



**Universidad del Azuay**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz**

**Diseño y construcción de un Banco Didáctico Funcional del  
Sistema de Inyección CRDI**

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

**Autores**

**Fredy Vinicio Guillén Solano**

**Martín Alberto Moscoso Ramírez**

**Director**

**Pablo Segarra Coello**

**Cuenca –Ecuador**

**2011**

**DEDICATORIA:**

*Fredy.*

A ti mamá por tu respaldo incondicional, durante mi carrera universitaria, a mi esposa Diana Elisa, mi hija Valeria, mi hijo o hija que está en camino, por el tiempo que no pude compartir con ustedes; más que nada, por su amor.

*Martin.*

A mi familia por el apoyo, y de manera especial a mi esposa María de Lourdes a mis hijos por la comprensión y el tiempo que me han brindado. Para ellos esta tesis les dedico con mucho cariño.

### **AGRADECIMIENTO:**

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad del Azuay, a la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz y a nuestros docentes; de manera especial a nuestro Director de Tesis Ing. Pablo Segarra, por el apoyo en el transcurso de nuestra formación académica y en la realización del presente trabajo, al taller “Servicio Automotriz Moscoso” por el uso de sus instalaciones.

*Handwritten signature and number 170611 in red ink.*

## RESUMEN

### Diseño y construcción de un Banco Didáctico Funcional del Sistema de Inyección CRDI

El sistema de inyección CRDI presenta dificultades para su mantenimiento y reparación, por falta de conocimiento e información sobre su funcionamiento. La tesis desarrollada proporciona información práctica y técnica del sistema CRDI para un motor Hyundai J3, a través de un documento. Además incluye una tarjeta de adquisición de datos hecha a la medida que permite digitalizar las señales de los sensores del sistema y visualizarlos en una PC. Por medio de este trabajo se logró obtener el banco didáctico con el motor y la tarjeta electrónica funcionando perfectamente con su respectivo documento de respaldo.

**Guillen Solano Fredy Vinicio**

**Ing. Pablo Segarra**

**Moscoso Ramirez Martin Alberto**

*Handwritten signature in red ink*  
170611

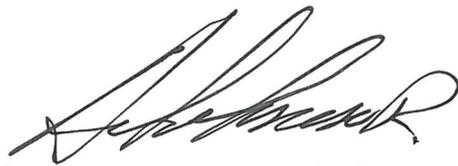
## ABSTRACT

### **Design and construction of a didactic functional bank CRDI injection system**

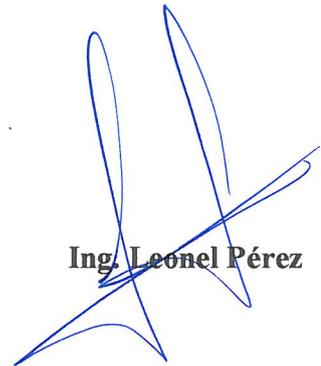
The CRDI injection system presents difficulties for its maintenance cycle. It also presents repair difficulties due to lack of knowledge and information concerning its functional operation. Graduation work provides practical and technical information about the CRDI system for Hyundai CRDI J3 engine through a document. It also includes a data acquisition card, tailored to digitalize the signals from the sensors in the system and displayed on a PC. As a final result of this work we managed to get the bank didactic with the engine and the electronic card working perfectly with their respective supporting document.



**Guillen Solano Fredy Vinicio**



**Moscoso Ramirez Martin Alberto**



**Ing. Leonel Pérez**

## INDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Resumen .....	iv
Abstract .....	v
Indice de Contenidos .....	vi
Indice de figuras .....	viii
Indice de Tablas .....	xii

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

### **CAPÍTULO 1: EL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI**

1.1 Introducción. ....	2
1.2 Sistema de Baja Presión. ....	4
1.2.1 Tapa de combustible. ....	4
1.2.2 Depósito de combustible .....	4
1.2.3 Cañerías de combustible .....	4
1.2.4 Elementos filtrantes.....	5
1.2.5 Bomba de transferencia.....	8
1.3 Sistema de alta Presión.....	10
1.3.1 El riel.....	10
1.3.2 Bomba de alta Presión.....	11
1.3.3 Válvula limitadora de presión .....	18
1.4 Sensores del sistema CRDI .....	18
1.4.1 Sensor de temperatura de combustible.....	18
1.4.2 Sensores de flujo de la masa de aire .....	20
1.4.3 Sensor de posición del árbol de levas .....	23
1.4.4 Sensores de posición del cigüeñal.....	24
1.4.5 Sensor de posición del acelerador .....	25
1.4.6 Sensor de temperatura de refrigerante motor .....	28
1.4.7 Sensores de presión del riel.....	31
1.4.8 Sensor de golpeteo .....	34
1.5 Actuadores del sistema CRDI .....	35

1.5.1 Válvula de llenado de alta presión .....	35
1.5.2 Actuadores del sistema CRDI .....	37
1.5.3 Válvula de llenado de alta presión .....	42
1.6 Modulo de control del motor .....	44
1.6.1 Estructura .....	45
1.6.2 Alimentaciones.....	45
1.6.3 Señales de entrada .....	46
1.6.4 Señales de salida .....	47
1.7 Conclusión .....	47

## **CAPÍTULO 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO.**

2.1 Introducción. ....	48
2.2 Características particulares del banco .....	49
2.3 Ubicación de los componentes que integran el banco didáctico.....	49
2.3.1 Sistema de alimentación.....	49
2.3.2 Sistema de alimentación electrica .....	50
2.3.3 Sistema de refrigeración.....	51
2.3.4 Sistema de control .....	52
2.3.5 Sistema de escape.....	53
2.4 Diseño .....	54
2.4.1 MaterialesSeguridad.....	54
2.5 Simulación de la estructura en ANSYS .....	56
2.6 Analisis de la soldadura y pernos .....	60
2.6.1 Analisis de soldadura .....	60
2.6.2 Analisis de pernos .....	65
2.7 Seguridad .....	69
2.8 Conclusión .....	70

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFACE**

3.1 Introducción. ....	71
3.2 Diseño de la tarjeta electrónica .....	71
3.2.1 Propósito .....	71

3.2.2 Diseño .....	72
3.2.3 Simulación .....	75
3.2.4 Materiales .....	76
3.2.5 Fabricación.....	77
3.2.6 Pruebas de funcionamiento .....	79
3.3 Descripción del software.....	81
3.3.1 Microcontrolador.....	82
3.3.2 Programación del microcontrolador.....	86
3.3.3 Grabación del programa en el microcontrolador .....	87
3.4 Conectividad de la interface.....	91
3.5 Usos y prestaciones .....	92
3.6 Conclusion .....	93

## **CAPÍTULO 4: PRUEBAS FUNCIONALES**

4.1 Introducción. ....	94
4.2 Problemas que presenta el motor y sus posibles causas.....	94
4.3 Diagnóstico de sensores .....	96
4.3.1 Válvula EGR.....	97
4.3.2 Sensor MAF .....	98
4.3.3 Sensor ECT .....	99
4.3.4 Sensor FTS .....	101
4.3.5 Sensor RPS.....	102
4.3.6 Sensor CKP .....	103
4.3.7 Sensor CMP .....	104
4.3.8 Válvula IMV .....	105
4.4 Archivo de códigos de falla.....	106
4.5 Conclusion .....	108
CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES .....	109
BIBLIOGRAFÍA. ....	110
ANEXOS. ....	110

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 El sistema de inyección CRDI.....	3
Figura 1.2 Composición interna del filtro .....	5
Figura 1.3 Filtro de combustible .....	6
Figura 1.4 Filtro de estructura enrollada.....	7
Figura 1.5 Filtro de estructura plegada .....	7
Figura 1.6 Bomba de transferencia.....	8
Figura 1.7 Funcionamiento de la bomba de transferencia .....	9
Figura 1.8 La riel de inyección .....	11
Figura 1.9 Bomba de alta presión DFP1 .....	12
Figura 1.10 Circuito de alimentación de la bomba de alta presión.....	13
Figura 1.11 Émbolos en la fase de bombeo .....	14
Figura 1.12 Válvula de descarga abierta .....	14
Figura 1.13 Válvula de aspiración y descarga cerrada.....	15
Figura 1.14 Válvula de aspiración y descarga abierta.....	16
Figura 1.15 Curva de presión máxima de la bomba DFP1 .....	17
Figura 1.16 Válvula limitadora de presión.....	18
Figura 1.17 Ubicación del sensor FTS en la bomba DFP1 .....	19
Figura 1.18 Diagrama de conexión del sensor FTS .....	19
Figura 1.19 Ubicación del sensor MAF .....	20
Figura 1.20 Sensor MAF de hilo caliente .....	21
Figura 1.21 Diagrama de conexión del MAF .....	21
Figura 1.22 Forma de onda del MAF.....	22
Figura 1.23 Sensor CMP .....	23
Figura 1.24 Diagrama de conexión del CMP.....	24
Figura 1.25 Sensor CKP.....	24
Figura 1.26 Diagrama de conexión del CKP .....	25
Figura 1.27 Sensor APS .....	25
Figura 1.28 Diagrama de conexión delAPS.....	26
Figura 1.29 Formas de onda del APS1 y APS2 .....	28
Figura 1.30 Ubicación del sensor ECT .....	28
Figura 1.31 Vista interna del sensor ECT .....	29
Figura 1.32 Diagrama de conexión del sensor ECT .....	29

Figura 1.33 Forma de onda del sensor ECT.....	30
Figura 1.34 Sensor RPS .....	31
Figura 1.35 Vista interna del sensor RPS .....	32
Figura 1.36 Ubicación del sensor RPS.....	32
Figura 1.37 Diagrama de conexión del RPS .....	33
Figura 1.38 Forma de onda del sensor RPS .....	34
Figura 1.39 Ubicación del sensor KS.....	34
Figura 1.40 Diagrama de conexión del KS .....	35
Figura 1.41 Actuador de llenado de la bomba .....	36
Figura 1.42 Diagrama de conexión de la válvula IMV .....	37
Figura 1.43 Ubicación de los inyectores .....	37
Figura 1.44 Válvula de presión de descarga .....	39
Figura 1.45 Vista interna de un inyector del sistema CRDI .....	40
Figura 1.46 Ubicación del código del inyector .....	41
Figura 1.47 Diagrama de conexión de los inyectores .....	41
Figura 1.48 Ubicación de la válvula EGR .....	42
Figura 1.49 Diagrama de conexión de la EGR .....	43
Figura 1.50 Medición de voltaje de la válvula EGR.....	44
Figura 1.51 Módulo ECM.....	45
Figura 1.52 Diagrama de conexión del módulo ECM .....	46
Figura 2.1 Banco didáctico del sistema CRDI.....	48
Figura 2.2 Depósito de combustible.....	50
Figura 2.3 Componentes del sistema de alimentación eléctrica .....	51
Figura 2.4 Depósito del refrigerante del motor y radiador.....	52
Figura 2.5 Componentes del sistema de control .....	53
Figura 2.6 Sistema de escape .....	53
Figura 2.7 Acceso para el análisis estructural .....	57
Figura 2.8 cargas aplicadas a la base del motor .....	58
Figura 2.9 Equivalente de Von-Mises.....	58
Figura 2.10 Deformación total máxima .....	59
Figura 2.11 Factor de seguridad de la estructura .....	59
Figura 2.12 Componentes de la fuerza de 775. 18N.....	61
Figura 2.13 Disposición del cordón de soldadura.....	62
Figura 2.14 perno de sujeción de las bases del motor .....	66

Figura 2.15 Asignación del valor y dirección de la fuerza .....	62
Figura 3.1 Pantalla de trabajo del ISIS Proteus.....	72
Figura 3.2 Elección del microcontrolador 18F2550 .....	73
Figura 3.3 Selección del conector de datos.....	73
Figura 3.4 Selección de capacitores .....	74
Figura 3.5 Componentes de la tarjeta.....	74
Figura 3.6 Componentes en su respectivo orden y conexión.....	75
Figura 3.7 Reporte de errores de la simulación.....	76
Figura 3.8 Rotulado de la placa.....	77
Figura 3.9 Rotulado de la placa en la baquelita de cobre.....	78
Figura 3.10 Soldado de los componentes en la placa.....	78
Figura 3.11 Tarjeta armada completamente.....	79
Figura 3.12 Pantalla de trabajo de la interface .....	79
Figura 3.13 Lectura de datos en la pantalla.....	80
Figura 3.14 Gráficas y valores de los de los diferentes sensores .....	80
Figura 3.15 Diagrama de bloques del microcontrolador 18F2550 .....	83
Figura 3.16 Microcontrolador 18F2550.....	85
Figura 3.17 Configuración interna del microcontrolador 18F2550 .....	85
Figura 3.18 Pantalla de programación del MicroCode Studio Plus.....	87
Figura 3.19 Pantalla de trabajo del programa Eclipse.....	88
Figura 3.20 Carga del PIC 18F2550 al programa Eclipse .....	88
Figura 3.21 Importación del programa Pic Basic al programa Eclipse.....	89
Figura 3.22 Programa a ser grabado en el PIC.....	89
Figura 3.23 Configuración de la frecuencia del oscilador .....	90
Figura 3.24 Grabador de microcontroladores externo .....	90
Figura 3.25 Grabación del PIC por medio del grabador externo .....	91
Figura 3.26 Conector de 25 pines .....	91
Figura 3.27 Reconocimiento de la interface por el PC .....	92
Figura 3.28 Icono para iniciar el programa.....	93
Figura 4.1 Estado físico de una conexión .....	96
Figura 4.2 Como se debe comprobar las señales de entrada en un sensor.....	96
Figura 4.3 Medición de la resistencia de la válvula EGR.....	97
Figura 4.4 Comprobación de la alimentación de la válvula EGR.....	97
Figura 4.5 Continuidad entre la válvula EGR y el módulo ECM .....	98

Figura 4.6 Verificación del voltaje de referencia del MAF .....	98
Figura 4.7 Continuidad del conector del MAF a la ECM .....	99
Figura 4.8 Comprobación de la resistencia del sensor ECT .....	99
Figura 4.9 Comprobación de las líneas de alimentación del ECT .....	100
Figura 4.10 Continuidad de las líneas del conector del ECT a la ECM .....	100
Figura 4.11 Valores de resistencia y temperatura del FTS .....	101
Figura 4.12 Revisión del voltaje de alimentación del FTS .....	101
Figura 4.13 Continuidad de las líneas del conector del FTS a la ECM .....	102
Figura 4.14 Voltaje de alimentación del sensor RPS .....	102
Figura 4.15 Continuidad del conector del RPS a la ECM .....	103
Figura 4.16 Continuidad de las líneas del conector del CKP a la ECM .....	104
Figura 4.17 Verificación de la alimentación del sensor CMP .....	104
Figura 4.18 Continuidad de las líneas del conector del CMP a la ECM .....	105
Figura 4.19 Verificación de la resistencia de la válvula IMV .....	105
Figura 4.20 Verificación de la alimentación de la válvula IMV .....	106
Figura 4.21 Continuidad de las líneas del conector de la IMV a la ECM .....	106

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Voltajes de referencia del MAF .....	22
Tabla 1.2 Voltajes de referencia del APS .....	27
Tabla 1.3 Voltajes de referencia y temperatura del ECT .....	30
Tabla 1.4 Voltajes de referencia y presión del RPS .....	33
Tabla 2.1 Material para la construcción del banco didáctico .....	55
Tabla 2.2 Elementos externos del banco didáctico .....	55
Tabla 2.3 Material eléctrico empleado en el banco didáctico .....	56
Tabla 3.1 Listado de material empleado en la tarjeta electrónica .....	76

Tabla 3.2 Señales que seran digitalizadas por la tarjeta electrónica .....	81
Tabla 3.3 Estados de operación de las válvulas EGR e IMV .....	82
Tabla 3.4 Características del PIC 18F2550.....	84
Tabla 4.1 Problemas en el motor y sus posibles causas.....	94
Tabla 4.2 Variación del voltaje del RPS .....	103
Tabla 4.3 Archivo de códigos de falla.....	106

Guillen Solano Fredy Vinicio  
Moscoso Ramírez Martin Alberto  
Trabajo de grado  
Ing. Pablo Segarra  
Junio 2011

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO FUNCIONAL DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI**

### **INTRODUCCION**

CRDI (Common Riel Direct Inyection) es un sistema de inyección electrónica de combustible para motores diesel, en este sistema el diesel es aspirado directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión y ésta a su vez lo envía a un conducto común para todos los inyectores y por alta presión al cilindro. Este sistema fue desarrollado por el grupo automovilístico italiano Fiat. La industrialización la llevo a cabo Bosch. El primer vehículo en equipar dicho sistema fue el Alfa Romeo 156 con denominación JTD. Es esencialmente igual a la inyección multipunto de un motor de gasolina, en la que también hay un conducto común para todos los inyectores, con la diferencia que en los motores a diesel se trabaja a una presión mucho más alta.

En los últimos años, la tecnología diesel dio un gran salto con el sistema de Riel Común. En este caso la bomba no inyecta el diesel al cilindro, sino que alimenta a muy alta presión (200 a 2000 bares) una rampa de inyección en donde están alojados los inyectores. El control de la cantidad de diesel a inyectar depende de una computadora que comanda los inyectores. El trabajo que a continuación se expone consiste en la implementación de un banco didáctico funcional del sistema de inyección CRDI en el cual permite a los usuarios manipular de forma práctica y técnica los elementos que componen dicho sistema, pudiéndose digitalizar las señales de los diferentes sensores y actuadores de dicho sistema, por medio de una tarjeta electrónica de adquisición de datos operada por un microcontrolador 18F2550. Además se incluye la recopilación de un archivo de posibles fallas con su procedimiento de diagnóstico, que servirá de guía para solucionar problemas que se pueden presentar en un sistema de inyección CRDI.

