicado en un lugar cerca del conductor. Esto es en un radio de 300 mm alrededor del centro del tablero de instrumentos. A continuación se muestra en la Figura 3.7 la ubicación del conector en el Chevrolet Aveo.



**Fuente:** Soporte magnético, Ing. Vicente Celani, Curso de Graduación 2007.

**Figura 3.7:** Ubicación del conector OBDII.

### 3.6 INTERFACE ELM327

La mayoría de las interfaces de ELM se hacen para intercambiar datos con un ordenador a 38400 baudios. Esta señal medida en baudios puede ser modificada. El aumento de la señal va a aumentar la reactividad de la interfaz (de 10 a 20%), que es útil cuando se trata de comprobar en variaciones rápidas (es decir, la evolución de las figuras de los sensores en el modo de gráfico del software).

En la Figura 3.8 se observa el tipo de interface con conexión bluetooth, la que permitirá cambiar datos simultáneamente, mediante un software instalado en la PC o en cualquier dispositivo con sistema Android.



**Fuente:** [www.obdobbii.com/elm-series-tool/elm327-wifi-wireless-obd2-interface](http://www.obdobbii.com/elm-series-tool/elm327-wifi-wireless-obd2-interface)

**Figura 3.8:** Interface ELM 327.

### 3.6.1 Ubicación de la interface ELM327

Es necesario que la interface ELM327 esté conectada al conector OBDII, ubicada en la parte inferior derecha del volante, como se muestra en la Figura 3.9.



**Fuente:** Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 3.9:** Conexión de la interface al conector de 16 pines.

Una vez conectada la interface, la posición de la llave debe estar en contacto, para que el dispositivo que visualiza la información logre conectarse con la interface vía bluetooth. Estos dispositivos pueden ser teléfonos o Tablets con sistema androide.

En la Figura 3.10 se muestra el programa TORQUE instalado en un dispositivo con sistema androide (Tablet).



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 3.10:** Mediciones con el programa TORQUE.

Vinculados los dos dispositivos, el programa TORQUE realiza las siguientes mediciones:

- ✓ Verifica en tiempo real las revoluciones, velocidad y consumo de gasolina.
- ✓ Lectura en voltajes del sensor 1 y sensor 2 de oxígeno.
- ✓ Lectura de la presión de combustible en Kilo Pascales.
- ✓ Lectura en porcentaje de remanentes de combustible.
- ✓ Lectura y borrado de los códigos de falla DTC.

### **3.7 ANALIZADOR DE GASES NEXTECH NGA-6000**

Tiene funciones para medir 4 gases (CO, HC, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>); indica patrones de muestra lambda, aire/combustible y cálculos de la relación.

La pantalla está compuesta de seis indicadores led brillantes y los resultados de la prueba pueden ser impresos por la impresora. Incluye el software de enlace a la PC para el análisis de datos y almacenamiento junto con la unidad principal.

Puede ser actualizado a la función de medir hasta cinco gases con solicitud previa.

En la Figura 3.11 se muestra el analizador de gases.



Fuente: [www.ingetalleres.com/index.php/control-de-emisiones/nextech-nga-6000](http://www.ingetalleres.com/index.php/control-de-emisiones/nextech-nga-6000)

**Figura 3.11:** Analizador de gases NEXTECH NGA-6000.

Sus características se encuentran detalladas en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4:** Características del analizador de gases NEXTECH NGA-6000

Rango de medición	CO	HC	O2	NOx
Resolución	0.00-9.99%	0-9999 o 20000 ppm	0.00-25.00%	0-5000 ppm
Visualización	0.01%	1 ppm	0.01%	1 ppm
Tiempo de respuesta	4 segundos	4 o 5 segundos	4 segundos	4 segundos
Peso	Cerca 6.9 kg	Fuente	AC 110 V 60 Hz	
Consumo de Energía	50 vatios	Temperatura de Operación	0 a 40 ° C	

Fuente: [www.ingetalleres.com/index.php/control-de-emisiones/nextech-nga-6000](http://www.ingetalleres.com/index.php/control-de-emisiones/nextech-nga-6000).

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS**

#### **4.1 DISEÑO DEL DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO**

##### **4.1.1 Diseño en el software Proteus**

Proteus es un simulador creado para usarse en circuitos electrónicos, teniendo así elementos puramente electrónicos, que permiten visualizar su funcionamiento. Se basa en símbolos eléctricos conocidos de forma universal, por lo tanto requiere cierto nivel de conocimientos previos para su uso.

Constituye dos partes distintas, una que sirve para dibujar el circuito y el otro para simular dicho circuito. Normalmente se debería simular un circuito antes de armarlo y pretender usarlo con el propósito de mejorarlo.

Se toma en cuenta que el diseño del circuito va a funcionar con la batería del automóvil, teniendo un voltaje de 14 V. Se analiza que la batería está sometida a diferentes fluctuaciones de voltaje y corriente (cargas eléctricas del alternador, aire acondicionado, radio, luces, etc.); para ello se utiliza el regulador de voltaje 7812, que consta de tres pines como se puede observar en la Figura 4.1, el pin de la izquierda es la entrada de voltaje que es de 14 V, el pin del medio está conectado a tierra y el pin de la derecha es el voltaje de salida estabilizado a 12 V, este voltaje no varía.

Cabe recalcar que los pines no deben estar doblados ni oxidados, puesto que se está trabajando con un voltaje alto para los materiales del circuito.



**Fuente:** [taller.tagabot.org/index.php/Arduino/Armada](http://taller.tagabot.org/index.php/Arduino/Armada)

**Figura 4.1:** Regulador de Voltaje 7812.

Con el voltaje estabilizado a 12 V, se selecciona la resistencia y el diodo zener con las ecuaciones 4.1 y 4.2, que determinarán la potencia, voltaje y corriente que alimentarán el amplificador operacional LM318, e irán conectados al pin 7.

$$P = I * V \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$V = I * R \quad \text{Ec. 4.2}$$

A continuación se realiza los cálculos para determinar la resistencia y diodo zener adecuado para la alimentación del amplificador operacional:

#### DIODO ZENER

Despejando la ecuación 4.1 se obtiene la ecuación 4.3. Donde los valores de potencia y voltaje están establecidos a 0.5 vatios y 5.6 V (Datasheet), para el diodo zener 5V6.

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. 4.3}$$

El valor de la corriente máxima que soportará el diodo es:



$$I = \frac{P}{V} = \frac{0.5}{5.6} = 0.089A$$

## RESISTENCIA

Se debe utilizar la intensidad de 0.089 A y el voltaje de 12 V para calcular la potencia de la resistencia con la ecuación 4.1.

$$P = I * V$$

$$P = 0.089 * 12 = 1,06 \text{vatios}$$

El valor de la potencia se estandariza de 1,06 vatios a 1 vatio, ya que facilitará al diseño del circuito.

Despejando la ecuación 4.2 se obtienen las ecuaciones 4.4 y 4.5

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Ec. 4.4}$$

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{Ec. 4.5}$$

Se utiliza la ecuación 4.4 para calcular el valor de la resistencia.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{12}{0.089} = 134,83\Omega$$

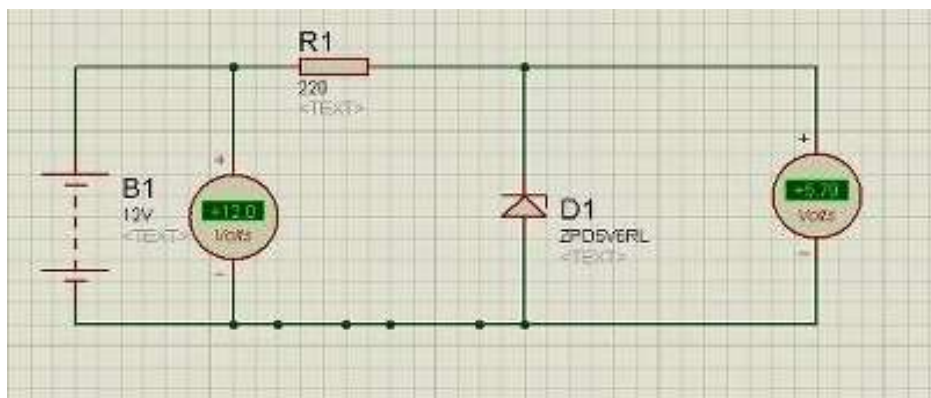
El valor de la resistencia de 134,83 $\Omega$  calculado, se estandariza a 150 ohmios, la cual soportará el voltaje de entrada de la batería.

Con la ecuación 4.5 se calcula el valor de la corriente.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{220} = 0.054A$$

El valor de la corriente de 0.054 A de la resistencia, no sobrepasa el valor de la corriente máxima que puede soportar el diodo zener (0.054 A < 0.089 A), esto quiere decir que, se debe utilizar la resistencia de 150  $\Omega$  y 1 vatio, y el diodo zener de 0.5 vatios y 5.6 V, para el diseño del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.

En la Figura 4.2 se observa cómo van conectados en el simulador proteus el diodo zener y la resistencia.

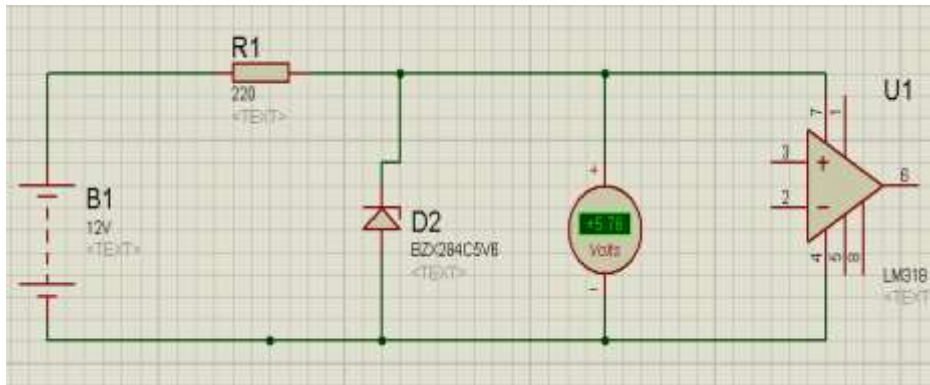


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.2:** Conexión del diodo zener y resistencia en proteus.

El siguiente paso es conectar la resistencia y el diodo zener a los pines del amplificador operacional.

El amplificador operacional LM318 está compuesto por 8 pines, el pin 7 es alimentado con 5.75 V (+), teniendo en cuenta que el diodo zener 5V6 regula a dicho voltaje; el pin 4 está alimentado al negativo de la batería (0 V) (-); por lo tanto, la alimentación de voltaje es asimétrica (voltaje de alimentación del pin 7 diferente al voltaje de alimentación del pin 4). En el pin 7 se encuentra un divisor de tensión que será comparado con el voltaje del pin 4 como se observa en la Figura 4.3.

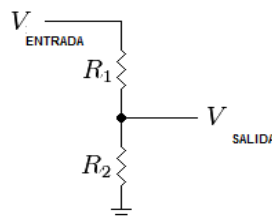


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.3:** Alimentación del pin 7 y 4 en proteus.

El pin 3 (entrada no inversora) va conectado a la señal del sensor de oxígeno que oscila entre 0 hasta 1 voltio.

El pin 2 (entrada inversora) está conectado aún divisor de tensión. Este divisor consta de un voltaje de entrada, un voltaje de salida y dos resistencias ( $R_1$  y  $R_2$ ), como se puede apreciar en la Figura 4.4.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.4:** Divisor de tensión.

El divisor de tensión está diseñado de la siguiente manera:

- Se asumirá las resistencia  $R_1 = 27 \text{ K}\Omega$  y  $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$  para el diseño.
- El voltaje de entrada = 5.75 V, este voltaje proporciona el diodo zener.
- El voltaje de salida es la incógnita a encontrar.

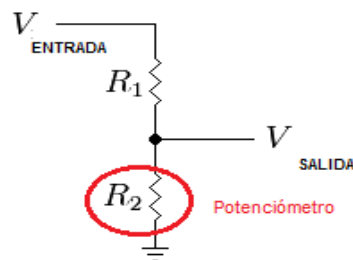
Se utilizará la ecuación 4.6 (ecuación del divisor de tensión), que es la siguiente:

$$V.\text{salida} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V.\text{entrada} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde el voltaje de salida es:

$$V.\text{salida} = \frac{10000}{27000 + 10000} * 5.75 = 1.55V$$

El voltaje de salida de 1.55 V variará con un potenciómetro y reemplazará a la resistencia R2, como se muestra en la Figura 4.5. El potenciómetro será de 10 KΩ igual que la resistencia.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.5:** Reemplazo de la resistencia R2 por el potenciómetro.

