

**Universidad Internacional del Ecuador**



**Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz**

**Proyecto de grado para la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica  
Automotriz**

**Diseño de una caja de simulación de fallas para el sistema de control  
electrónico del motor G4ED Hyundai Accent**

**René Lautaro Ortiz Chérrez**

**Guayaquil, Septiembre de 2018**

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**CERTIFICADO**

**Ing. Edwin Puente Moromenacho**

**CERTIFICA**

Que el trabajo **“DISEÑO DE UNA CAJA DE SIMULACIÓN DE FALLAS PARA EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR G4ED HYUNDAI ACCENT”** realizado por el estudiante: Rene Lautaro Ortiz Chérrez ha sido guiado y revisado periódicamente, cumpliendo las normas estatutarias establecidas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el reglamento de estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, si recomiendo su publicación. Este trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza el señor: Benjamín Josué Cedeño Alvarado que lo entregue a la biblioteca de la facultad, en calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, septiembre de 2018

---

Ing. Edwin Puente

Docente de Catedra

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Rene Lautaro Ortiz Chérrez,

**DECLARO QUE:**

La investigación de cátedra denominada trabajo “**DISEÑO DE UNA CAJA DE SIMULACIÓN DE FALLAS PARA EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL MOTOR G4ED HYUNDAI ACCENT**” ha sido desarrollada con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría, apoyado en la guía constante de mi docente.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico para la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz.

Guayaquil, septiembre de 2018

---

Rene Lautaro Ortiz Chérrez

C.I.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación va de dicado primero a Dios por todas las bendiciones que ha derramado sobre mí y por hacer posible llegar a este punto en mi vida.

A mi Madre porque siempre ha estado ahí conmigo ayudándome a superar cada día y a pesar de la distancia me ha mostrado su amor, por sus sabios consejos y a veces con enojos y diferencias de opiniones me han alentado firmemente a terminar mis estudios.

A mi padre que es quien me ha hecho creer en mí y en mis capacidades me ha inculcado ser siempre una mejor persona y un buen profesional. A mis hermanos y familiares que me han brindado su apoyo cuando lo he necesitado.

A ellos se los dedico

Rene Lautaro Ortiz Chérrez

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios:**

Por regalarme el Don de la vida, por saber guiar cada uno de mis pasos y darme fuerza para no desmayar dentro de la carrera y así poder alcanzar este logro tan importante dentro de mi formación académica.

### **A mis Padres:**

René Ortiz y Dina Chérrez por su apoyo incondicional de toda índole, por dar lo mejor de ellos para hacer lo mejor de mí, por lo valores y principios que desde pequeños fueron forjando en mí y que hoy dan frutos, gracias a ellos por todo su amor y comprensión que han sido muy fundamentales para hacer posible este proyecto de investigación.

### **A mis Hermanos:**

Karencita y René Jamil a ellos gracias porque sin darse cuenta juntos con mis padres han sido mi mejor ejemplo de superación y de perseverancia para ser cada día mejor, de no darse por vencido, de no estancarse para ser siempre mejor y salir adelante.

### **A mis docentes:**

Muy agradecido con la Docencia de la Universidad Internacional sede Guayaquil porque han sido guías dentro de mi preparación profesional, brindándome sus conocimientos su paciencia y su tiempo.

**Rene Lautaro Ortiz Chérrez**

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 Problema de la investigación.....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.4 Sistematización del problema.....	2
1.5 Objetivos .....	3
1.5.1 Objetivo general .....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Alcance.....	3
1.7 Justificación, importancia e hipótesis de la investigación.....	3
CAPÍTULO II .....	5

MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Motor G4ED Hyundai Accent.....	5
2.2 Sistemas de inyección de combustible .....	6
2.3 Inyección directa en un motor de combustión interna.....	7
2.3.1 Inyección indirecta en un motor de combustión interna .....	8
2.4 Sistemas de inyección electrónica.....	10
2.4.1 Elementos que intervienen en un sistema de inyección electrónica.....	12
2.4.2 Componentes en un sistema de inyección electrónica .....	13
2.4.2.1 La ECU en el sistema de inyección electrónica .....	14
2.4.2.2 Componentes activos de la ECU.....	16
2.4.2.3 Amplificador operacional.....	17
2.4.2.4 Diodo Zener.....	18
2.4.2.5 Componentes pasivos de la ECU .....	19
2.4.2.6 Transistor electrónico.....	20
2.5 Sensores en un sistema de inyección de combustible .....	20
2.5.1 Procesamiento de datos para la medición de combustible .....	22
2.5.2 Tipos de sensores en un sistema de inyección de combustible .....	23
2.5.2.1 Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo inductivo.....	24
2.5.2.1.1 Funcionamiento del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo inductivo .....	24
2.5.2.1.1 Estructura del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo inductivo.....	25

2.5.2.2	Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo hall.....	25
2.5.2.2.1	Funcionamiento del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo hall .....	26
2.5.2.3	Sensor de detonación (KNOCK SENSOR) .....	27
2.5.2.3.1	Funcionamiento del sensor de detonación (KNOCK SENSOR) .....	27
2.5.2.4	Sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo .....	28
2.5.2.4.1	Funcionamiento del sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo.....	28
2.5.2.5	Sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo .....	29
2.5.2.5.2	Funcionamiento del sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo.....	30
2.5.2.6	Sensor de oxígeno (Sonda LAMBDA) .....	30
2.5.2.7	Sensores de temperatura tipo ATS .....	33
2.5.2.7.1	Funcionamiento de los sensores de temperatura tipo NTC.....	33
2.5.2.8	Sensor de flujo de aire (MAF).....	34
2.5.2.8.1	Funcionamiento del sensor de flujo de aire (MAF) .....	34
2.5.2.8.2	Estructura del sensor de flujo de aire (MAF).....	35
2.5.2.9	Sensor de posición de la mariposa (TPS).....	35
2.5.2.9.1	Funcionamiento del sensor de posición de la mariposa (TPS).....	35
2.5.2.9.2	Estructura del sensor de posición de la mariposa (TPS) .....	36
2.5.2.10	Sensor MAP por tensión .....	37
2.5.2.10.1	Funcionamiento del sensor MAP por tensión .....	37
2.5.2.11	Sensor MAP por variación de frecuencia.....	38

2.5.2.11.1	Funcionamiento del sensor MAP por variación de frecuencia .....	38
2.5.2.11.2	Estructura del sensor MAP por variación de frecuencia .....	38
CAPÍTULO III	.....	39
DISEÑO DE CAJA DE PRUEBAS	.....	39
3.1	Diseño de la caja de pruebas. ....	39
3.1.1	Diseño del diagrama eléctrico de la caja de pruebas.....	39
3.1.2	Diseño visual de la caja de pruebas.....	41
3.1.3	Construcción de la caja de simulación de fallas.....	42
CAPÍTULO V	.....	47
ANÁLISIS DE RESULTADOS	.....	47
4.1	Métodos.....	48
4.2	Población y muestra .....	48
4.2.1	Población.....	48
4.2.2	Muestra.....	48
4.2.3	Diagnostico de los sensores del sistema de inyección .....	49
4.1.2.1	Diagnostico del sensor de oxigeno.....	49
4.1.2.2	Diagnostico del sensor de posición de la mariposa TPS .....	50
4.1.2.3	Diagnostico del inyector.....	52
4.1.2.4	Diagnostico del sensor del árbol de levas tipo hall .....	52
4.1.2.5	Diagnostico del sensor MAP por tensión.....	54
CAPÍTULO V	.....	56

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
5.1 Conclusiones .....	56
5.2 Recomendaciones .....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Funcionamiento del sensor de temperatura.....	34
Tabla 2. Componentes del sistema de simulación de fallas .....	41
Tabla 3. Elementos del simulador de fallas.....	47
Tabla 4. Población para el proyecto .....	48
Tabla 5. Muestra para el proyecto .....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Universidad Internacional Del Ecuador.....	2
Figura 2 Sistema básico de inyección de combustible.....	5
Figura 3. Componentes en un sistema de inyección Hyundai.....	6
Figura 4 Sistema de inyección directa.....	12
Figura 5. Esquema de un sistema de inyección electrónica.....	16
Figura 6. Componentes activos de la ECU y su función.....	17
Figura 7. Amplificador operacional.....	17
Figura 8. Diagrama de un amplificador operacional.....	18
Figura 9. Diodo Zener.....	19
Figura 10. Componentes pasivos de la ECU.....	19
Figura 11. Transistor electrónico.....	20
Figura 12. Sensor de flujo de aire en un sistema de inyección electrónico.....	22
Figura 13. Sensor de giro del cigüeñal CKP tipo inductivo con sus partes.....	25
Figura 14. Sensor de giro del cigüeñal CKP tipo hall con sus partes.....	27
Figura 15. Sensor de detonación.....	28
Figura 16. Sensor del árbol de levas tipo hall.....	30
Figura 17. Sonda lambda.....	32
Figura 18. Sensores de temperatura.....	33
Figura 19. Esquema del sensor MAF.....	35
Figura 20. Estructura del sensor de posición de la mariposa TPS.....	36
Figura 21. Sensor MAP por tensión.....	37
Figura 22. Sensor MAP por variación de frecuencia.....	38
Figura 23. Diagrama eléctrico de la caja de pruebas.....	40

Figura 24. Controles instalados en el simulador .....	42
Figura 25. Estructura metálica donde se colocara la caja de simulación. ....	42
Figura 26. Marcación del metal de la caja de simulación. ....	43
Figura 27. Montaje del motor en el soporte .....	43
Figura 28. Instalación del panel de instrumentos .....	44
Figura 29. Instalación de componentes en el banco de pruebas.....	44
Figura 30. Componentes del banco de pruebas instalados.....	45
Figura 31. Diagnóstico del sensor de oxígeno del Hyundai accent 2004 .....	45
Figura 32. Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS .....	46
Figura 33. Diagnóstico por osciloscopio del inyector.....	46
Figura 34. Diagnóstico del sensor de oxígeno del Hyundai accent 2004 .....	50
Figura 35. Forma de onda del sensor de oxígeno.....	50
Figura 36. Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS .....	51
Figura 37. Forma de onda del sensor de la mariposa TPS .....	51
Figura 38. Diagnóstico por osciloscopio del inyector.....	52
Figura 39. Diagnóstico del sensor del árbol de levas tipo hall.....	53
Figura 40. Forma de onda del sensor del árbol de levas tipo hall .....	53
Figura 41. Diagnóstico del sensor MAP por tensión .....	54
Figura 42. Forma de onda del sensor MAP por tensión.....	54

## RESUMEN

Uno de los principales problemas en la actualidad es la capacidad de descomponer y analizar un sistema de inyección electrónico, en perspectiva de este tema es importante aprender mediante la participación y la educación, el uso correcto y la administración de bancos de pruebas que nos permitan el diagnóstico analítico en un sistema de inyección electrónico del automóvil para así poder descifrar cuales son los problemas que pueden surgir en este.

Hyundai tiene numerosos vehículos, pero para esta situación decidiremos la el diagnóstico de un sistema de inyección electrónica en un motor perteneciente a un vehículo Hyundai Accent 2004, a la luz del hecho de que es extremadamente frecuente que un vehículo de estas características requiera un diagnóstico de su sistema de inyección electrónico por parte de especialistas, profesionales e individuos en el mundo que buscan mejorar los procedimientos y los tiempos de reacción creando una eficiencia más importante en el campo automotriz.

## **ABSTRACT**

One of the main problems at present is the ability to decompose and analyze an electronic injection system, in perspective of this subject it is important to learn by participation and education, the correct use and administration of test benches that allow us to analytical diagnosis in a system of electronic injection of the automobile in order to be able to decipher the problems that may arise in this.

Hyundai has several vehicles, but for this decision, decides the diagnosis of an electronic injection system on an engine belonging to a Hyundai Accent 2004 vehicle, in light of the fact that it is very common for a vehicle of this nature to require a diagnosis of its system of electronic injection by specialists in the automotive field, professionals and individuals in the world who seek to improve procedures and reaction times.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

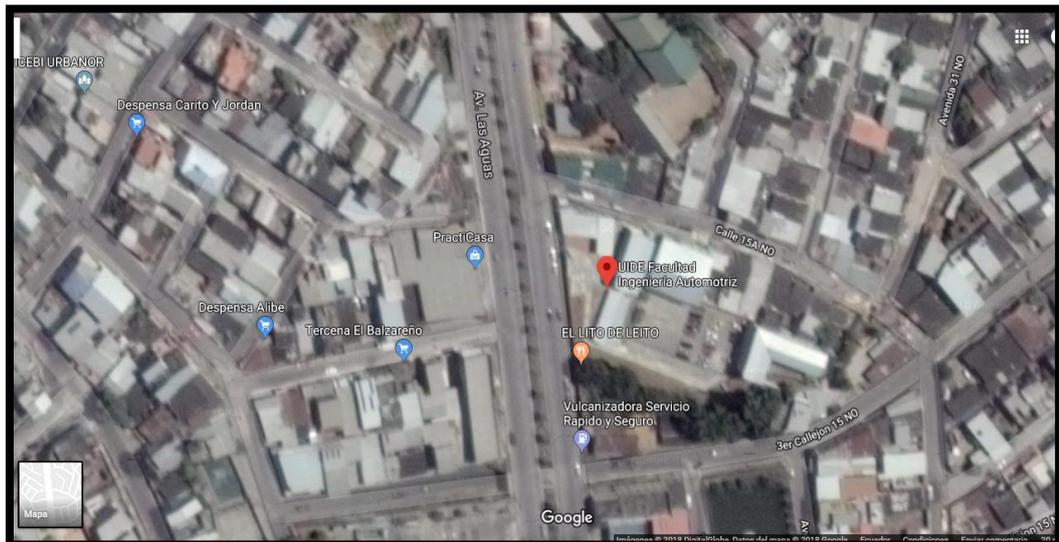
### 1.1 Problema de la investigación

Los sistemas de control electrónico cuentan con ordenadores que están diseñados para controlar y monitorear las funciones mecánicas y electrónicas del automóvil, llevando el control de sensores que informan del estado en vivo, por tanto, es necesario un dispositivo que permita un cambio de la información entre el sensor y la ECU.

Para una correcta comunicación entre el ordenador de a bordo y el sistema de diagnóstico es necesario iniciar el dialogo mediante los protocolos de comunicación definidos para ello. El simulador que se diseñara permitirá modificar los datos que emiten los sensores, cambiando la respuesta del módulo de control electrónico para con los actuadores, generando así un proceso de investigación y generando conocimiento nuevo para los usuarios sobre los resultados obtenidos, permitiendo así, una experiencia didáctica, real sobre sistemas actuales instalados en los vehículos a gasolina; el desarrollo de este conocimiento permitirá en el futuro una investigación más profunda sobre el control de emisiones de gases contaminantes, siendo este uno de los objetivos principales a desarrollar por los profesionales en el área automotriz

## 1.2 Ubicación del problema

El trabajo se desarrollará en la ciudad de Guayaquil, en la Facultad de Ingeniería de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, extensión Guayaquil.