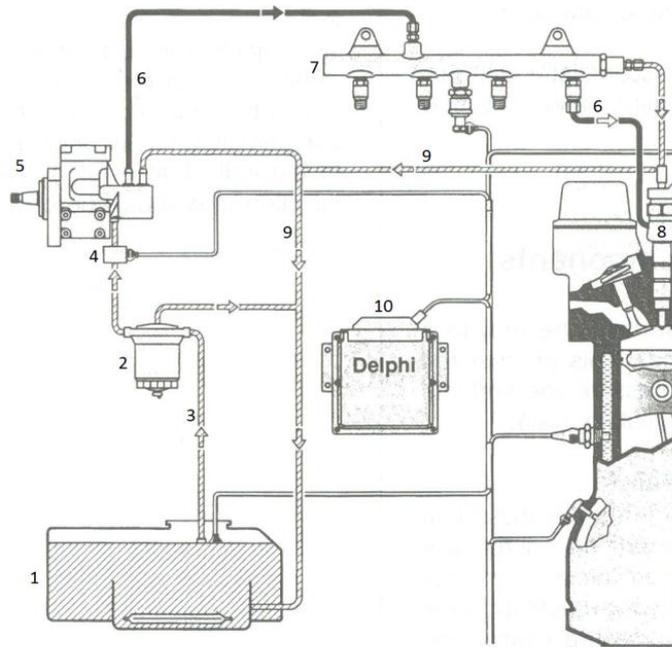
## **CAPITULO I**

### **EL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI**

#### **1.1 Introducción**

El sistema de inyección CRDI representan el futuro de los motores diesel. Su diferencia con la inyección convencional está en que la presión de inyección es independiente de la velocidad del motor. Además, funciona con una inyección previa, luego con una inyección principal y, en algunos casos, con una inyección posterior, todas ellas dirigidas por una computadora que regula según el tiempo de inyección la cantidad de diesel inyectado directamente al cilindro. La inyección previa sirve para preparar una mejor combustión, menos retardada y, por lo tanto, menos ruidosa, la inyección posterior sirve para reducir los contaminantes óxidos nitrosos.

En relación a los sistemas de inyección convencionales, el sistema de inyección CRDI permite ajustar con precisión, el caudal inyectado, el avance, la presión de inyección, en función de las necesidades del motor, mejorando de esta forma el consumo de combustible. En la siguiente figura 1.1 se observa de forma esquemática los componentes del sistema de inyección CRDI.



**Figura 1.1** El sistema de inyección CRDI

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-13

1. Tanque de combustible
2. Filtro de combustible
3. Cañerías de combustible de baja presión
4. IMV. Actuador de llenado de la bomba de alta presión
5. Bomba de alta presión
6. Cañerías de combustible de alta presión
7. Riel
8. Inyector
9. Cañerías de retorno de combustible
10. ECM. Módulo de control del motor

A los componentes antes descritos se los puede dividir en sistema de baja presión y sistema de alta presión cuyo detalle se describe a continuación

## **1.2 Sistema de baja presión.**

Con una presión máxima de 6 bares esta constituido por los siguientes elementos.

### **1.2.1 Tapa de combustible.**

Es la encargada de realizar un cierre hermético en la entrada del depósito de combustible, consta de dos válvulas: una de presión que evita la descarga de vapores hacia la atmósfera y mantiene la estanquidad dentro del depósito. La otra válvula es la encargada de controlar la depresión al interior del depósito.

### **1.2.2 Depósito de combustible.**

Está fabricado de un material plástico de alta densidad ya que no se corroen y tienen cero emisiones. Va situado en la parte posterior lateral del vehículo y lo más bajo posible para reducir el centro de gravedad. Con una capacidad aproximada de 22 galones en su parte interior consta de un reóstato para mantener informado al conductor del nivel de combustible restante en el depósito. Posee tres cañerías una como ventilación, el retorno y la línea de alimentación. En el interior del tanque está provisto de placas para evitar que el combustible produzca oleajes.

### **1.2.3 Cañerías de combustible.**

Encargadas no solo del traslado del combustible sino también de la conexión entre los diferentes sistemas de alimentación, estas cañerías las podemos encontrar en forma rígida y flexible las mismas que son utilizadas dependiendo de la zona en la que se localicen en el vehículo.

Las cañerías rígidas pueden ser de materiales como: acero al carbono, acero inoxidable y aluminio, las mismas que tienen una forma predeterminada. Son muy resistentes y disipan bien la electricidad estática que se produce en la circulación del combustible, la principal desventaja es que con presencia del agua producen corrosión. Las cañerías flexibles están formadas por un tubo de

neopreno o nitrilo envuelto por una malla de fibra aramida<sup>1</sup> y por una camisa de silicón o nylon que resiste muy bien a la abrasión

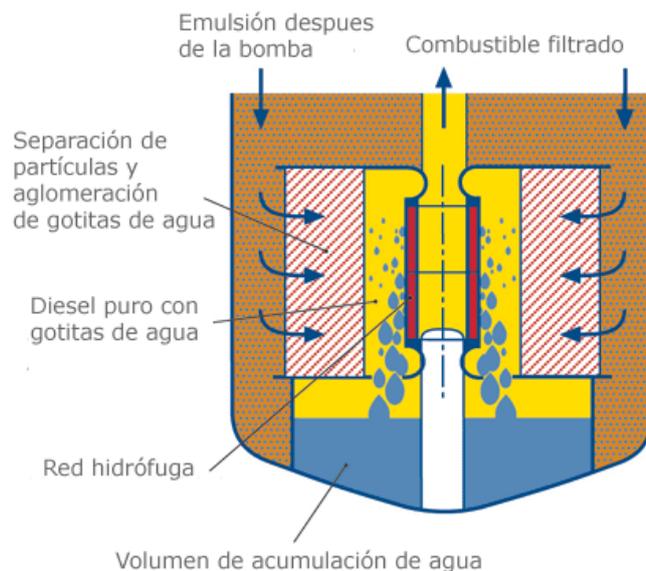
### 1.2.4 Elementos filtrantes.

#### Descripción

La principal función que tiene el filtro es la de proteger al sistema de inyección dicha protección la realiza en las siguientes etapas:

1. Separando y almacenando las impurezas del diesel para evitar cualquier contaminación del sistema.
2. Separando y almacenado el agua, que se encuentra naturalmente presente en el diesel.
3. Evacuando el aire presente en el circuito del gas-oil.

En la figura 1.2 se puede ver la composición interna de un filtro de combustible empleado en sistemas de inyección diesel.

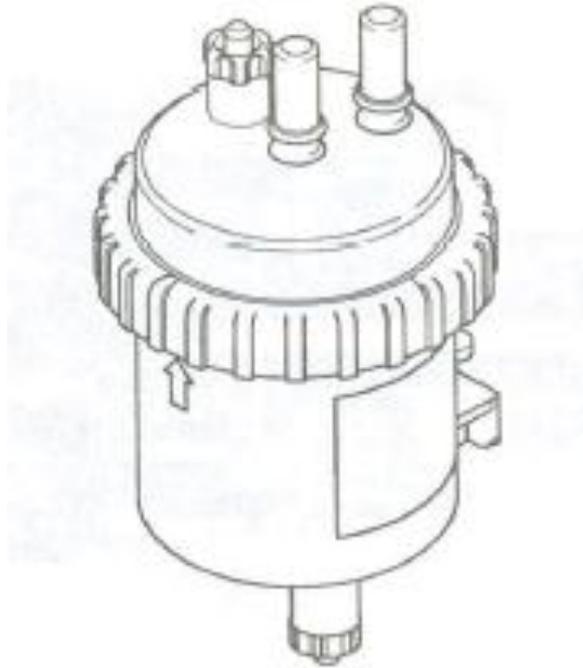


**Figura 1.2** Composición interna del filtro

Fuente: <http://www.mahle.com/C12570B3006COD49/CurrentBaseLink/W26JNLY2692STULES>. Acceso 7 de diciembre del 2010

<sup>1</sup> Aramida, es una abreviación del término “aromatic polyamide” y designa una categoría de fibra sintética

La figura 1.3 muestra la apariencia externa del filtro de combustible empleado para el motor Hyundai J3.



**Figura 1.3** Filtro de combustible

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-13

El elemento de filtrado puede tener dos tipos de estructura:

1. Enrollada
2. Plegada

Los filtros de *estructura enrollada* mostrados en la figura 1.4, están compuestos por elementos inmobilizados dispuestos en rodillo. El diesel cruza el tubo y penetra su estructura porosa, las partículas son paradas y almacenadas en la superficie del tubo. Esta tecnología ya no se utiliza ya que su tiempo de vida útil es limitada debido a su principio de filtrado, además la sensibilidad de los sistemas de Riel Común ha hecho posible la aparición de un nuevo diseño de los elementos filtrantes conocida como la estructura plegada.



**Figura 1.4.** Filtro de estructura enrollada

Fuente: <http://www.widman.biz/Productos/combustible-usados.html>. Acceso 8 de julio del 2011

Los filtros con *estructura plegada* mostrados en la figura 1.5, están colocados en espiras para mejorar la capacidad de filtración ya que el diesel es filtrado en el momento en que cruza completamente el filtro. La constitución del elemento filtrante se basa en una combinación de celulosa y de diferentes fibras artificiales. Generalmente la fibra de la parte superior del filtro es un polímero que se encarga de filtrar las partículas grandes así como de parar el agua presente en el diesel. La segunda fibra es una celulosa que permite retener las partículas más pequeñas.



**Figura 1.5**Filtro de estructura plegada

Fuente: <http://www.widman.biz/Productos/combustible-usados.html>. Acceso 8 de julio del 2011

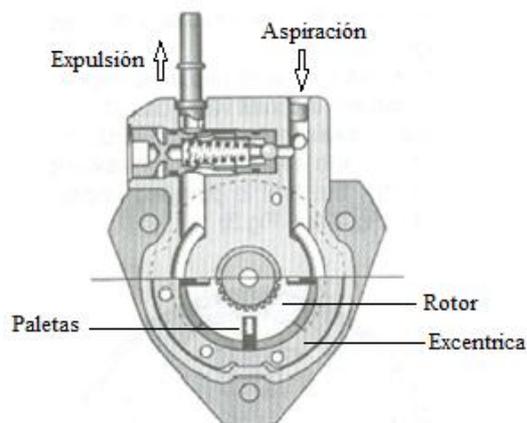
## La separación del agua.

La filtración del agua es realizada por el polímero presente en el elemento filtrante. La misma no puede cruzar dicho elemento gracias a las propiedades repulsivas y a los dimensionamientos de las esporas del polímero. En función de la calidad del diesel, DELPHI recomienda la utilización de un filtro con las siguientes características:

- Filtro de separación de agua con colector para el diesel de buena calidad.
- Filtro de separación de agua cuyo colector debe estar equipado con un sensor de agua para el diesel de calidad media.
- Filtro con separador de agua independiente y colector equipado con sensor de agua para el diesel de mala calidad.

### 1.2.5 La bomba de transferencia<sup>2</sup>

En la figura 1.6 se muestra la bomba de transferencia, que es la encargada de aspirar el combustible desde el depósito a través del filtro y enviarlo a la bomba de alta presión, con una presión de transferencia (aproximadamente 6 bares) mediante una bomba de paletas que se compone de las siguientes partes:



**Figura 1.6** Bomba de transferencia

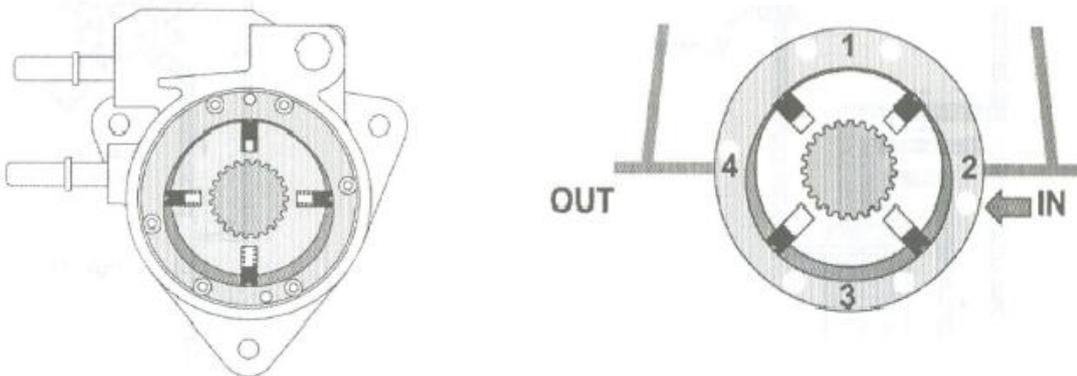
Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L13

<sup>2</sup> DELPHI, Manual Common Rail, *Principios de Funcionamiento*, pp. 3-11

- Un rotor arrastrado por el eje de la bomba de alta presión.
- Una excéntrica fijada en el cuerpo de la bomba de alta presión.
- Una placa provista de dos agujeros alargados: el orificio de aspiración y el de expulsión.
- Cuatro paletas repartidas a 90 grados, cada paleta está impulsada contra la excéntrica mediante un muelle helicoidal.

### Funcionamiento.

En la figura 1.7 se describe el funcionamiento de la bomba de transferencia considerando el espacio situado entre el rotor y dos paletas sucesivas:



**Figura 1.7**Funcionamiento de la bomba de transferencia

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L12

Cuando este espacio está en la posición 1, el volumen es mínimo. Las variaciones de volúmenes en función del ángulo de rotación del rotor son muy bajas. El rotor efectúa un cuarto de vuelta en sentido anti horario. El espacio anterior se encuentra en la posición 4. El orificio de aspiración está descubierto. El volumen delimitado por este espacio aumenta rápidamente. La presión dentro de este espacio disminuye bruscamente, teniendo lugar la aspiración del diesel en este espacio.

La rotación continúa, se encuentra en la posición 3. Los orificios de aspiración y de expulsión se obturan (se cierran). El volumen delimitado por el rotor, la excéntrica y las dos paletas es máximo. Las variaciones de volúmenes en función del ángulo de rotación del rotor son muy bajas.

La rotación del rotor continúa. El rotor se encuentra en la posición 2. El orificio de expulsión está descubierto, el volumen delimitado por el rotor, el estator y las paletas disminuye rápidamente. La presión dentro de este espacio aumenta bruscamente. El diesel es expulsado a presión.

La presión de transferencia aumenta en función del régimen del motor ya que la bomba de transferencia es arrastrada por el eje de la bomba de alta presión. Una válvula de regulación permite mantener la presión de transferencia a un valor casi constante de aproximadamente 6 bares en todo régimen del funcionamiento del motor, reenviando una parte del diesel a una parte de la bomba.

### **Características de la bomba de transferencia<sup>3</sup>**

- Presión de regulación 6 bares
- A 300 rpm 90 litros/hora
- A 2500 rpm 650 litros/hora
- Capacidad de aspiración 65mbares a 100rpm

### **1.3 Sistema de alta presión.**

Con presiones que van desde un rango mínimo de 200 bares en ralentí hasta un máximo de 2000 bares a plena carga es considerado la parte medular del sistema CRDI y está integrado por los siguientes elementos.