Para saber cuánto se debería variar el potenciómetro se necesita de la ecuación 4.7:

$$R\% = \frac{100\% * V.\text{salida}}{V.\text{entrada}} \quad \text{Ec. 4.7}$$

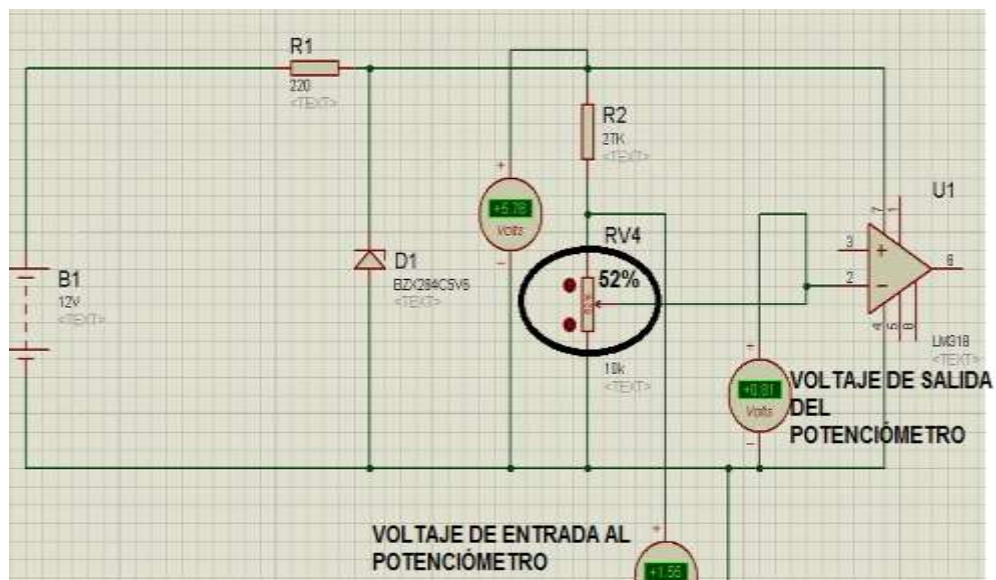
Donde:

- ✓ R%= variación en porcentaje del potenciómetro.
- ✓ V. salida= voltaje de salida del potenciómetro.
- ✓ V. entrada= voltaje de entrada del potenciómetro.

Utilizando un V. salida = 0.81 y V. entrada = 1.55, se calcula:

$$R\% = \frac{100\% * 0.81}{1.55} = 52.2\%$$

En la Figura 4.6 se encuentran los voltajes simulados que coinciden con los voltajes calculados, además se encuentra el voltaje de salida del potenciómetro conectado al pin 2 que será el voltaje de referencia, el cual se comparará con el voltaje del pin 3.

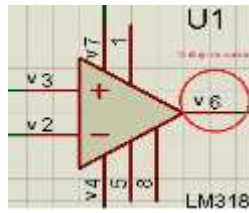


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.6:** Voltajes simulados del divisor de tensión en Proteus.

#### a. Voltaje de salida del amplificador operacional

Para calcular el voltaje de salida que se ubica en el pin 6 del amplificador operacional de la Figura 4.7, es necesario utilizar las ecuaciones 4.8 y 4.9:



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.7:** Voltaje de salida del amplificador operacional LM318.

$$V_{out} = A_o * (V_+ - V_-) \quad \text{Ec. 4.8}$$

Donde:

- ✓  $V_{out}$  = voltaje de salida del amplificador operacional ( $V_6$ ).
- ✓  $V_+$  = voltaje de señal al pin 3 ( $V_3$ ).
- ✓  $V_-$  = voltaje de referencia al pin 2 ( $V_2$ ).
- ✓  $A_o$  = Ganancia del amplificador operacional.

Reemplazando las variables de la ecuación 4.8, se obtiene la ecuación

4.9:

$$V_6 = A_o * (V_3 - V_2) \quad \text{Ec. 4.9}$$

Para calcular la ganancia ( $A_o$ ) se necesita la ecuación 4.10:

$$A_o = \frac{V_7}{V_4} \quad \text{Ec. 4.10}$$

Donde:

- ✓  $V_7$  = voltaje de alimentación al pin 7.
- ✓  $V_4$  = voltaje de alimentación al pin 4.

Los valores de voltaje del pin 7 y pin 4 permitirá calcular la ganancia, para posteriormente calcular el voltaje de salida.

Se realiza los cálculos de la siguiente manera:

1. Calcular la ganancia con los voltajes  $V_7$  y  $V_4$  que son 5.75 V y 0 V respectivamente. Se debe utilizar la ecuación 4.10 y se obtiene:

$$A_o = \frac{5.75}{0} = \infty$$

2. La ganancia calculada se reemplaza en la ecuación 4.9, obteniendo:

$$V_6 = \infty * (V_3 - V_2) = \infty$$

Se deduce que el voltaje  $V_6$  o de salida del amplificador operacional está saturado.

3. Analizar los voltajes de salida del amplificador y los voltajes de señal del sensor de oxígeno, esto quiere decir, que el voltaje de saturación negativo es 1.8 V y el voltaje de saturación positiva es 3.81 V.

En la Tabla 4.1 se observa que los voltajes de saturación no varían, estos dos valores de 1.8 V y 3.81 V, saturación negativa y positiva respectivamente, están medidos con el multímetro a la salida del pin 6, mientras que los voltajes de la señal del sensor de oxígeno varían de acuerdo a la temperatura del motor y debido a los voltajes de saturación.

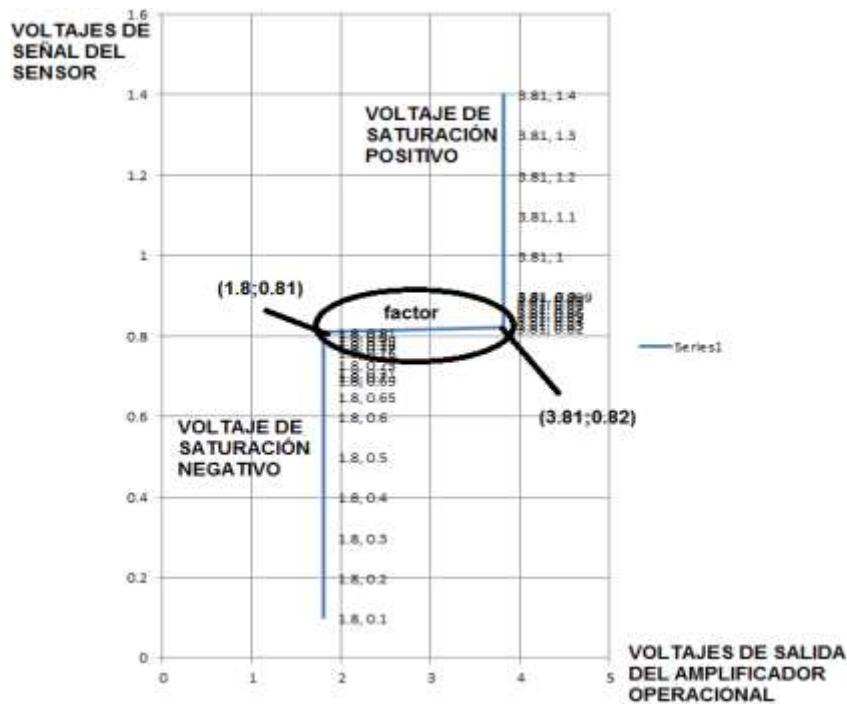
Debido a esta variación de voltajes del sensor de oxígeno se controla el pulso de inyección de combustible y por ende la reducción de los gases contaminantes.

**Tabla 4.1:** Voltajes de salida del amplificador y señal del sensor de oxígeno

V <sub>6</sub> (voltaje de salida del amplificador)	V <sub>3</sub> (señal del sensor de oxígeno)
1.8	0.1 – 0.8
3.81	0.81 – 1.4

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

4. Graficando los valores de la Tabla 4.1 se obtiene la gráfica del factor, conteniendo a dos puntos con valores de voltajes de salida del amplificador y de la señal del sensor de oxígeno, que permitirá calcular los voltajes de saturación positivo y negativo, para la demostración del correcto funcionamiento del dispositivo, como se indica en la Figura 4.8.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.8:** Gráfica del factor y voltajes.

5. Se calcula el valor del factor con la ecuación 4.11, que es la distancia entre dos puntos.



$$D = F = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad \text{Ec. 4.11}$$

Donde:

- ✓ F = Factor.
- ✓  $X_2$  = valor 2 de voltaje de salida del amplificador.
- ✓  $X_1$  = valor 1 de voltaje de salida del amplificador.
- ✓  $Y_2$  = valor 2 de voltaje de señal del sensor.
- ✓  $Y_1$  = valor 1 de voltaje de señal del sensor.

Escribiendo los datos de la Figura 4.8 se obtiene:

$$F = \sqrt{(3.81 - 1.8)^2 + (0.82 - 0.81)^2}$$

$$F = \sqrt{4.04} = 2V$$

6. Con las ecuaciones 4.12 y 4.13, se pueden calcular el voltaje de saturación positivo y voltaje de saturación negativo, respectivamente:

$$V_{\text{saturación}_+} = V_7 - F \quad \text{Ec. 4.12}$$

$$V_{\text{saturación}_-} = V_{\text{saturación}_+} - F \quad \text{Ec. 4.13}$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$V_{\text{saturación}_+} = 5.75 - 2 = 3.75V$$

$$V_{\text{saturación}_-} = 3.75 - 2 = 1.75V$$

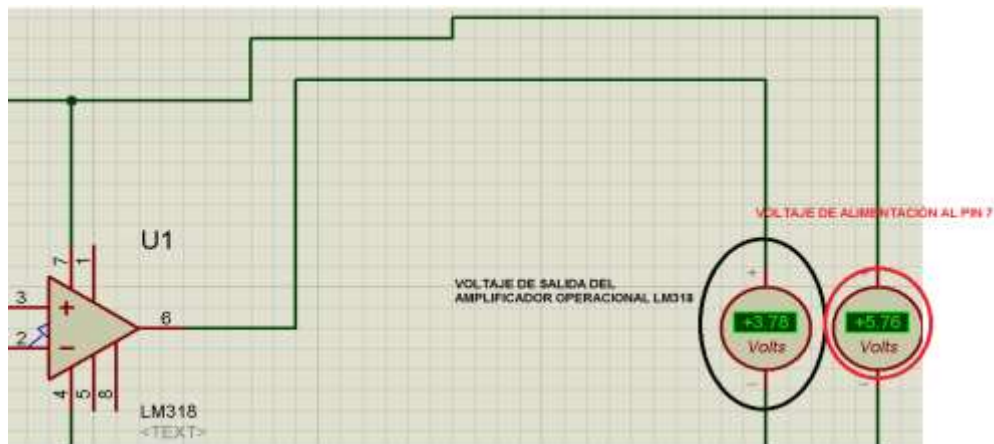
Existe una tolerancia de 0.05 en ambos voltajes de saturación; se compara los valores de la Tabla 4.1 con los valores calculados en la Tabla 4.2

**Tabla 4.2:** Comparación de voltajes de saturación positivo y negativo

Voltajes	Valores de la Tabla 4.1 en (V)	Valores calculados en (V)
Saturación positiva	1.8	3.75
Saturación negativa	3.81	1.75

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Figura 4.9 se encuentran el valor de voltaje de salida del amplificador operacional en el pin 6 y el voltaje de alimentación al pin 7.



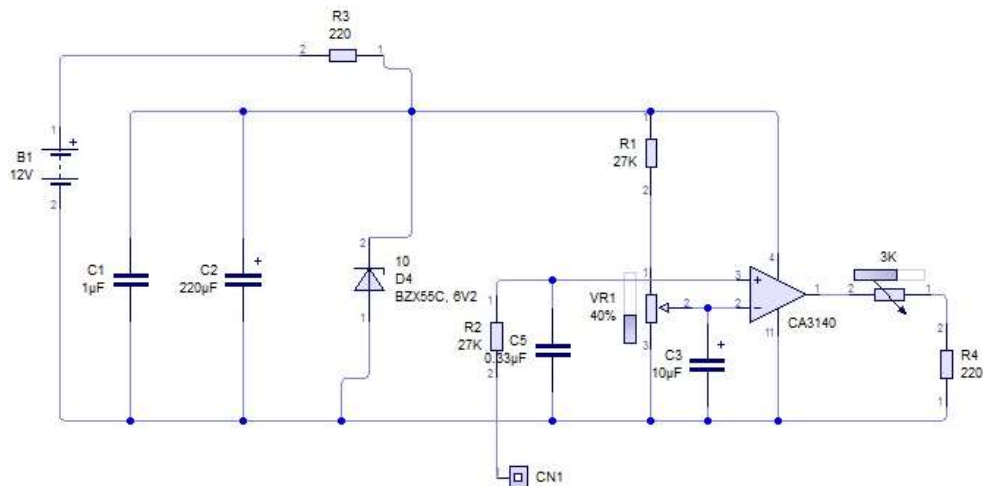
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.9:** Voltajes de salida del amplificador y alimentación al pin 7.

#### 4.1.2 Diseño del circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno en la placa de baquelita

Para realizar el diseño del dispositivo en la placa de baquelita, utilizar el programa PCB Wizard con los siguientes pasos:

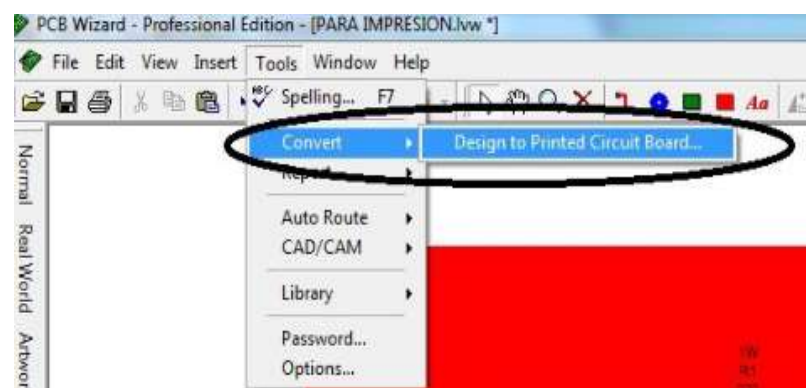
1. Realizar el diagrama del circuito en el programa PCB Wizard, como se muestra en la Figura 4.10.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.10:** Diagrama del circuito del amplificador operacional en PCB Wizard.