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la Universidad Internacional Del Ecuador

## 1.3 Formulación del problema

Para examinar el daño electrónico del automóvil podemos realizar pruebas con las que podemos descartar los efectos secundarios por indicios, sin la experiencia de estos las pruebas pueden prolongar la vida del automóvil y por ende presentarnos beneficios tanto económicos como ayudarnos a ahorrar tiempo valioso por lo que surge la interrogante:

¿Se podrá diseñar una caja de simulación de fallas para el sistema de control electrónico del motor G4ED Hyundai Accent?

## 1.4 Sistematización del problema

- ¿Se podrá generar nuevo conocimiento a través del uso de la caja de simulación de fallas del control electrónico?

- ¿Qué componentes serán necesarios para el diseño de la caja de simulación de fallas de control electrónico?
- ¿Cómo se usaría la caja de simulación de fallas del control electrónico?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar una caja de simulación de fallas para el sistema de control electrónico del motor G4ED Hyundai Accent que nos permita realizar la comprobación de sus respectivos componentes electrónicos.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Entender cómo opera un sistema de simulación de fallas del control electrónico del Motor Hyundai 1600cc G4ED.
- Diseñar la caja y el sistema de simulación de fallas.
- Comprobar el sistema de inyección electrónica y los componentes del motor Hyundai 1600cc G4ED.

## **1.6 Alcance**

El siguiente análisis tiene como destino llegar a ser un artículo de ayuda en prácticas identificadas con los activos, la proposición de hacer un módulo de aprendizaje ayuda a los estudiantes de la Universidad Ecuador Internacional Extensión Guayaquil para conocer e identificar la decepción de una manera rápida y eficiente.

### **1.7 Justificación, importancia e hipótesis de la investigación**

En la investigación y posterior análisis se basa en la necesidad de contar con los sistemas de diagnóstico, que permitan demostrar el funcionamiento, fallas y simulación

de diferentes comportamientos del motor Hyundai Accent 2004, ya que este conocimiento es requerido para la capacitación de personal técnico, para la resolución y diagnóstico de los vehículos que usan este motor en el parque automotor de la ciudad de Guayaquil.

Los métodos son en su mayoría cuantitativo debido a que se usa un sistema de diagnóstico, el análisis de fallas y comprensión de estas quedan a voluntad del usuario, es decir se aplicaría un método cualitativo donde la apreciación y pensamiento del autor del proyecto.

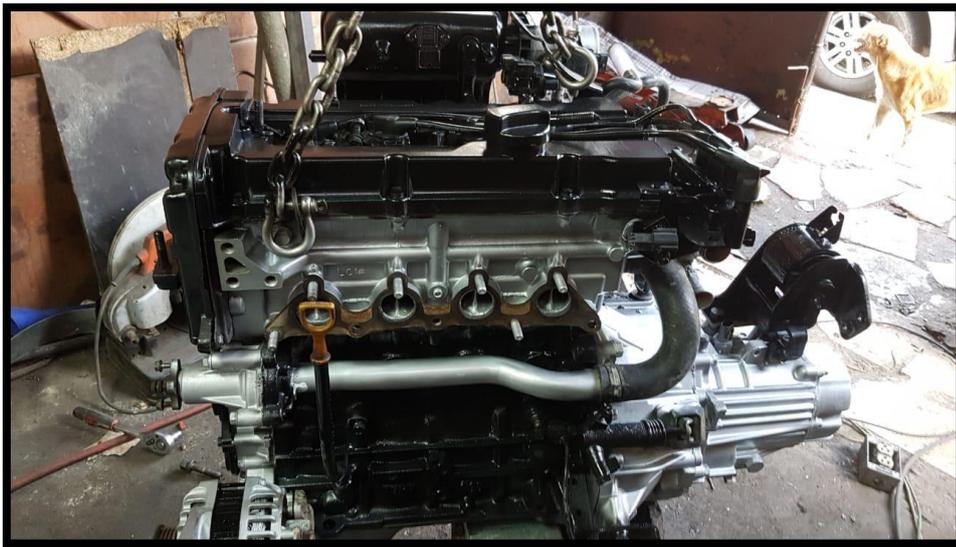
Los resultados de esta investigación podrán diagnosticar fallas, comportamientos, de los sistemas electrónicos durante las diferentes pruebas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Motor G4ED Hyundai Accent

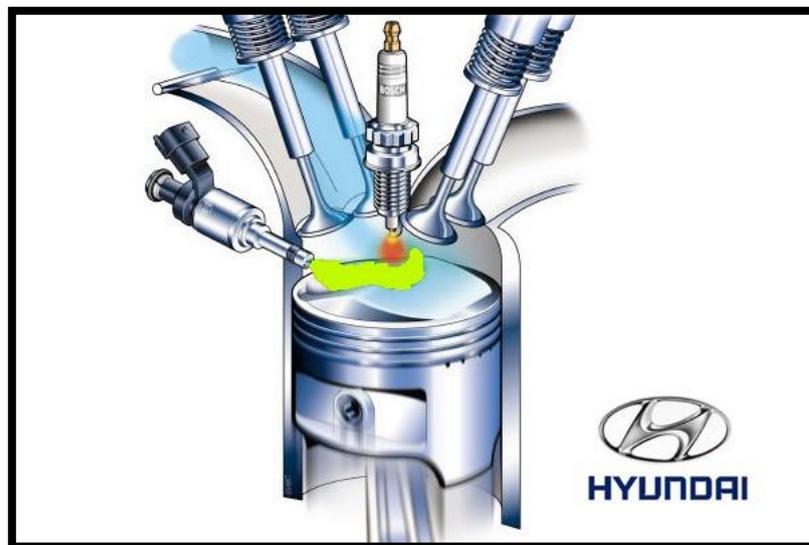
El motor G4ED Hyundai Accent como se observa en la figura 2, es un motor de encendido interno del ciclo Otto<sup>3</sup>, que es el ciclo termodinámico que está conectado a los motores de gas, tiene circuito consecutivo, marco de infusión electrónico, sincronización del motor por correa dentada, con un árbol de levas DOHC solitario, por sus siglas en inglés, que carga la activación de las válvulas de admisión y humos, en un motor con línea de acción de cuatro barriles.



**Figura 2** Sistema básico de inyección de combustible  
(BOSCH, 2012)

Este motor tiene un módulo de control electrónico introducido por su fabricante, que entre muchas capacidades se encarga de controlar la descarga de gases contaminantes, el control del aparejo de la base, la compatibilidad ecológica, esto se hace para siempre, controlando la mezcla de aire y combustible y la mejor hora de inicio en cada condición motora.

A través de los sensores, la unidad de control obtiene datos sobre los estados del motor; estos datos se preparan y contrastan y se debe manejar una base de datos posterior, es responsable de solicitar los actuadores. Su estructura de gas funciona mediante el uso de una bomba eléctrica que se encuentra dentro del tanque de combustible, creando la corriente para lograr un peso de 3 bares en su estructura, relacionado con su controlador de peso, este es uno de sus parámetros imperativos para la inyección de combustible correcta.



**Figura 3.** Componentes en un sistema de inyección Hyundai (Hyundai, 2014)

Una característica del motor G4ED es que cuenta con un sistema de inyección indirecta el cual lo alimenta de combustible.

## **2.2 Sistemas de inyección de combustible**

En el centro de un sistema de inyección de combustible se encuentra una computadora llamada Unidad de control del motor (ECU), que monitorea los parámetros de operación del motor a través de varios sensores. La ECU interpreta estos parámetros para calcular la cantidad apropiada de combustible que se inyectará, entre otras tareas, y controla el funcionamiento del motor manipulando el combustible y / o el flujo de aire,

así como otras variables. La cantidad óptima de combustible inyectado depende de condiciones tales como la temperatura del motor y del ambiente, la velocidad y carga del motor y la composición del gas de escape. Una unidad de control del motor (ECU) es una unidad de control electrónico que controla varios aspectos de una operación de motores de combustión interna. (BOSCH, 2012)

### **2.3 Inyección directa en un motor de combustión interna**

En los motores de DI, los inyectores inyectan directamente combustible en la cámara de combustión principal, que es la brecha entre el cilindro y el pistón donde penetra en la masa caliente del aire comprimido.

En los sistemas de inyección directa, el combustible se inyecta específicamente en el cilindro. Eso lo convierte en la mejor combinación de combustible y aire. Inyección directa se ha utilizado en motores diésel desde la década de 1920 y en motores de barco con control de combustible desde la Segunda Guerra Mundial, pero recientemente se ha observado un uso continuo en autos controlados por gas. Los creadores de automóviles de ejecución como Audi y BMW han descubierto que la ignición más competente en la inyección directa de combustible (GDI) ayuda a realizar el trabajo en motores más grandes. Algunos fabricantes de automóviles también han comenzado a utilizar GDI para incluir en los motores para utilizar menos gas. Los motores Ecotec de GM y EcoBoost de Ford utilizan GDI.

Los motores GDI pueden utilizar mezclas de combustible-aire excepcionalmente pequeñas cuando el motor está bajo carga liviana. Esto permite gas libre, sin embargo, hace salidas de óxido nitroso. Los motores GDI dependen de la distribución de gases de humo y de sistemas de escape planificados de manera única para ordenar estas emanaciones. Los sistemas de GDI requieren adicionalmente inyectores más robustos.

Los inyectores se presentan al calor y al peso de la cámara de combustión, y el inyector necesita construirse pensando en el alto trabajo y esfuerzos a los que se someten en la cámara de combustión. Mientras que los inyectores de combustible normales derraman gas a 40 a 60 libras por cada pulgada cuadrada, los inyectores coordinados necesitan pulverizar el combustible a una gran cantidad de psi.

Algunos puntos notables sobre los motores DI se dan a continuación:

La presión de inyección es más alta ( $21 \text{ kg / cm}^2$ ) en este caso en comparación con IDI porque la atomización del combustible depende únicamente de la presión de inyección.

Este tipo de motores también son fáciles de arrancar en frío.

La boquilla de inyección de combustible tiene orificios múltiples ya que se requiere una alta atomización y mezcla debido a que el remolino de aire es menor en este caso.

La eficiencia térmica es más alta en comparación con el motor IDI.

### **2.3.1 Inyección indirecta en un motor de combustión interna**

En este tipo de sistema principalmente se utilizan dos diseños, es decir, cámara de precombustión y celda de aire.

**Cámara de precombustión:** En esto, el combustible total se inyecta en la cámara de precombustión y la combustión inicial tiene lugar aquí solamente. Debido a la combustión, la presión en la cámara de precombustión aumenta porque el combustible presente en esta cámara sale a gran velocidad a través de un pequeño orificio hacia la cámara de combustión principal. Debido a esta alta velocidad, el combustible se atomiza

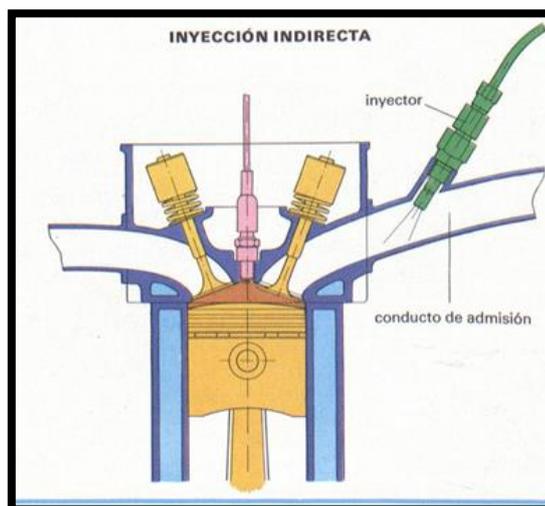
automáticamente y se mezcla con el aire presente en la cámara de combustión principal y la combustión tiene lugar ahí.

**Celda de aire:** En algún diseño, se proporciona una pequeña cámara de pistón. Esto se llama una celda de aire. El pistón comprime el aire durante la carrera de compresión y lo empuja dentro de la celda de aire. A medida que el pistón baja, la presión en el cilindro desciende, lo que provoca el flujo de aire caliente desde la celda a la cámara de combustión y esta acción proporciona una turbulencia que mezcla más el aire y el combustible y completa la combustión.

Algunos puntos notables se dan a continuación:

La presión de inyección es baja en comparación con la DI, ya que la mayor parte de la atomización se logra utilizando la presión de aire de la cámara de precombustión.

- La bujía incandescente es necesaria para arrancar el motor en arranque en frío.
- Se usa una boquilla de un solo orificio.
- Las pérdidas de calor se deben más al área de la pared grande, por lo que la eficiencia térmica se reduce en comparación con la DI.
- La alta relación de compresión es posible en IDI en comparación con DI.



**Figura 4.** Estructura de un sistema de inyección indirecta (Motorgiga.com)

## 2.4 Sistemas de inyección electrónica

Si el corazón de un automóvil es su motor, entonces su cerebro debe ser la Unidad de Control del Motor (ECU). También conocido como Módulo de control del tren motriz (PCM), la ECU optimiza el rendimiento del motor mediante el uso de sensores para decidir cómo controlar ciertos actuadores en un motor. La ECU de un automóvil es principalmente responsable de cuatro tareas. En primer lugar, la ECU controla la mezcla de combustible. En segundo lugar, la ECU controla la velocidad de ralentí. En tercer lugar, la ECU es responsable del tiempo de encendido. Por último, en algunas aplicaciones, la ECU controla la sincronización de la válvula.

Antes de hablar sobre cómo la ECU realiza sus tareas, sigamos el camino de una gota de gasolina que ingresa a su tanque de gasolina. Inicialmente, después de que una gota de gas ingresa a su tanque de gas (que ahora está hecho de plástico), es aspirado por una bomba de combustible eléctrica. La bomba de combustible eléctrica generalmente viene en un módulo dentro del tanque que consiste en una bomba, un filtro y una unidad de envío. La unidad de envío usa un divisor de voltaje para indicarle a su medidor de gasolina cuánto combustible le queda en su tanque. La bomba envía la gasolina a través de un filtro de combustible, a través de líneas de combustible duro, y en un riel de combustible.

Un regulador de presión de combustible alimentado al vacío en el extremo del riel de combustible asegura que la presión del combustible en el riel permanezca constante en relación con la presión de admisión. Para un motor de gasolina, la presión del combustible suele ser del orden de 35-50 psi. Los inyectores de combustible se conectan al riel, pero sus válvulas permanecen cerradas hasta que la ECU decide enviar combustible a los cilindros.