#### **1.3.1 El riel.**

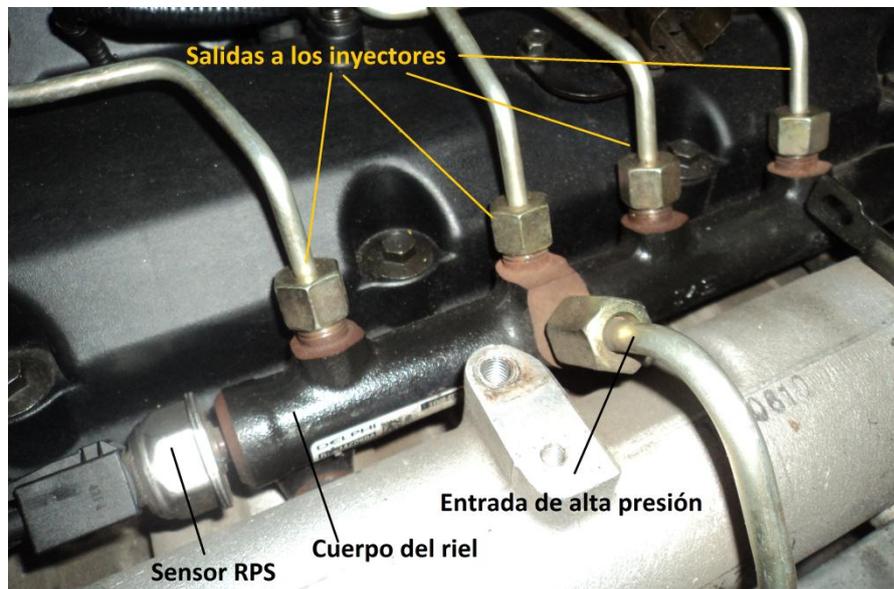
El riel que se muestra en la figura 1.8 es un acumulador de presión, localizado después de la bomba de alta presión, constituye una reserva de diesel a alta presión para los inyectores. El conjunto del riel está constituido por:

1. El cuerpo.
2. Entrada de alta presión proveniente de la bomba.

---

<sup>3</sup> DELPHI, Manual Common Riel, *Principios de Funcionamiento*, pp. 3-12

3. El sensor de presión del riel.
4. Salida a los inyectores.



**Figura 1.8** La Riel de inyección

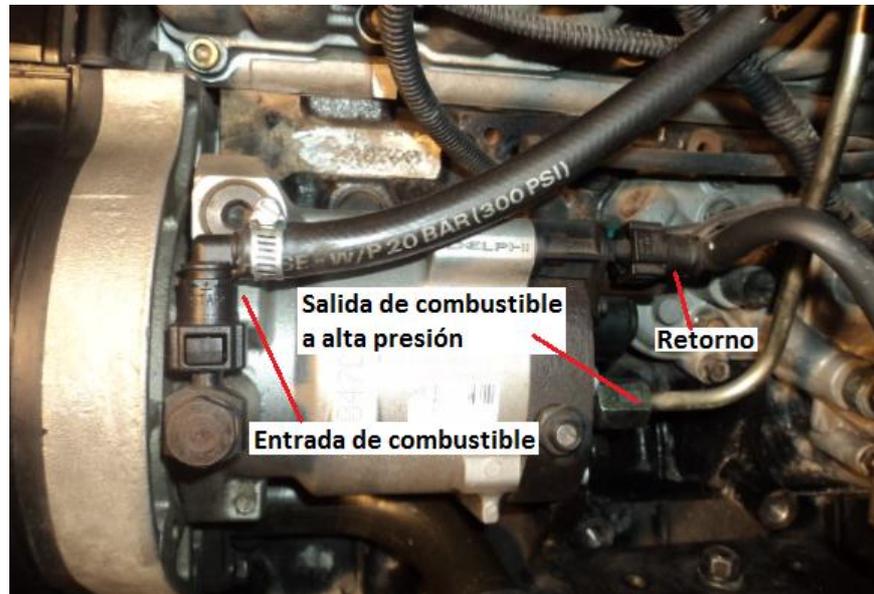
Fuente: Creación de los autores

### 1.3.2 Bomba de alta presión.

En la figura 1.9 se muestra la bomba DFP1 empleada en el motor Hyundai J3 que se describe a continuación. Esta bomba de alta presión recobra el concepto de la leva y de los pistones radiales que ya demostró su crédito en las bombas rotativas DPC y EPIC. Sin embargo, el eje de transmisión y el anillo de leva forman un único y mismo conjunto. Este último arrastrado por cadena o correa, gira alrededor de la cabeza hidráulica que es fija. Así, se suprimen los problemas de estanqueidad dinámica, ya que la alta presión se genera en la parte fija de la bomba.

Para los motores que necesitan un caudal importante, la bomba está equipada con dos capas desfasadas angularmente 45 grados. Este desfase permite reducir los picos de par y las fluctuaciones de presión en el riel.

La leva de cuatro lóbulos es idéntica a las de las bombas rotativas convencionales, pero como la bomba ya no determina la inyección, es posible alargar la fase de bombeo con el objetivo de reducir efectivamente el par de arrastre, las vibraciones y el ruido

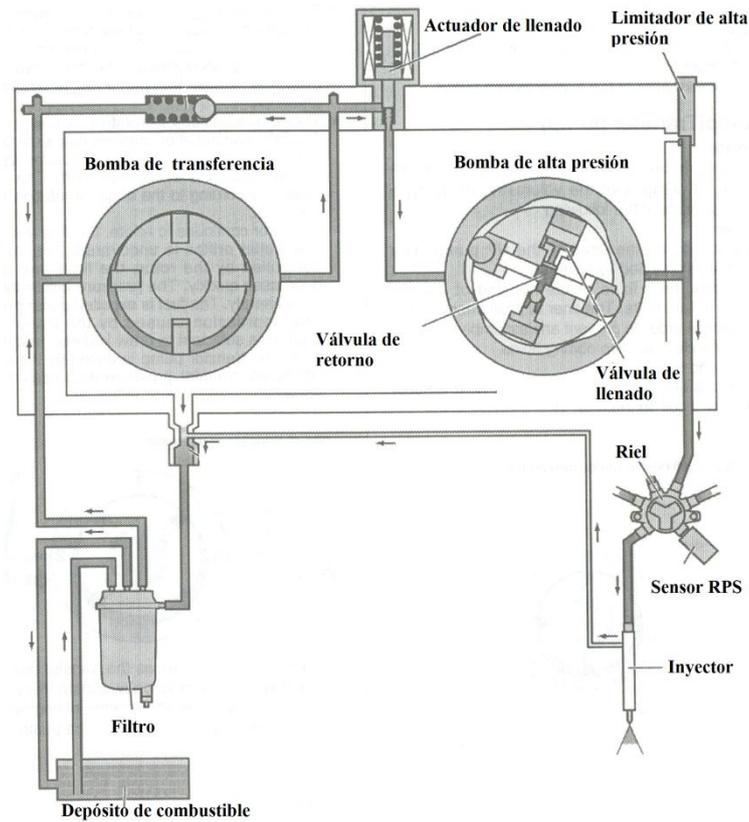


**Figura 1.9** Bomba de alta presión DFP1

Fuente: Creación de los autores

### **Alimentación de la bomba.**

La bomba de transferencia aspira el diesel desde el depósito a través del filtro de combustible y a su vez lo expulsa hacia la entrada de la bomba de alta presión a una presión casi constante llamada presión de transferencia de aproximadamente 6 bares. En este punto el actuador de llenado (IMV) de la bomba de alta presión, que se encuentra situado justo antes de la bomba de alta presión permite controlar la cantidad de diesel enviado hacia los elementos de bombeo ajustando la sección de paso. El Módulo de Control del Motor es quien determina el valor de la corriente que hay que enviar a la bobina del actuador de llenado, para obtener la sección de paso requerida para alcanzar la presión solicitada en función de las condiciones de funcionamiento del motor. Cuando la demanda de presión disminuye la corriente en la bobina del IMV aumenta reduciendo el caudal de entrada a la bomba de alta presión ocurriendo el caso inverso al ser necesario una mayor presión. Como se muestra en la figura 1.10



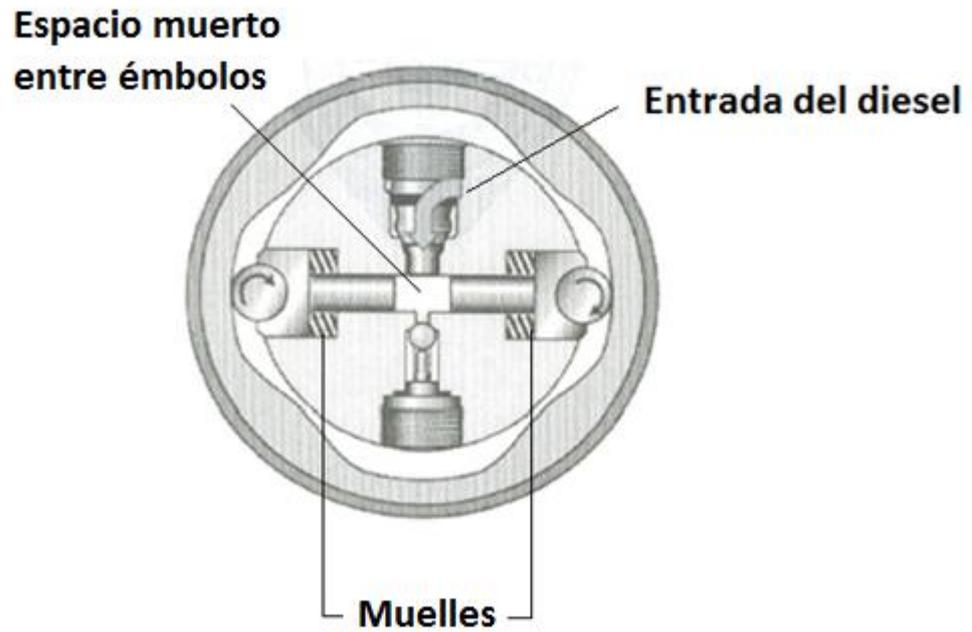
**Figura 1.10** Circuito de alimentación de la bomba de alta presión

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-11

### Principio de bombeo.

En la etapa de llenado, los rodillos se encuentran en contacto con la leva por medio de los muelles helicoidales colocados en las dos partes de cada pistón. La presión de transferencia de 6 bares es la necesaria para abrir la válvula de admisión y separar a los émbolos sumergidos, de esta manera el espacio libre existente entre los dos émbolos de inmersión se llenan de diesel.

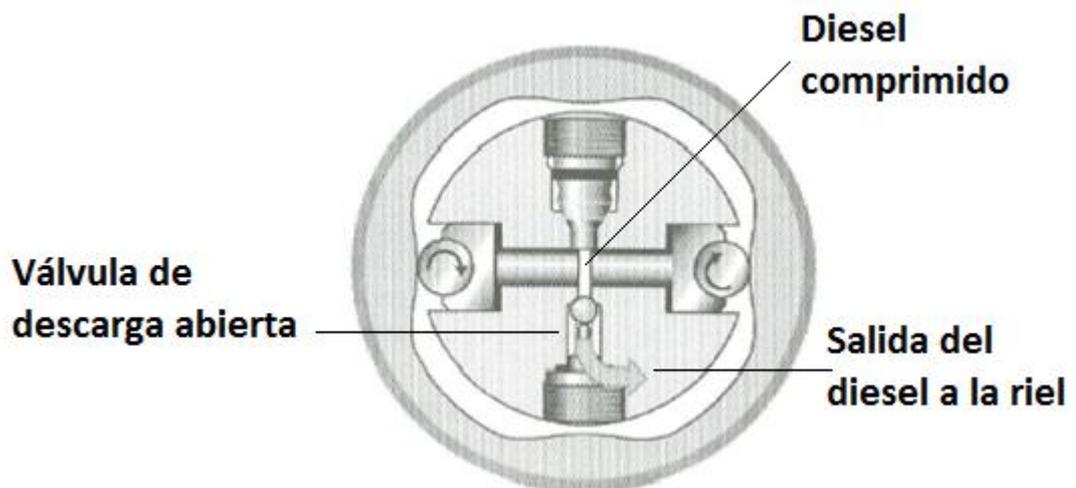
Los émbolos son empujados unos hacia otros cuando los rodillos diametralmente opuestos, encuentran de forma simultánea el perfil de ataque de la leva, con lo que la presión aumenta rápidamente en el espacio comprendido entre los dos émbolos sumergidos como se muestra en la figura 1.11.



**Figura 1.11** Émbolos de la fase de bombeo

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L14

Cuando la presión es superior a la presión de transferencia, la válvula de aspiración se cierra. La presión se vuelve superior a la presión que reina en el riel haciendo que la válvula de descarga se abra, en este momento el fluido bajo presión es expulsado hacia el riel, como se muestra en la figura 1.12.

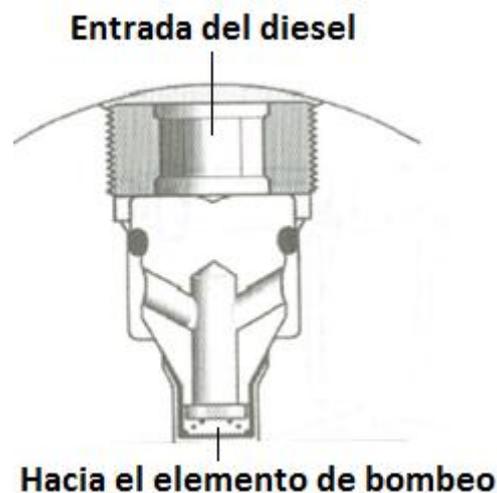


**Figura 1.12** Válvula de descarga abierta

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L14

### Válvula de aspiración y descarga.

En la figura 1.13 se puede ver la válvula de aspiración con más detalle. Esta válvula empieza a trabajar cuando el diesel que es aspirado por la presión de transferencia empuja la válvula, de este modo el diesel ingresa en el cuerpo del elemento de bombeo. Con el efecto de la presión de transferencia los dos émbolos que se encuentran sumergidos son separados. En el momento en el que los rodillos simultáneamente encuentran el perfil de ataque de la leva, la presión aumenta rápidamente en el cuerpo del elemento de bombeo. En este punto la válvula de aspiración se cierra debido a que la presión del elemento de bombeo es superior a la presión de transferencia.

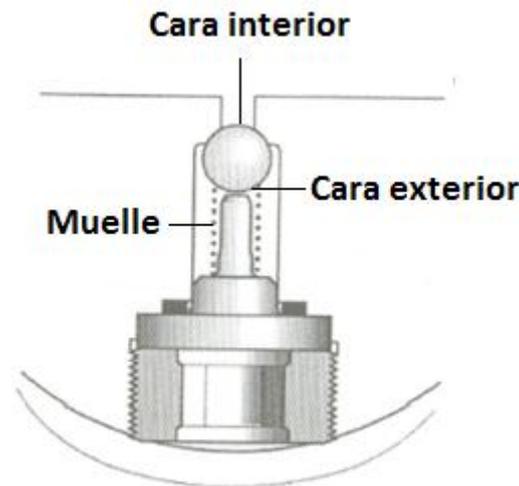


**Figura 1.13** Válvula de aspiración y descarga cerrada

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L15

En la fase de aspiración la esfera de la válvula de descarga está sometida a presión del riel en su cara exterior y a la presión de transferencia en su cara interior. Dicha esfera reposa en su asiento asegurando de esta manera la estanqueidad del cuerpo de bombeo. Cuando los dos rodillos diametralmente opuestos encuentran los perfiles de ataque de la leva, los émbolos sumergidos se acercan y la presión aumenta rápidamente en el cuerpo de bombeo. Cuando la presión en este elemento se vuelve superior a la presión en el riel la esfera se encuentra en desequilibrio y en consecuencia se abre (la tensión del muelle es

despreciable ante los esfuerzos de presión). Finalmente el diesel es expulsado hacia el riel a alta presión, como se muestra en la figura 1.14.



**Figura 1.14** Válvula de aspiración y descarga abierta

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L15

### **Lubricación y Refrigeración de la Bomba.**

Mientras exista la circulación del diesel tanto la lubricación como la refrigeración se encuentran garantizadas, ahora bien para un buen desempeño y funcionamiento de la bomba se requiere de un caudal mínimo necesario de 50litros/hora.

### **Puesta en Fase de la Bomba.**

En los sistemas de inyección convencionales las bombas de inyección aseguran la presión y la distribución del diesel a los diferentes inyectores, debido a esto es indispensable que la bomba se encuentre sincronizada de tal forma que las inyecciones se produzcan en el lugar deseado del ciclo. Esto no ocurre con la bomba DFP1 del sistema de Riel Común ya que la misma no asegura la distribución del diesel, de tal forma no es indispensable poner en sincronización la bomba con relación al motor aunque existe dos ventajas si se sincronizara.

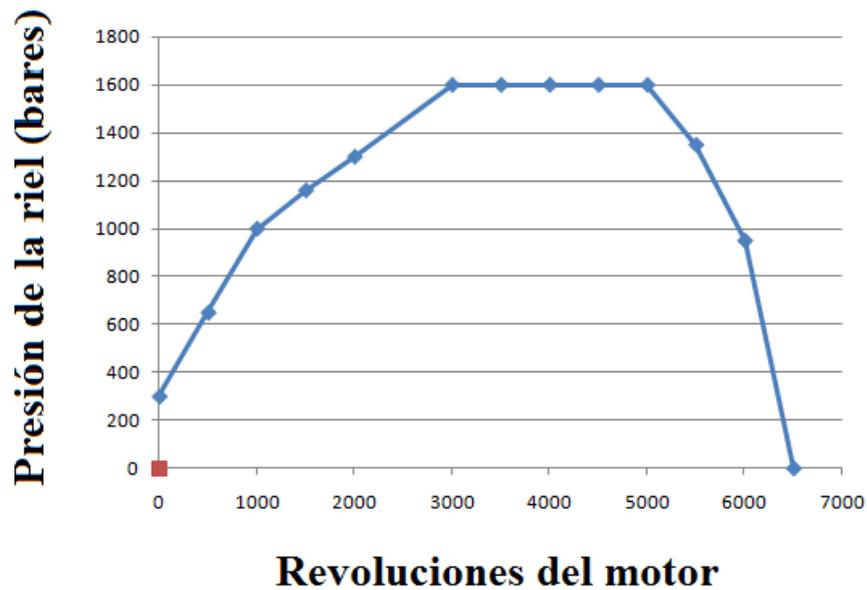
1. Permite sincronizar las variaciones de partes del eje de levas y de la bomba disminuyendo con esto las tensiones en la correa de distribución.

2. Permite mejorar el control de la presión sincronizado los picos de presión producidos por la bomba con las caídas de presión generadas por cada inyección. Esta puesta en fase mejora la estabilidad de la presión. Lo que contribuye a reducir la diferencia en los cilindros.