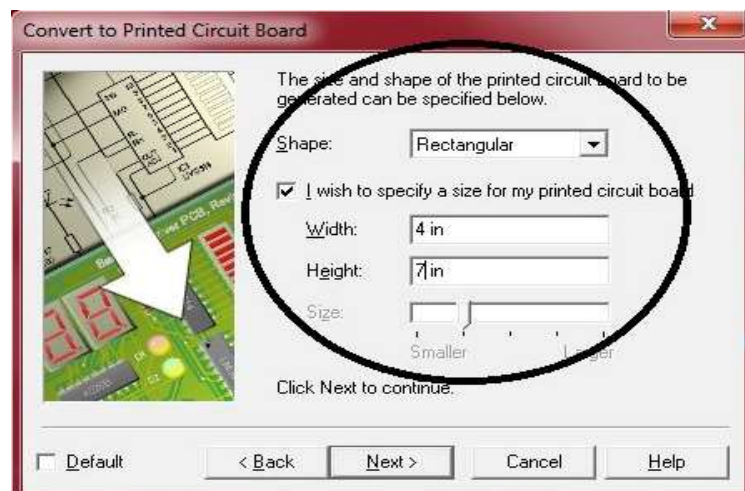
2. Dirigirse a la barra de herramientas (Tools), a continuación se da clic en convertir (Convert) y por último en diseño de la placa del circuito impreso (Design to Printed Circuit Board), observada en la Figura 4.11.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.11:** Opciones Tools, Convert y Design to Printed Circuit Board.

3. En el cuadro de diálogo seleccionar si (Yes), dar clic en siguiente (Next). Saldrá una ventana llamada diseño de la placa del circuito impreso (Convert to Printed Circuit Board), verificar que esté en forma rectangular (shape rectangular), ancho (width) 4 pulgadas y altura (height) 7 pulgadas, de la Figura 4.12. Seleccionar siguiente.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.12:** Opciones Shape, Width y Height.

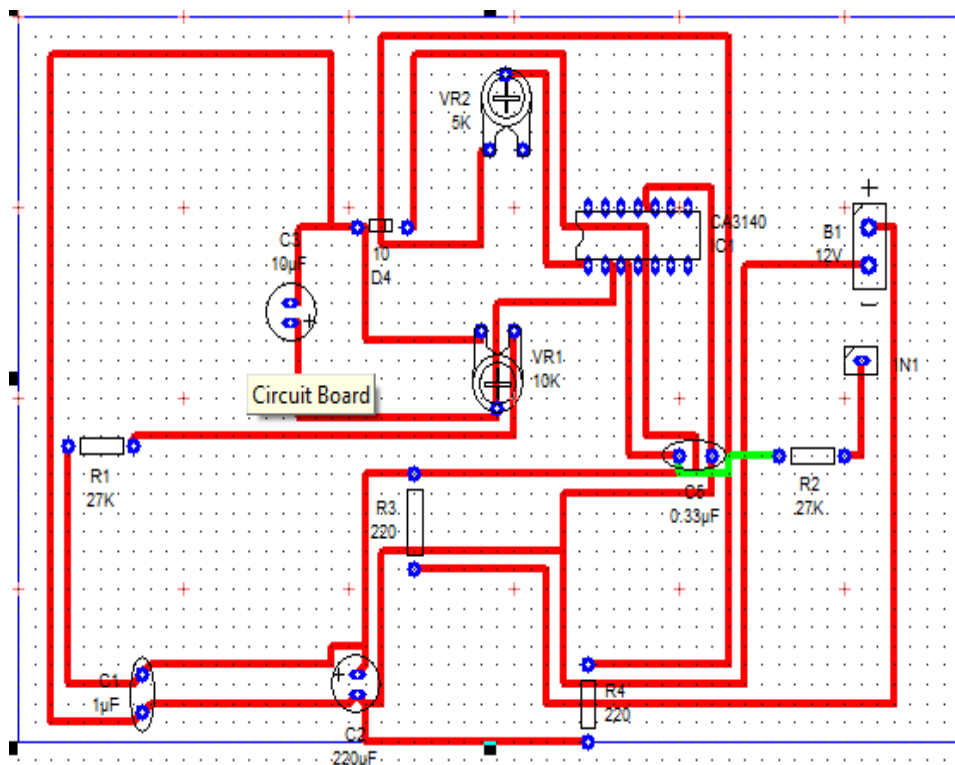
4. Verificar la opción tener en cuenta las posiciones de los símbolos (Take into account symbol positions) en el cuadro de diálogo de la Figura 4.13, dar clic en siguiente, y por último seleccionar la opción convertir (Convert).

Aparecerá el diagrama del circuito impreso del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno, como se muestra en la Figura 4.14.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 4.13: Opción posición de los símbolos.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

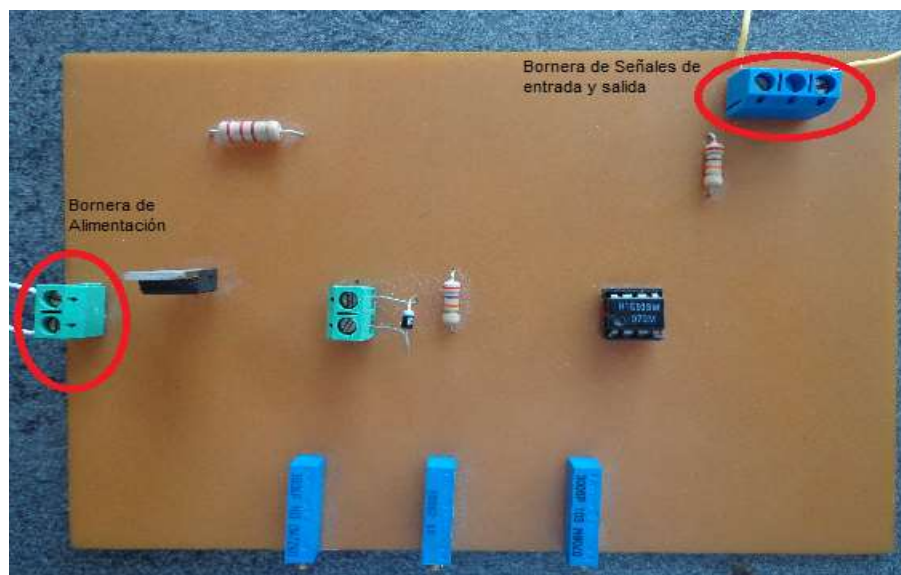
Figura 4.14: Diagrama del circuito impreso del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.

### 4.1.3 Construcción de la placa de baquelita del dispositivo

Para la construcción del diseño del circuito, utilizar la placa de baquelita, la soldadura de estaño y los siguientes componentes eléctricos:

1. Amplificador Operacional LM318.
2. Tres resistencias de 27 K $\Omega$  y dos de 220  $\Omega$ .
3. Regulador de voltaje 7812.
4. Dos borneras: una de las borneras se utilizará para señales de entrada y salida, y la otra para la alimentación mediante la batería.
5. Diodo Zener BZX28C45V6.
6. Tres potenciómetros lineales multivuelta.

En la Figura 4.15, se encuentra armado el circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio.

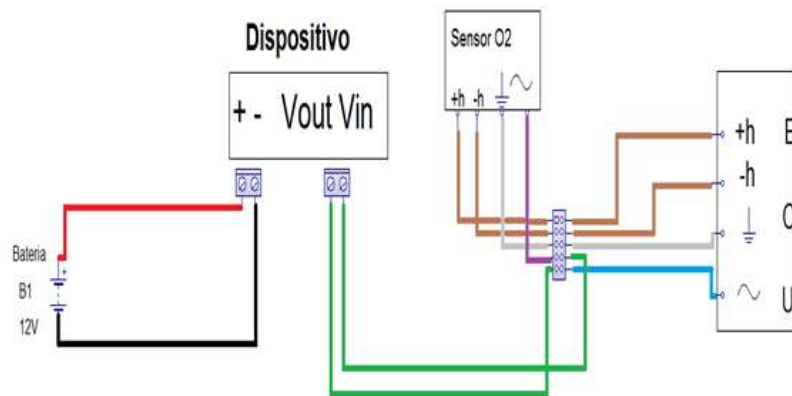


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.15:** Armado el circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.

#### 4.1.4 Diagrama de conexión del dispositivo al vehículo

En la Figura 4.16 se encuentra el diagrama de conexión del dispositivo al vehículo Chevrolet Aveo LS.





Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.16:** Diagrama de conexión del dispositivo al vehículo.

En la Tabla 4.3 se encuentra la descripción de la simbología del diagrama de conexión.

**Tabla 4.3:** Descripción de la simbología del diagrama

Símbolo	Descripción	Voltaje
+h	Calentador del sensor de oxígeno positivo	12 V
-h	Calentador del sensor de oxígeno negativo	-12 V
	Masa de sensores	0 V
	Señal del sensor	0.1-0.9 V

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

#### 4.1.5 Implementación del dispositivo en el vehículo de prueba

Para implementar el dispositivo en el vehículo utilizar cable de calibre 16 de colores rojo (+) y negro (-) para la conexión a los bornes de la batería.

Cable de calibre 14 de color verde para la conexión del sensor de oxígeno a las señales de entrada y salida del dispositivo

Para mayor protección de los cables se debe utilizar mangueras corrugadas, puesto que con el calor del múltiple de escape, motor, mangueras del radiador, los cables pueden dañarse y darán fallas al enviar señales.

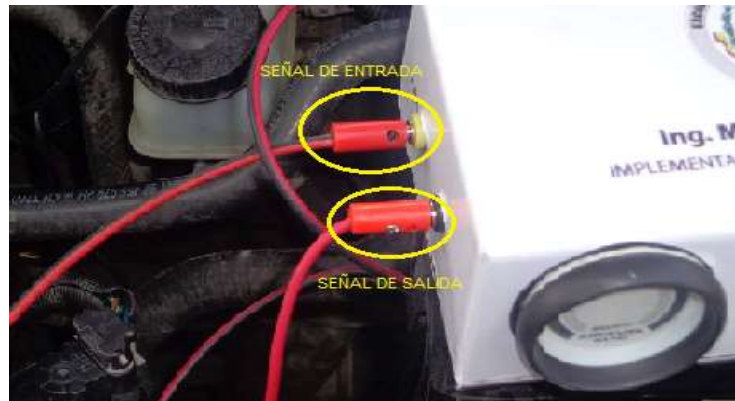
Se desconecta el socket del sensor de oxígeno, para que vaya conectado al borne de la señal de entrada del dispositivo, y el socket de la PCM se conecta al borne de la señal de salida del dispositivo para que la señal sea alterada, como se observan en las Figuras 4.17 y 4.18.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.17:** Conexión de cables al socket del sensor de oxígeno.





Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.18:** Conexión de cables a las señales de entrada y salida del dispositivo.

En la Figura 4.19 se visualiza como está conectado el dispositivo a la batería.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.19:** Conexión de cables a los bornes positivo y negativo de la batería.

Se debe agregar un interruptor, para que pueda manipular el usuario con facilidad el encendido y el apagado, mostrado en la Figura 4.20.



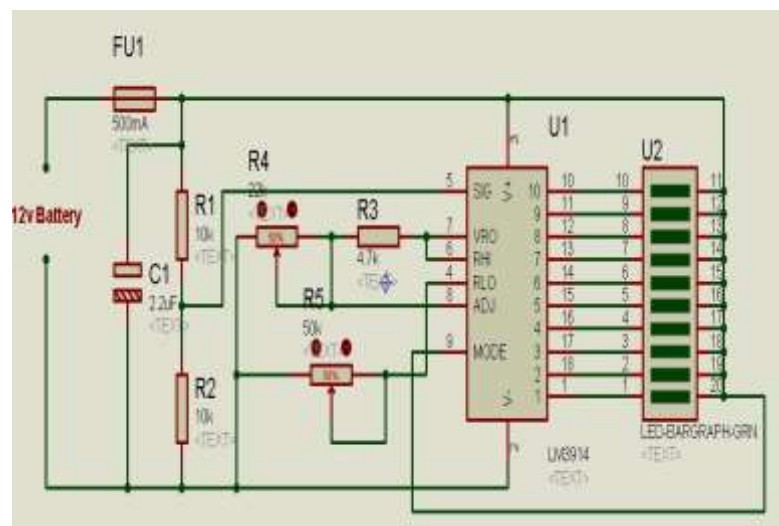
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.20:** Interruptor de encendido y apagado del dispositivo.

## 4.2 SIMULACIÓN DEL DISPOSITIVO QUE REALIZARÁ EL MONITOREO DE LA MEZCLA AIRE-COMBUSTIBLE (CATALIZADOR)

### 4.2.1 Simulación en el Software Proteus

El dispositivo que realizará el monitoreo del catalizador, se basa en el diagrama de conexión del LM3914, el cual mide el voltaje de la señal de salida del sensor, mostrado en la Figura 4.21.