La inyección electrónica de combustible (EFI) es simple, en teoría. El objetivo del diseño de un sistema EFI es proporcionar la proporción correcta de combustible en el aire para variar la carga, la velocidad y la temperatura. La mayoría de los sistemas EFI modernos están incorporados en una ECU que también controla el sistema de encendido y puede controlar otras funciones como frenos antibloqueo, sistemas de control de tracción, la transmisión, etc.

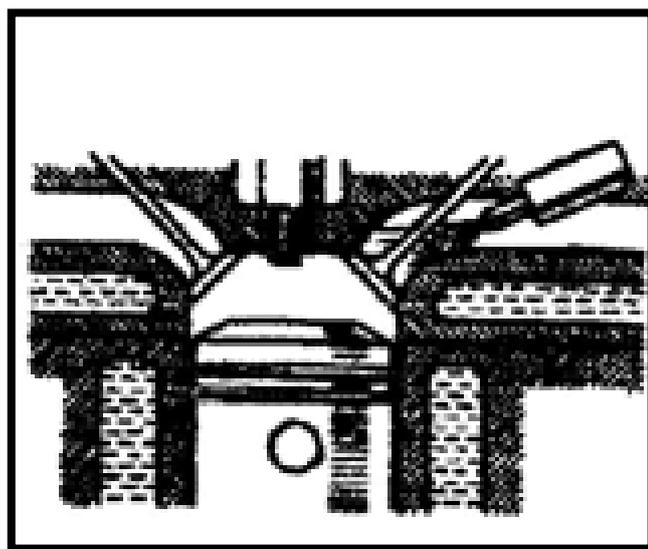
Un sistema de inyección de combustible en sí consiste en una fuente de combustible presurizado, inyectores de combustible y el controlador electrónico. El sistema de combustible está compuesto por el tanque de combustible, una bomba de alta presión y algún método para regular la presión del combustible. Los inyectores pueden considerarse válvulas accionadas eléctricamente. La cantidad de combustible entregada al motor está determinada por el tamaño de los inyectores, la cantidad de tiempo que los inyectores están abiertos y la presión del combustible. El controlador electrónico determina la cantidad de combustible que se necesita y ordena a los inyectores a permanecer abiertos durante el tiempo necesario para entregar el volumen de combustible necesario. La cantidad de tiempo que el inyector está abierto se denomina ancho de pulso y generalmente se expresa en milisegundos (una milésima de segundo).

El inyector de combustible electrónico normalmente está cerrado y se abre para inyectar combustible presurizado, siempre que se aplique electricidad a la bobina del solenoide del inyector. La duración de esta operación, llamada ancho de pulso, es proporcional a la cantidad de combustible deseada. El impulso eléctrico se puede aplicar en secuencia estrechamente controlada con los eventos de válvula en cada cilindro individual (en un sistema de inyección de combustible secuencial), o en grupos menores que el número total de inyectores (en un sistema de combustión por lotes).

#### 2.4.1 Elementos que intervienen en un sistema de inyección electrónica

Los tres ingredientes elementales para la combustión son combustible, aire e ignición. Sin embargo, la combustión completa solo puede ocurrir si el aire y el combustible están presentes en la relación estequiometría exacta, lo que permite que todo el carbono e hidrógeno del combustible se combinen con todo el oxígeno en el aire, sin residuos contaminantes indeseables. Los sensores de oxígeno monitorean la cantidad de oxígeno en el escape, y la ECU usa esta información para ajustar la relación aire-combustible en tiempo real.

El sistema de encendido de un motor de combustión interna es una parte importante del sistema general del motor que permite la quema oportuna de la mezcla de combustible dentro del motor. La estequiometría (a veces denominada estequiometría de reacción para distinguirla de la estequiometría de la composición) es el cálculo de las relaciones cuantitativas (mensurables) de los reactivos y los productos en las reacciones químicas (ecuaciones químicas). Un sensor de oxígeno es un dispositivo electrónico que mide la proporción de oxígeno (O<sub>2</sub>) en el gas o líquido que se analiza.



**Figura 4** Sistema de inyección directa  
(BOSCH, 2012)

## 2.4.2 Componentes en un sistema de inyección electrónica

El sistema EFI usa varios sensores para detectar el estado del motor y la condición de funcionamiento del vehículo. Y la ECU del motor calcula el volumen óptimo de inyección de combustible y hace que los inyectores inyecten el combustible. La figura muestra la configuración básica de EFI.

- ECU del motor. Esto calcula la duración óptima de inyección de combustible en función de las señales de los sensores.
- Medidor de flujo de aire o sensor de presión del colector. Esto detecta la masa de aire de admisión o la presión del colector.
- Sensor de posición del cigüeñal. Esto detecta el ángulo del cigüeñal y la velocidad del motor.
- Sensor de posición del árbol de levas. Esto detecta el ángulo de cigüeñal estándar y el tiempo del árbol de levas.
- Sensor de temperatura del agua. Esto detecta la temperatura del refrigerante.
- Sensor de posición del acelerador. Esto detecta el ángulo de apertura de la válvula de mariposa.
- Sensor de oxígeno. Esto detecta la concentración de oxígeno en el gas de escape.

Tipos de EFI. Hay dos tipos de sistema EFI clasificados por la cantidad del método de detección de aire de admisión.

### 1. L-EFI (tipo de control de flujo de aire)

Este tipo utiliza un medidor de flujo de aire para detectar la cantidad de aire que fluye en el colector de admisión. Hay dos tipos de métodos de detección: uno mide directamente la masa de aire de admisión y uno hace las correcciones en función del volumen de aire.

## 2. D-EFI (control de presión del colector)

Este tipo mide la presión en el colector de admisión para detectar la cantidad de aire de admisión utilizando la densidad del aire de admisión.

### 2.4.2.1 La ECU en el sistema de inyección electrónica

La ECU en un sistema de inyección de combustible es una parte importante de un motor de inyección de combustible porque cumple varias funciones además de regular y mantener la cantidad de combustible y aire que el motor necesita para aumentar la potencia.

#### Sistema electrónico de inyección de combustible

La Unidad de Control Electrónico es una parte integral de la EFI o la Inyección Electrónica de Combustible, que es un tipo de sistema de inyección de combustible que ahora se usa comúnmente entre los automóviles. EFI se puede dividir en 3 subsistemas: sistema de inducción de aire, sistema de suministro de combustible y sistema de control electrónico.

El sistema de control electrónico de un EFI es donde encontrará la ECU. Además de la ECU, aquí también encontrará varios sensores, conjuntos de inyectores de combustible y cualquier cableado de inyección de combustible relacionado.

#### Funciones de un sistema de ECU de inyección de combustible

Un sistema de ECU de inyección de combustible tiene varias funciones. Probablemente una de las funciones más importantes de la ECU es que controla la mezcla de combustible utilizada por el motor. La Unidad de control del motor o ECU determina la cantidad de combustible que se debe inyectar en el motor. Este programa de computadora recibe varios datos y los computa para llegar a la cantidad apropiada. La

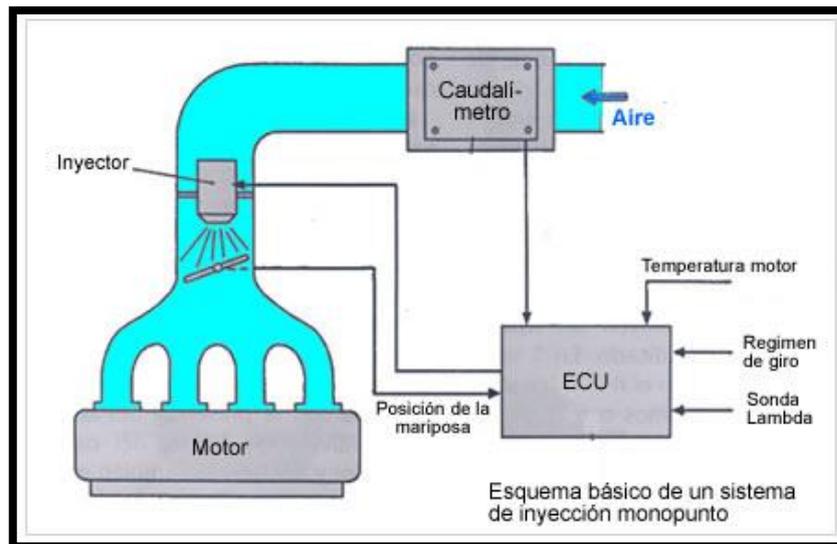
ECU de una inyección electrónica de combustible también determina cuándo es el momento adecuado para entregar la relación de aire y combustible al motor. Este proceso se denomina duración de inyección o ancho de pulso de inyección.

La mayoría de los automóviles también tienen un sistema de control incorporado en su ECU para la velocidad de ralentí. La velocidad de ralentí se controla a través del tope del acelerador programable. Además de la velocidad de ralentí, una ECU controla el tiempo de ignición de un motor. Esto se hace ajustando el tiempo cuando se debe encender el enchufe de encendido de la chispa, lo que da como resultado una mejor potencia.

El sistema ECU también controla la sincronización variable de la válvula. Esto simplemente significa que controla cuándo se abrirán las válvulas. Esto se hace para aumentar el rendimiento y la potencia del automóvil, ya que el flujo de aire en el cilindro se maximiza.

Según los datos recopilados por los sensores de la ECU, básicamente puede controlar la velocidad del motor, la temperatura del refrigerante, el ángulo del acelerador y el contenido de oxígeno del escape.

Funcionamiento del sistema de un sistema de ECU de inyección de combustible, la ECU en el sistema de inyección de combustible funciona pulsando o controlando los inyectores de combustible en el motor. Esto se hace conectando o desconectando el circuito de tierra del inyector dependiendo de lo que requiera el motor. Si el circuito de tierra del inyector está encendido, el combustible se pulveriza en la parte posterior de la válvula de admisión.



**Figura 5.** Esquema de un sistema de inyección electrónica (Sistemas de inyección electrónica BOSCH)

#### 2.4.2.2 Componentes activos de la ECU

Son aquellos que son capaces de excitar los circuitos o de realizar ganancias o control del mismo. Fundamentalmente son los generadores eléctricos y ciertos componentes semiconductores. Estos últimos, en general, tienen un comportamiento no lineal, esto es, la relación entre la tensión aplicada y la corriente demandada no es lineal. Los componentes activos semiconductores derivan del diodo de Fleming y del triodo de Lee de Forest. En una primera generación aparecieron las válvulas que permitieron el desarrollo de aparatos electrónicos como la radio o la televisión. Posteriormente, en una segunda generación, aparecerían los semiconductores que más tarde darían paso a los circuitos integrados (tercera generación) cuya máxima expresión se encuentra en los circuitos programables (microprocesador y microcontrolador) que pueden ser considerados como componentes, aunque en realidad sean circuitos que llevan integrados millones de componentes.

En la actualidad existe un número elevado de componentes activos, siendo usual, que un sistema electrónico se diseñe a partir de uno o varios componentes activos cuyas características lo condicionará. Esto no sucede con los componentes pasivos. En la

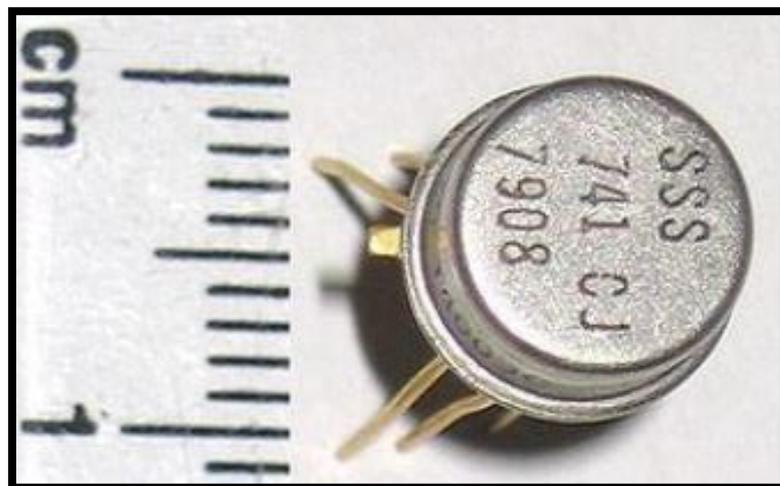
siguiente tabla se muestran los principales componentes activos junto a su función más común dentro de un circuito.

Componente	Función más común
<u>Amplificador operacional</u>	Amplificación, regulación, conversión de señal, conmutación.
<u>Biestable</u>	Control de <u>sistemas secuenciales</u> .
<u>PLD</u>	Control de <u>sistemas digitales</u> .
<u>Diac</u>	Control de potencia.
<u>Diodo</u>	Rectificación de señales, regulación, multiplicador de tensión.
<u>Diodo Zener</u>	Regulación de tensiones.

**Figura 6.** Componentes activos de la ECU y su función (Reparación de computadoras automotrices)

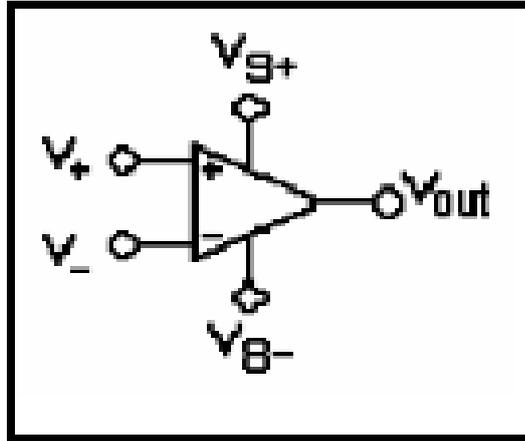
### 2.4.2.3 Amplificador operacional

Estos dispositivos se caracterizan por ser construidos en sus componentes más genéricos, dispuestos de modo que en cada momento se puede acceder a los puntos digamos “vital” en donde se conectan los componentes externos cuya función es la de permitir al usuario modificar la respuesta y transferencia del dispositivo.