### Curva de Presión Máxima de la Bomba DFP1

El objetivo es poder alcanzar una presión de 200 bar en 1.5 revoluciones de la bomba (3ra compresión) para lograr la presión suficiente para que el motor encienda. Esto depende del volumen del sistema de inyección, como definición del riel, longitud de los tubos etc. A continuación se presenta en la gráfica 1.15 la curva de presión máxima de la bomba DFP1

### CURVA DE PRESIÓN MÁXIMA DE LA BOMBA DFP1

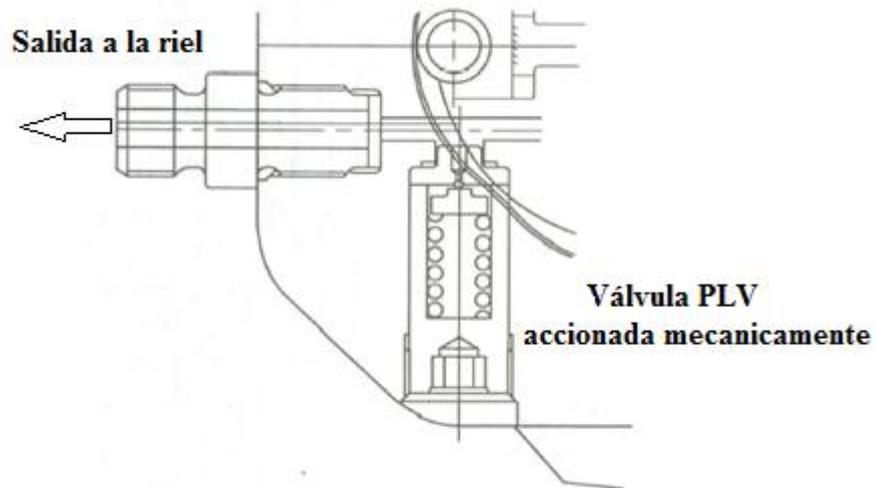


**Figura 1.15** Curva de presión máxima de la bomba DFP1

Fuente: Creación de los autores

### 1.3.3 Válvula limitadora de presión (PLV.- Pressure limiter valve)

Localizada en la bomba de alta presión, permite limitar mecánicamente la presión a valores que oscilan entre 1850 y 2250 bares de la bomba de alta presión. Esta válvula libera la presión cuando el actuador de llenado (IMV) no está activo o el retorno de los inyectores no es el correcto. Este limitador de presión no se encuentra presente en las bombas que tienen un actuador de descarga en el riel ya que la función de descarga está asegurada por este actuador. La siguiente figura 1.16 muestra la válvula mecánica PLV.



**Figura 1.16** Válvula limitadora de presión

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-18

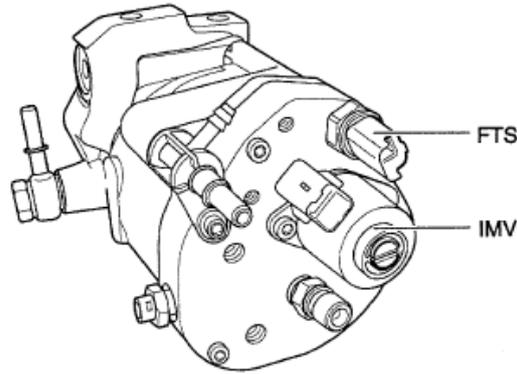
## 1.4 Sensores del sistema CRDI.

En esta etapa se describirá la ubicación, diagrama de conexión y los valores referenciales de voltaje y temperatura de los sensores que intervienen en el sistema CRDI según corresponda al sensor.

### 1.4.1 Sensor de temperatura de combustible (FTS.- Fuel Temperature Sensor)

El sensor FTS se encuentra ubicado en la bomba de alta presión censando la temperatura del combustible que se dirige a la riel, el mismo que se compone de

una cápsula NTC cuya resistencia varía en función de la temperatura del combustible, dicha señal en forma de voltaje llega a la ECM para que la misma haga las modificaciones necesarias para un funcionamiento óptimo del motor. En la figura 1.17 se encuentra la ubicación del sensor FTS en la bomba de alta presión.

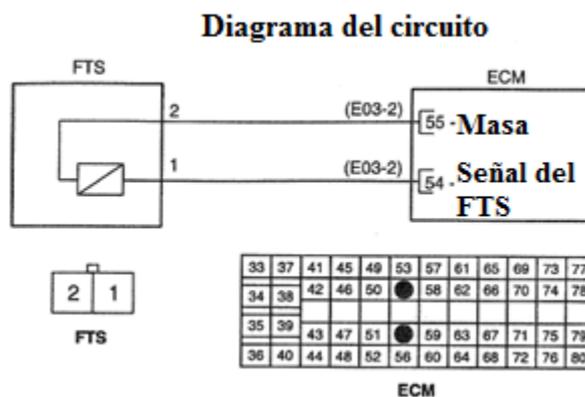


**Figura 1.17** Ubicación del sensor FTS en la bomba DFP1

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-24

### Diagrama de Conexión

En la siguiente figura se muestra el diagrama de conexión y los terminales entre el sensor FTS y el conector 2 de la ECM



**Figura 1.18** Diagrama de conexión del sensor FTS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-51

### 1.4.2 Sensor de Flujo de la Masa de Aire (MAF.- Mass Air Flow)



**Figura 1.19** Ubicación del sensor MAF

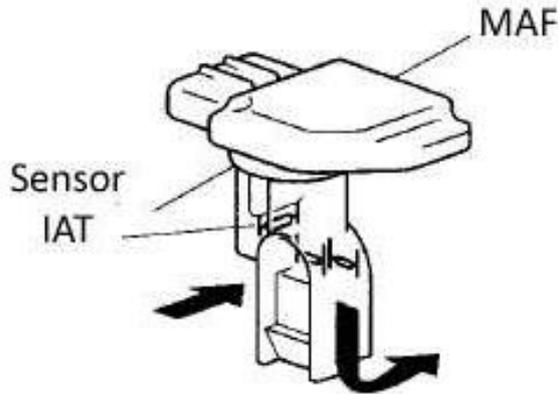
Fuente: Creación de los autores

Ubicado entre el filtro de aire y el colector de admisión como se muestra en la figura 1.19, la función de este sensor radica en medir la cantidad de masa de aire aspirada que ingresa al motor. Su funcionamiento se basa en una resistencia conocida como hilo caliente, el cual recibe un voltaje constante siendo calentada por éste, alcanzando una temperatura de aproximadamente 200°C con el motor en funcionamiento. La resistencia del hilo varía al producirse un enfriamiento provocado por la circulación de la masa de aire aspirada.

Mediante la información que este sensor envía a la ECM, y tomándose en cuenta además otros factores como la temperatura del aire aspirado, puede determinar la cantidad de combustible necesaria para los diferentes regímenes de funcionamiento del motor. Así, si el aire aspirado es de un volumen reducido la ECM reducirá el volumen de combustible inyectado.

Integrado al sensor MAF se encuentra el sensor de temperatura de aire admitido (IAT intake air temperature), como el que se muestra en la figura 1.20. Que es el encargado de medir la temperatura del aire que ingresa al motor mediante un

NTC (coeficiente negativo de temperatura), cuyo funcionamiento se traduce al variar la resistencia del NTC por cambios de temperatura.

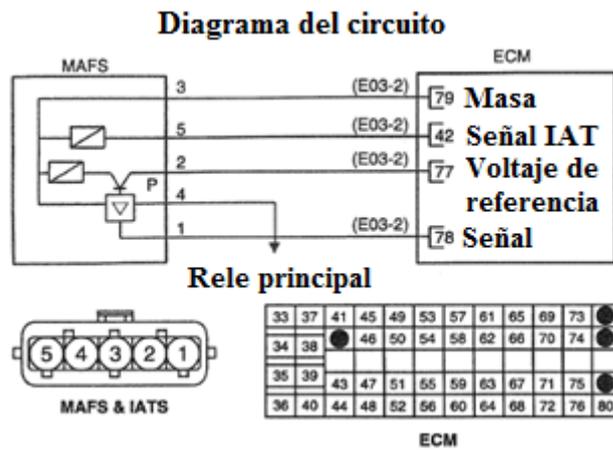


**Figura 1.20** Sensor MAF de hilo caliente

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf3/cursos-sensores-temperatura/cursos-sensores-temperatura.pdf>, Acceso 15 de Diciembre 2010

**Diagrama de conexión**

En la figura 1.21 se muestra el diagrama de conexión y los terminales del sensor MAF e IAT hacia el conector 2 de la ECM.



**Figura 1.21** Diagrama de conexión del MAF

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-38

### Voltajes de referencia

Con la ayuda del multímetro en el terminal número 2 del conector del MAF se mide los diferentes voltajes de referencia en ralentí, media carga y plena carga, que son los siguientes y que a continuación se muestran en la tabla 1.1.

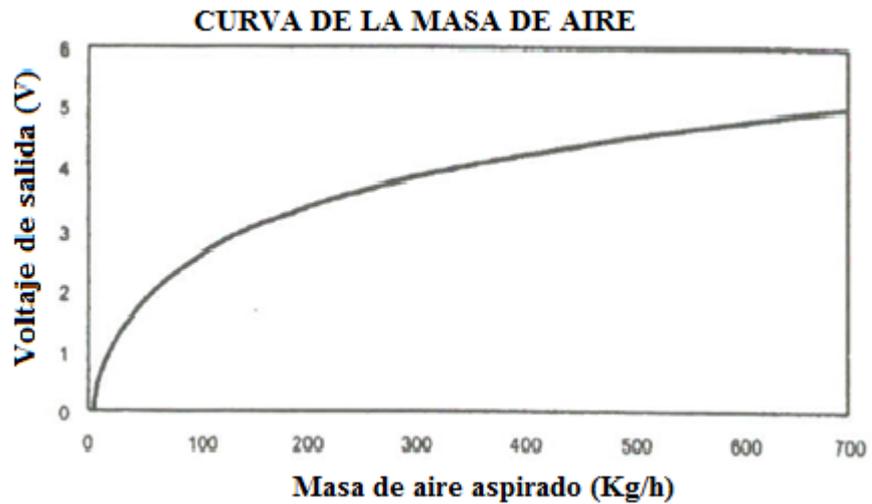
REGIMEN DEL MOTOR	VOLTAJES DE REFERENCIA (V)
RALENTI	1.8
MEDIA CARGA	3.4
PLENA CARGA	3.8

**Tabla 1.1** Voltajes de referencia del MAF

Fuente: Creación de los autores

### Forma de Onda.

En la figura 1.22 se muestra la curva de la masa de aire aspirado en kilogramos/hora versus el voltaje de señal.



**Figura 1.22** Forma de onda del MAF

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-50

### 1.4.3 Sensor de posición del árbol de levas (CMP.- Camshaft position sensor).



**Figura 1.23** Sensor CMP

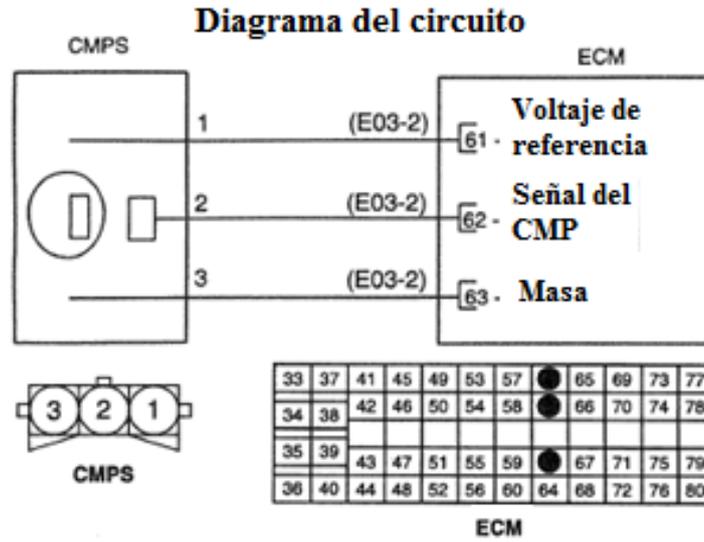
Fuente: Creación del los autores

El sensor de posición del árbol de levas se encuentra en la parte posterior del motor a la altura del cabezote como se muestra en la figura 1.23. Trabaja según el principio Hall. Palpa una corona dentada que se encuentra en el árbol de levas. Mediante la rotación de la corona dentada, se modifica la tensión del circuito integrado Hall que se encuentra en el cabezal del sensor. Esta tensión cambiante es transmitida a la ECM, donde se evalúa para determinar los datos necesarios como por ejemplo, para distinguir la posición en la que se encuentra el cilindro 1 del cilindro 4 al comparar la señal del CMP con la del CKP sincronizando de mejor manera la inyección<sup>4</sup>.

#### **Diagrama de Conexión**

En la figura 1.24 se muestra el diagrama de conexión y terminales entre el sensor CMP y el módulo ECM

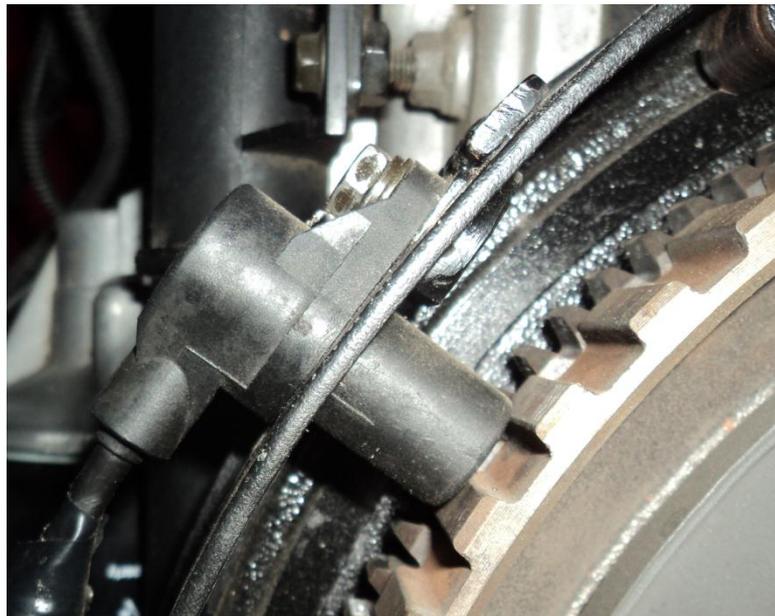
<sup>4</sup> PROGRAMA MASTER EN ELECTRONICA AUTOMOTRIZ, *Electricidad y electrónica, mediciones eléctricas, nuevos dispositivos*, pp. 8



**Figura 1.24** Diagrama de conexión del CMP

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-72

#### 1.4.4 Sensor de posición del cigüeñal (CKP.- crankshaft position)



**Figura 1.25** Sensor CKP

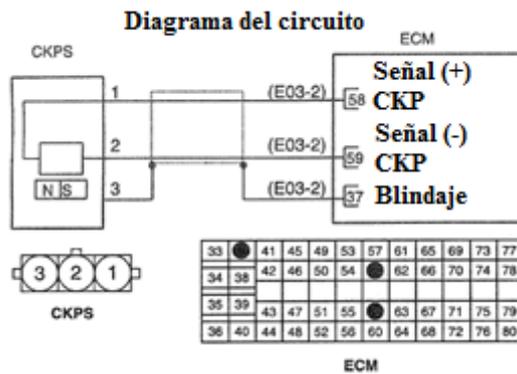
Fuente: Creación de los autores

Ubicado a la altura del volante motor como se muestra en la figura 1.25, este sensor de tipo inductivo trabaja con una señal alterna, la misma depende de la palpación de una corona dentada que se encuentra en el volante motor. Mediante la rotación de la corona dentada, la amplitud y la frecuencia de esta señal son

directamente proporcionales a la velocidad de giro del motor. Esta señal alternante es transmitida a la ECM para que la misma las evalúe y haga las correcciones necesarias para el funcionamiento armónico del motor.

### Diagrama de Conexión

En la figura 1.26 se muestra el diagrama de conexión y terminales del sensor de posición del cigüeñal y el conector 2 de la ECM.



**Figura 1.26** Diagrama de conexión del CKP

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-68

### 1.4.5 Sensor de posición del acelerador (APS.- Accelerator position sensor)



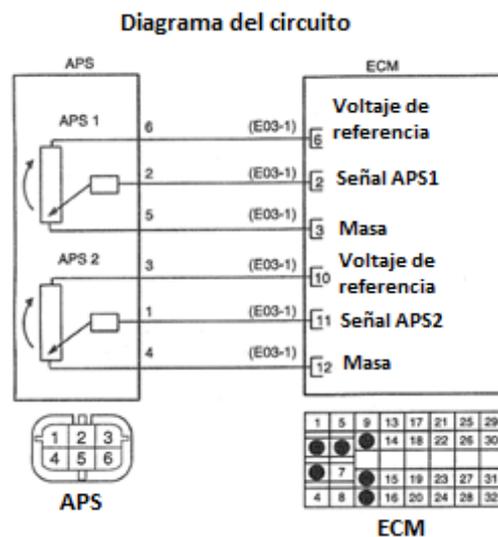
**Figura 1.27** Sensor APS

Fuente: Creación de los autores

En la figura 1.27 se muestra el sensor APS con el que funciona el motor Hyundai j3. Tradicionalmente en la mayoría de los vehículos se ha empleado un cable de acero o un mecanismo de varillas para mover la mariposa de aceleración y lograr controlar la marcha el auto. Actualmente ese tipo de mecanismo está desapareciendo. En el pedal del acelerador se ha colocado un sensor de posición del acelerador (APS) que no es otra cosa que dos potenciómetros que trabajan de manera inversa, cuya finalidad es conocer la ubicación exacta (ralentí, media carga y plena carga) del pedal en todo momento, esta información es enviada a la ECM. El primer potenciómetro varía de 0V a 5V y el otro de 5V a 0V, con el fin de tener mayor precisión y seguridad, pues si en todo momento la suma de ambas señales no es de 5 voltios se ha presentado un daño en alguno de ellos. Cuando la ECM no recibe correctamente la señal de alguno de los dos sensores de posición o cuando se quita el conector del cuerpo de aceleración, dejando la llave de ignición en ON, la ECM no tiene forma de determinar la posición de ralentí, haciendo que el motor no sobrepase las 2000 RPM mientras que en otras ocasiones arranca y se apaga.

**Diagrama de Conexión**

En la figura 1.28 se muestra el diagrama del conexión del sensor APS



**Figura 1.28** Diagrama de conexión del APS

### Voltajes de referencia

Con la ayuda del multímetro en el terminales 3 y 6 del conector del APS se mide los diferentes voltajes de referencia en ralentí, media carga y plena carga, que son los siguientes que se muestran en la tabla 1.2.