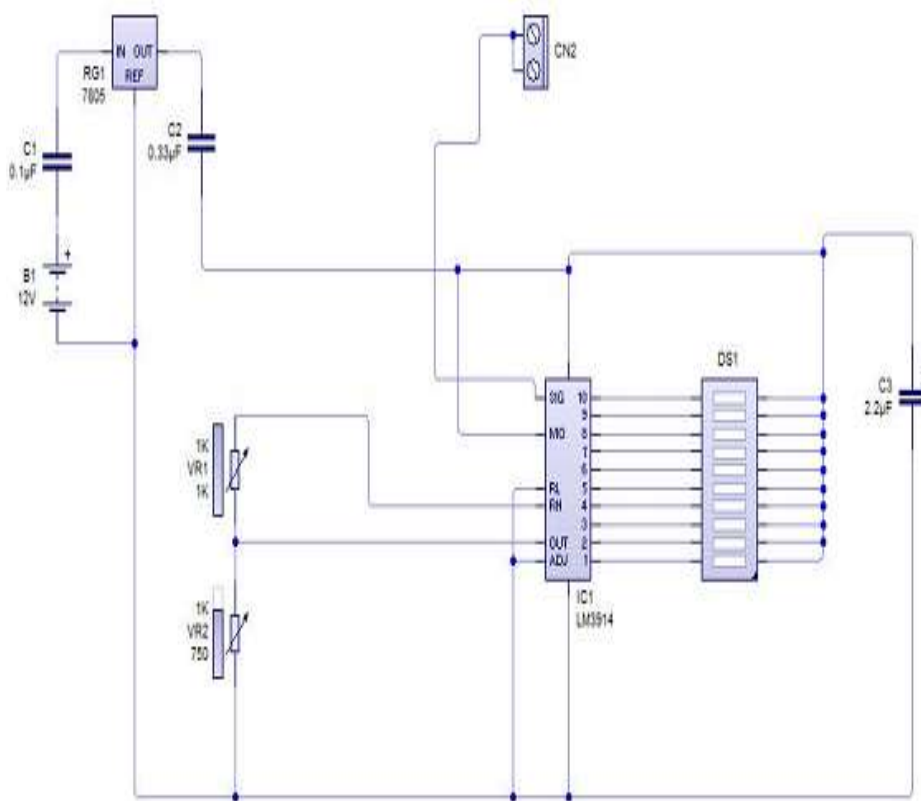
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.21:** Circuito del dispositivo monitorador del catalizador.

## 4.2.2 Diseño del circuito del dispositivo en la placa de baquelita

Para realizar el diseño de la placa de baquelita se utilizó el programa PCB Wizard con los siguientes pasos:

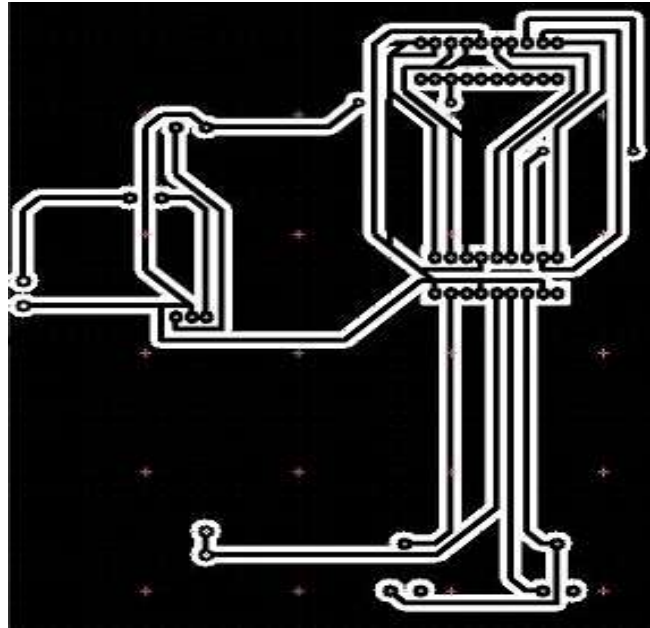
1. Realizar el diagrama del circuito en el programa PCB Wizard, como se muestra en la Figura 4.22.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.22:** Diagrama del circuito del medidor aire -combustible.

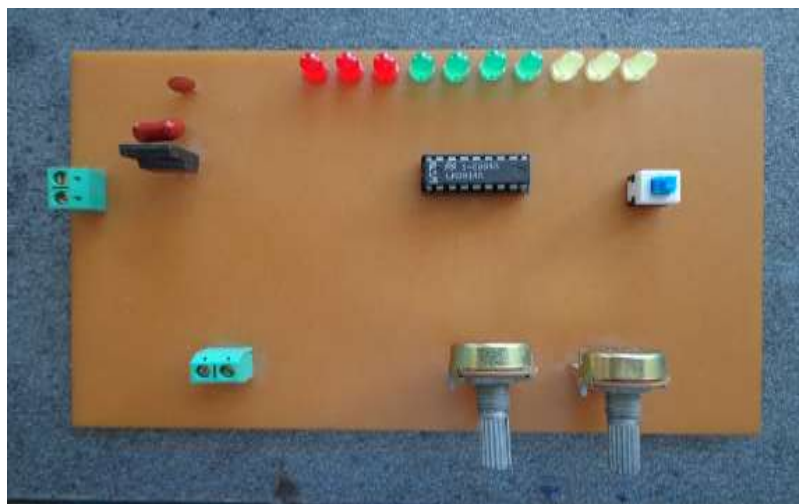
2. Se realiza los pasos mencionados anteriormente 2, 3 y 4 del diseño del circuito del dispositivo mejorador del sensor de oxígeno, para poder imprimir el circuito del medidor, mostrado en la Figura 4.23.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.23:** Diagrama del circuito impreso del medidor aire - combustible.

En la Figura 4.24 se muestra el dispositivo que realizará el monitoreo de la mezcla aire – combustible (catalizador).



Fuente: IH. & EJ.

**Figura 4.24:** Dispositivo que realizará el monitoreo de la mezcla aire – combustible (catalizador).

En la Figura 2.25 se observa al medidor de aire-combustible en un cilindro de aluminio.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 2.25:** Medidor aire – combustible en cilindro de aluminio.

#### **4.2.3 Implementación del Dispositivo de Monitoreo de la mezcla Aire - Combustible del Automóvil de prueba**

Para implementar el dispositivo en el vehículo se utilizó cable de calibre 15 de color rojo mostrado en la Figura 4.26, para la conexión al socket de la PCM. El medidor aire - combustible está diseñado de forma cilíndrica para que soporte condiciones de golpes, calor y deterioro como se observa en la Figura 4.27.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.26:** Conexión del dispositivo monitoreador al socket de la PCM.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.27:** Dispositivo de monitoreo de la mezcla aire – combustible (catalizador) de forma cilíndrica.

#### **4.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR AIRE – COMBUSTIBLE Y DISPOSITIVO MEJORADOR DEL SENSOR DE OXÍGENO AL VEHÍCULO AVEO LS**

Se debe implementar los dispositivos en una parte donde al conductor no le estorbe y sobre todo no le dificulte la visibilidad al conducir. En este caso se instaló en la guantera como se visualiza en la Figura 4.28.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 4.28:** Dispositivos implementados en la guantera del vehículo.

## CAPÍTULO V

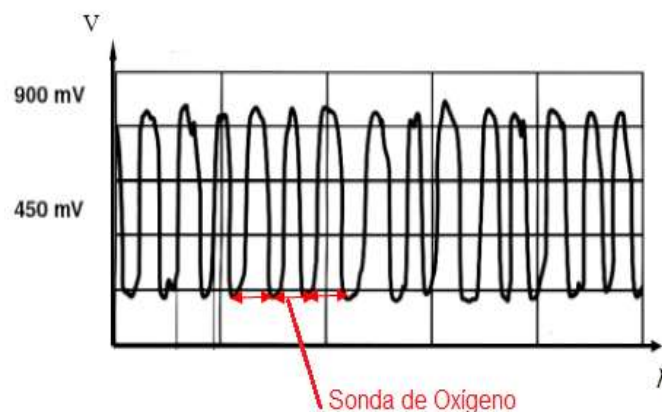
### INSTRUMENTACIÓN Y MEDICIONES

#### 5.1 OSCILOSCOPIO (OWON)

##### 5.1.1 Medición de la señal del sensor de oxígeno de zirconio

El sistema permanece en lazo abierto (cuando la PCM asume los valores de voltaje en condiciones normales de trabajo del sensor de oxígeno almacenados en su memoria) hasta que la sonda de oxígeno alcance un valor de temperatura adecuado ( $\approx 400^{\circ}\text{C}$ ).

Cuando alcanza la temperatura adecuada el lazo se cierra y la sonda de oxígeno del sensor envía una señal de voltaje, como se muestra en la Figura 5.1.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.1:** Sonda de oxígeno del sensor.

Mientras disminuye el tiempo de inyección el voltaje es menor a 450 mV (0.45 V) y la mezcla será pobre, mientras aumenta el tiempo de inyección

el voltaje es mayor a 450 mV. En la Figura 5.2 se observa el aumento y disminución de inyección medido con el osciloscopio.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.2:** Aumento y disminución de inyección medido con el osciloscopio.

En la Tabla 5.1 se muestra una mezcla rica que consume casi todo el oxígeno, por lo que la señal de tensión es alta, en el rango de 0.5 a 1.0 voltios y una mezcla pobre que tiene más oxígeno disponible después de la combustión de una mezcla rica, por lo que la señal de voltaje es baja, 0.45 a 0.1 voltios.

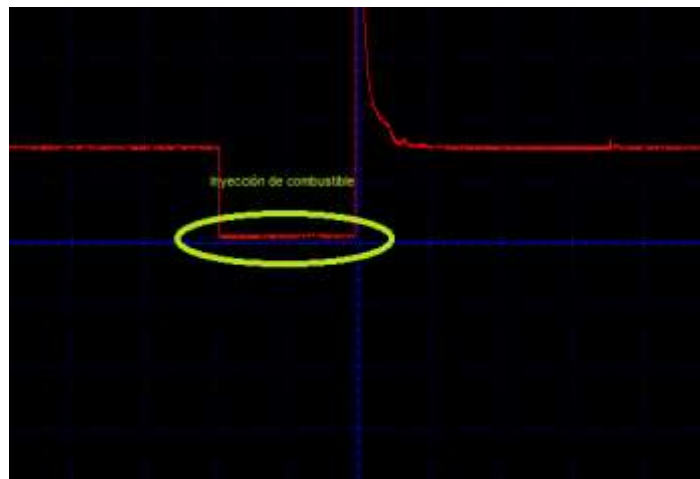
**Tabla 5.1:** Mezcla rica, mezcla pobre y consumo de oxígeno

Contenido de Oxígeno en Gases de Escape	Salida del Sensor de Oxígeno	Rangos de Voltaje (V)	La mezcla aire / combustible debe ser
Bajo	Alta, mayor a 0.45 V	0.5 – 1	Rica
Alta	Baja, menor a 0.45 V	0.45 – 0.1	Pobre

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.



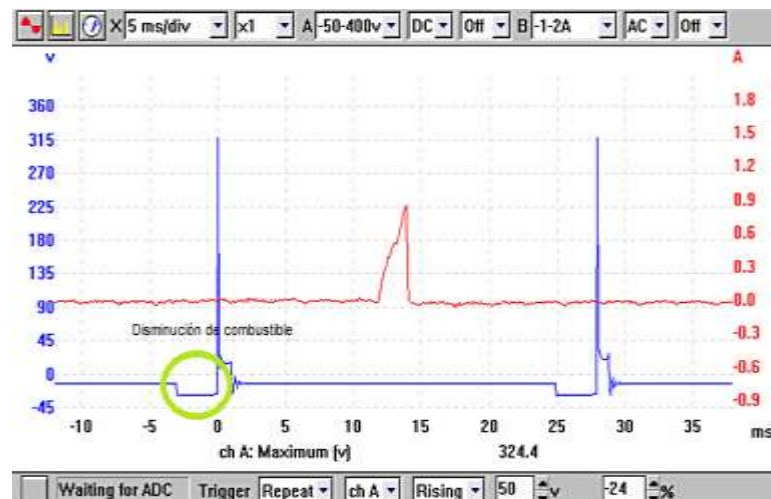
En mezcla pobre, el inyector trata de inyectar más combustible y realizar un ajuste de combustible de acuerdo a los voltajes del sensor, como se observa en la Figura 5.3



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 5.3: Aumento de inyección de combustible en mezcla pobre.

Mientras que en mezcla rica, inyecta menos combustible el inyector de acuerdo a los voltajes del sensor, como se observa en la Figura 5.4

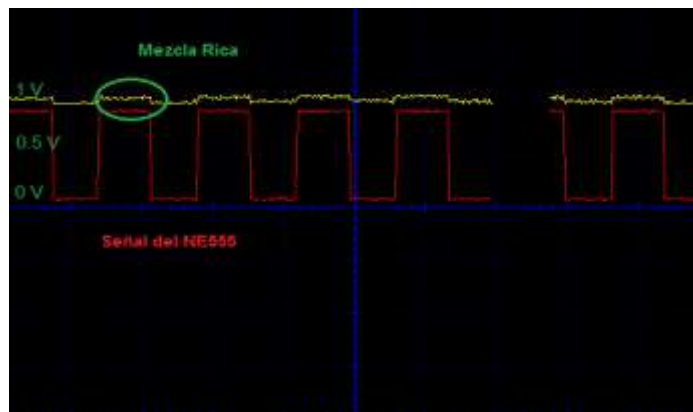


Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 5.4: Disminución de inyección de combustible en mezcla rica.

### 5.1.2 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla rica

En la Figura 5.5, el dispositivo mejorador modifica la señal del sensor de oxígeno (gráfica de color rojo); que puede ser manipulada entre 0 y 1 voltio; se manipula la señal a 1 voltio (grafica de color amarillo).



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.5:** Señal modificada 0 a 1 voltio.