**Figura 7.** Amplificador operacional (Reparación de computadoras automotrices)

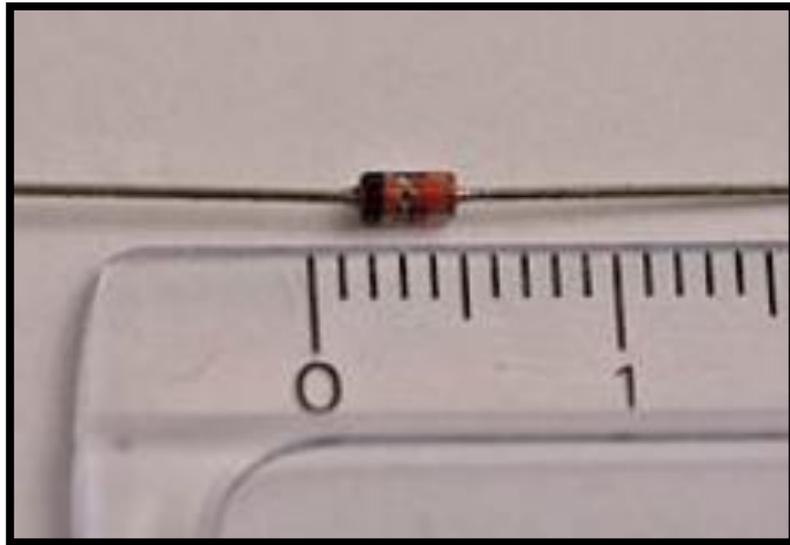
Las partes de las que está constituida un amplificador operacional son:  $V_+$ : entrada no inversora  $V_-$ : entrada inversora  $V_{OUT}$ : salida  $V_{S+}$ : alimentación positiva  $V_{S-}$ : alimentación negativa



**Figura 8.** Diagrama de un amplificador operacional (Reparación de computadoras automotrices)

#### 2.4.2.4 Diodo Zener

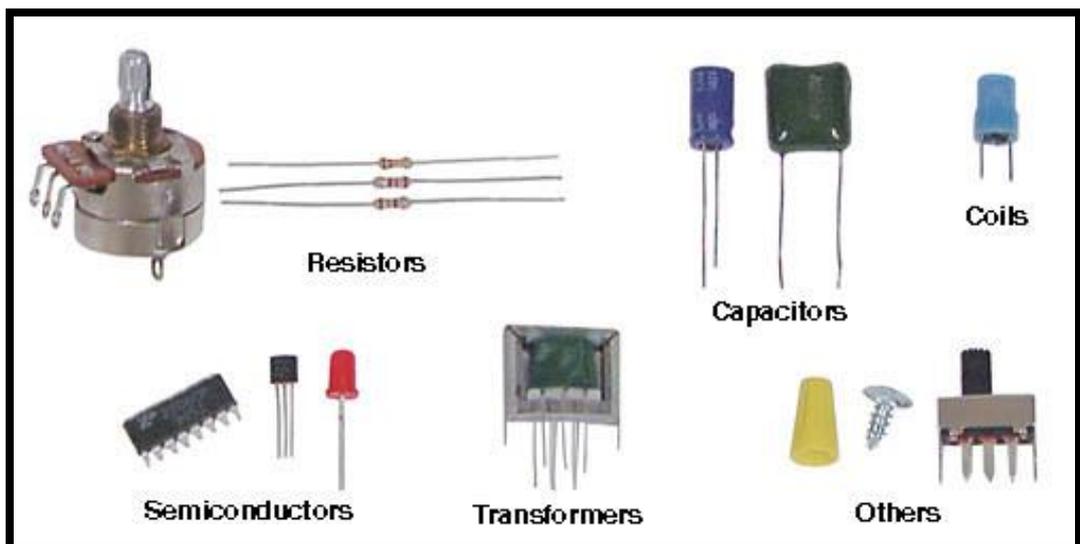
Si a un diodo Zener se le aplica una corriente eléctrica de Ánodo al Cátodo toma las características de un diodo rectificador básico. Pero si se le suministra una corriente inversa, el diodo solo dejara pasar un voltaje constante. En conclusión: el diodo Zener debe ser polarizado al revés para que adopte su característica de regulador de tensión, y su símbolo es como un diodo normal pero tiene 2 terminales a los lados. Este diodo no se comporta como un diodo convencional en condiciones de alta corriente, porque cuando recibe demasiada corriente este no se quema sino que se apaga



**Figura 9.** Diodo Zener  
(Reparación de computadoras automotrices)

#### 2.4.2.5 Componentes pasivos de la ECU

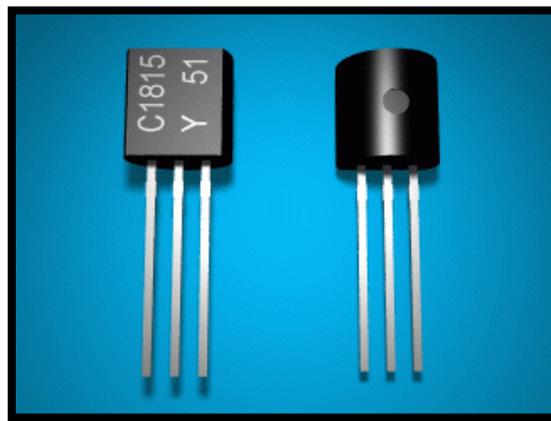
Los componentes electrónicos pasivos son aquellos que no tienen la capacidad de controlar la corriente por medio de otra señal eléctrica. Ejemplos de componentes electrónicos pasivos son condensadores, resistencias, inductores, transformadores y diodos.



**Figura 10.** Componentes pasivos de la ECU  
(Reparación de computadoras automotrices)

#### 2.4.2.6 Transistor electrónico

Un transistor es un dispositivo semiconductor. Es el componente fundamental de los circuitos en teléfonos móviles, computadoras y otros dispositivos electrónicos. Un transistor tiene una respuesta muy rápida y se usa en una serie de funciones que incluyen regulación de voltaje, amplificación, conmutación, modulación de señal y osciladores. Los transistores se pueden empaquetar individualmente o pueden formar parte de un circuito integrado. Algunos de los circuitos integrados tienen miles de millones de transistores en un área muy pequeña..



**Figura 11.** Transistor electrónico  
(Reparación de computadoras automotrices)

#### 2.5 Sensores en un sistema de inyección de combustible

En cierto modo, los sensores son los órganos sensoriales del vehículo. Un componente fundamental de los sistemas de control electrónico, deben registrar variables físicas o químicas y convertirlas en señales eléctricas. En los últimos años, ha habido una explosión en la cantidad de diferentes tipos de sensores. Se han visto muchos tipos nuevos de sensores, en particular en el área de seguridad y electrónica de conveniencia. Esencialmente, los sensores se pueden clasificar de la siguiente manera:

Sensores de posición (sensores de distancia / ángulo): se utilizan para capturar la posición de la válvula de mariposa, del acelerador o del pedal de freno, de las posiciones

de distancia y angular en las bombas de inyección diésel, del nivel de llenado en el tanque de combustible, del ángulo de dirección, del ángulo de inclinación, etc. Los sensores ultrasónicos y de radar utilizados para determinar las distancias de los obstáculos para los modernos sistemas de asistencia al conductor también pertenecen a esta categoría.

Sensores de velocidad y velocidad: se utilizan para determinar la velocidad de cigüeñales, árboles de levas y bombas de inyección diésel o velocidades de ruedas. Los sensores de velocidad de guiñada también pertenecen a esta categoría. Detectan el movimiento de rotación del vehículo sobre su propio eje y son necesarios para ESP.

Sensores de aceleración: registran la aceleración de la carrocería del automóvil y se utilizan en sistemas de seguridad pasiva (airbags, sensores de cinturones de seguridad, barras antivuelco) y sistemas de estabilidad de conducción como ABS y ESP, así como en el control del chasis.

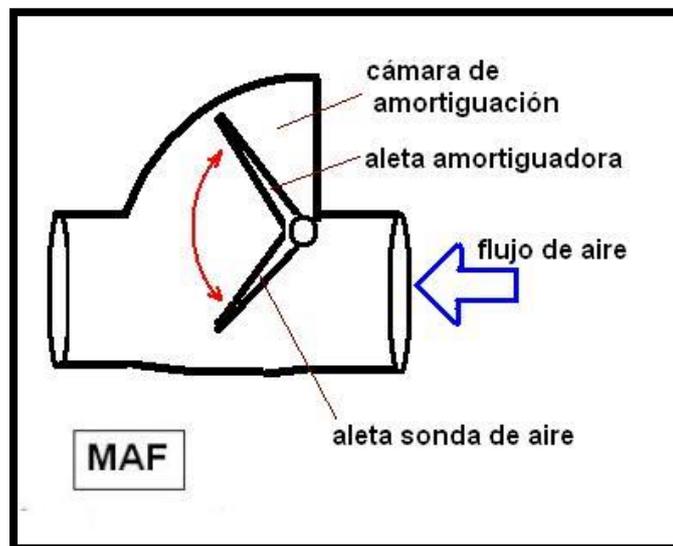
Sensores de presión: se utilizan para capturar una amplia variedad de presiones, incluyendo presión de succión o carga, presión del combustible, presión del freno, presión del neumático, presión del depósito hidráulico (para ABS y dirección asistida), presión del refrigerante (sistema de aire acondicionado), presión de modulación (automática transmisión) y así sucesivamente.

Sensores de temperatura: se utilizan para capturar temperaturas, p. en el contexto de la medición de la temperatura de succión o carga del aire, las temperaturas ambiente e interior, la temperatura del evaporador (sistema de aire acondicionado), la temperatura del refrigerante, la temperatura del aceite del motor, la temperatura del aire de los neumáticos, etc.

Sensores de fuerza y par: se utilizan para medir fuerzas tales como la fuerza del pedal, el accionamiento, los frenos y las fuerzas de par de la dirección o el peso de los ocupantes de un vehículo (para sistemas de retención adaptativa).

Medidores de flujo: se utilizan para capturar el requerimiento de combustible y la cantidad de aire aspirado por el motor.

Sensores de gas: capturar la composición del gas de escape (sensor de oxígeno, sensor de NOx) o detectar sustancias peligrosas en el suministro de aire fresco.



**Figura 12.** Sensor de flujo de aire en un sistema de inyección electrónica (Robert Bosch Corp.)

### **2.5.1 Procesamiento de datos para la medición de combustible**

El procesamiento real de la información que ocurre en las celdas de la ECU está más allá del alcance de este artículo. En términos simples, la ECU tiene una serie de tablas de datos programadas en su memoria que enumeran un valor de todos los sensores, la ECU buscará en las tablas y unirá los valores del sensor con el valor de combustible apropiado. Este valor debería producir una relación de aire a combustible de aproximadamente 14.7: 1, llamada relación estequiometría.

El combustible se mide a través de los inyectores de combustible pulsando sus válvulas internas para abrir y cerrar a un ritmo extremadamente rápido medido en milisegundos (ms). La ECU actualiza constantemente el inyector de combustible abierto al tiempo de cierre, conocido como ancho de pulso (PW) y el tiempo entre pulsos, conocido como intervalo de pulso (PI). A medida que aumenta la demanda de combustible del motor, los sensores transmiten ese requisito a la ECU, que busca en las tablas el ancho de pulso y el intervalo de impulso del inyector correspondiente para satisfacer la demanda. En general, la ECU aumentará el PW y disminuirá el PI para enriquecer la mezcla de combustible y también disminuirá el PW y aumentará el PI para disminuir la mezcla. De esta forma, la ECU puede ajustar infinitamente el flujo de combustible para que coincida con la demanda del motor bajo cualquier condición posible y en cualquier punto en el tiempo. (BOSCH, 2012)

### **2.5.2 Tipos de sensores en un sistema de inyección de combustible**

Existe una gran variedad de sensores en un vehículo sin embargo no cabe duda que entre los principales que encontramos en un vehículo tenemos los siguientes.

- Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo inductivo
- Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo hall
- Sensor de detonación
- Sensor de árbol de levas (CMP) tipo inductivo
- Sensor de árbol de levas (CMP) tipo hall
- Sensor de oxígeno (sonda lambda)
- Sensor de temperatura tipo NTC
- Sensor de flujo de aire (MAF)
- Sensor de posición de la mariposa (TPS)

- Sensor MAP por tensión
- Sensor MAP por variación de frecuencia

### **2.5.2.1 Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo inductivo**

El sensor de posición del cigüeñal es el sensor primario de los sistemas electrónicos de inyección y encendido de combustible en cualquier automóvil moderno. Mide la velocidad de rotación (RPM) y la posición precisa del cigüeñal del motor. Sin un sensor de posición del cigüeñal, el motor no arranca.

La ubicación del sensor de posición del cigüeñal varía. En algunos automóviles, el sensor se instala cerca de la polea principal (balanceador de armónicos) como en este Ford en la foto. En otros automóviles, el sensor podría instalarse en la carcasa de la campana de transmisión o en el bloque de cilindros del motor, como se muestra en la foto de abajo. En la literatura técnica, el sensor de posición del cigüeñal se abrevia a CKP.

#### **2.5.2.1.1 Funcionamiento del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo inductivo**

El sensor de posición del cigüeñal está posicionado de manera que los dientes en la rueda reductora fijada al cigüeñal pasen muy cerca de la punta del sensor. La rueda reductora generalmente tiene uno o más dientes faltantes para proporcionar la computadora del motor (PCM) con el punto de referencia a la posición del cigüeñal.

A medida que el cigüeñal gira, el sensor produce una señal de voltaje pulsado, donde cada pulso corresponde al diente en la rueda reductora. La foto de abajo muestra la señal real del sensor de posición del cigüeñal con el motor al ralentí. En este vehículo, la rueda reductora está hecha con dos dientes faltantes.

Los dos tipos más comunes son los sensores magnéticos con una bobina de captación que produce voltaje de A / C y los sensores de efecto Hall que producen una

señal de onda cuadrada digital como en la foto de arriba. La mayoría de los autos más nuevos usan los sensores de efecto Hall. Típicamente, un sensor tipo bobina de captación tiene un conector de dos pines. El sensor de efecto Hall tiene un conector de tres pines (voltaje de referencia, masa y señal).

#### 2.5.2.1.1 Estructura del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo inductivo

Consta de una bobina arrollada sobre un núcleo de imán enfrentado a la rueda dentada o fónica.

Existen dos diseños de ruedas fónicas:

- La mayoría de los sistemas: 60 dientes – 2 dientes = 58 dientes
- En el caso de Ford: 36 dientes – 1 diente = 35 dientes

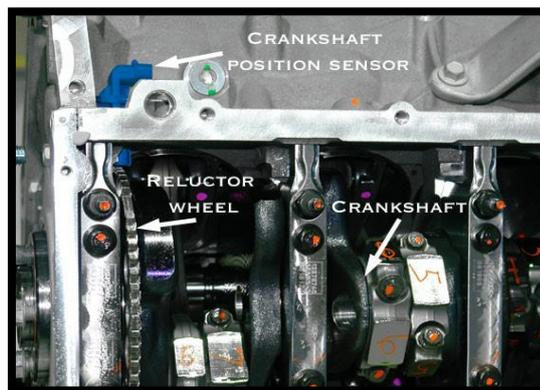


Figura 13. Sensor de giro del cigüeñal CKP tipo inductivo con sus partes (samarins.com)

#### 2.5.2.2 Sensor de giro del cigüeñal (CKP) tipo hall

Los sensores de posición del cigüeñal de efecto Hall (CKP) y de posición del árbol de levas (CMP) son componentes críticos de un sistema de gestión del motor.

Las entradas que proporcionan permiten al módulo de control del tren motriz (PCM) determinar la velocidad y la posición del motor, incluida la ubicación de un cilindro dentro del ciclo de cuatro tiempos.

Dicha información es vital para controlar las bobinas de encendido y los inyectores de combustible en el tiempo y la secuencia adecuados.