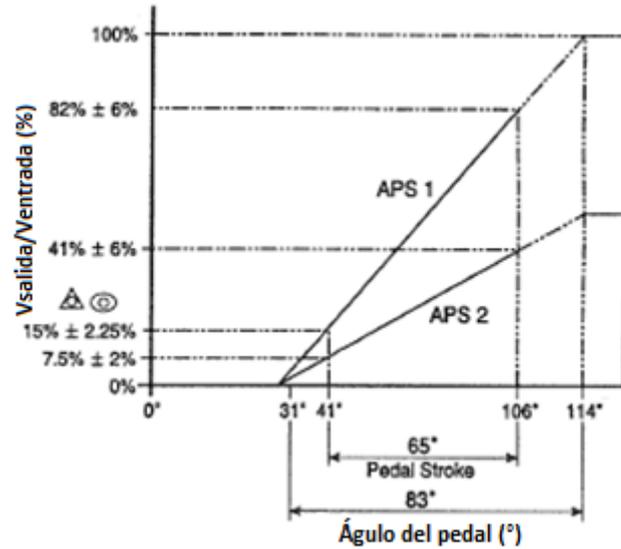
REGIMEN DEL MOTOR	VOLTAJES DE REFERENCIA TERMINAL 6 (V)	VOLTAJES DE REFERENCIA TERMINAL 3 (V)
RALENTI	0.5	4.5
MEDIA CARGA	2.5	2.5
PLENA CARGA	4.5	0.5

**Tabla 1.2** Voltajes de referencia del APS

Fuente: Creación de los autores

### Formas de onda

En la figura 1.29 se presenta la forma de onda que generan los potenciómetros del APS1 y APS2, como se indico anteriormente estos potenciómetros trabajan de forma inversa con variaciones de 0V a 5V y de 5V a 0V, esto con la finalidad de que la ECM pueda identificar los valores proporcionados por cada sensor cuya suma tiene que ser el valor de variación del voltaje que aproximadamente es de 5 voltios. El valor del voltaje de cada APS en la figura está representado en porcentaje y su condición de funcionamiento se explicara en el siguiente ejemplo. Para el sensor APS1y APS2en un ángulo del pedal del 100 grados el valor aproximado del voltaje en porcentaje es del  $80\% \pm 6\%$  y  $40\% \pm 6\%$ , respectivamente, transformando estos porcentajes a un valor referencial de voltaje, tomando en cuenta que la variación de voltaje esde5 voltios tenemos los siguientes valores; 4voltios para el APS1 y 2 voltios para el APS2, cuya suma es de 6.voltios, considerando el valor de tolerancia del  $\pm 6\%$  se puede establecer que la suma de los voltajes de ambos sensores si es de 5 voltios. Este valor es el que la ECM analiza antes de determinar un daño en alguno de los potenciómetros.



**Figura 1.29** Forma de onda del APS1 y APS2

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-45

#### 1.4.6 Sensor de temperatura del refrigerante del motor (ECT.- Engine coolant temperature)

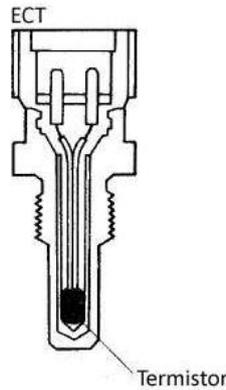


**Figura 1.30** Ubicación del sensor ECT

Fuente: Fuente creación de los autores

El sensor ECT usualmente se localiza en la toma del agua justo donde se encuentra el termostato como se muestra en la figura 1.30. Este sensor es utilizado para realizar la mezcla aire-combustible y para monitorear la

temperatura en el motor. La ECM ajusta el tiempo de inyección, según las condiciones de temperatura a las que se encuentra el motor, en base a la información que recibe del sensor ECT. En función de la temperatura del anticongelante, la resistencia del sensor ECT varía. A medida que la temperatura va aumentando, la resistencia y el voltaje en el sensor disminuyen. La resistencia variable es un termistor NTC o coeficiente de temperatura negativo, la vista interna del sensor ECT se muestra en la figura 1.31.

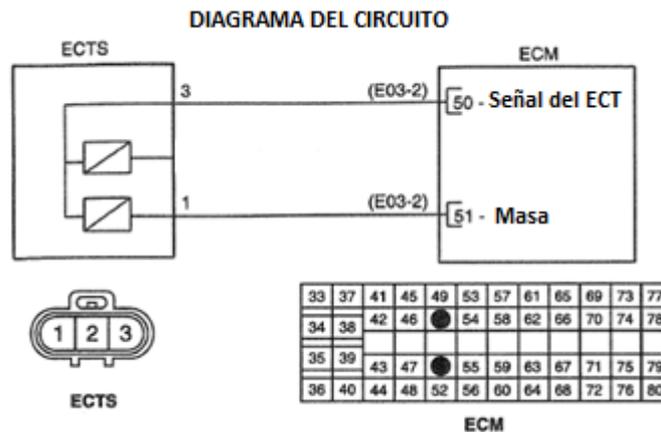


**Figura 1.31** Vista interna del sensor ECT

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf3/curso-sensores-temperatura/curso-sensores-temperatura.pdf>, Acceso 15 de Diciembre 2010

### Diagrama de Conexión

En la figura 1.32 se muestra la conexión del sensor ECT desde su conector al conector 2 del la ECM



**Figura 1.32** Diagrama de conexión del sensor ECT

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-42

### Voltajes de referencia

Con la ayuda del multímetro en el terminal número 3 del conector del ECT se mide los diferentes voltajes de referencia en arranque en frío y cuando se alcanza la temperatura de trabajo, que son los que se muestran en la tabla 1.3.

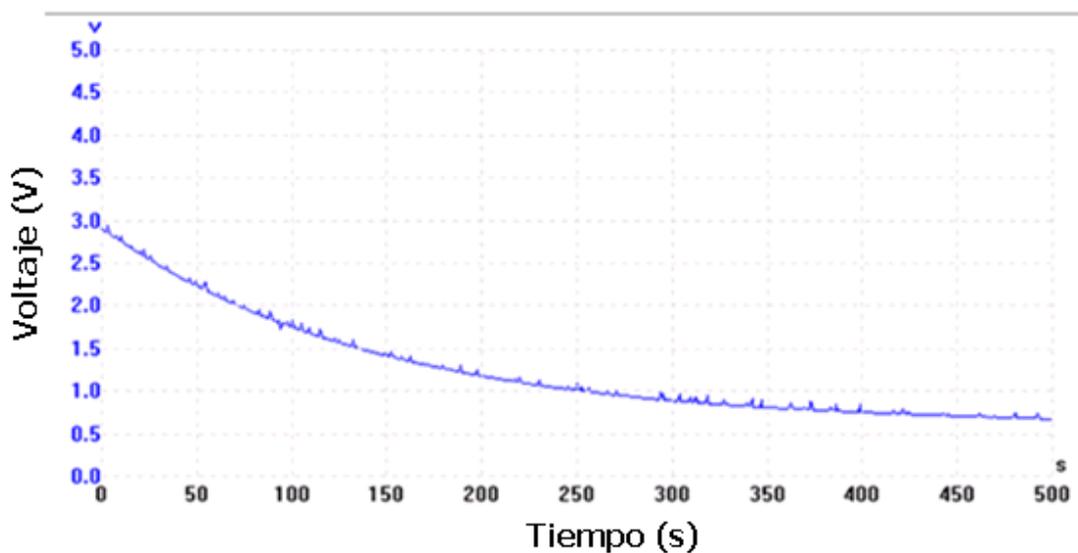
TEMPERATURA DEL MOTOR	VOLTAJES DE REFERENCIA (V)	TEMPERATURA DEL MOTOR (°C)
ARRANQUE EN FRIO	4.5	24.5
TEMPERATURA DE TRABAJO	0.8v	86.1

**Tabla 1.3** Voltaje de referencia y temperatura del ECT

Fuente: Creación de los autores

### Forma de onda.

En la figura 1.33 Se muestra la forma de onda del sensor ECT



**Figura 1.33** Forma de onda del sensor ECT

Fuente: <http://www.miac.es/marcas/pico/develop/hta/coolant.tjk>. Acceso 08 Enero del 2011

#### 1.4.7 Sensor de presión del riel (RPS.-Sensor pressure rail)

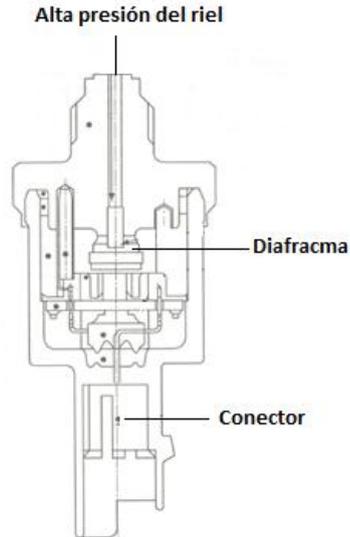


**Figura 1.34** Sensor RPS

Fuente: Fuente creación de los autores

El volumen existente en el riel está lleno continuamente de combustible sometido a alta presión, lo cual se aprovecha para obtener un efecto de acumulador. En el momento que se realiza la inyección se mantiene casi constante la presión en el acumulador. Igualmente se compensan las oscilaciones de presión procedentes de la bomba de alta presión.

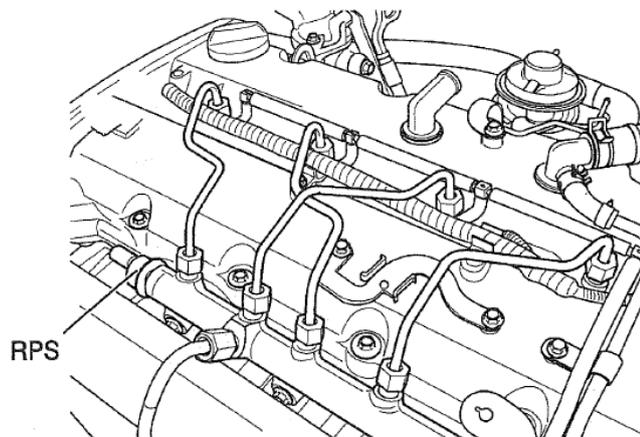
El sensor se encuentra ubicado a un costado del riel como se muestra en la figura 1.34, es el encargado de medir la presión existente en la riel, con suficiente exactitud y en el menor tiempo posible. Está constituido por una membrana metálica que se deforma por el efecto de la presión del combustible, adjunto a esta membrana se encuentra un elemento piezo resistivo, cuya resistencia varía en función de la deformación de dicha membrana se muestra en la figura 1.35. La información que provee este sensor sirve a la ECM para controlar el abastecimiento de combustible y su ubicación se muestra en la figura 1.36.



**Figura 1.35** Vista interna del sensor RPS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. F-L17

El cambio de la forma de la membrana es de aproximadamente 1mm a 1500 bar la cual origina una variación de la resistencia eléctrica y genera un cambio de tensión en el puente de resistencia abastecido con 5 V, la variación es de 0.5 a 4.5 voltios. La exactitud en la medición de la presión en la riel es indispensable para el funcionamiento del sistema. La precisión de la medición es de aproximadamente  $\pm 2\%$  del valor censado. En caso de avería del RPS se activa la válvula reguladora de presión en un modo de emergencia mediante valores preestablecidos menores a los 200 bares.

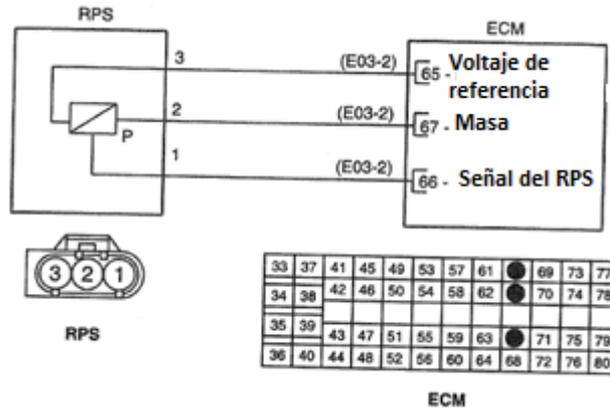


**Figura 1.36** Ubicación del sensor RPS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-54

**Diagrama de Conexión**

En la figura 1.37 se observa la conexión del RPS al conector número 2 de la ECM



**Figura 1.37** Diagrama del conexión del RPS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-55

**Voltajes de referencia**

Con la ayuda del multímetro en el terminal número 3 del conector del RPS se mide el voltaje de referencia en los diferentes regímenes del motor, los cuales se presentan en la tabla 1.4.

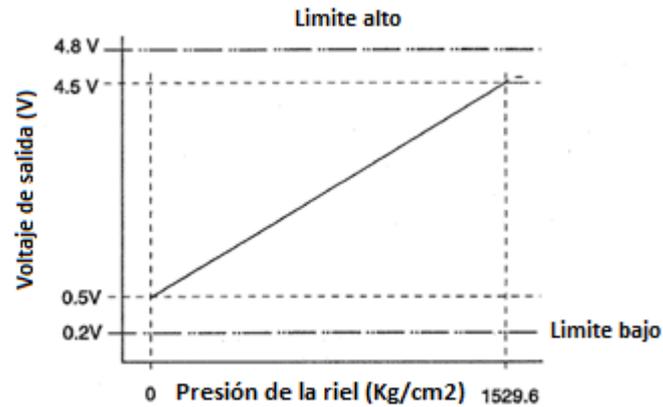
REGIMEN DEL MOTOR	VOLTAJES DE REFERENCIA (V)	PRESIÓN TEORICA EN EL RIEL (bar)
RALENTI	1.0	239.7
MEDIA CARGA	2.0	697.8
PLENA CARGA	3.1	1176

**Tabla 1.4** Voltajes de referencia y presión del RPS

Fuente: Creación de los Autores

## Formas de onda

En la figura 1.38 se muestra la forma de onda que describe el sensor RPS



**Figura 1.38** Forma de onda del sensor RPS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-54

### 1.4.8 Sensor de golpeteo (KS.- Knock Sensor)



**Figura 1.39** Ubicación del sensor KS

Fuente: Fuente creación de los autores

El sensor KS se encuentra ubicado en la parte lateral central izquierda del bloque motor como se muestra en la figura 1.39. Este sensor está conformado por un elemento de piezoeléctrico que es un generador de voltaje cuyo objetivo

es recibir y controlar las vibraciones del bloque de cilindros producidas por el pistoneo, enviando esta señal a la ECM. La misma procesará la frecuencia recibida y gracias a esto le es posible controlar el tiempo de la inyección como también la cantidad de inyección requerida para reducir el golpeteo.

### Diagrama de Conexión

La figura 1.40 presenta el diagrama de conexión del sensor KS al conector 2 de la ECM

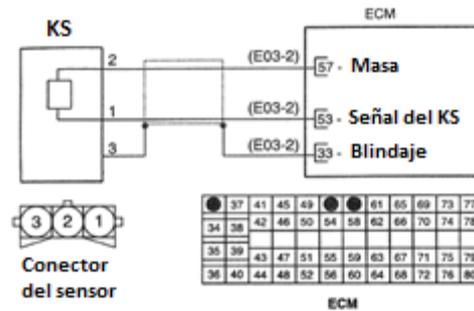


Figura 1.40 Diagrama de conexión del KS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-64

## 1.5 Actuadores del sistema CRDI.

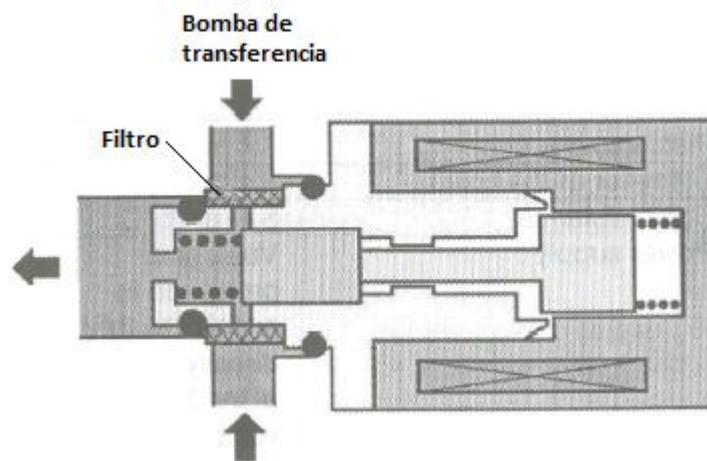
### 1.5.1 Válvula de llenado de la bomba de alta presión (IMV.- Inlet Metering Valve).

Su función es la de controlar la presión en el riel mediante la regulación de la cantidad de diesel suministrado a los elementos de bombeo, de la bomba de alta presión. El actuador IMV tiene dos objetivos:

1. Permite mejorar el rendimiento del sistema de inyección, ya que la bomba de alta presión comprime la cantidad de diesel necesario para mantener la presión solicitada en el riel por el sistema.
2. Por otra parte permite disminuir la temperatura del diesel en el depósito. Cuando el excedente de diesel es descargado en el retorno (de la presión de la riel a la presión atmosférica) la expansión del mismo libera una fuerte cantidad de calor, esto genera un aumento de temperatura del diesel evacuado hacia el depósito, es aquí donde hace su trabajo el IMV, reduciendo el caudal de retorno,

la IMV es la encargada de adaptar el caudal de la bomba de alta presión a las necesidades del motor en todo régimen de funcionamiento

La IMV se encuentra ubicada en la cabeza hidráulica de la bomba. La bomba de transferencia es la encargada de alimentarla a través de dos orificios radiales, consta de un filtro en el orificio de alimentación del IMV el mismo que se muestra en la figura 1.41.