Mientras el dispositivo mejorador varía la señal a mezcla rica, el medidor de aire – combustible se encuentra en rich (rico), observada en la Figura 5.6.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

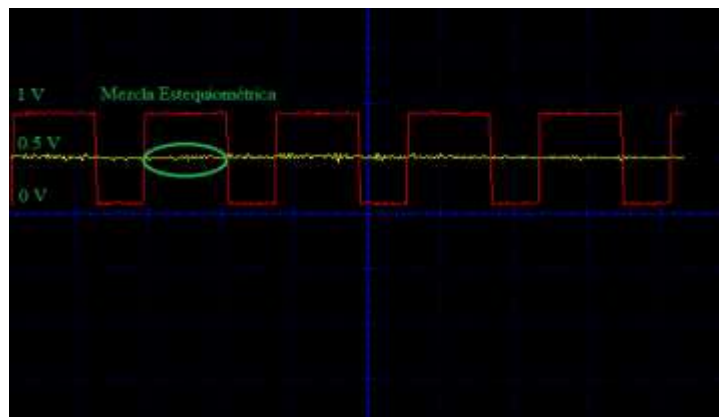
**Figura 5.6:** Medidor de aire – combustible en rico.

En mezcla rica con el dispositivo se analizó en el osciloscopio las siguientes características:

1. En voltajes mayores a 0.6 de la señal del sensor de oxígeno la mezcla no inflama con normalidad debido al aumento de aire.
2. Disminución de las rpm en voltaje igual 0.7, debido al incremento de  $O_2$ .
3. Mezcla demasiado rica mayores a 0.8 voltios, proporciona poca cantidad de combustible.
4. Voltajes iguales a 1 voltio el vehículo tiende apagarse, debido a la poca cantidad de combustible.

### 5.1.3 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla estequiométrica

En la Figura 5.7, el dispositivo mejorador modifica la señal del sensor de zirconio (señal cuadrada roja) que está oscilando entre 0.1 y 0.9 voltios a 0.5 voltios (señal amarilla continua), lo que significa mezcla estequiométrica (conducción normal del vehículo). Esta mezcla es la combustión total de 1 gramo de combustible con 14.7 gramos de aire.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.7:** Sensor de zirconio (mezcla estequiométrica).

El dispositivo mejorador estabiliza la señal a continua y el medidor de aire - combustible mide la mezcla estequiométrica real, observada en la Figura 5.8.



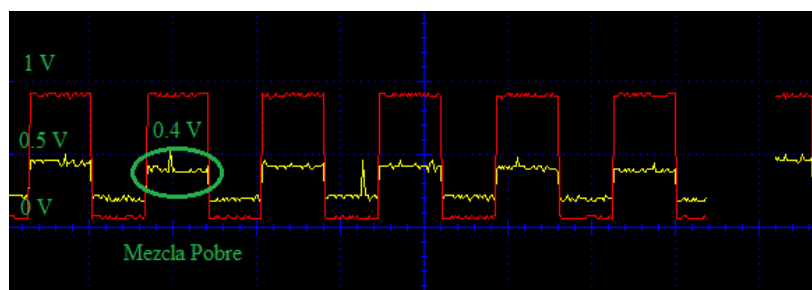
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.8:** Señal de la mezcla estequiométrica.

Es recomendable trabajar en este rango, ya que no existe pérdida de revoluciones en ralentí y las emisiones de gases disminuyen.

#### 5.1.4 Sensor de oxígeno con el dispositivo mejorador en condición de mezcla pobre

El dispositivo mejorador puede modificar a 0.4 V lo que significa que la mezcla estequiométrica cambiará a mezcla pobre, de la Figura 5.9.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.9:** Mezcla Pobre.

Mientras el dispositivo mejorador varía la señal a mezcla rica, el medidor de aire – combustible se encuentra en lean (pobre), observada en la Figura 5.10.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.10:** Medidor en lean (mezcla pobre).

En mezcla pobre se analizó con el osciloscopio las siguientes características:

1. De 0.45 hasta 0.35 voltios la señal del sensor de oxígeno, existe un aumento en las rpm con ligera pérdida de hidrocarburos.
2. Con una voltaje de 0.25 se produce una disminución considerable de hidrocarburos.
3. Voltaje en 0.1, salida de combustible a través del escape.
4. En 0.1 voltios consumo máximo de combustible, lo que el vehículo comienza ahogarse.

## **5.2 INTERFACE ELM327**

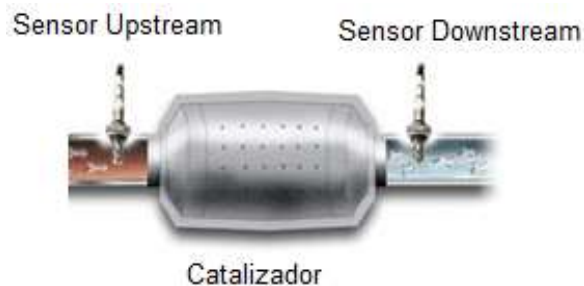
### **5.2.1 Monitoreo Continuo del catalizador**

El monitoreo del catalizador permitirá inspeccionar los valores de voltaje del segundo sensor de oxígeno que tiene como principio el monitoreo de los gases catalizados.

Para ello deben existir algunas condiciones específicas para realizar la prueba:

1. ECT (sensor de temperatura del refrigerante del motor) en normal funcionamiento.
2. IAT (sensor de temperatura de aire) trabajando con temperatura ambiente.
3. TPS (sensor de posición del acelerador) abertura parcial de la mariposa, dando señal de voltaje de 0.6 a 0.9 voltios en el cable de señal.

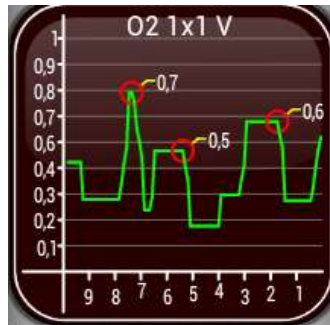
Una vez verificado los sensores se procede a realizar el monitoreo del catalizador, que consiste en monitorear dos sensores de oxígeno. Un sensor está ubicado antes del catalizador (upstream) y el otro ubicado después del catalizador (downstream). En la Figura 5.11 se muestra la ubicación de los sensores de oxígeno.



Fuente: [www.ngkntk.com.mx](http://www.ngkntk.com.mx)

**Figura 5.11:** Ubicación de los sensores de oxígeno en el catalizador.

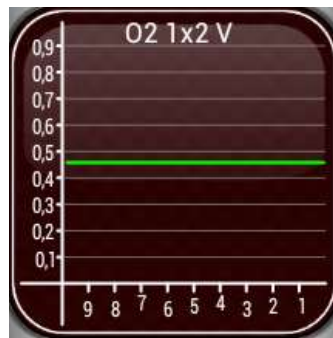
El primer sensor de oxígeno que se encuentra antes del catalizador oscilará desde 0.1 hasta 0.9 voltios medido con la interface ELM327, esto lo hace en condiciones normales de trabajo o en lazo cerrado, observado en la Figura 5.12



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.12:** Señal oscilante del primer sensor.

El segundo sensor de oxígeno que se encuentra después del catalizador deberá tener una señal continua y por encima de 0.45 voltios, observado en la Figura 5.13.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.13:** Señal continua del segundo sensor.

Como resultado se tiene que el catalizador está funcionando normalmente, ya que los dos sensores están monitoreados continuamente con sus valores de voltaje.

En la Tabla 5.2 se muestra los parámetros de normal funcionamiento del catalizador en ralentí medidos con la interface ELM327.

**Tabla 5.2:** Parámetros del funcionamiento del catalizador en ralentí

<b>Vehículo Aveo LS</b>	<b>Estándar</b>
IAT	28 – 25 °C
ECT	87 – 94 °C
TPS	0.6 – 0.9 voltios
O <sub>2</sub> (DELANTERO)	0.1 – 0.9 voltios
O <sub>2</sub> (TRASERO)	0.47 voltios
Tiempo de quemado del inyector	2.5 ms
HC	400 ppm
CO <sub>2</sub>	11.4%
O <sub>2</sub>	1.06%

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

### **5.3 ANALIZADOR DE GASES**

#### **5.3.1 Análisis de gases en ralentí sin el dispositivo**

Para el análisis referente a la emisión de gases generadas por un motor de 1400 cc de un vehículo Aveo LS, se considera utilizar el analizador de gases NGA 6000 NEXTECH, cuyas características se explicaron en el ítem 3.7, para que estos datos sean comparados con el dispositivo mejorador del sensor de oxígeno.

El analizador de gases NGA 6000 NEXTECH permite calcular de manera fiable y eficaz la concentración de Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Oxígeno (O<sub>2</sub>), Hidrocarburos (HC), Lambda ( $\lambda$ ) y la mezcla aire – combustible.

De este modo, se consigue regular el factor contaminante a 280 ppm, que en el proyecto el valor máximo de Hidrocarburos es de 400 ppm en ralentí y la mezcla aire – combustible en 15.1:1.



En la Figura 5.14 se observa los valores tomados del vehículo en ralentí por el analizador de gases. En la Tabla 5.3 se visualiza los datos de la emisión de gases del vehículo Aveo LS en ralentí.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.14:** Toma de datos con el analizador de gases en ralentí.

**Tabla 5.3:** Parámetros del funcionamiento del catalizador en ralentí

Vehículo Aveo LS	Datos Técnicos
Sensor de O <sub>2</sub>	0.1 – 0.9 voltios
HC	400 ppm
CO <sub>2</sub>	11.4%
O <sub>2</sub>	1.06%
CO	0.32%
Coeficiente Lambda ( $\lambda$ )	1.028
Mezcla aire - combustible	15.1
Tipo de mezcla	Estequiométrica

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

### 5.3.2 Análisis de gases en ralentí con el dispositivo mezcla rica

A continuación se presenta en la Figura 5.15 la condición mezcla rica en ralentí. En la Tabla 5.4 se muestra los datos de la emisión de gases del vehículo Aveo LS en condición mezcla rica en ralentí.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.15:** Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla rica en ralentí.

**Tabla 5.4:** Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla rica

Vehículo Aveo LS	Datos Técnicos
Sensor de O <sub>2</sub>	0.6 – 0.9 voltios
HC	1470 ppm
CO <sub>2</sub>	5.8%
O <sub>2</sub>	0.62%
CO	10%
Coefficiente Lambda ( $\lambda$ )	0.668
Mezcla aire - combustible	9.8
Tipo de mezcla con el dispositivo	Rica
Tipo de mezcla que opta la PCM	Pobre

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

### 5.3.3 Análisis de gases en ralentí con el dispositivo mezcla estequiométrica

En la Figura 5.16 se muestra la condición mezcla estequiométrica con el dispositivo en ralentí. La Tabla 5.5 muestra los datos de la emisión de gases del vehículo Aveo LS en condición mezcla estequiométrica en ralentí con el dispositivo.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.16:** Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla estequiométrica en ralentí.

**Tabla 5.5:** Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla estequiométrica

Vehículo Aveo LS	Datos Técnicos
Sensor de O <sub>2</sub>	0.4 – 0.6 voltios
HC	272 ppm
CO <sub>2</sub>	11.8%
O <sub>2</sub>	0.48%
CO	0.58%
Coficiente Lambda ( $\lambda$ )	0.993
Mezcla aire - combustible	14.5
Tipo de mezcla con el dispositivo	Estequiométrica
Tipo de mezcla que opta la PCM	Estequiométrica

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

### 5.3.4 Análisis de gases en ralentí con el dispositivo mezcla pobre

En la Figura 5.17 se muestra la condición mezcla pobre con el dispositivo en ralentí. En la Tabla 5.6 se observa los datos de la emisión de gases del vehículo Aveo LS en condición mezcla pobre en ralentí con el dispositivo.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.17:** Toma de datos con el analizador de gases y dispositivo en mezcla pobre en ralentí.

**Tabla 5.6:** Parámetros del funcionamiento del catalizador en mezcla pobre

Vehículo Aveo LS	Datos Técnicos
Sensor de O <sub>2</sub>	0.1 – 0.3 voltios
HC	1791 ppm
CO <sub>2</sub>	6.6%
O <sub>2</sub>	10.77%
Coefficiente Lambda ( $\lambda$ )	1.783
Mezcla aire - combustible	26.2
Tipo de mezcla con el dispositivo	Pobre
Tipo de mezcla que opta la PCM	Rica

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

### 5.3.5 Comparación de datos en mezclas rica, estequiométrica y pobre en ralentí

En la Tabla 5.7 se encuentran comparados los datos del analizador de gases, con lo que se demuestra la mejora del sensor de oxígeno de zirconio, convirtiéndolo en uno de banda ancha y modificando la emisión de gases contaminantes.

**Tabla 5.7:** Valores comparativos de la mezcla aire - combustible

Vehículo Aveo LS	Datos Técnicos			
	Rica	Estequiométrica	Pobre	Sin el Dispositivo
Sensor de O <sub>2</sub>	0.6 – 0.9 voltios	0.4 – 0.6 voltios	0.1 – 0.3 voltios	0.1 – 0.9 voltios
HC	1470 ppm	272 ppm	1791 ppm	400 ppm
CO <sub>2</sub>	5.8%	11.8%	6.6%	11.4%
O <sub>2</sub>	0.62%	0.48%	10.77%	1.06%
Coeficiente Lambda (λ)	0.668	0.993	1.783	1.028
Mezcla aire - combustible	9.8	14.5	26.2	15.1
Tipo de mezcla con el dispositivo	Rica	Estequiométrica	Pobre	—
Tipo de mezcla que opta la PCM	Pobre	—	Rica	Estequiométrica

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

El valor del Hidrocarburo con el dispositivo en mezcla estequiométrica es de 272 ppm (partes por millón), resultando así, menor al valor de 400 ppm sin el dispositivo (condiciones normales del vehículo), habiendo una diferencia de 128 ppm.