Los datos de estos sensores también se utilizan para otras funciones importantes, incluida la medición de combustible, la detección de fallas, el control de sincronización de válvulas variables (VVT) y más.

#### **2.5.2.2.1 Funcionamiento del sensor de giro del cigüeñal (CKP) Tipo hall**

Las funciones de los tres cables son voltaje de suministro del sensor, voltaje de señal y tierra. A diferencia de sus contrapartes de dos cables, los sensores de efecto Hall requieren alimentación externa y tierra para funcionar.

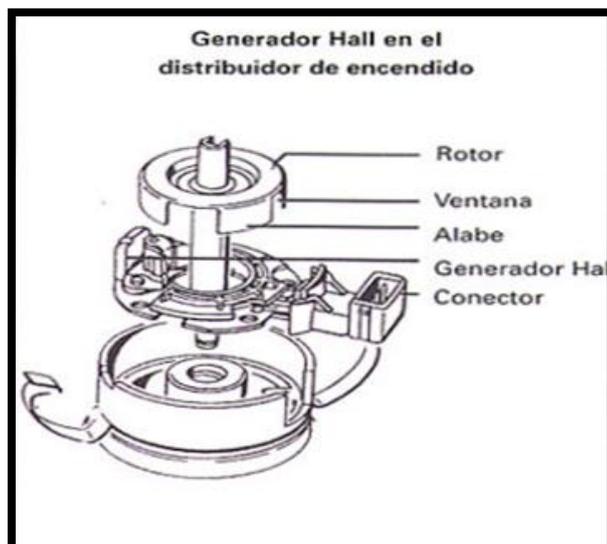
El transistor dentro del sensor conecta o desconecta el circuito de señal a tierra. La tensión en el circuito de señal la proporciona el PCM que utiliza cinco o 12 voltios.

Se pasa un pequeño nivel de corriente a través de un campo magnético dentro del sensor, que se ve alterado por un anillo de tono metálico giratorio.

El efecto Hall real es un cambio en el voltaje en relación con el cambio en el campo magnético.

El voltaje del efecto Hall se procesa usando varios componentes de acondicionamiento electrónico para cambiar la base del transistor. El resultado en el circuito de señal es una señal digital de alto o bajo voltaje.

Mientras está posicionado sobre una sección metálica del anillo de tonos, el transistor se enciende, lo que da como resultado un estado de baja tensión. Cuando está sobre un espacio de aire, el transistor se desconecta, lo que da como resultado un estado de señal de alto voltaje.



**Figura 14.** Sensor de giro del cigüeñal CKP tipo hall con sus partes (BOSCH, 2012)

### 2.5.2.3 Sensor de detonación (KNOCK SENSOR)

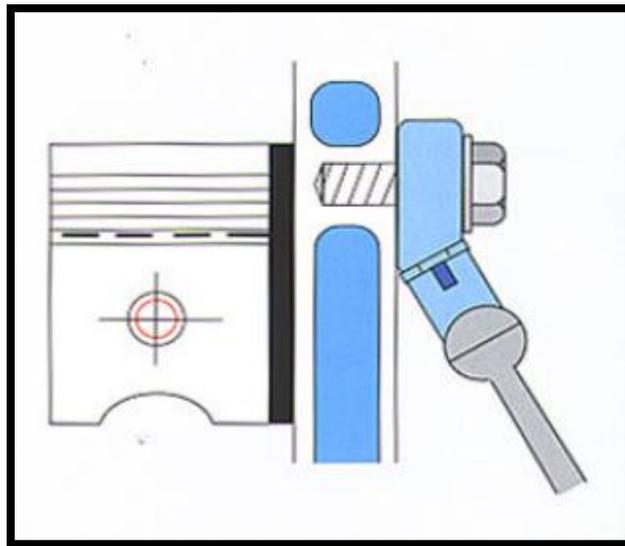
El sensor de golpe está ubicado en el bloque del motor, la culata o el colector de admisión. Esto se debe a que su función es detectar las vibraciones causadas por el golpe o la detonación del motor. El PCM usa esta señal para alterar el tiempo de ignición y prevenir la detonación. Comparará esta información con sus tablas preestablecidas para identificar un golpe o ping válido. Si se detecta un ping, retardará el tiempo de encendido para proteger el motor de este preignición perjudicial.

#### 2.5.2.3.1 Funcionamiento del sensor de detonación (KNOCK SENSOR)

El sensor de golpe o detonación es un sensor piezoeléctrico que contiene un cristal de detección piezoeléctrico y un resistor. Este cristal crea una pequeña cantidad de voltaje cuando se agita. Este sensor aprovecha esta propiedad única.

Los síntomas de un sensor de golpe que se encuentra en mal estado generalmente aparecen mientras se acelera o bajo una carga. Tenga en claro que este sensor afecta el tiempo de encendido de un motor. El vehículo tendrá una pérdida en el consumo de combustible y la aceleración, especialmente a velocidades de autopista. El cliente puede

quejarse de que el motor del vehículo no se siente bien. Algunos sistemas COP coil over plug utilizan estrategias que cancelan cilindros; consulte el manual del fabricante para obtener instrucciones especiales. A menudo estos sensores están ubicados en las culatas, debajo del colector de admisión. La computadora del vehículo (PCM) detectará un sensor de detonación defectuoso, establecerá un código (P0325-P0332) e ingresará al modo a prueba de errores.



**Figura 15.** Sensor de detonación  
(BOSCH, 2012)  
)

#### **2.5.2.4 Sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo**

##### **2.5.2.4.1 Funcionamiento del sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo**

El sensor de árbol de levas inductivo provee a la ECU información que le permite reconocer el trabajo en el cilindro. Es utilizado en los sistemas de inyección secuencial.

El voltaje es dado por varios factores estos a su vez son determinados por los respectivos sensores que se lo informan a la ECU: las RPM del motor, la proximidad del rotor de metal al sensor y la fuerza magnética que ofrece el sensor, la Ecu necesita estos

elementos para su referencia. (BOSCH, MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL, 2005)

#### **2.5.2.5 Sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo**

El sensor de posición del árbol de levas también se denomina sensor de identificación del cilindro o detector de fase.

En los sistemas de inyección de combustible consecutivos, la ECU debe determinar qué cilindro disparar a continuación. Esta información se proporciona desde el sensor de identificación del cilindro. Durante la rotación del motor, el sensor envía una señal al controlador de a bordo cuando el primer cilindro está en el punto muerto superior (TDC). Por lo tanto, se estima la duración de la inyección de pulso.

En los sistemas de inyección de combustible simultáneos, el controlador integrado no identifica los cilindros y el orden de encendido, porque esto no es necesario para que el sistema funcione. Cuando aparece una señal de encendido anticipado del cigüeñal o distribuidor, el cilindro exacto se detecta al reconocer las posiciones mecánicas del cigüeñal, el árbol de levas, las válvulas o el eje del distribuidor.

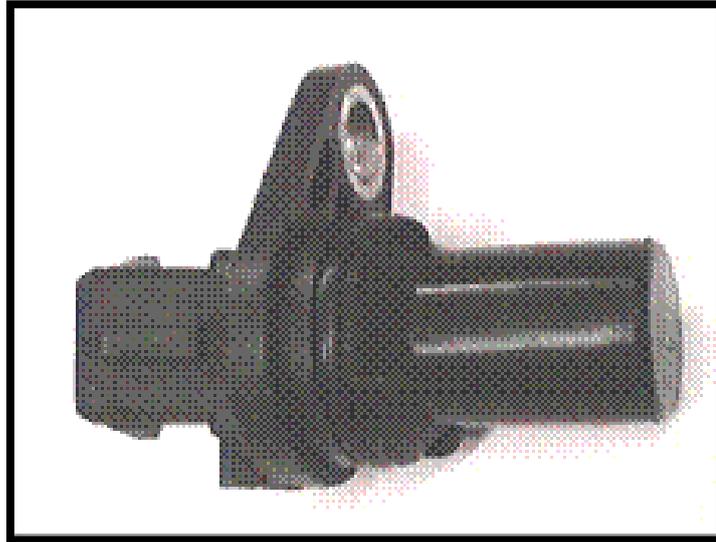
##### **2.5.2.5.1 Funcionamiento del sensor del árbol de levas CMP tipo hall**

El sensor de efecto Hall puede ubicarse dentro del distribuidor o en el árbol de levas. La pantalla con una ranura e imán está montada en el eje. Cuando la pantalla va entre el imán y el sensor Hall, el sensor se enciende y se apaga. Mientras que una ranura está en frente del sensor, un voltaje vuelve al amplificador a través de un tercer cable de señal. Mientras que frente al sensor haya un sector sólido de la pantalla, la tensión de retroalimentación se interrumpe porque el campo magnético se desvía.

#### **2.5.2.5.2 Funcionamiento del sensor del árbol de levas CMP tipo inductivo**

El sensor de fase de inducción puede estar ubicado dentro del distribuidor o en el árbol de levas. Por lo tanto, cerca del árbol de levas está montado un dispositivo con imán permanente. Cada vez que el imán pasa a través del sensor, su campo magnético cambia y el pulso resultante se envía al controlador integrado para su procesamiento.

El sensor de salida de CA es diferente de los demás en que la salida es una señal de voltaje de CA. El controlador incorporado genera una frecuencia muy alta (entre 150 y 2500 ciclos por segundo) a la bobina del excitador, que se encuentra cerca del disco giratorio. Este disco está montado en el extremo del árbol de levas y hay una ranura en él. Cuando la ranura pasa la bobina, es excitada por la inductancia mutua y una señal que indica que la posición del primer cilindro se envía al controlador de a bordo. Este tipo de sensor se utiliza en algunos motores Vauxhall ECOTEC.



**Figura 16.** Sensor del árbol de levas tipo hall  
(autoditex.com)

#### **2.5.2.6 Sensor de oxígeno (Sonda LAMBDA)**

El sensor lambda, también llamado sonda lambda, mide el nivel de oxígeno en los gases de escape y se coloca en el escape del motor. Mediante el análisis de las formas de

onda de funcionamiento del sensor lambda en diferentes modos de funcionamiento del motor, el funcionamiento del sensor en sí puede evaluarse, así como el funcionamiento del sistema de gestión del motor en general. La señal de un sensor lambda que no funciona bien es un mayor consumo de combustible, reducción de la dinámica del vehículo, pérdida de potencia del motor, ralentí errático o velocidad de ralentí incorrecta.

#### **2.5.2.6.1 Funcionamiento del Sensor de oxígeno (Sonda LAMBDA)**

Los motores de gasolina requieren una proporción exacta de mezcla de aire y combustible para una operación adecuada. La proporción, en la que el combustible se quema por completo y de manera efectiva, se denomina estequiométrica y es exactamente 14.7: 1. Esto significa que una parte del combustible debe mezclarse con 14.7 partes de aire. En la práctica, esta proporción de aire-combustible varía dependiendo del modo de operación del motor y la formación de la mezcla. Por lo tanto, el motor no es económico.

El coeficiente de exceso de aire -  $L$  (lambda) caracteriza cuán lejos está la mezcla real de combustible y aire de la estequiométrica (14.7: 1). Esta mezcla se considera óptima y en este caso  $L = 1$ . Si  $L < 1$ , tenemos falta de aire y la mezcla se enriquece. Cuando  $L = 0.85 - 0.95$  potencia del motor aumenta. Si  $L > 1$ , hay un exceso de aire y la mezcla se inclina. La potencia del motor desciende cuando  $L = 1.05 - 1.3$ , pero la economía aumenta. En  $L > 1.3$ , la mezcla se vuelve imposible de encender y se produce una falla de encendido del motor. Los motores de gasolina alcanzan su potencia máxima cuando hay una falta de aire de 5-15% ( $L = 0.85 - 0.95$ ) y un consumo mínimo de combustible con un exceso de aire de 10 - 20% ( $L = 1.1 - 1.2$ ).

De este modo, cuando el motor está funcionando, la proporción  $L$  varía constantemente en el rango de 0.9 - 1.1 y este es el rango operativo de regulación lambda. Cuando el motor se calienta a su temperatura de funcionamiento y no está cargado (es

decir, al ralentí), mantener la igualdad  $L = 1$  es esencial para que el convertidor catalítico cumpla completamente con su objetivo y reduzca al mínimo las emisiones del vehículo.

El sensor de oxígeno está montado en el colector de escape para que los gases de escape puedan estar en la línea de corriente de su superficie de trabajo. En esencia, el sensor de oxígeno es una fuente de corriente galvánica que cambia su voltaje de salida de acuerdo con la temperatura y el contenido de oxígeno del entorno. Dependiendo de la concentración de oxígeno de los gases de escape, aparece una señal de salida diferente. La forma de esta señal depende del tipo de material del que está hecho el sensor. Por lo tanto, el sensor de oxígeno informa al controlador de a bordo la cantidad de oxígeno en los gases de escape. El borde del reloj de la señal entre su estado "alto" y "bajo" es insignificante y se puede ignorar. El controlador a bordo recibe la señal del sensor de oxígeno, la compara con un valor almacenado en su memoria y si la señal difiere de la óptima para el modo actual, ajusta la duración de la inyección de combustible en ambas direcciones. Por lo tanto, mediante la implementación de una retroalimentación y un modo de operación correcto, se logra un máximo ahorro de combustible y gases nocivos mínimos.



**Figura 17.** Sonda lambda  
(autoditex.com)

### 2.5.2.7 Sensores de temperatura tipo ATS

ATS es un termistor de dos hilos y mide la temperatura en el colector de admisión. La densidad del aire es inversamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, la señal ATS proporciona un cálculo más preciso de la masa de aire aspirado por el motor.

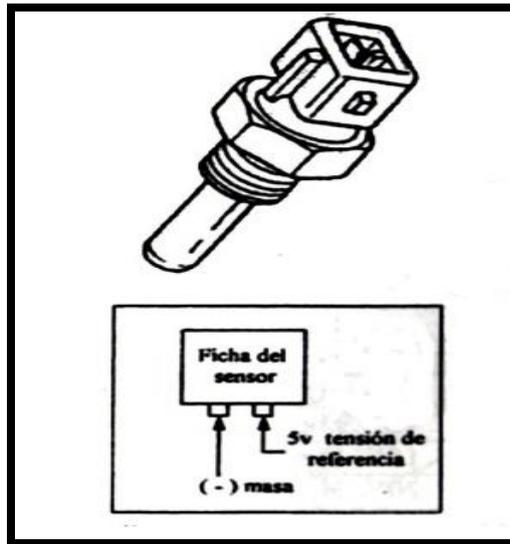


Figura 18. Sensores de temperatura  
(BOSCH, 2012)

#### 2.5.2.7.1 Funcionamiento de los sensores de temperatura tipo NTC

La tensión de referencia de +5 V se aplica al sensor en circuito abierto y la conexión a tierra se realiza a través de la retroalimentación del sensor. La tensión variable de la temperatura del aire se alimenta al controlador integrado.