**Figura 1.41** Actuador de llenado de la bomba

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-21

### Funcionamiento

La IMV se encuentra normalmente abierta cuando no tiene alimentación, ya que está compuesto por dos muelles de diferentes presiones, al ser más fuerte el muelle cónico del lado de la cabeza hidráulica que el cilíndrico del lado de la bobina, el pistón del lado derecho de la figura anterior del IMV se mantiene a tope con plena abertura.

El IMV está comandado por corriente, la ECM determina el valor de corriente que se envía al IMV en función de los siguientes parámetros:

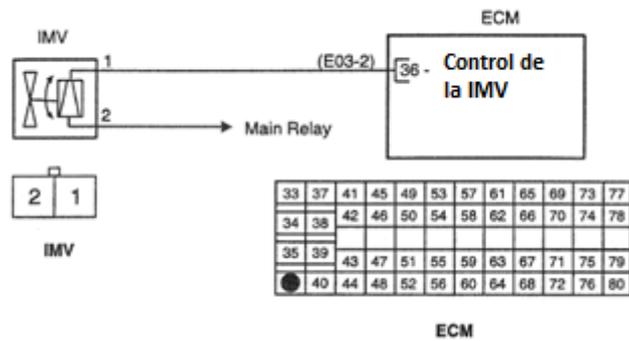
- Velocidad del motor
- Demanda de caudal
- Demanda de la presión en el riel

- Presión del riel medida
- Temperatura del diesel

“Esta válvula no puede ser utilizada como dispositivo de seguridad para cortar el suministro de diesel en caso de necesidad.”<sup>5</sup>

### Diagrama de conexión

En la figura 1.42 se muestra el diagrama de conexión de la válvula IMV



**Figura 1.42** Diagrama de conexión de la válvula IMV

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-95

### 1.5.2 Inyectores.

En la figura 1.43 se muestra el inyector empleado para el sistema de Riel Común del motor Hyundai J3



**Figura 1.43** Ubicación de los inyectores

Fuente: Creación de los autores

<sup>5</sup> DELPHI, Manual Common Rail, *Principios de Funcionamiento*, pp. 3-28

El inyector del sistema de Riel Común ha sido diseñado para responder a las nuevas normas anticontaminantes. Par ello debe:

- Permitir inyecciones múltiples
- Permitir inyectar cantidades cada vez más pequeñas
- Inyectar a presiones elevadas
- Distribuir de manera homogénea la cantidad inyectada

Esto se hace posible gracias a las siguientes evoluciones:

- A la mejora en el diseño hidráulico.
  - Modificación del diámetro de estanqueidad del inyector
  - Modificación de los orificios
- A las modificaciones aportadas al inyector
  - Aumento del número de agujeros
  - Agujeros cónicos
- Al desarrollo de nuevas válvulas, especialmente en la evolución de los materiales y tratamientos térmicos.

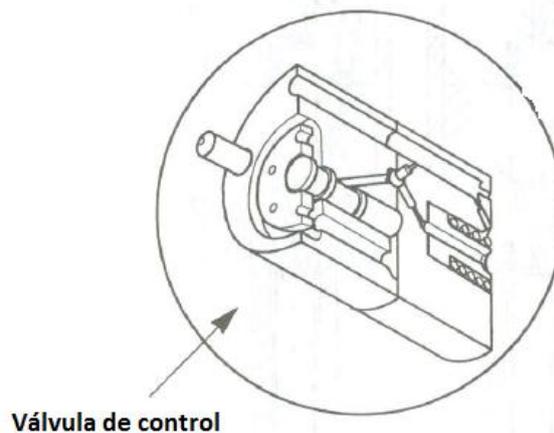
Las presiones de inyección máxima son del orden de 2000 bar, los esfuerzos que hay que vencer para levantar la aguja del inyector son muy importantes. Por ello es imposible pilotar directamente la aguja del inyector, con ayuda de un actuador electromagnético, a menos que se empleen corrientes muy importantes cuyos tiempos de establecimiento serian incompatibles con los tiempos de reacción requeridos para inyecciones múltiples. Por otra parte, la utilización de corrientes fuertes requiere una electrónica de potencia voluminosa lo que genera un calentamiento del actuador y de la ECM.

La aguja del inyector se pilota indirectamente gracias a una válvula que controla la puesta en presión o la descarga de la cámara de control situada encima de la aguja:

- Cuando la aguja debe levantarse al principio de la inyección, la válvula se abre de manera que descarga la cámara de control en el circuito de retorno.

- Cuando la aguja debe volver a cerrarse al final de la inyección, la válvula se vuelve a cerrar de tal forma que la presión se establece nuevamente en la cámara de control.

La válvula sirve para garantizar un tiempo de respuesta y un consumo de energía mínimo, la misma debe ser tan ligera y la carrera debe ser tan corta como sea posible. El esfuerzo que se debe ejercer sobre la misma debe ser mínimo, lo que implica que la válvula debe estar en equilibrio hidráulico en la posición cerrada. Este equilibrio se obtiene gracias a la geometría idéntica de las secciones de la cámara de presión, así la presión ejercida en las dos partes de la válvula es idéntica, solo un muelle de muy poca presión asegura el contacto de la válvula en su asiento. Para levantar la válvula, basta con alimentar una bobina para comprimir este muelle, como se muestra en la figura 1.44

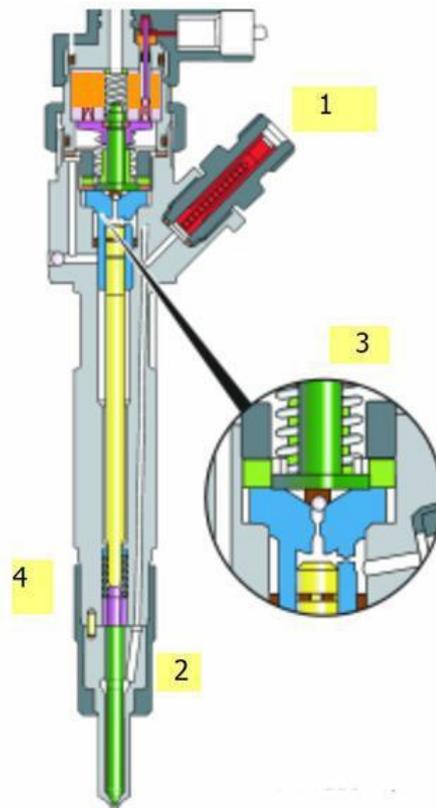


**Figura 1.44** Válvula de presión de descarga

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FL-19

En el inyector existen las cámaras 2 y 3 mostradas en la figura 1.45. El combustible proveniente del sistema de alta presión que ingresa por 1 y toma dos caminos, uno hacia la cámara inferior 2 y otro hacia la cámara superior 3. Como las presiones son iguales sobre el vástago que tapa la tobera existe la presión del resorte 4, para abrir el inyector hay que permitir una caída de presión en la cámara superior 3. Esta caída de presión se logra accionando un solenoide que retrae el resorte mostrado en el detalle 3 y así el balón o esfera permite el paso del combustible que se encuentra en esa cámara hacia el retorno.

Este combustible cuando es liberado retorna al depósito. Con esto la presión alta queda enfrentada a la presión que ejerce el resorte 4, logrando vencer el resorte, desplazando la tobera y permitiendo el paso del combustible al interior a la cámara de combustión.



**Figura 1.45** Vista interna de un inyector del sistema CRDI

Fuente: [http://www.equipoautomotrizjavaz.com/datos\\_tecnicos/funcionamiento\\_inyectores\\_diesel.pdf](http://www.equipoautomotrizjavaz.com/datos_tecnicos/funcionamiento_inyectores_diesel.pdf). Acceso 17 de Diciembre del 2010

### Codificación del Inyector

Cuando se reemplaza un inyector por uno nuevo, este posee diferentes características al anterior que estuvo montado en el motor. Estas características son detalladas en un sumario de códigos de 16 caracteres, el código se muestra en una etiqueta situada en la parte superior del inyector como se muestra en la figura 1.46, una vez montado el inyector nuevo este código debe ser ingresado a la ECM indicando la ubicación del mismo mediante un escáner automotriz apropiado.



Figura 1.46 Ubicación del código del inyector

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-104

### Diagrama de Conexión

En la figura 1.47 se muestra el diagrama de conexión de los inyectores al conector 2 de la ECM

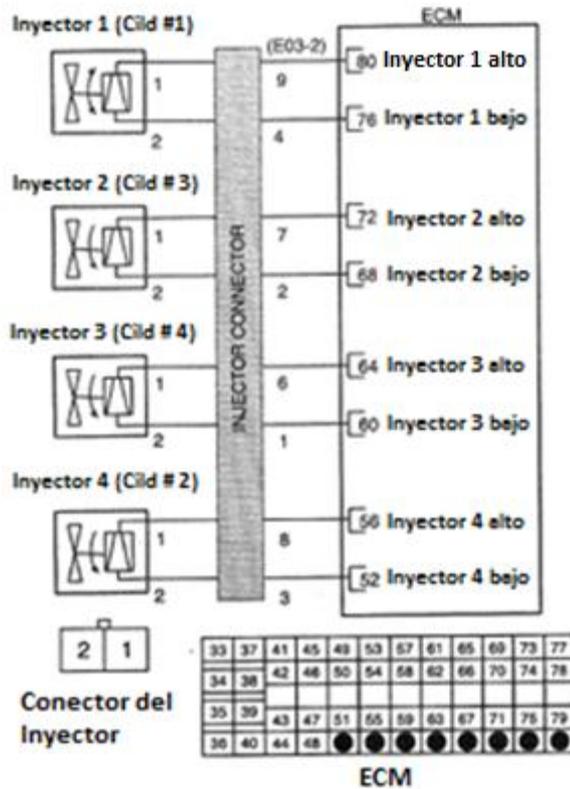


Figura 1.47 Diagrama de conexión de los inyectores

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-106

### 1.5.3 Válvula de recirculación de gases de escape (EGR.- Exhaust gas recirculation).

La figura 1.48 muestra va válvula EGR del motor Hyundai J3



**Figura 1.48** Ubicación de la válvula EGR

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-23

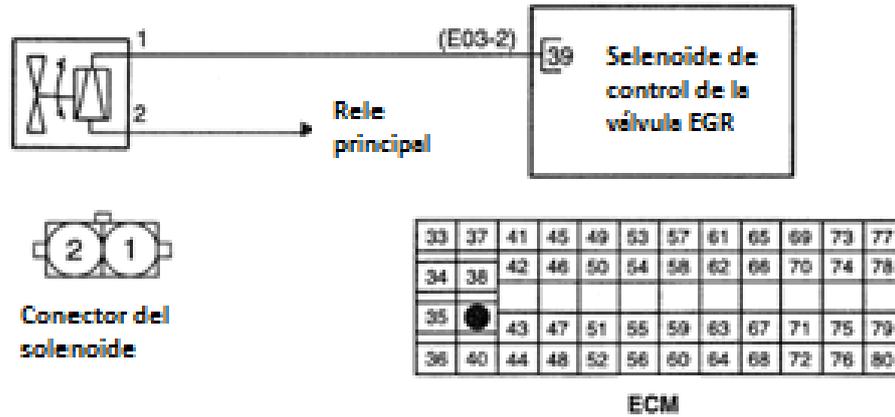
La válvula EGR, consiste en un mecanismo que ayuda a reducir las emisiones contaminantes al permitir de forma parcial el paso de los gases de escape de nuevo al circuito de admisión, con el objeto de que se mezclen los gases quemados con aire fresco y vuelvan a formar parte de la combustión. La EGR es comandada por una electroválvula controlada por la ECM, esta electroválvula permite que el diafragma obture o libere los gases de escape hacia la admisión mediante vacío, la señal que recibe la electroválvula de la ECM depende de otros parámetros como: la posición del acelerador, revoluciones del motor y temperatura del refrigerante.

La válvula EGR reduce la emisión de los óxidos de nitrógeno los mismos que son mayores cuanto mayor es la temperatura en la combustión, y mediante la

EGR se consigue reducir la temperatura de la combustión al introducir en el motor los gases quemados, cuyo contenido de oxígeno es menor.

**Diagrama de conexión.**

En la figura 1.49 se muestra la conexión del solenoide de control de la válvula EGR al conector 2 de la ECM



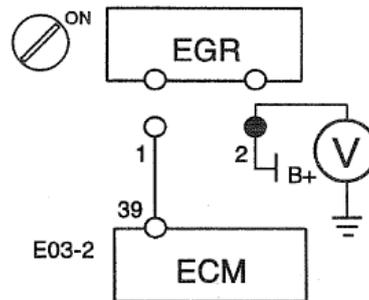
**Figura 1.49** Diagrama de conexión de la EGR

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-83

**Voltaje de referencia.**

El voltaje de referencia de la EGR se lo debe establecer realizando el siguiente procedimiento y como se ilustra en la figura 1.50.

1. Con el interruptor de encendido apagado se procede a desconectar la válvula EGR de su terminal de alimentación.
2. Luego ponemos el interruptor en la posición de encendido.
3. Con él un puntal del multímetro en el terminal 2 y el otro a masa se mide el voltaje de referencia, que es aproximadamente el voltaje de la batería.



**Figura 1.50** Medición del voltaje de referencia de la válvula EGR

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-84

### 1.6 Módulo de control del motor (ECM.- Engine control module).

En la actualidad la electrónica y la era digital abre una gran variedad de posibilidades para la regulación control y buen desempeño de un vehículo. Las múltiples variables que influyen en el desempeño del motor se pueden integrar de modo que todo el sistema pueda funcionar de manera óptima.

La ECM, mostrada en la figura 1.51, es la encargada de recibir las señales de los sensores, posteriormente las evalúa y finalmente calcula una respuesta que no es otra cosa que una señal de activación enviada a los actuadores. Este proceso lo realiza gracias a un software o programa de control que se encuentra almacenado en una memoria, el mismo que es ejecutado por un microcontrolador que en su mayoría son de arquitectura cerrada. La ECM también tiene componentes a su alrededor como diodos, condensadores, resistencia entre otros, los mismos que reciben el nombre de hardware.

El diseño de la ECM debe tomar en cuenta las condiciones y el medio en el cual va a funcionar es por eso que se debe tomar en consideración aspectos como:

- La temperatura del entorno en condiciones de funcionamiento y marcha normal del vehículo de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ .
- La debida resistencia a sustancias como aceite, combustibles etc.
- Esfuerzos mecánicos, principalmente los producidos por el motor como las vibraciones.

En lo que se refiere a perturbaciones electromagnéticas e irradiación de señales parasitas de alta frecuencia las exigencias son muy altas ya que la ECM debe presentar insensibilidad a las mismas.



**Figura 1.51** Módulo ECM

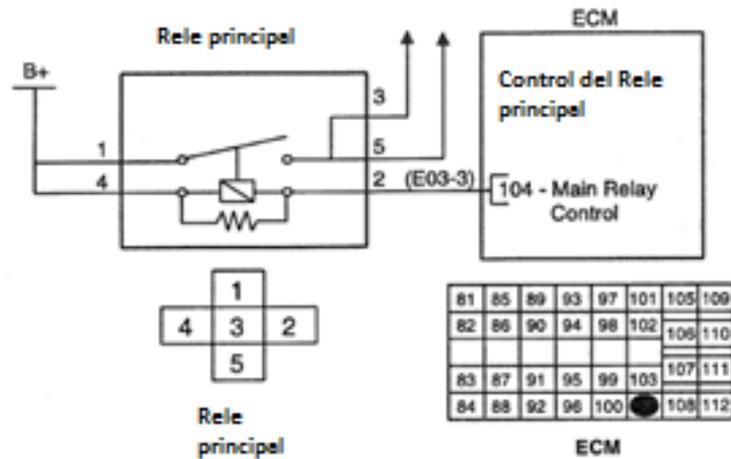
Fuente: Creación de los autores

### **1.6.1 Estructura**

Todos los componentes electrónicos que conforma el hardware se encuentran integrados en una placa de circuitos impresos la misma que está dentro de una caja metálica. En lo que se refiere a los sensores, actuadores así como a las alimentaciones estas se encuentran enlazadas a la ECM por medio de un conector multipolar, en cuanto a los circuitos que manejan alta potencia sobre todo para la activación directa de los actuadores estos se encuentran integrados a la caja de la unidad de control para que se asegure una correcta disipación del calor.

### **1.6.2 Alimentaciones**

La alimentación de entrada a la ECM está controlada por un relé principal el cual se activa al encender el interruptor de encendido, dando paso a la corriente de alimentación en el pin 104 de la ECM como se muestra en la figura 1.52.



**Figura 1.52** Diagrama de alimentación del módulo ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Fuel System J3 TCI-DSL2.9, pp. FLB-86

### 1.6.3 Señales de entrada

Tanto los sensores como los actuadores constituyen un medio de comunicación entre el vehículo y la ECM que es la encargada del procesamiento de la información que estos puedan generar. Las señales emitidas por los sensores son recibidas por la ECM por medio del cableado y el respectivo conector, dichas señales pueden tener diferentes formas.

#### Señales analógicas

Las señales analógicas pueden tomar cualquier valor de tensión dentro de un determinado rango. Algunas de estas señales son las que genera el MAF, la tensión de la batería, la temperatura del refrigerante, así como la del aire que está ingresando al motor. Para que la ECM pueda interpretar estos valores existen los convertidores analógico-digitales que transforman dichas señales en valores digitales con los que puede operar el microcontrolador.