La mezcla aire – combustible está modificada a 14.5 partes de aire con 1 de combustible, mientras la mezcla sin el dispositivo es de 15.1. El coeficiente lambda del vehículo es de 1.028, y con el dispositivo varía a 0.993.

Esto quiere decir, si aumenta el coeficiente lambda con el dispositivo hasta 1 voltio, los hidrocarburos y el dióxido de carbono disminuirían, teniendo como resultado una variación de los gases contaminantes.

## 5.4 PRUEBAS DE CAMPO

### 5.4.1 Pruebas de desempeño en carretera

Para realizar las pruebas de carretera se tuvo en consideración los datos del fabricante del vehículo Chevrolet Aveo LS, que era de realizar las pruebas en lugares que existiera planicie, en la ciudad de Quito y Latacunga sectores de Calacalí y Aeropuerto respectivamente, a 2900 metros sobre el nivel del mar.

En la ciudad de Latacunga se realizó las pruebas con el dispositivo mostrado en la Figura 5.18



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.18:** Sector Aeropuerto de Latacunga con el dispositivo.

Se pondrá en consideración las pruebas a realizarse con el dispositivo, que serán comparadas en tablas y analizadas en curvas.

**Prueba N°1 en la Figura 5.19.**



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.19:** Prueba N° 1.

A 3650 RPM con una velocidad de 60 KM/H y con el dispositivo en mezcla pobre (voltaje 0.1 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 2.5 Gal/h, con una potencia de 30.1 Hp.

En la Tabla 5.8 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.19.

**Tabla 5.8:** Valores descritos de la Prueba N° 1

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	60	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	3650	RPM
Temperatura del refrigerante	86	° C
Posición absoluta acelerador	51.4	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.1	V
Litros por kilometro	12.7	L/100km
Flujo de combustible	2.5	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	342.5	g/km
Potencia	30.1	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Prueba N°2 en la Figura 5.20.**



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.20:** Prueba N° 2.



A 2516 RPM con una velocidad de 57 KM/H y con el dispositivo en mezcla pobre (voltaje 0.3 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 0.8 Gal/h, con una potencia de 8.1 Hp.

En la Tabla 5.9 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.20.

**Tabla 5.9:** Valores descritos de la Prueba N° 2

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	57	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	2516	RPM
Temperatura del refrigerante	87	° C
Posición absoluta acelerador	5.9	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.3	V
Litros por kilometro	12.3	L/100km
Flujo de combustible	0.8	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	339.2	g/km
Potencia	8.1	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.10 se visualiza la comparación de las pruebas 1 y 2 (mezcla pobre) con el dispositivo de revoluciones del motor, voltaje del sensor O<sub>2</sub>, velocidad del vehículo, flujo de combustible (caudal) y potencia.

**Tabla 5.10:** Comparación de las pruebas 1 y 2

Descripción	Prueba 1		Prueba 2	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Velocidad	60	KM/H	57	KM/H
Motor RPM	3650	RPM	2516	RPM
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.3	V	0.3	V
Flujo de combustible	2.5	Gal/h	0.8	Gal/h
Potencia	30.1	Hp	8.1	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Siendo el voltaje igual a 0.3 V (mezcla pobre) en las pruebas 1 y 2, el flujo de combustible y potencia a 3650 RPM tiene un aumento de 1.7 Gal/h y 22 Hp respectivamente. Por lo que en mezcla pobre se tiene un consumo excesivo de combustible, mayor cantidad de gases contaminantes y aumento en la potencia.

### Prueba N°3 en la Figura 5.21.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.21:** Prueba N° 3.

A 2078 RPM con una velocidad de 45 KM/H y con el dispositivo en mezcla rica (voltaje 1.1 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 1.2 Gal/h, con una potencia de 2.8 Hp.

En la Tabla 5.11 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.21.

**Tabla 5.11:** Valores descritos de la Prueba N° 3

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	45	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	2078	RPM
Temperatura del refrigerante	84	° C
Posición absoluta acelerador	16.9	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	1.1	V
Litros por kilometro	12.3	L/100km
Flujo de combustible	1.2	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	336.7	g/km
Potencia	2.8	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Prueba N°4 en la Figura 5.22.**



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.22:** Prueba N° 4.

A 2723 RPM con una velocidad de 64 KM/H y con el dispositivo en mezcla rica (voltaje 1.0 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 1.6 Gal/h, con una potencia de 4.6 Hp.

En la Tabla 5.12 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.22.

**Tabla 5.12:** Valores descritos de la Prueba N° 4

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	64	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	2723	RPM
Temperatura del refrigerante	86	° C
Posición absoluta acelerador	17.3	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	1.0	V
Litros por kilometro	12.3	L/100km
Flujo de combustible	1.6	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	337.1	g/km
Potencia	4.6	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.13 se visualiza la comparación de las pruebas 3 y 4 (mezcla rica) con el dispositivo de revoluciones del motor, voltaje del sensor O<sub>2</sub>, velocidad del vehículo, flujo de combustible (caudal) y potencia.

**Tabla 5.13:** Comparación de las pruebas 3 y 4

Descripción	Prueba 3		Prueba 4	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Velocidad	45	KM/H	64	KM/H
Motor RPM	2078	RPM	2723	RPM
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	1.1	V	1.0	V
Flujo de combustible	1.2	Gal/h	1.6	Gal/h
Potencia	2.8	Hp	4.6	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Teniendo una diferencia de voltaje de 0.1 V (mezcla rica) en las pruebas 3 y 4, el flujo de combustible y potencia a 2723 RPM tiene un aumento de 0.4 Gal/h y 1.8 Hp respectivamente. Por lo que en mezcla rica se tiene un mínimo consumo de combustible y mínima potencia.

**Prueba N°5 en la Figura 5.23.**



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.23:** Prueba N° 5.

A 2708 RPM con una velocidad de 60 KM/H y con el dispositivo en mezcla estequiométrica (voltaje 0.35 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 2.1 Gal/h, con una potencia de 13.1 Hp.

En la Tabla 5.14 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.23.

**Tabla 5.14:** Valores descritos de la Prueba N° 5

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	60	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	2708	RPM
Temperatura del refrigerante	85	° C
Posición absoluta acelerador	48.2	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.35	V
Litros por kilometro	12.3	L/100km
Flujo de combustible	2.1	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	338.2	g/km
Potencia	13.1	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Prueba N°6 en la Figura 5.24.**



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.24:** Prueba N° 6.

A 2468 RPM con una velocidad de 52 KM/H y con el dispositivo en mezcla estequiométrica (voltaje 0.4 V), el flujo de combustible (caudal) marca en el scanner 1.3 Gal/h, con una potencia de 7.5 Hp.

En la Tabla 5.15 se observa los valores tomados por el scanner (interface ELM327) de la Figura 5.24.

**Tabla 5.15:** Valores descritos de la Prueba N° 6

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	52	KM/H
Presión absoluta de admisión	-	PSI
Motor RPM	2468	RPM
Temperatura del refrigerante	85	° C
Posición absoluta acelerador	24.7	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.4	V
Litros por kilometro	12.1	L/100km
Flujo de combustible	1.3	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	333.9	g/km
Potencia	7.5	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.16 se visualiza la comparación de las pruebas 5 y 6 (mezcla estequiométrica) con el dispositivo de revoluciones del motor, voltaje del sensor O<sub>2</sub>, velocidad del vehículo, flujo de combustible (caudal) y potencia.

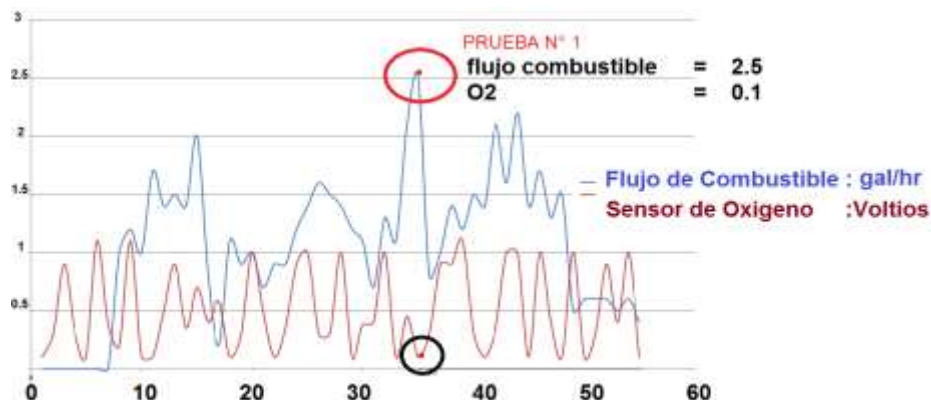
**Tabla 5.16:** Comparación de las pruebas 5 y 6

Descripción	Prueba 5		Prueba 6	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades
Velocidad	60	KM/H	52	KM/H
Motor RPM	2078	RPM	2468	RPM
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.35	V	0.4	V
Flujo de combustible	2.1	Gal/h	1.3	Gal/h
Potencia	13.1	Hp	7.5	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Teniendo una diferencia de voltaje de 0.05 V (mezcla estequiométrica) en las pruebas 5 y 6, el flujo de combustible y potencia a 2468 RPM tiene una disminución de 0.8 Gal/h y 5.6 Hp respectivamente. Por lo que en la mezcla estequiométrica se tiene un ahorro en el consumo de combustible y potencia normal.

En la Figura 5.25 se muestra la Prueba N° 1 que llega a la máxima potencia registrada, y también el mayor consumo de combustible medido en Gal/hora (caudal); el sensor de oxígeno se encuentra a 0.1 V, se puede visualizar además que los registros más altos se producen cuando el sensor de oxígeno está por encima de 0.7 voltios y por debajo de 0.1 voltio, y el mejor rendimiento se presenta en los puntos estequiométricos de 0.3 a 0.6 voltios.



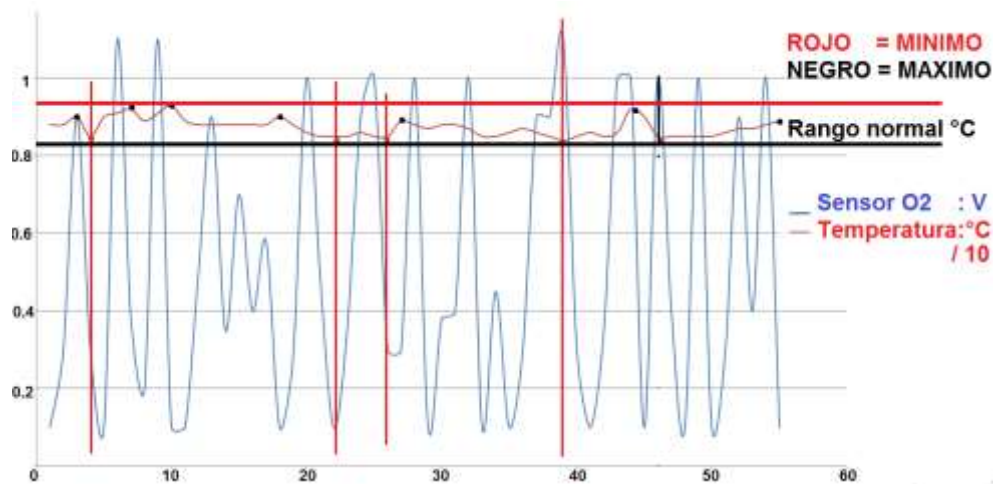
Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.25:** Análisis de la Prueba N° 1 en la gráfica de dispersión.

En la Figura 5.26 se puede observar el ciclo del sensor de oxígeno de las pruebas de campo realizadas, mezcla rica se considera cuando el voltaje está por encima de 0.6 V, mezcla pobre se considera por debajo de 0.35 V, a su vez la temperatura se mantiene en el rango normal de operación, de 85 a 95 grados centígrados, encontrándose el motor en perfecto funcionamiento. El eje x representa las pruebas; la escala se aumentó 10



veces para tener mejor visualización de las gráficas, el eje y representa las unidades de temperatura en °C (la escala se redujo 10 veces) y el sensor de oxígeno se encuentra medido en voltios.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.26:** Análisis de la curva de temperatura vs la curva del sensor de oxígeno.

En la ciudad de Quito sector Calacalí se realizó las pruebas sin el dispositivo (condiciones normales del vehículo) mostrado en la Figura 5.27; para poder comparar los valores obtenidos con y sin el dispositivo.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

**Figura 5.27:** Sector Calacalí (Quito) sin el dispositivo.

Prueba N°7 en la Figura 5.28.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 5.28: Prueba N° 7.

Sin el dispositivo el vehículo se encuentra a 2670 RPM; se verifica los datos escaneados con un voltaje de 0.7 (sensor O<sub>2</sub>), por la interface ELM327, en la Tabla 5.17.

Tabla 5.17: Valores descritos de la Prueba N° 7

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	59	KM/H
Presión absoluta de admisión	6.8	PSI
Motor RPM	2670	RPM
Temperatura del refrigerante	92	° C
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.7	V
Flujo de combustible	1.4	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	464.4	g/km
Potencia	12.8	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E

Prueba N°8 en la Figura 5.29.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 5.29: Prueba N° 8.

El vehículo se encuentra a 3447 RPM; se verifica los datos escaneados con un voltaje de 0.9 (sensor O<sub>2</sub>), por la interface ELM327, en la Tabla 5.18.

Tabla 5.18: Valores descritos de la Prueba N° 8

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	76	KM/H
Presión absoluta de admisión	10.4	PSI
Motor RPM	3447	RPM
Temperatura del refrigerante	91	° C
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.9	V
Flujo de combustible	2.6	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	464.4	g/km
Potencia	22.2	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Prueba N°9 en la Figura 5.30.



Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

Figura 5.30: Prueba N° 9.

El vehículo se encuentra a 2232 RPM; se verifica los datos escaneados con un voltaje de 0.6 (sensor O<sub>2</sub>), por la interface ELM327, en la Tabla 5.18.

Tabla 5.19: Valores descritos de la Prueba N° 9

Descripción	Valor	Unidades
Velocidad	50	KM/H
Presión absoluta de admisión	5.9	PSI
Motor RPM	2232	RPM
Temperatura del refrigerante	87	° C
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.6	V
Flujo de combustible	1.0	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	424.1	g/km
Potencia	14.3	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.20 se comparan los valores tomados por el scanner sin y con el dispositivo, que corresponde al número de prueba 5 con el dispositivo y el dato sin el dispositivo que corresponde al número de prueba 7.

**Tabla 5.20:** Tabla comparativa con y sin el dispositivo

Descripción	Valor	Valor	Unidades
	Sin el dispositivo	Con el dispositivo	
Velocidad	59	60	KPH
Presión absoluta de admisión	6.8	-	PSI
Motor RPM	2670	2708	RPM
Temperatura del refrigerante	92	85	° C
Posición absoluta acelerador	14.9	48.2	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.7	0.35	V
Litros por kilometro	15.5	12.3	L/100km
Flujo de combustible	1.4	2.1	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	464.4	338.2	g/km
Potencia	12.8	13.1	Hp

**Fuente:** Heredia I. – Jiménez E.

Se puede observar en la Tabla 5.20 que la potencia con el dispositivo es 13.1 HP, mientras sin el dispositivo aumenta a 12.8 HP; el flujo de combustible con el dispositivo es de 2.1 Gal/h, mientras sin el dispositivo se tiene 1.4 Gal/h (caudal); el dato más importante es el promedio de CO<sub>2</sub> que con el dispositivo es de 338.2 g/km, mientras sin el dispositivo aumenta a 464.4 g/km, corroborando lo explicado en teoría, se logra reducir menos gases contaminantes.

En la Tabla 5.21 se han analizado en condiciones similares el dato tomado con el dispositivo que corresponde al número de prueba 1 y el dato sin el dispositivo que corresponde al número de prueba 8.

**Tabla 5.21:** Tabla comparativa de las pruebas 1 y 8

Descripción	Valor	Valor	Unidades
	Sin el dispositivo	Con el dispositivo	
Velocidad	76	60	KM/H
Presión absoluta de admisión	10.4	-	PSI
Motor RPM	3447	3650	RPM
Temperatura del refrigerante	91	86	° C
Posición absoluta acelerador	94.5	51.4	%
Voltaje sensor O <sub>2</sub> , banco1, sensor 1	0.9	0.1	V
Litros por kilometro	15.3	12.7	L/100km
Flujo de combustible	2.6	2.5	Gal/h
Promedio de CO <sub>2</sub>	464.4	342.5	g/km
Potencia	22.2	30.1	Hp

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.21 se han comparado los datos del scanner que corresponde al número de prueba 1 y el dato sin el dispositivo que corresponde al número de prueba 8.

Se han elegido estos dos datos por tener la máxima potencia registrada, las condiciones de RPM, temperatura y flujo de combustible, existe una diferencia considerable de 7.9 HP, obteniendo más potencia con el dispositivo instalado, además se logra bajar las emisiones de CO<sub>2</sub> en 121.9 g/km.

Se realizó pruebas de campo en una superficie plana, debido a que se mostraba las mejores condiciones de terreno, no existían curvas, tampoco tráfico; no se ha realizado pruebas en pendientes, debido a que los datos no eran exactos por las diversas razones mencionadas anteriormente.

## 5.5 PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto que describe los costos de los elementos del dispositivo y del monitoreo del catalizador es el siguiente de la Tabla 5.22.

**Tabla 5.22:** Costos de los componentes del dispositivo y monitoreo del catalizador

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Amplificador Operacional LM318	3	6.00	18.00
Interface ELM327	1	50.00	50.00
Capacitores	4	0.50	2.00
Resistencias	4	0.25	1.00
Baqelita	3	10.00	30.00
Sensor de O <sub>2</sub>	1	180.00	180.00
Medidor aire – combustible LM3914	1	60.00	75.00
Soporte Tablet	1	20.00	20.00
Tablet Samsung	1	280.00	280.00
<b>TOTAL</b>			<b>USD 656.00</b>

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.

En la Tabla 5.23 se presenta el detalle de todos los gastos realizados en el diseño y construcción del dispositivo:

**Tabla 5.23:** Costo total del diseño y construcción del sistema

<b>COSTOS DIRECTOS</b>		<b>761.00</b>
Componentes del Dispositivo	656.00	
Software Proteus	5.00	
Edición de trabajo escrito	100.00	
<b>COSTOS IMPREVISTOS</b>		<b>300.00</b>
Transporte y desplazamiento	100.00	
Otros	200.00	
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>USD 1061.00</b>

Fuente: Heredia I. – Jiménez E.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

#### 6.1 CONCLUSIONES

Finalizando este trabajo de investigación, presentamos las siguientes conclusiones del dispositivo, a fin de que sean consideradas por quien utilice el presente como fuente de consulta.

- Se seleccionó los elementos eléctricos y electrónicos que permitieron la realización del trucaje electrónico de un vehículo de fabricación serie, mediante la elaboración de la placa electrónica, la misma que interactúa con la PCM del vehículo, modificando la mezcla del mismo y cumpliendo así con el objetivo del proyecto.
- Se estableció los rangos de operación en banda ancha para la señal del sensor de oxígeno desde 0.1 hasta 1 voltio, a través de un circuito electrónico para obtener mejoras en el ahorro de combustible y menor contaminación al medio ambiente.
- La PCM del vehículo ajusta la mezcla aire – combustible haciendo lo contrario que el sensor de oxígeno, es decir, si el sensor de oxígeno está en 0.1 V (mezcla pobre), el pulso de inyección aumentará al máximo, y si el sensor de oxígeno está en 1 V el pulso de inyección se reducirá al mínimo.
- Se obtuvo un monitoreo continuo del catalizador, sabiendo que, cuando el sensor de oxígeno que se encuentra detrás del catalizador debe estar emitiendo una señal de voltaje de 0.45 V, si

comienza a oscilar igual que el sensor de oxígeno delantero, el catalizador está trabajando en baja eficiencia y por ende existe un aumento de emisión de gases en un 50%.

- Se ha comprobado con la interface ELM327 y monitoreo con el programa TORQUE, cuando exista una aceleración brusca, en funcionamiento normal del motor, el sensor de oxígeno detecta mezcla rica máxima por 1 segundo; después se clava la señal en mínima, haciendo que trabaje en las zonas de mayor peligro para el medio ambiente. Con el dispositivo se ha logrado establecer un punto fijo al acelerar bruscamente, este no sube a los rangos de las zonas críticas, reduciendo notablemente las emisiones; que por el mal hábito del conductor se han convertido en costumbre acelerar al máximo.
- Los voltajes que utiliza el sensor de oxígeno varían desde 0.1 hasta 1 voltio; ajusta la mezcla dejando pobre y rica, con una frecuencia de 10 ciclos a 2500 rpm. Al trabajar al máximo (1 V) el valor de pulso de inyección está por debajo de 2.0 ms, la relación aire - combustible, sube hasta 25 unidades, emitiendo valores mayores a 1500 ppm de hidrocarburos siendo la normativa de la CORPAIRE referente a gases contaminantes en menos de 200 ppm. Al trabajar al mínimo (0.1 V) el valor del pulso de inyección subirá hasta 7ms provocando que el motor se ahogue, emitiendo valores cercanos a las 1000 ppm de hidrocarburos con una relación aire - combustible menor a 11 unidades.
- En la prueba realizada con el analizador de gases de la CORPAIRE se obtuvo 272 ppm de hidrocarburos con el dispositivo y 400 ppm de hidrocarburos sin el dispositivo, como resultado se tuvo una diferencia de 128 ppm (disminución en hidrocarburos).

- Se ha establecido después de varias pruebas con el analizador de gases en la CORPAIRE (Quito), que la mejor relación con el dispositivo se encuentra en 14,5 siendo menor a la relación ideal de 14.7.
- Se ha podido observar que cuando la mezcla se encuentra muy pobre, el motor emite un humo de color negro, y cuando la mezcla se encuentra muy rica, emite un humo color azul.
- El valor ideal de voltaje del sensor de oxígeno con el dispositivo es 0.45 voltios, se tiene un ahorro del 10 % en el caudal.
- Este proyecto es viable en vehículos de inyección electrónica a gasolina con protocolo de comunicaciones OBDII y que tenga como sonda Lambda un sensor de oxígeno de zirconio.
- Al implementar este sistema el usuario tendrá la posibilidad de reducir los gases contaminantes, y al conducir en ciudad ahorrar combustible en un 2.8 % por cada 100 km; además podrá cambiar a modo normal con un interruptor instalado en el dispositivo.
- La principal ventaja que tiene el dispositivo ocurre cuando un vehículo circula en una ciudad con alto tráfico, especialmente en horas pico, desplazándose a bajas velocidades y no necesita de la máxima potencia, estableciendo un rango de 0.45 V con el dispositivo para estas circunstancias.
- Los requerimientos de operación con el dispositivo son:
  - ✓ Sensor de Oxígeno en óptimas condiciones.
  - ✓ Sensor TPS en óptimas condiciones.
  - ✓ Válvula EGR en óptimas condiciones.
  - ✓ No exista entradas de aire al cuerpo de admisión.

- ✓ EVAP funcionando correctamente.
  - ✓ Conector de diagnóstico DLC de 16 pines.
  - ✓ No debe estar prendida la luz MIL.
- Un monitoreo continuo de los valores de voltaje del sensor de oxígeno y del catalizador mediante el software instalado en la Tablet, permitirá:
  - ✓ Incremento de la eficiencia del motor.
  - ✓ Incremento en la eficiencia del vehículo.
  - ✓ Limpieza de las emisiones.
  - ✓ Reducción de tiempos en diagnósticos, frente a los monitoreos no continuos.
- El costo de implementación es de 1061 dólares americanos incluido la mano de obra, los instrumentos de diagnóstico (Tablet e interface ELM327), cableado e instalación del dispositivo.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener cuidado con los niveles máximos del dispositivo (1.1 voltios), ya que hubiera cascabeleo del motor.
- Para un correcto funcionamiento se deberá tener en cuenta que un exceso de emisiones de hidrocarburos son las fallas de encendido que se producen debido a problemas de ignición, suministro de combustible o de aire. Dependiendo de la gravedad del fallo de encendido, la chispa adecuada o una mezcla no combustible (demasiado rica o demasiado pobre) harán que los hidrocarburos aumenten. Por ejemplo, un fallo de encendido del total debido a un cable de la bujía en corto hará que los hidrocarburos incrementen dramáticamente. Por el contrario, un fallo de encendido ligero

debido a un problema con el aire que entra al motor, puede causar un ligero incremento en los hidrocarburos.

- Se deberá trabajar con el dispositivo en los rangos de 0.3 a 0.6 voltios; no se deberá trabajar fuera de estos valores, ya que las emisiones de gases subirán.
- Al estar defectuoso el sensor de oxígeno, se deberá remplazarlo solamente con el original, ya que este afecta significativamente la señal que envía a la PCM.
- Se podría continuar esta investigación, por parte de la CORPAIRE, para analizar las causas de los óxidos de nitrógeno (NOx) y su mutua relación con la válvula EGR.
- No es posible implementar el dispositivo en vehículos cuando sus motores se encuentran desgastados y comienzan a consumir aceite y combustible en exceso, ya que este consumo se debe a fugas en aros, válvulas o desgaste de cilindros. Este dispositivo alargará la vida útil del motor cuando funcione en rangos estequiométricos 14.5, de modo preventivo de ninguna manera correctivo.
- Para su instalación se recomienda ubicarlo en un lugar en el que no afecte la visibilidad del conductor.
- Se debe utilizar gasolina Súper para tener una buena combustión y disminuir las emisiones de gases; el dispositivo bajará en un 10% los gases contaminantes.

## BIBLIOGRAFÍA

- STUBBLEFIELD, M. y HAYNES. (1996) J. Manual Haynes de Diagnóstico de Inyección de Combustible. USA, Haynes Norte América.
- MUHAMMAD, R. (2004) Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones. Tercera Edición, Pearson Educación, México.
- MALVINO, A. (2002) Principios de Electrónica. Sexta Edición, McGraw – Hill, España.
- BEGOÑA, M. B. (2010) Sensores en el Automóvil, Editorial DISA.
- CISE ELECTRÓNICA. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 1: Electricidad y Electrónica.
- CISE ELECTRÓNICA. (2011). Programa Master en Electrónica Automotriz, Lección 6: Inyección Electrónica Avanzada.
- COUGHLIN, R. F. (1993). Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales, Editorial Ellen Denning.
- BOSCH, Robert. (2005). Manual de la técnica del automóvil. Cuarta Edición española.
- ALONSO José M. (1996). Técnicas del automóvil, Editorial Paraninfo, Madrid.
- ALONSO José M. (1995). Tecnologías avanzadas del automóvil, Editorial Paraninfo, Madrid.