La ubicación ATS es importante para el rango de temperatura. De acuerdo con las características estructurales del vehículo, ATS puede ubicarse en diferentes ubicaciones:

En el colector de admisión;

En la caja del filtro de aire;

Dentro del MAF.

La señal de temperatura del aire varía significativamente desde el arranque del motor en frío y en caliente y desde la ubicación del ATS. Si el ATS está en el colector de

admisión o en la caja del filtro de aire, la temperatura medida será la bahía del motor confiable con un rango de 20°C a 40°C. Si está ubicado en el colector de admisión o en el cuerpo del acelerador (en algunos sistemas SPi), el rango de temperatura puede ser mucho mayor, llegando a 70°C cuando el motor está caliente. Algunos automóviles usan dos sensores: primero mide la temperatura del compartimiento del motor y la segunda mide la temperatura ambiente. Esto es especialmente útil si el automóvil está turboalimentado.

**Tabla 1.** Funcionamiento del sensor de temperatura

Temperatura	Resistencia, $\Omega$	Voltaje, V
0	4800 - 6600	4.00 – 4.50
10 °C	4000	3.75 – 4.00
20 °C	2200 - 2800	3.00 – 3.50
30 °C	1300	3.25
40 °C	1000 – 1200	2.50 – 3.00
50 °C	1000	2.50
60 °C	800	2.00 – 2.50
80 °C	270 - 380	1.00 – 1.30
110 °C		0.50
Circuito interrumpido		5.0 V $\pm$ 0.1
Corto circuito		

### 2.5.2.8 Sensor de flujo de aire (MAF)

#### 2.5.2.8.1 Funcionamiento del sensor de flujo de aire (MAF)

El sensor MAF o sensor del flujo de aire mide directamente el aire que ingresa por el ducto de admisión. Se encuentra colocado entre el filtro de aire y el cuerpo de la mariposa de aceleración.

### 2.5.2.8.2 Estructura del sensor de flujo de aire (MAF)

Los sensores MAF suelen tener 4 cables correspondiendo a:

- Alimentación 12V
- Masa de calefacción
- Masa del sensor MAF
- Señal del sensor MAF: 0,7V a 4V

Algunos sensores MAF tienen 5 ó 6 cables pudiendo agregarse una alimentación de 5V y una termistancia de aire (IAT).

Algunos MAF pueden tener solamente 3 cables (vehículos Asiáticos) en este tipo se han unificado las dos masas.

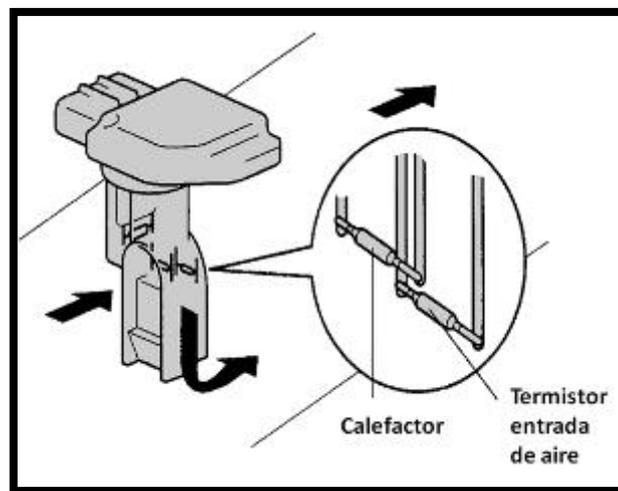


Figura 19. Esquema del sensor MAF (BOSCH, 2012)

### 2.5.2.9 Sensor de posición de la mariposa (TPS)

#### 2.5.2.9.1 Funcionamiento del sensor de posición de la mariposa (TPS)

El sensor TPS informa al PCM de la posición de la mariposa de aceleración. La condición de mariposa cerrada se suele representar por un voltaje bajo menor a 1Volt,

mientras que la mariposa totalmente abierta se representa con un voltaje alto normalmente 4,5 Volt.

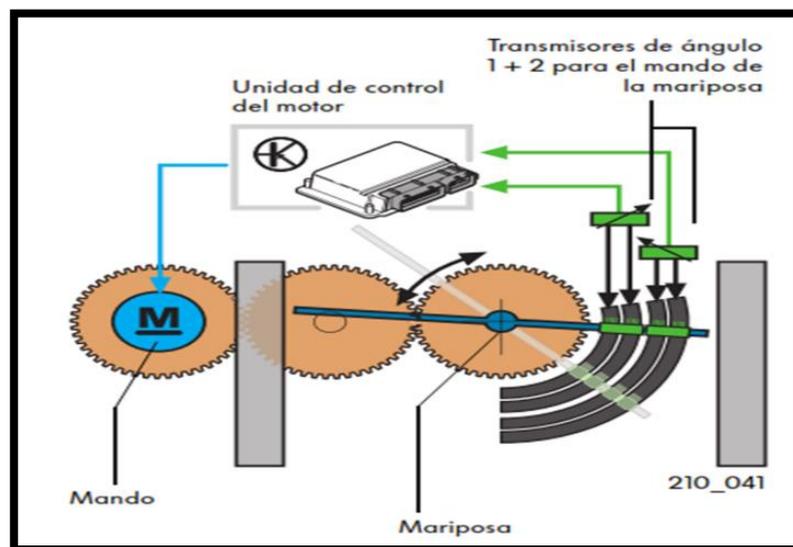
### 2.5.2.9.2 Estructura del sensor de posición de la mariposa (TPS)

Está compuesto por un potenciómetro de tres cables aunque en algunos sistemas se le agrega un cuarto cable correspondiente a un "CUT OFF" o Idle Switch.

La señal del TPS es del tipo analógica y la señal del Idle Switch es del tipo todo o nada (OFF-ON).

Los cables del sensor corresponden a:

- Alimentación 5 Volt
- Masa
- Señal: 0,5 V a 4,5 V.



**Figura 20.** Estructura del sensor de posición de la mariposa TPS (BOSCH, 2012)

### 2.5.2.10 Sensor MAP por tensión

El sensor MAP (Sensor presión absoluta del múltiple) provee al PCM de una señal correspondiente a la presión absoluta que hay en el múltiple de admisión para calcular la carga motor.

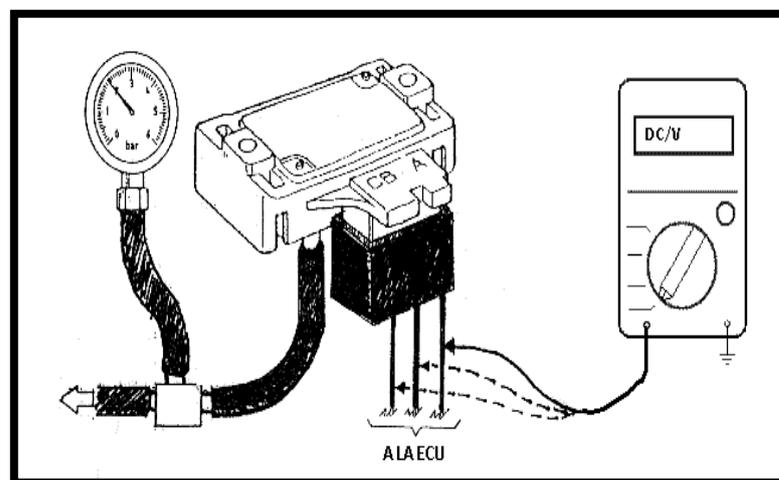
#### 2.5.2.10.1 Funcionamiento del sensor MAP por tensión

Si la presión es baja (mucho vacío) la carga del motor es pequeña y el PCM inyectará poco combustible. Si en cambio la presión en el múltiple es alta (presión atmosférica o próxima a ella) el PCM interpretará que la carga al motor es grande e inyectará más combustible. (BOSCH, MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL, 2005)

#### 2.5.2.10.2 Estructura del sensor MAP por tensión

Los sensores MAP tienen 3 cables de conexión correspondientes a:

- Alimentación: 5V
- Masa
- Señal: entre 0,6V y 4,7V.



**Figura 21.** Sensor MAP por tensión.  
(BOSCH, 2012)

## 2.5.2.11 Sensor MAP por variación de frecuencia

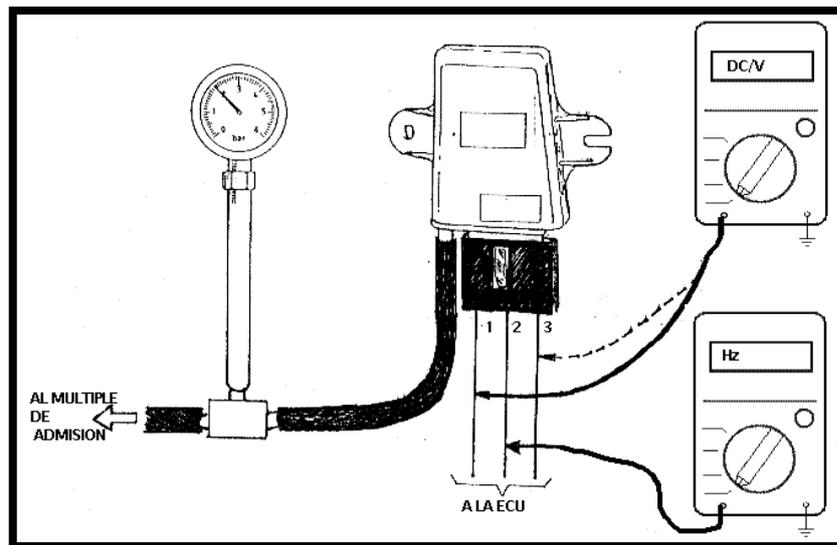
### 2.5.2.11.1 Funcionamiento del sensor MAP por variación de frecuencia

El MAP por variación de frecuencia es utilizado por los vehículos Ford con computadora EECIV provee una señal de onda cuadrada de una amplitud de 5V. Mayor presión en el múltiple mayor frecuencia de la señal y viceversa. El rango de trabajo del sensor es de 80Hz a 160Hz. (BOSCH, MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMÓVIL, 2005)

### 2.5.2.11.2 Estructura del sensor MAP por variación de frecuencia

Estos sensores poseen 3 cables de alimentación:

- Alimentación: 5V
- Masa
- Señal: (a ficha desconectada sobre el cable de señal hay 5V fijos)



**Figura 22.** Sensor MAP por variación de frecuencia  
(BOSCH, 2012)

## CAPÍTULO IV

### DISEÑO DE CAJA DE PRUEBAS

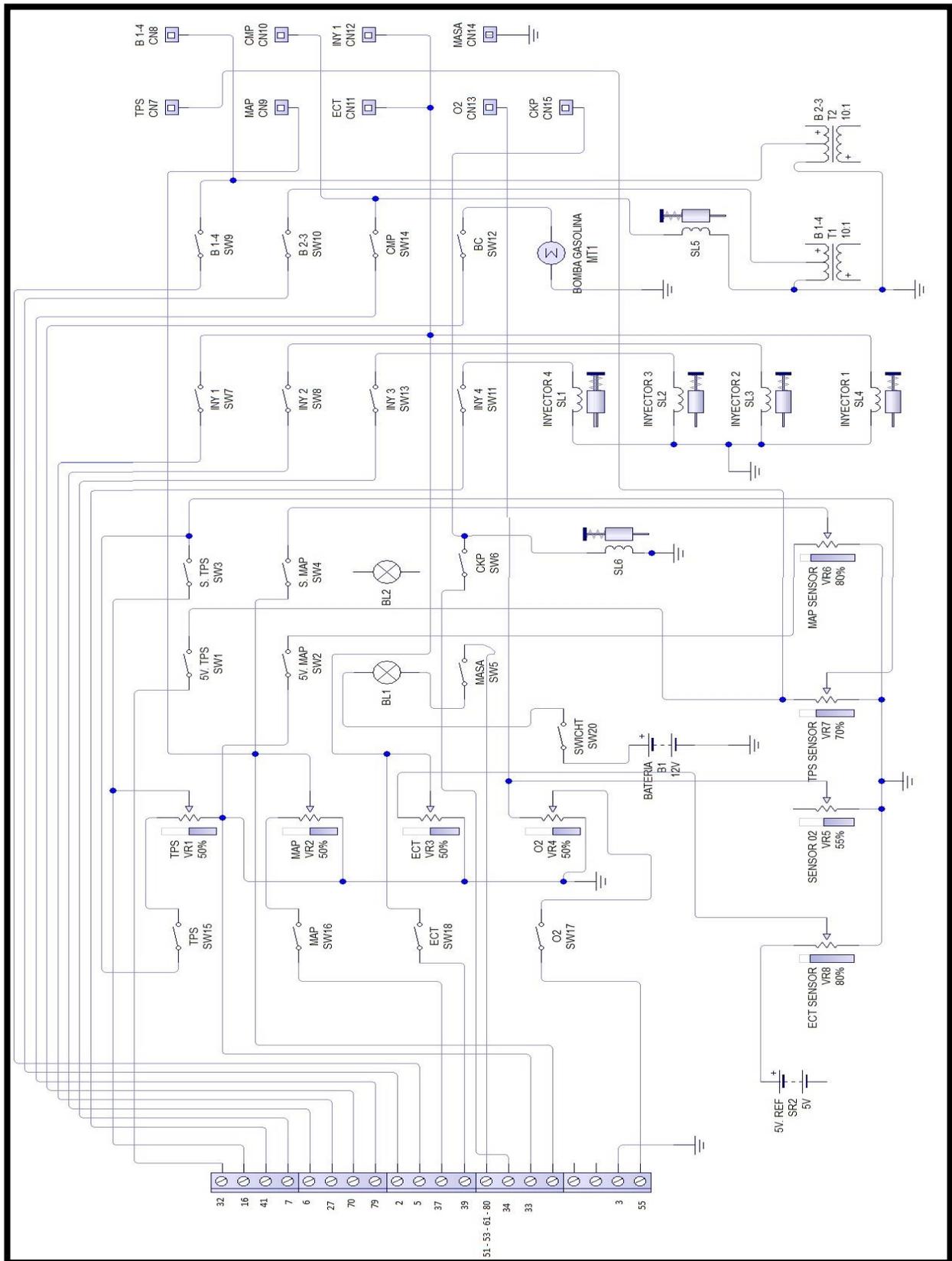
#### **3.1 Diseño de la caja de pruebas.**

Para proceder a realizar la construcción de la caja de pruebas es necesario primeramente realizar un diseño que nos permita tener bien claro lo que vamos a realizar por lo tanto a continuación vamos a presentar los pasos que utilizamos para poder realizar esta.