#### Señales digitales

Estas señales solo pueden tener dos estados, conocidos como lógico 1 o alto y lógico 0 o bajo. Los sensores que generan estas señales son el CMP y KS, el

sensor de velocidad, los sensores del ABS entre otros. Dichas señales son procesadas directamente por el microcontrolador.

#### **1.6.4 Señales de salida**

Con la ayuda de las señales de salida la ECM comanda la activación o desactivación de los diferentes actuadores del motor para conseguir el funcionamiento óptimo del mismo. La activación de los actuadores está protegida contra cortocircuitos a masa o a tensión de la batería. Dentro de las señales de salida tenemos las señales de conmutación y las señales MID

##### **Señales de conmutación**

Este tipo de señales son las encargadas de conectar y desconectar los diferentes elementos actuadores como por ejemplo el electro ventilador del motor

##### **Señales MID**

Conocidas por sus siglas como Señales de Impulsos de Modulación, son señales de regulación de frecuencia constante pero con la diferencia de que el tiempo de conexión es variable. Estas señales son capaces de llevar a los elementos actuadores a posiciones de funcionamiento particulares como por ejemplo la válvula de recirculación de gases de escape, el ventilador entre otros.

#### **1.7 Conclusión.**

Al culminar este capítulo, la información presentada con el suficiente sustento técnico sobre el sistema de inyección CRDI, permitirá al lector comprender y familiarizarse con los diferentes componentes que integran este sistema de inyección; por lo tanto se facilitara el entendimiento de su funcionamiento.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DIDÁCTICO.

#### 2.1 Introducción

El banco didáctico funcional de la figura 2.1 presenta un motor Hyundai J3 de 2900cc turbo alimentado con sistema de inyección CRDI. El cual está destinado al uso didáctico mediante la visualización del comportamiento de diferentes sensores que intervienen en este sistema, datos como; voltajes, temperatura del refrigerante, temperatura del combustible, temperatura del aire de entrada, presión de inyección, régimen del motor, variación de la masa de aire, entre otros permitirán al usuario analizar y comprender de una manera práctica el funcionamiento de los diferentes sistemas electrónicos.



**Figura 2.1** Banco didáctico del sistema CRDI

Fuente: Creación de los autores

## **2.2 Características particulares del banco.**

El banco didáctico funcional del sistema de inyección CRDI está construido de acuerdo a las exigencias de todos los componentes que van a funcionar en el mismo, requiriendo principalmente de espacio físico, guardando una relación directa de semejanza a la disposición real con el vehículo.

La estructura del banco deberá soportar al motor, cableado, módulo ECM, tablero, batería, depósito de combustible y la respectiva interface de comunicación entre la ECM y el usuario, además del radiador, sistema de escape y silenciador.

El mencionado banco ha sido diseñado para que preste todas las facilidades de accesibilidad a mayoría de los componentes del sistema de inyección así como su manipulación, montaje y desmontaje de los mismos para que facilite el uso didáctico en el momento de realizar las respectivas pruebas de funcionamiento.

## **2.3 Ubicación de los componentes que integran el banco didáctico**

Para una correcta ubicación de los componentes en el banco didáctico, se tomo en cuenta las medidas del habitáculo del motor en el vehículo Hyundai Terracan 2.9 CRDI, tratando que las mismas sean lo más semejante posible para que el motor se acerque a las condiciones reales de funcionamiento.

Dentro de la estructura del banco didáctico, el motor se encuentra alojado de forma longitudinal, en condiciones similares a las del vehículo. El motor se encuentra sujeto al banco didáctico por un total de 3 bases, 2 en el lado derecho del motor y una en el izquierdo, las mismas que además de brindar la sujeción del motor absorben las vibraciones que este genera.

### **2.3.1 Sistema de alimentación**

El depósito de combustible con una capacidad de 18 litros que se muestra en la figura 2.2 fue ubicado en la parte delantera inferior izquierda opuesta al sistema de escape, el mismo cuenta con una tapa de llenado en la parte superior central y

con las respectivas cañerías de alimentación y retorno. La alimentación se hace desde una bomba de succión manual directamente al filtro decantador para luego pasar al filtro principal, los cuales se encuentran ubicados en la parte lateral izquierda del motor brindando una accesibilidad eficiente para su mantenimiento.



**Figura 2.2** Depósito de combustible

Fuente: Creación de los autores

### **2.3.2 Sistema de alimentación eléctrica**

Compuesto principalmente por la batería de 12 voltios 45 amperios, fusiblera principal, fusiblera de accesorios, relé principal y el tablero de instrumentos donde se encuentra el interruptor de encendido del motor, tablero de instrumentos, interruptores de sensores y la tarjeta de adquisición de datos. Todos estos elementos se encuentran interconectados por medio del cableado, distribuido tanto en la estructura metálica como en el motor, de tal forma que no interfiere con el resto de elementos, cubierto con manguera plástica anillada la cual lo protege y sirve de aislante del calor, polvo, humedad y diferentes factores que puedan dañarlo, como se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Componentes del sistema de alimentación eléctrica

Fuente: Creación de los autores

### 2.3.3 Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración es importante en el funcionamiento del motor, por esta razón el radiador han sido montado respetando la separación que el mismo tiene con el ventilador y tomando en cuenta la altura respecto del cabezote como se muestra en la figura 2.4, de manera que el enfriamiento del refrigerante del motor sea el adecuado en el momento en el que este ingresa al radiador. El mismo cuenta con un depósito auxiliar ubicado en la parte superior derecha del radiador, suministrando refrigerante en caso de ser necesario. El ventilador es accionado directamente por un mecanismo de correa-polea tomado el movimiento del cigüeñal. Dicho sistema está provisto de un indicador de temperatura en el tablero de instrumentos.



**Figura 2.4** Depósito del refrigerante del motor y radiador

Fuente: Creación de los autores

#### **2.3.4 Sistema de control**

El sistema de control se encuentra compuesto por un módulo ECM el mismo que está ubicado debajo del panel de instrumentos, ya que al tratarse de un elemento sensible se hace imprescindible su cuidado, de elementos externos tales como humedad, golpes, calor y demás factores que puedan alterar su funcionamiento. El tablero se encuentra en la parte más visible del panel de instrumentos ya que este nos brindará la información necesaria para la correcta operación del banco didáctico, en la parte inferior izquierda está ubicado el conector de datos (OBDII) con su respectivo soporte, el mismo que permitirá el acceso a la conexión de un escáner automotriz y su posterior comparación con los datos que nos brinda el tablero.



**Figura 2.5** Componentes del sistema de control

Fuente: Creación de los autores.

### 2.3.5 Sistema de Escape

El sistema comienza en el múltiple de escape ubicado en la parte lateral derecha del motor, conectándose al turbo alimentador para luego unirse al silenciador, el mismo que está dispuesto de manera transversal con respecto al motor en la parte inferior, con su respectiva salida.



**Figura 2.6** Sistema de escape

Fuente: Creación de los autores.

## 2.4 Diseño

Como consideración de diseño se debe tener en cuenta que la estructura debe soportar todo el peso del motor así como el de los demás elementos que integran el banco didáctico, permitiendo un fácil acceso a todos ellos. Para la correcta construcción de este banco se ha tomado en cuenta criterios de diseño mecánico, para poder realizar una correcta elección de materiales así como la construcción de la estructura que pueda proporcionar seguridad, para ello se usara un acero estructural A36 cuyo valor de resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) es de 250MPa.

En la actualidad el diseño mecánico tiene la ayuda de software de elementos finitos más completos y avanzados que pueden simular un sin número de condiciones a las que puede estar sometido determinado diseño antes de su construcción final aprovechando al máximo las características del mismo para reducir posibles fallas e incrementando su seguridad y eficiencia. Uno de estos softwares es Ansys, el mismo que permitirá simular el comportamiento de la estructura, que soportará principalmente el peso del motor del banco didáctico.

### 2.4.1 Materiales

En la tabla 2.1 se detallan los materiales usados para la construcción del banco didáctico con la cantidad utilizada de los mismos.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Tubo rectangular de acero A36 de 4"x2" de 2 mm de espesor	2.5 metros
Tubo cuadrado de acero A36 de 3" con espesor de 2 mm	2.5 metros
Tubo cuadrado de acero A36 de 2" con espesor de 2mm	3 metros
Plancha de tol 1/8" (base del tanque de combustible)	40x25cm
Plancha de tol 1/8" (soporte de batería)	25x18cm
Platina de acero 2"x1/4"	80 cm
Platina de aluminio 2"x1/8 (sujeción del tanque de combustible)	62cm
Formica (tablero de control)	67x30 cm
Electrodos E 6011	4 libras
Lija de hierro #100	5

Lija de agua # 400	7
Masilla plástica	¼ de galón
Fondo anticorrosivo	3 litros
Pintura color negro mate	¼ galón
Bases de caucho	3
Broca de metal 3/16	1
Broca de madera 1/4	1
Pernos auto perforantes de metal	20
Bridas plásticas	40

**Tabla 2.1** Materiales para la construcción del banco didáctico

Fuente: Creación de los autores

En la tabla 2.2 se detalla los componentes externos del banco didáctico y su respectiva cantidad

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Tablero de instrumentos original	1
Radiador de aire original	1
Interface de comunicación	1
ECM calculador motor	1
Interruptor de encendido	1
Depósito del refrigerante	1
Filtro de combustible	1
Filtro decantador de agua	1
Depósito de combustible	1
Batería 12v 45 <sup>a</sup>	1

**Tabla 2.2** Elementos externos del banco didáctico

Fuente: Creación de los autores

En la tabla 2.3 se detalla el material eléctrico empleado con sus respectivas cantidades.

DESCRIPCION	CANTIDAD
Manguera aislante anillada de $\frac{3}{4}$	4 m
Manguera aislante anillada de $\frac{1}{2}$	2 m
Manguera aislante anillada de $\frac{1}{4}$	2 m
Manguera aislante anillada de $\frac{1}{8}$	1m
Cable flexible #16	15m
Cinta aislante	12 rollos
Terminales hembras	20
Cable con puerto serial	1
Cable con puerto UBS	1
Estaño	1 rollo
Pasta de soldar	1
Fusibles	9
Relés	3
Interruptores	5

**Tabla 2.3** Material eléctrico empleado en el banco

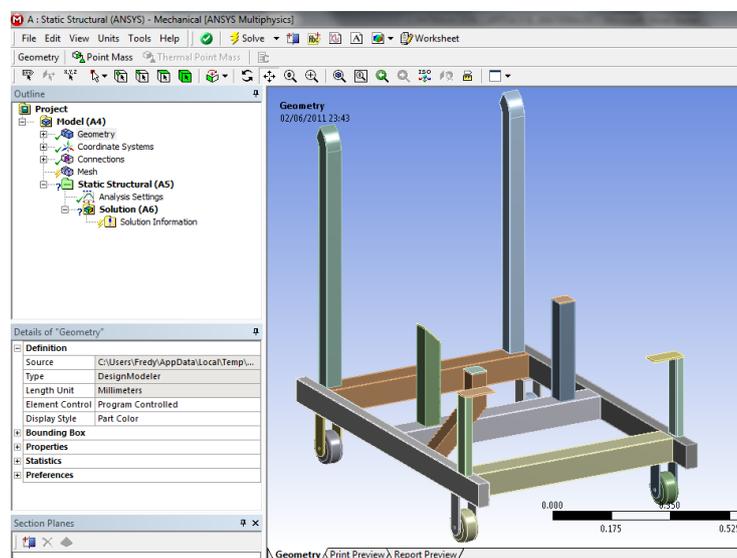
Fuente: Creación de los autores

## 2.5 Simulación de la estructura en ANSYS

Para poder realizar el cálculo de la resistencia que soportara la estructura, se consultó en el manual del usuario el peso del motor el cual es de 226Kg tomando en cuenta la presencia del líquido refrigerante y aceite. Los 226 Kg se transforman a 2214.8 Newton por una conveniencia de unidades en el momento de trabajar en el ANSYS, este valor es distribuido a las tres bases del motor en porcentajes del 50% (1107.4N) para la base del lado izquierdo, 35% (775.18N) para la base del lado derecho posterior y 15% (332.22N) para la base del lado derecho delantera, esta distribución es asumida para efectos de cálculo.

Antes de trabajar en el programa ANSYS se requiere que el dibujo de la estructura este hecho en INVENTOR debido a la compatibilidad que estos programas requieren. Para realizar la simulación se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

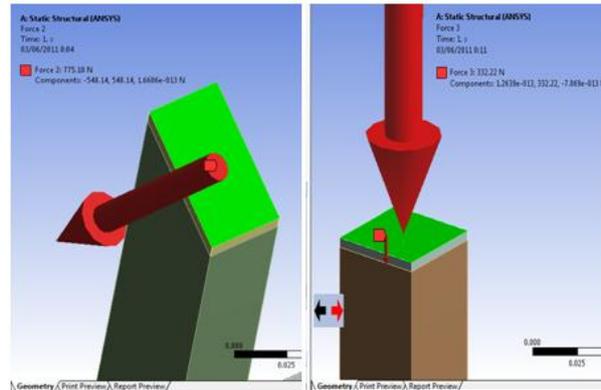
1. Se revisa que la estructura cargada en ANSYS sea la correcta y se accede a la ventana de análisis desde la opción (**model**), dicha opción nos lleva a la ventana que se muestra en la figura 2.7.



**Figura 2.7** Acceso para el análisis de la estructura

Fuente: Creación de los autores

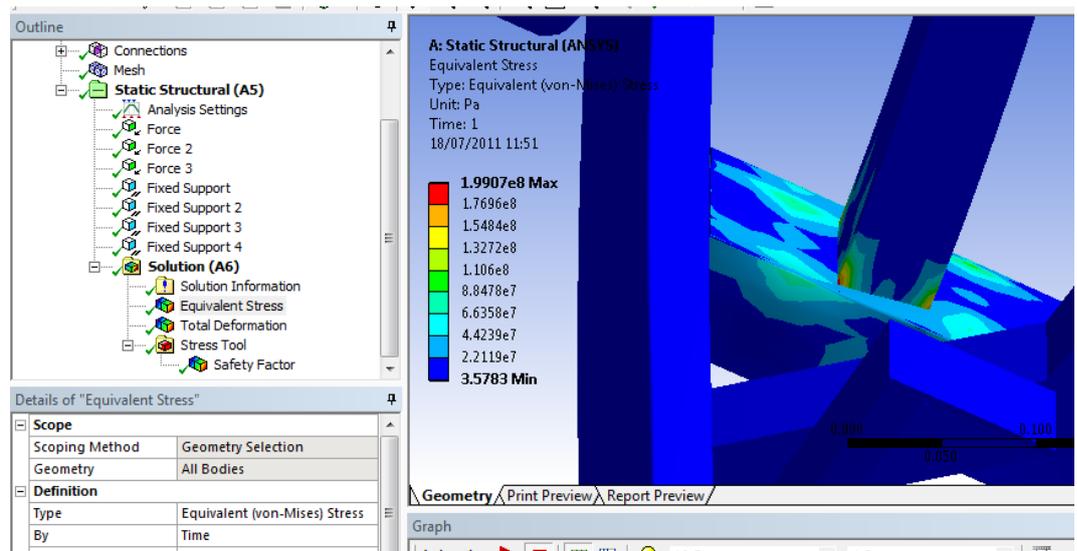
2. Cuando la estructura ya se ha cargado, se procede a insertar las fuerzas a las cuales está sometida la estructura y los soportes de la misma, definiéndose su valor y dirección, opción que se hace directamente desde la ventana (**Details of “Force”**) como se ilustra en la figura 2.8.



**Figura 2.8** Cargas aplicadas a las bases del motor

Fuente: Creación de los autores

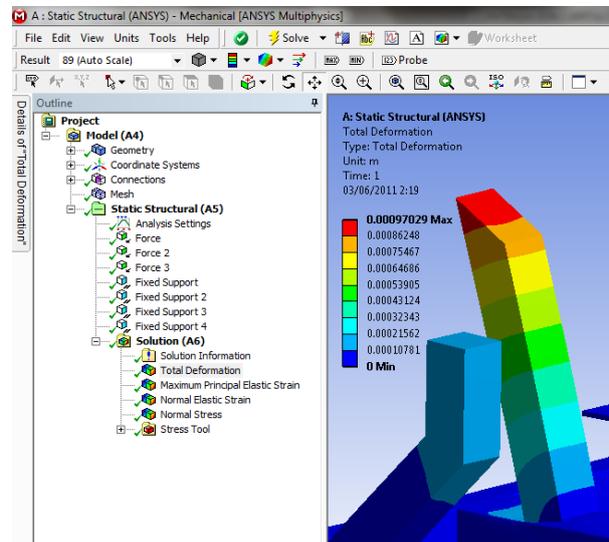
3. Antes de correr el programa se debe cargar el tipo de análisis que se quiere hacer desde la opción (**Solution A6**) para que se despliegue el menú de herramientas y poder cargar, para en este caso, el equivalente de Von-Mises, la deformación total y el factor de seguridad, para correr el programa se utiliza la opción (**Solve**). Cuando el programa termine de analizar la estructura se puede evaluar los resultados accediendo a ellos desde el tipo de solución que se cargo previamente. El valor de esfuerzo de Von-Mises es de 199.07 Mpa que actúan sobre la base posterior derecha, como se muestra en las figura 2.9.