## NETGRAFÍA

- Descarga de tesis de grado “Diseño y construcción de un banco de pruebas para limpieza y comprobación de inyectores gasolina”. (2005). Recuperado el 14 de Abril del 2012 en [repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4192](http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/4192).
- Descarga de tesis de grado “Estudio y aplicación de un sistema de limpieza por vapor de agua saturada para el mantenimiento de catalizadores en los vehículos a gasolina”. (2009). Recuperado el 7 de Enero del 2013 en [repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2882/1/T-ESPEL-0633](http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2882/1/T-ESPEL-0633).
- Descarga de tesis de grado ““Diseño e Implementación de un módulo de entrenamiento para inyección electrónica a gasolina del vehículo Chevrolet Vitara G1600 del laboratorio de motores”. (2007). Recuperado el 7 de Enero del 2013 en [repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3202/1/T-ESPEL-0409.pdf](http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/3202/1/T-ESPEL-0409.pdf)
- Portal de descarga de catálogos para elementos de electrónica avanzada (1999). Recuperado el 8 de Mayo del 2012 en <http://www.bricogeek.com>
- Portal de descarga de cursos de sensores de oxígeno Beto Booster (2009). Recuperado el 10 de Diciembre del 2012 en <http://www.automecanico.com/auto2027/bbooster12>
- Portal de descarga de inyección electrónica Aveo (2009). Recuperado el 15 de Junio del 2013 en <http://es.scribd.com/doc/77382044/Sistema-Inyeccion-AVEO>

# **ANEXOS**





## ANEXO A: MANUAL DE USUARIO

Facultad de  
Ingeniería Automotriz



**Implementación de un dispositivo mejorador del sensor de oxígeno de zirconio común, para que trabaje en banda ancha y opere con un monitoreo continuo del catalizador.**

**Procedimiento:**

1. Colocar la llave en la posición On.



2. Verificar las luces indicadoras del tablero.



3. Verificar el led rojo de la interface ELM327, encendido en el conector OBDII.





4. Verificar el estado de conexión del software Torque instalado previamente en el dispositivo móvil Samsung Galaxy Tab.



5. Encender el vehículo y verificar el medidor de temperatura, en la mitad del indicador o esperar hasta que alcance la temperatura normal de funcionamiento del motor, el medidor de revoluciones se debe encontrar en 800 rpm.

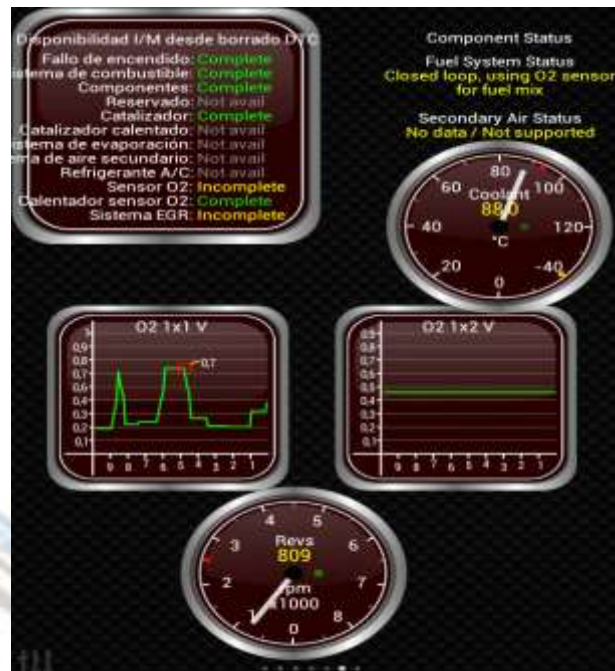


6. Abrir el compartimento de la guantera y encender el dispositivo mejorador. Verificar que el led este encendido.



7. Verificar el estado del sistema de inyección con los medidores en el software, la temperatura del refrigerante y los sensores de oxígeno.

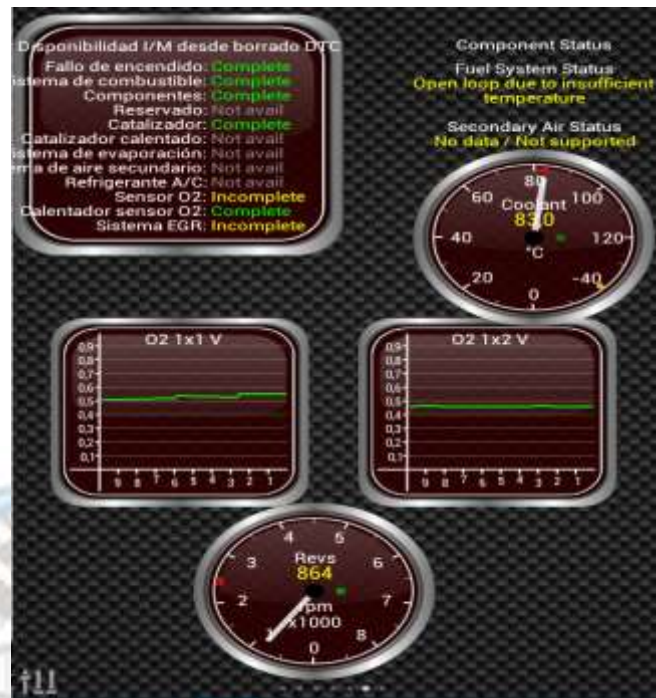
Los datos de voltaje del sensor de oxígeno 1 (upstream), será el que indique el comportamiento de la relación aire - combustible (rica o pobre), el dato de voltaje del sensor de oxígeno 2 (downstream) será el que indique el estado del catalizador, siempre tendrá que estar por encima de 0.45 voltios y jamás tendrá que oscilar como la señal del sensor de oxígeno 1. De hacerlo o no darse las condiciones aquí descritas el catalizador está en bajo rendimiento.



8. Para un rendimiento aceptable, disminuir los gases contaminantes y el consumo de combustible, la perilla izquierda deberá indicar el rango de color naranja desde 0.3 V hasta 0.6 V (monitoreado en el software TORQUE), la perilla derecha debe permanecer en el rango de color rojo. Para una mejor verificación el dispositivo cuenta con el medidor de aire – combustible, el cual indicará la mitad con un led color naranja (0.45 V), este es el mejor rango recomendado para el dispositivo.



9. Verificar los datos en el software TORQUE, el voltaje del sensor de oxígeno será de 0.45 a 0.6 voltios.



10. Para mejorar el rendimiento del motor, incrementando la emisión de gases contaminantes y el consumo de combustible, girando la perilla izquierda deberá indicar el rango de color rojo (0.3 V) el medidor de la relación aire - combustible.



11. Para reducir el consumo de combustible pero incrementando la emisión de gases contaminantes y con una disminución de rendimiento del motor, la perilla deberá estar en el rango verde (1 V), el medidor de la relación - aire combustible señalará un led verde.



12. Para poder utilizar la señal original del sensor de oxígeno, es decir, volver al funcionamiento de fábrica del vehículo, en el dispositivo se instaló un interruptor, este deberá estar puesto en la letra S (sensor).



13. Para apagar el dispositivo, se apagará el motor y el switch deberá estar en la posición de off.



14. Verificar en el software, la temperatura del refrigerante, la señal del sensor de oxígeno 1 deberá ser 0 voltios y las revoluciones estarán en 0 unidades.







## Operación programa Torque

1. En el menú ajustes daremos un touch, en bluetooth, para activarlo y presionaremos buscar. Para que la Tablet busque al dispositivo ELM 327 con el nombre de “CHX”.



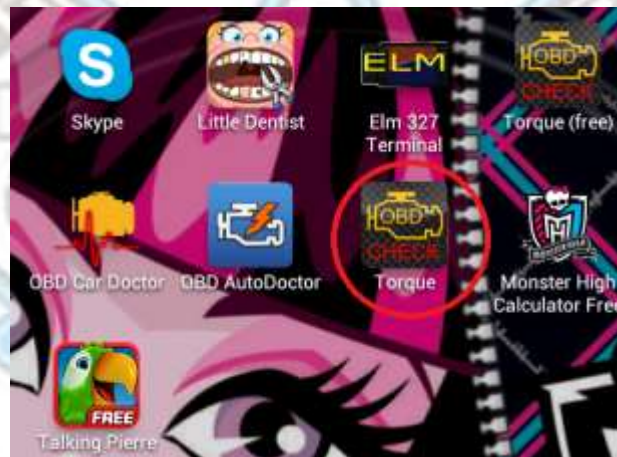
2. En este paso digitaremos el código pin de 4 números “6789” dado por el fabricante del dispositivo ELM 327.



3. Si el proceso ha sido completado con éxito en dispositivo aparecerá con la etiqueta de “VINCULADO”.



4. En la pantalla principal damos un touch en el programa “torque”.



5. Esta es la ventana principal del software torque, le damos un touch en “Real time Information”.





6. Esta imagen es la sub ventana “REALTIME INFORMATION”. El motor está apagado y marca sin datos.



7. Cuando encendemos el vehículo, inmediatamente vemos que el medidor de revoluciones comienza a registrar datos, es muy importante visualizar dicho medidor.



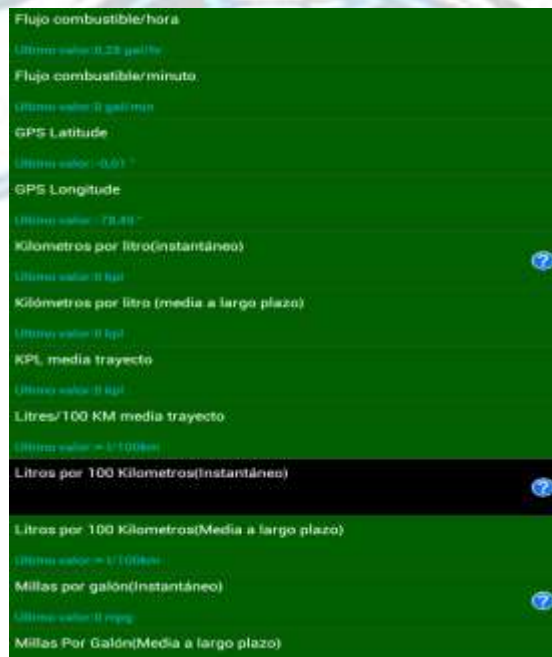
8. En otra vista del submenú “REALTIME INFORMATION”, se puede visualizar los datos monitoreados que realiza la PCM.



9. También se puede añadir otros medidores, para lo cual se tendrá presionado sobre la pantalla hasta que aparezca el siguiente mensaje.



10. Los ítems en color verde son los que están disponibles, por lo que se puede seleccionar uno solo a la vez.





11. Para poder analizar la mezcla aire - combustible, seleccionar “O<sub>2</sub> Voltaje Banco 1 sensor 1” y “O<sub>2</sub> Voltaje Banco 1 sensor 2”.



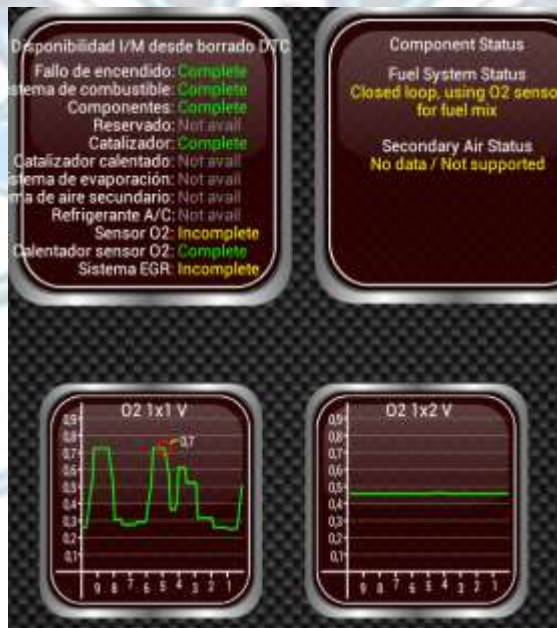
12. En la imagen se visualiza los datos del primer sensor de oxígeno.



13. En la imagen se visualiza los datos del segundo sensor de oxígeno.



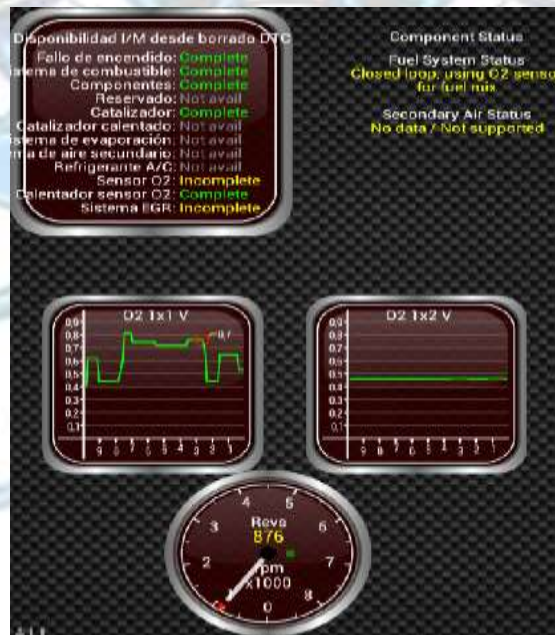
14. También en la imagen se añade el estado del sistema de inyección.



15. En la imagen se analiza el sistema de inyección electrónica en función de las rpm y de los sensores de oxígeno.



16. En la imagen se puede analizar el ciclado de la señal del sensor de oxígeno, su verificación de los puntos máximos y mínimos.



17. En la imagen se puede visualizar la temperatura de refrigerante del motor que es de 79 grados centígrados aproximadamente.



18. En la imagen se puede visualizar el ciclado del sensor de oxigeno, y la temperatura que señala en 85 grados centígrados.