##### **3.1.1 Diseño del diagrama eléctrico de la caja de pruebas**

El primer paso para realizar la caja de pruebas es proceder a realizar el diseño del diagrama eléctrico de la caja de pruebas para así tener claro que es lo que vamos a realizar a continuación podemos observar en la figura 24 el diagrama eléctrico de la caja de pruebas y su respectiva estructura.

Para realizar diagramas eléctricos actualmente tenemos una gran cantidad de programas que nos permiten realizar esquemas eléctricos, diagramas y esquemas de circuitos la utilización de estos varía de acuerdo al proyecto que se esté realizando en nuestro caso realizamos el circuito en Livewire un programa que se nos permite incluir complejos esquemas y circuitos eléctricos y electrónicos además se destaca por ser de fácil uso, como se observa en la figura 23 podemos ver el circuito eléctrico de la caja de simulación de fallas.



**Figura 23.** Diagrama eléctrico de la caja de pruebas  
(Rene Ortiz)

### 3.1.2 Diseño visual de la caja de pruebas

A continuación procedemos a realizar el diseño visual de cómo nos va a quedar la caja de simulación de fallas para eso podemos utilizar una gran cantidad de programas que nos permiten cumplir con este fin en este caso se utilizó un programa llamado Cocodrile el cual de igual manera nos permite obtener resultados óptimos además de ser muy fácil de usar, en la tabla 2 podemos observar los componentes de la caja de simulación.

**Tabla 2.** Componentes del sistema de simulación de fallas

<b>Componentes del banco de simulación</b>			
1. Switch del TPS.	9. Corte de 5 volt TPS.	17. Inyector 3.	25. Señal ECT.
2. Switch del MAP.	10. Corte de 5 volt MAP.	18. Inyector 4.	26. Señal IAT.
3. Switch del ECT.	11. Corte señal de masa sensores ECT, TP, IAT.	19. Corte de bobina paquete 1.	
4. Switch del IAT.	12. Corte señal TPS.	20. corte de bobina paquete 2.	
5. Potenciómetro del TPS.	13. Corte señal MAP.	21. Corte de señal CMP.	
6. Potenciómetro del MAP.	14. Cambio de señal del CKP.	22. Corte de señal relé de bomba.	
7. Potenciómetro del ECT.	15. Inyector 1.	23. Señal TPS.	
8. Potenciómetro del IAT.	16. Inyector 2.	24. Señal de MAP.	

Una vez realizado el diseño procedemos a materializar el banco de pruebas

En la figura 24 vemos como están ubicados los respectivos controles que se instalaron en el tablero los números de estos coinciden con los presentados en la tabla 2.

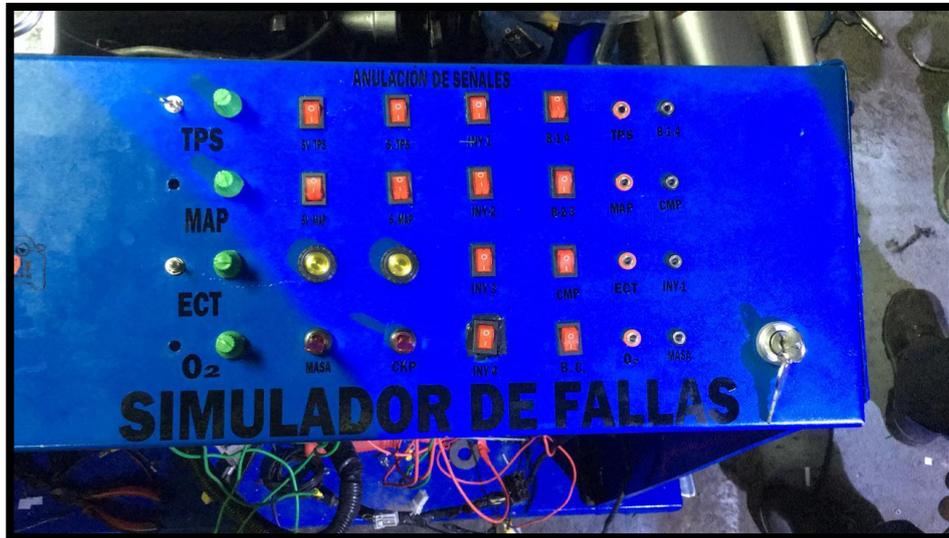


Figura 24. Controles instalados en el simulador (Rene Ortiz Cherrés)

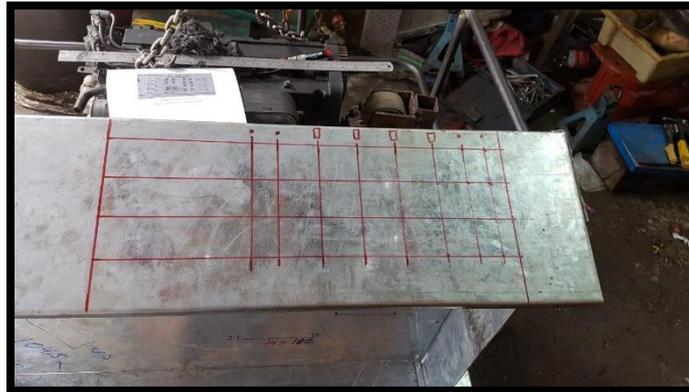
### 3.1.3 Construcción de la caja de simulación de fallas

Para la construcción de la caja de simulación primeramente procedimos a realizar el corte del material para proceder a hacer esto utilizamos varias herramientas de corte que nos permitan cortes precisos.



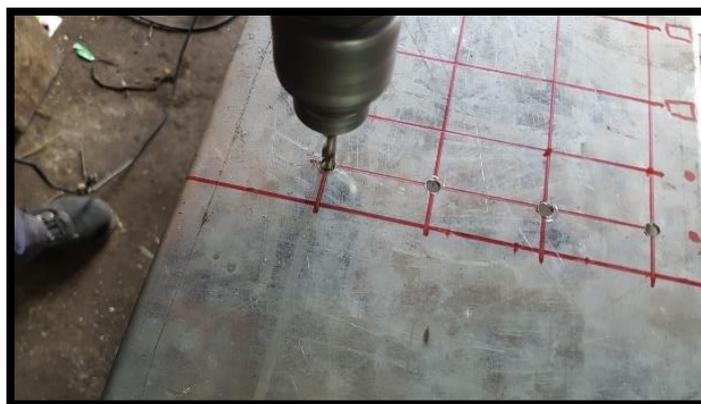
Figura 25. Estructura metálica donde se colocara la caja de simulación. (Rene Ortiz)

Posteriormente procedimos a realizar la marcación del metal para saber dónde van a ir instalados los respectivos componentes para esto nos ayudamos del diagrama eléctrico que se realizó previamente y con la ayuda de un marcador se realiza la marcación del metal como se observa en la figura 26.



**Figura 26.** Marcación del metal de la caja de simulación.  
(Rene Ortiz)

Una vez que tenemos esto listo procedemos a realizar la perforación del metal con la ayuda de un taladro como se ve en la figura 27, por estos pasaran los cables que se instalaran.



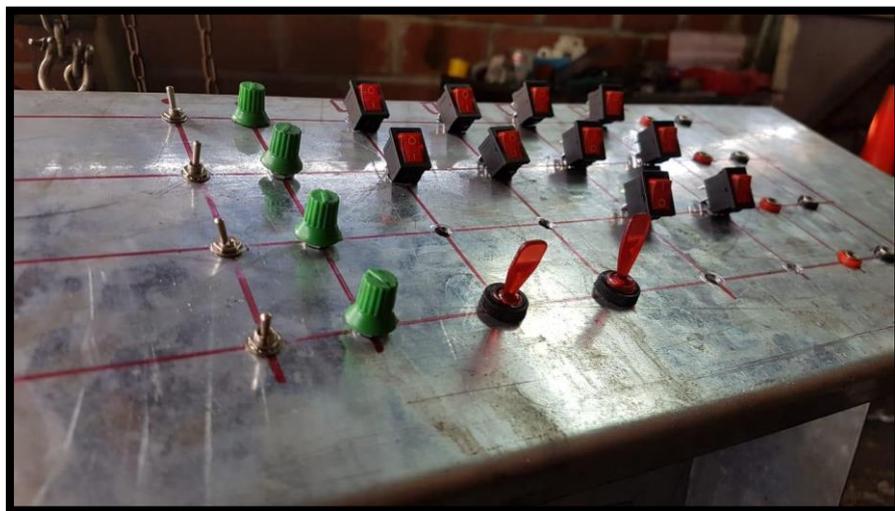
**Figura 27.** Montaje del motor en el soporte  
(Rene Ortiz)

Se procede a realizar la instalación del panel de instrumentos parte crucial del banco de pruebas para que posteriormente se realicen las respectivas mediciones es necesario esquematizar la composición y si es posible diagramarlo para no presentar errores a la hora de la instalación.



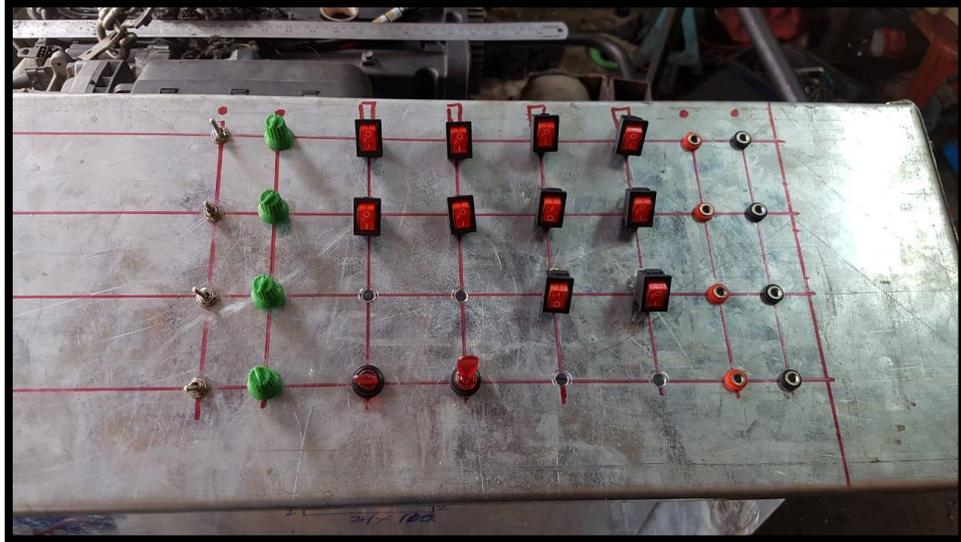
**Figura 28.** Instalación del panel de instrumentos  
(Rene Ortiz)

Una vez que se realiza la instalación de todos los elementos del panel de instrumentos procedemos a comprobar que todo se encuentre bien para continuar con el proceso.



**Figura 29.** Instalación de componentes en el banco de pruebas.  
(Rene Ortiz)

Procedemos a conectar la parte eléctrica del banco y procedemos a realizar el diagnóstico de los diferentes sensores que existen en el banco de pruebas.



**Figura 30.** Componentes del banco de pruebas instalados  
(Rene Ortiz)

Realizamos la instalación del tacómetro que nos permitirá visualizar las rpm del motor y mediciones de combustible y temperatura además de la velocidad como se observa en la figura 31.



**Figura 31.** Diagnóstico del sensor de oxígeno del Hyundai accent 2004  
(Rene Ortiz)

### 3.1.2.2 Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS

Una vez que realizamos la correcta instalación de todos los componentes observamos que se encuentre todo instalado procedemos a pintar y terminar.



**Figura 32.** Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS (Rene Ortiz)

Procedemos a encender el motor y vemos que encienda para así encender el banco de pruebas.



**Figura 33.** Diagnóstico por osciloscopio del inyector (Rene Ortiz)

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder diseñar una caja de simulación de fallas del sistema de control electrónico para el motor G4ED Hyundai es necesario tener en cuenta que se van a realizar cambios en el sistema electrónico, eléctrico del control del motor a continuación se detallaran los sensores con sus respectivos actuadores

**Tabla 3.** Elementos del simulador de fallas

<i>Hyundai 1600cc 16 Válvulas año 2004</i>	
<b>Sensores</b>	<b>Actuadores</b>
ECT	Inyectores
IAT	IC
TPS	IAC
CKP	-
Lambda	-
MAP	EVAP
KS	Relé de bomba de combustible

## 4.1 Métodos

Para esta investigación el uso de los equipos de diagnósticos y sus sistemas es en base a parámetros numéricos, datos dados por los sensores e interpretados por la ECU, con lo cual la metodología es en su mayoría cuantitativa, pero la interpretación de las fallas, dadas por el equipo queda a concepto y análisis de los operarios.

## 4.2 Población y muestra

### 4.2.1 Población

En el desarrollo de este proyecto el motor a ser sujeto de diagnóstico es el Hyundai Accent 1600cc de 16 válvulas del 2004.

**Tabla 4.** Población para el proyecto

<i>Marca</i>	Hyundai
<i>Modelo</i>	Accent
<i>Serie de motor</i>	G4ED
<i>Cilindraje</i>	1600 centímetros cúbicos
<i>Año</i>	2004

### 4.2.2 Muestra

En este caso se seleccionará un vehículo con los siguientes datos de especificaciones.

**Tabla 5.** Muestra para el proyecto

<i>Marca</i>	Hyundai
<i>Modelo</i>	Accent
<i>Serie de Motor</i>	G4ED
<i>Cilindraje</i>	1600 centímetros cúbicos

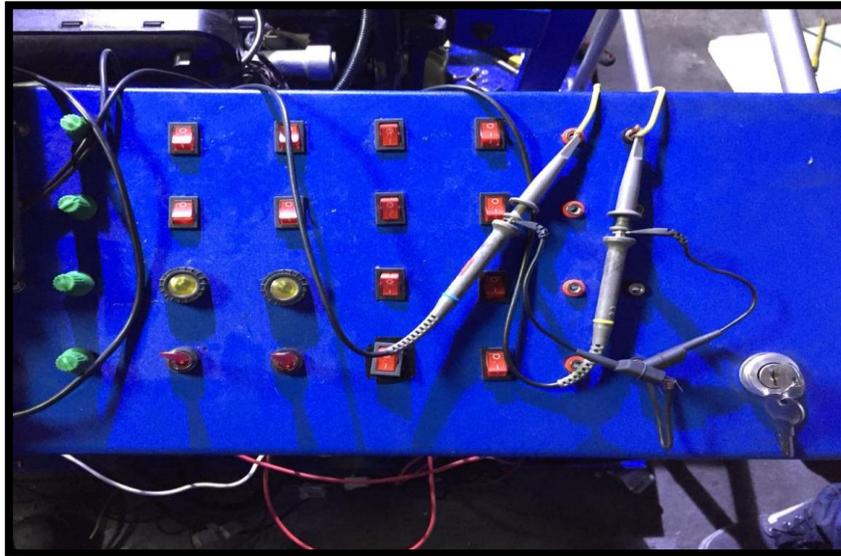
---

<i>Distribución</i>	DOHC
<i>Numero de Válvulas</i>	16 válvulas
<i>Año</i>	2004
<i>Nro. Chasis</i>	KMHCG41CP4U508809
<i>Nro. Motor</i>	G4ED3601979

---

#### **4.2.3 Diagnostico de los sensores del sistema de inyección.**

Con la ayuda de un osciloscopio y una computadora procedemos realizar la comprobación de los sensores del banco de pruebas y verificamos el funcionamiento.

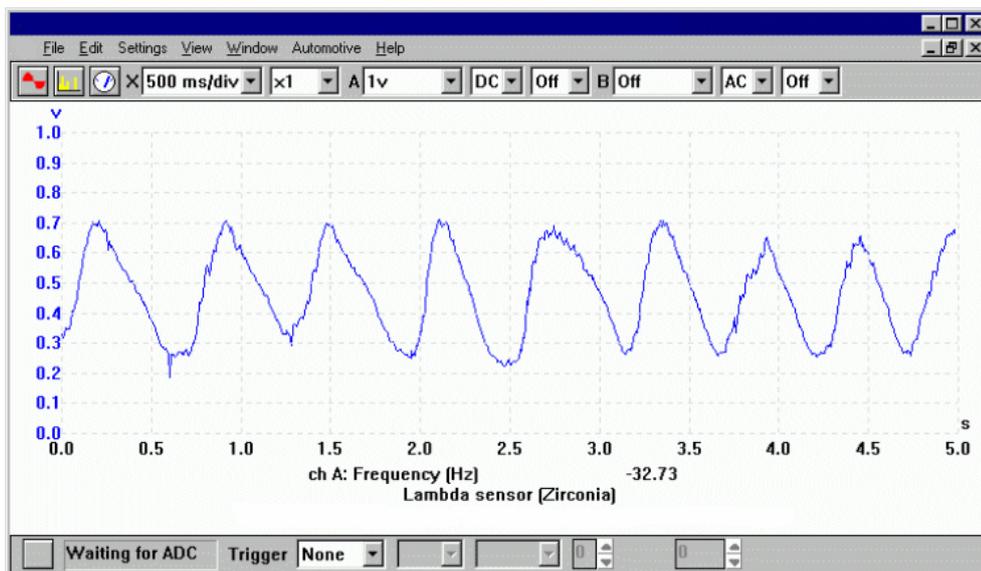


#### **4.1.2.1 Diagnostico del sensor de oxigeno**

Con la ayuda de un osciloscopio procedemos a realizar la comprobación del sensor de oxígeno y como se visualiza en la figura este corresponde con la de un sensor en buen estado.



**Figura 34.** Diagnóstico del sensor de oxígeno del Hyundai accent 2004  
(Rene Ortiz)



**Figura 35.** Forma de onda del sensor de oxígeno  
(Taaet Electronics)

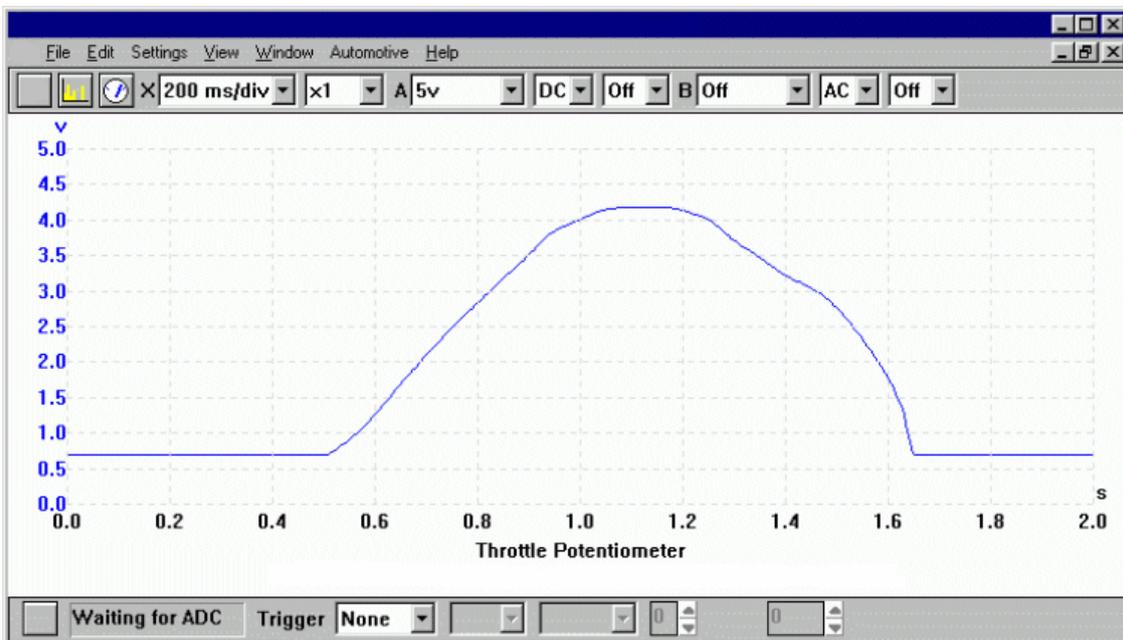
#### 4.1.2.2 Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS

Con la ayuda de un osciloscopio procedemos a realizar la comprobación del sensor de posición de la mariposa y como se visualiza en la figura este corresponde con

la del sensor sin embargo para este utilizamos un software desde una computadora y pudimos verificar que se encontraba en mal estado.



**Figura 36.** Diagnóstico del sensor de posición de la mariposa TPS (Rene Ortiz)



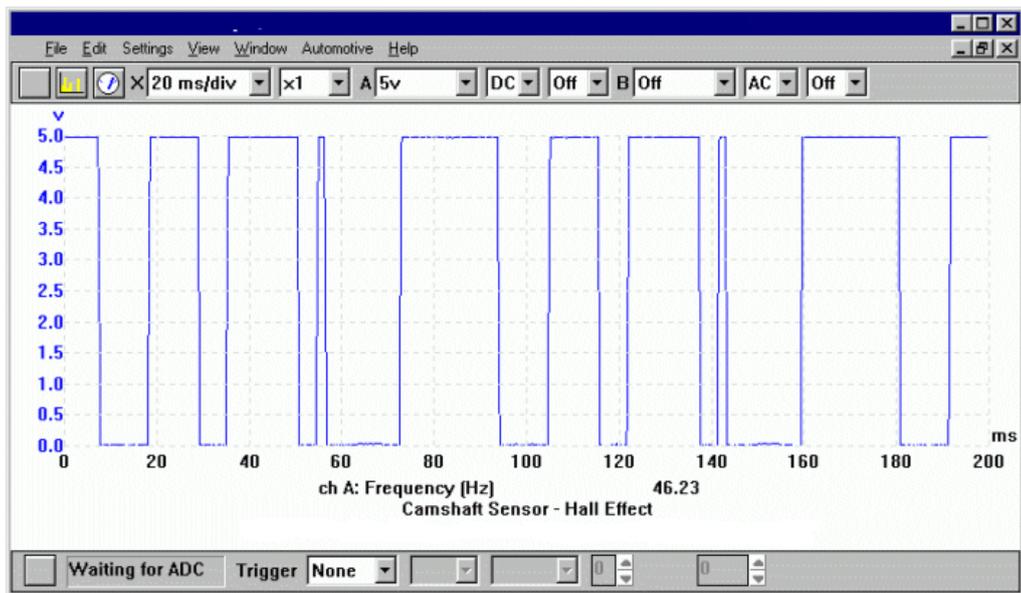
**Figura 37.** Forma de onda del sensor de la mariposa TPS (Taaet Electronics)





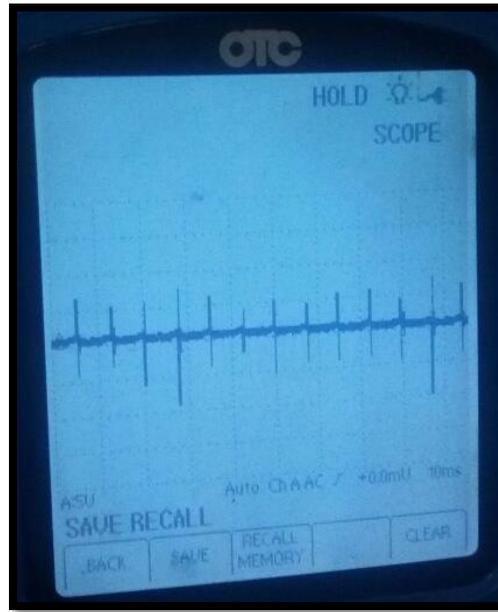
**Figura 39.** Diagnóstico del sensor del árbol de levas tipo hall  
(Rene Ortiz)

**Figura 40.** Forma de onda del sensor del árbol de levas tipo hall  
(Taaet Electronics)

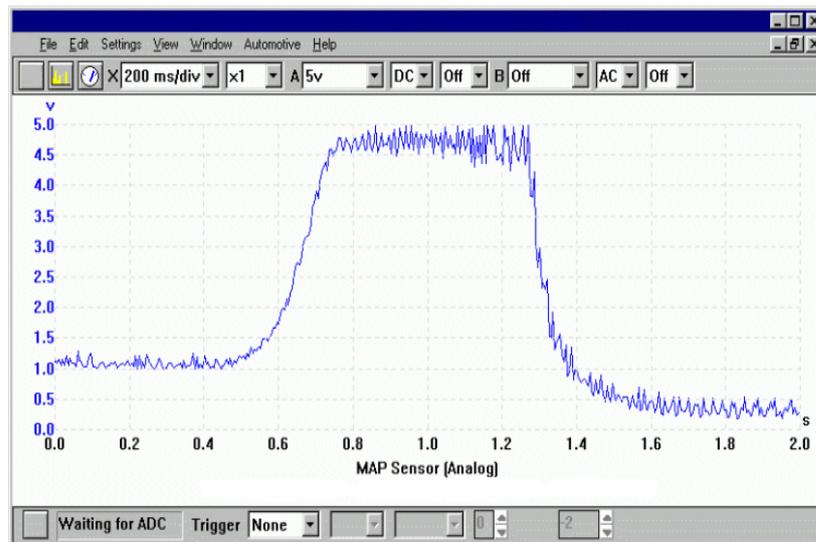


#### 4.1.2.5 Diagnóstico del sensor MAP por tensión

Con la ayuda de un osciloscopio procedemos a realizar la comprobación del sensor MAP por tensión y como se visualiza en la figura este corresponde con la del sensor cuando se encuentra en buenas condiciones.



**Figura 41.** Diagnóstico del sensor MAP por tensión  
(Rene Ortiz)



**Figura 42.** Forma de onda del sensor MAP por tensión  
(Taaet Electronics)

Finalmente pudimos realizar la comprobación de todos los sensores sin embargo pudimos notar que el TPS se encontraba en mal estado por lo que realizamos varias pruebas y se llegó a la conclusión del deficiente funcionamiento de este.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Una vez que hemos terminado el proyecto pudimos determinar que la generación de nuevo conocimiento entorno a la comprobación del sistema de inyección electrónica del motor del vehículo Hyundai Accent se generó ya que no existen antecedentes de una caja de simulación de fallas registrado del motor de este vehículo.
- Se llega a la conclusión de que si es posible la creación y la materialización de una caja de simulación de pruebas para el motor del vehículo Hyundai Accent que nos permite realizar pruebas en funcionamiento real de este, esto es posible gracias al diseño previo de un conjunto de dispositivos que nos permiten comprobar el sistema electrónico del mismo.
- Las dificultades que pueda sufrir el motor nos permiten entender el funcionamiento o defecto que puedan estar teniendo alguno de los sensores y también los actuadores bobina de encendido, relé de bomba de combustible e inyectores intervenidos en este banco, este banco de pruebas se pueden realizar pruebas con conectores OBDII e incluso un osciloscopio, posterior a la finalización con el dispositivo de prueba comprobamos que se puede hacer con eficacia, cada una de las pruebas, estimaciones y reproducciones que nos propusimos al inicio del proyecto.

## 5.2 Recomendaciones

- Utilizar equipos de protección personal además de las herramientas adecuadas que nos permitan sufrir algún tipo de daño o lesión.
- Seguir una metodología de trabajo para evitar un posterior caos a la hora de empezar a trabajar y a medida que vayamos avanzando.
- Contar con todos los dispositivos necesarios es decir materiales con los cuales vayamos a construir el banco de pruebas.
- Utilizar equipos de diagnóstico que nos permitan obtener una clara visión de los daños que esté sufriendo nuestro motor.
- Usar un osciloscopio el cual nos permita observar el estado en el cual se encuentra la parte electrónica.
- Contar con información previa como imágenes o figuras que nos permitan ver el funcionamiento real de cada uno de los sensores y componentes electrónicos del vehículo esto nos permitirá realizar una comparación para determinar si el funcionamiento es el correcto.

## BIBLIOGRAFÍA

- González, D. (2011). Motores. Madrid: Paraninfo.
- Gutiérrez, M. S. (2012). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. IC Editorial.
- Hartman, J. (2013). Cómo afinar y modificar sistemas de control de motores automotrices. Minneapolis: Lexus.
- Melchor, J. C. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF0133\_2). IC Editorial.
- Padilla, B. J. (2012). Técnicas básicas de electricidad de vehículos. IC Editorial.
- Padilla, B. J. (2012). Técnicas básicas de mecánica de vehículos. IC Editorial.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Dominguez, M. (2015). Motores de Combustion Interna. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Molitch-Hou, M. 2015. Autodesk Teams with Mattel en 3D Printing Industry.
- Arias, F. (2008). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. Caracas: Editorial Texto, C.A.
- Fracica, G. (1988). Modelo de simulación en muestreo. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Srinivasan, S. (2008). Automotive Mechanics . New Dheli: Tata McGraw-Hill Education.
- González, D. (2011). Motores. Madrid: Paraninfo.
- Gutiérrez, M. S. (2012). Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos . IC Editorial.
- Hartman, J. (2013). Cómo afinar y modificar sistemas de control de motores automotrices. Minneapolis: Lexus.

- Melchor, J. C. (2012). Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Otto (MF0133\_2). IC Editorial.
- Padilla, B. J. (2012). Técnicas básicas de electricidad de vehículos. IC Editorial.
- Padilla, B. J. (2012). Técnicas básicas de mecánica de vehículos. IC Editorial.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz Dominguez, M. (2015). Motores de Combustion Interna. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- © Robert Bosch GmbH. (2008). Sensores y Actuadores EK4.
- BOSCH. (2005). MANUAL DE LA TÉCNICA DEL AUTOMOVIL. HAMBURGO: DIPL,-ING KARL-HEINZDIETSCHÉ.
- BOSCH. (2012). Sistemas de Inyección Electrónica. Campiñas: RbGmbH.