**Figura 2.9** Equivalente de Von-Mises

Fuente: Creación de los autores

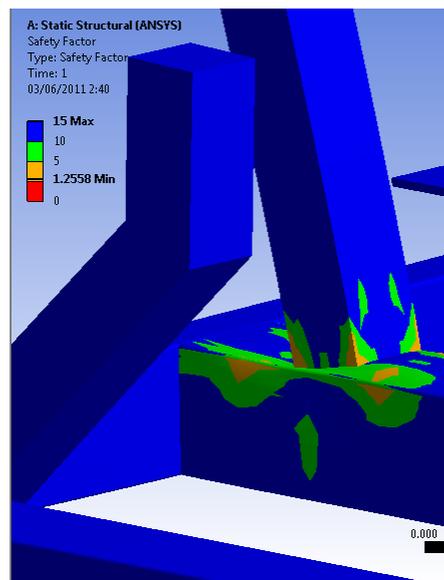
En la figura 2.10 en color rojo se muestra la deformación total máxima con un valor de 0.97mm, que es la deformación en esta parte de la estructura.



**Figura 2.10** Deformación total máxima

Fuente: Creación de los autores

En la figura 2.11 en color naranja se observa la zona donde el factor de seguridad mínimo es de 1.25, y de color azul donde el factor de seguridad máximo es de 15



**Figura 2.11** Factor de seguridad de la estructura

Fuente: Creación de los autores

Ahora bien, al no existir una normativa específica acerca de cómo diseñar este tipo de estructuras, se toma la siguiente consideración “En realidad solo con un conocimiento profundo de la aplicación del elemento de máquina se puede indicar un valor de deformación aceptable” sin embargo para una viga que está sujeta a flexión se puede tomar en cuenta el siguiente lineamiento. La relación de deformación  $y/L$  para una viga sujeta a flexión tiene que estar entre  $0.0005plg$  a  $0.003plg$  para que dicha deformación sea considerada aceptable dentro de un diseño. Así tenemos que:

$$0.0005plg/plg \geq y/L \leq 0.003plg/plg$$

Donde:

$y$  = Deformación total máxima de la base indicada en la figura 2.10 con un valor de 0.97 mm

$L$  = Longitud inicial de la base cuyo valor es de 310mm

$$\frac{y}{L} = 0.312E - 3mm/mm$$

Cuyo valor transformado a pulgadas es de  $0.123E-3$  plg

Como este valor se encuentra dentro de la consideración antes descrita se puede decir que dicha deformación es aceptable para este tipo de estructura. Además tomando en cuenta el límite de fluencia del material ( $S_y$ ) de 250 MPa con respecto al esfuerzo de Von-Mises máximo de 199.07 MPa se puede establecer que el dicho esfuerzo no causaría daños en la estructura del banco didáctico ni alteraría su integridad estructural que está garantizada por el tipo de uso al cual está destinado el banco didáctico. Un aspecto a tomar en cuenta es el factor de seguridad mínimo de 1.25 para el soporte posterior del lado derecho, el mismo reúne las condiciones de seguridad suficientes para que el usuario del banco didáctico pueda manipularlo sin riesgo de accidente por efectos de deformación en la estructura del mismo.

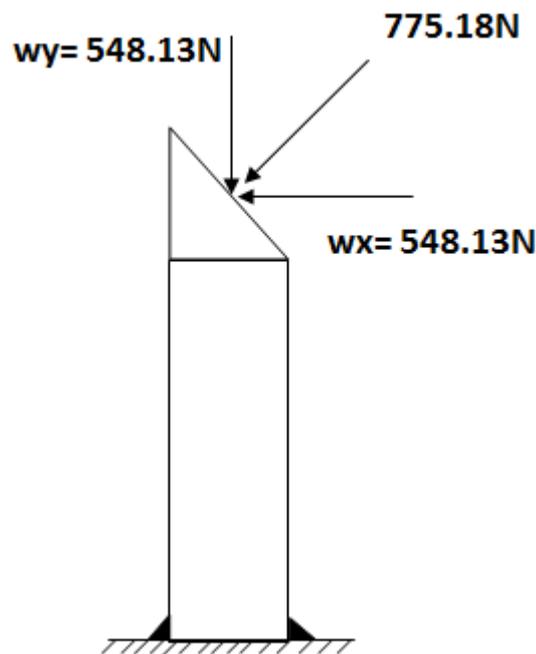
## 2.6 Análisis de soldadura y pernos

### 2.6.1 Análisis de la soldadura

La soldadura que se analizará, será la de la base posterior derecha, que es donde se encuentra el esfuerzo principal máximo y la deformación total. Para este análisis se tomará en cuenta la teoría de los esfuerzos en uniones soldadas sujetas a flexión y esfuerzo cortante, el tipo de soldadura aplica es de tipo filete

con electrodo E6011 cuya resistencia a la fluencia es de 345MPa. El objetivo de este análisis es calcular el factor de seguridad que garantice que la falla en el cordón de soldadura no se dé por efecto del esfuerzo cortante y flexiónate a causa de las componentes de la fuerza que actúa en esta base, con la imposición de la altura del cordón de soldadura de 3mm para la base cuadrada de 2plg. Para ello se realizó el siguiente procedimiento.

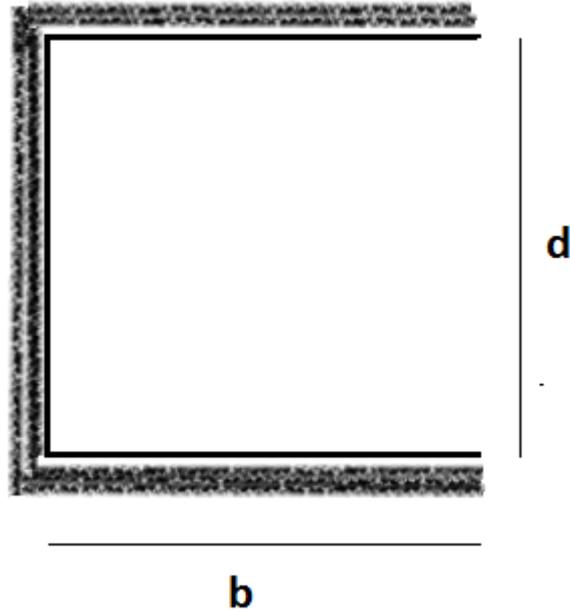
Se analiza el cortante primario a causa de la componente de la fuerza de 548.14 N que por estar actuando a 45 grados el valor es el mismo de la fuerza, como se muestra en la figura 2.12



**Figura 2.12** Componentes de la fuerza de 775.18N

Fuente: Creación de los autores

En la figura 2.13 se muestra la disposición del cordón de soldadura.



**Figura 2.13** Disposición del cordón de soldadura

Fuente: Creación de los autores

Con estos datos se procede a realizar el siguiente cálculo:

Área del cordón de soldadura

$$A = 0.707h(2b + d)$$

EC 2.1

Donde:

h = altura del cordón de soldadura en metros

b = Lado 1 de la viga en metros

d = Lado 2 de la viga en metros

$$A = 0.707 \times 3E - 3m(2 \times 0.0508m + 0.0508m)$$

$$A = 3.21E - 4m^2$$

Esfuerzos causados por las componentes  $W_x$  y  $W_y$ .

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad EC 2.2$$

Donde:

$\tau'$  = Esfuerzo cortante primario en Pascales

$V$  = Fuerza cortante a causa de  $W_x$  en Newton

$A$  = Área del cordón de soldadura en ( $m^2$ )

$$\tau' = \frac{548.13}{3.21E - 4}$$

$$\tau' = 1.70MPa$$

$$\tau'' = \frac{V}{A} \quad EC 2.3$$

Donde:

$\tau''$  = Esfuerzo cortante primario en Pascales

$V$  = Fuerza cortante a causa de  $W_y$  en Newton

$A$  = Área del cordón de soldadura en ( $m^2$ )

$$\tau'' = \frac{548.13}{3.21E - 4}$$

$$\tau'' = 1.70MPa$$

$$I_U = \frac{d^2}{12}(6b + d) \quad EC 2.4$$

Donde:

$I_U$  = Segundo momento del área unitaria ( $m^3$ )

$b$  = Lado 1 de la viga en metros

$d$  = Lado 2 de la viga en metros

$$I_U = \frac{0.0508^2}{12} (6 \times 0.0508 + 0.0508)$$

$$I_U = 7.64E - 5m^3$$

$$I = 0.707h \times I_U \quad EC 2.5$$

Donde:

I= momento polar de inercia en ( $m^4$ )

h = Altura del cordón de soldadura en metros

$I_u$  = Segundo momento del área unitaria ( $m^3$ )

$$I = 0.7073E - 3 \times 7.64E - 5$$

$$I = 1.62E - 7m^4$$

$$\tau''' = \frac{Mr}{I} + \tau'' \quad EC 2.6$$

Donde:

$\tau'''$  = Resultado del esfuerzo flexionante mas el cortante en Pascales

M = Momento flector N-m

I = Momento polar de inercia

$$\tau''' = \frac{548.13 \times 0.31 \times 0.0254}{1.62E - 7} + 1.70E6$$

$$\tau''' = 28.34MPa$$

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau''')^2} \quad EC 2.7$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo cortante máximo

$$\tau = \sqrt{(1.70E6)^2 + (28.34E6)^2}$$

$$\tau = 28.39MPa$$

$$n = \frac{0.577S_y}{\tau} \quad EC 2.8$$

Donde:

n = Factor de seguridad

S<sub>y</sub> = Esfuerzo permisible del material de aporte

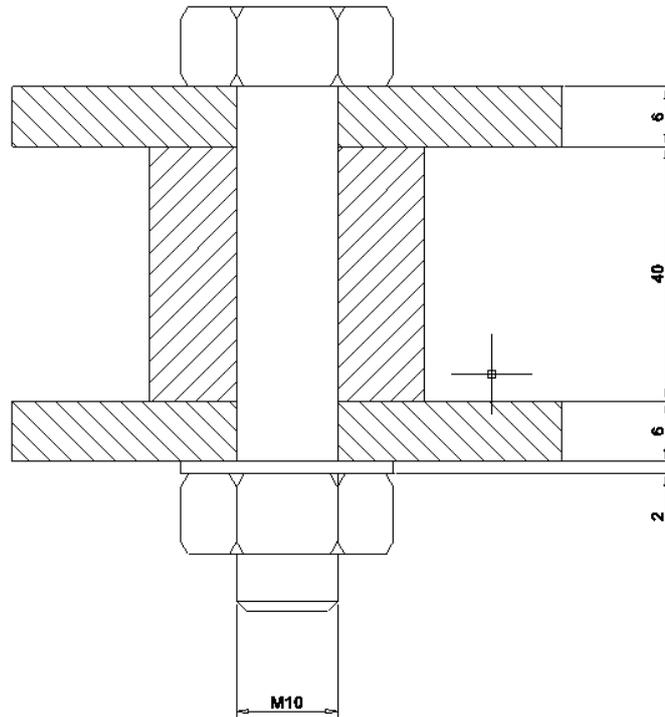
$$n = \frac{0.577 \times 345E6}{28.39E6}$$

$$n = 7.01$$

Con este valor del factor de seguridad se garantiza que no se producirá la falla en el cordón de soldadura por efecto del esfuerzo cortante máximo de 28.39MPa.

### 2.6.2 Analisis de pernos

Los pernos seleccionados para sujetar las tres bases del motor son M10x1.25 con una longitud total L= 0.08m con un agarre de 0.052m, como se muestra en la figura 2.14, de grado 4.6 con resistencia mínima a la fluencia de 240MPa, resistencia de prueba mínima S<sub>p</sub> de 225MPa, el perno cuenta con un área transversal de 5.8E-5 m<sup>2</sup> y con un área diametral de 7.85E-5m<sup>2</sup>. Los pernos se encuentran sometidos a una carga constante máxima de 775.18N para el perno de la base posterior derecha, 1104.4N para el perno de la base izquierda y 332.22N para el perno de la base delantera derecha.



**Figura 2.14** Perno de sujeción de las bases del motor

Fuente: Creación de los autores

El objetivo de este análisis es calcular el factor de seguridad que garantice que la falla en los pernos no se dé por efecto de las cargas a las cuales están sometidas. Para ello se realizó el siguiente procedimiento.

$$L_t = 2d + 12$$

EC 2.9

Donde:

$L_t$  = Longitud roscada del perno en metros

$d$  = Diámetro del perno en metros

$$L_t = 2 \times 0.010 + 12$$

$$L_t = 0.032m$$

$$L_d = L - L_t$$

EC 2.10

Donde:

$L_d$  = Longitud no roscada

$L$  = longitud total del perno

$$Ld = 0.08 - 0.032$$

$$Ld = 0.048m$$

$$lt = l - Ld$$

EC 2.11

Donde:

$lt$  = Longitud roscada dentro del agarre en metros

$l$  = Agarre en metros

$$lt = 0.052 - 0.048$$

$$lt = 4E - 3m$$

$$Kb = \frac{Ad \times At \times E}{Ad \times lt + At \times Ld}$$

EC 2.12

Donde:

$Kb$  = Constante de rigidez del sujetador en Pascales.

$Ad$  = Área diametral del perno en  $m^2$

$At$  = Área transversal en  $m^2$

$E$  = Módulo de elasticidad del sujetador en Pascales

$$Kb = \frac{7.85E - 5 \times 5.8E - 5 \times 207E}{7.85E - 5 \times 0.04 + 5.8E - 5 \times 0.048}$$

$$Kb = 159.09MPa$$

$$Km_{caucho} = \frac{0.5774 \times \pi \times E \times d}{2 \ln \left( 5 \frac{0.5774 \times l + 0.5 \times d}{0.5774 \times l + 2.5 \times d} \right)}$$

EC 2.13

Donde:

$Km$  = Constante de rigidez del elemento en Pascales.

$$Km_{caucho} = \frac{0.5774 \times \pi \times 5E6 \times 0.010}{2 \ln \left( 5 \frac{0.5774 \times 0.04 + 0.5 \times 0.010}{0.5774 \times 0.04 + 2.5 \times 0.010} \right)}$$

$$Km_{caucho} = 52.06KPa$$

$$C = \frac{Kb}{Kb + Km} \quad EC 2.14$$

Donde:

$C$  = Constante de rigidez de la unión

$$C = \frac{159.09E6}{159.09E6 + 52.06E3}$$

$$C = 0.999$$

$$Fi = 0.75 \times Sp \times At \quad C 2.14$$

Donde:

$Fi$  = Fuerza de sujeción o precarga N.

$Sp$  = resistencia de prueba mínima Mpa.

$At$  = Área transversal en  $m^2$

$$Fi = 0.75 \times 225E6 \times 5.8E - 5$$

$$Fi = 9.78KN$$

$$T = K \times Fi \times d \quad C 2.15$$

Donde:

$T$  = Torque de apriete N-m

$K$  = condición del perno 0.30 sin recubrimiento y acabado negro

$$T = 0.30 \times 9.78E3 \times 0.010$$

$$T = 29.34N - m$$

$$n = \left( Sp - \frac{Fi}{At} \right) \times \frac{At}{C \times P} \quad C 2.16$$

Donde:

$n$  = Factor de seguridad.

P = carga externa en N

Perno 1

$$n = \left(225E6 - \frac{9.78E3}{5.8E-5}\right) \times \frac{5.8E-5}{0.99 \times 775.18}$$

$$n = 4.24$$

Perno 2

$$n = \left(225E6 - \frac{9.78E3}{5.8E-5}\right) \times \frac{5.8E-5}{0.99 \times 1107.4}$$

$$n = 2.97$$

Perno 3

$$n = \left(225E6 - \frac{9.78E3}{5.8E-5}\right) \times \frac{5.8E-5}{0.99 \times 332.22}$$

$$n = 9.9$$

Con estos valores del factor de seguridad se garantiza que no se producirá una falla en el perno por efecto de las cargas a los que están sometidos ya que todos son mayores a 1.

## 2.7 Seguridad

La seguridad es muy importante dentro de un banco didáctico debido a que el usuario estará interactuando permanentemente durante su operación. Uno de los puntos de mayor riesgo para el usuario es la parte del volante motor, ya que el mismo está expuesto y es probable que por efectos de manipulación de otros componentes el usuario tenga contacto directo con este. Por esta razón se creyó conveniente proteger al usuario con una malla electrosoldada que evitara el contacto directo con este elemento mecánico y así reducir el riesgo de accidentes.

Se debe recomendar a los usuarios evitar en lo posible manipular las cañerías de alta presión del sistema cuando el motor esta encendido, y aun después de apagado, se debe esperar un tiempo prudencial de 15 min hasta que la presión presente en ellas se descargue de nuevo al depósito de combustible ya que una salpicadura de combustible a la presión que maneja este sistema podría causar graves lesiones a los usuarios.

## **2.8 Conclusión**

El banco didáctico fue diseñado pensando en la comodidad y seguridad del usuario, es por esto que se trabajo con materiales de óptima calidad que aporten durabilidad y resistencia. La disposición que presentan sus partes y componentes brindan comodidad de trabajo para acceder a ellos de manera fácil y rápida, aspectos importantes dentro del uso didáctico, con lo que los estudiantes de la especialidad podrán conocer de manera más real el funcionamiento del sistema de inyección CRDI.

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFACE**

#### **3.1 Introducción**

Para poder diseñar y construir la interface de comunicación se utilizó varios programas como son el MicroCode Studio para la programación del microcontrolador, el Proteus para el diseño electrónico de la placa, Visul Basic 6.0 para la parte gráfica del software del computador y el Eclipse para poder grabar la información que el microcontrolador necesita para poder trabajar.

#### **3.2 Diseño de la tarjeta electrónica**

La tarjeta electrónica fue diseñada en su totalidad en el programa ISIS Proteus que es un programa fácil de manejar pues las librerías que tiene abarcan la mayoría de elementos electrónicos necesarios para la construcción de una tarjeta de este tipo, además nos brinda la opción de simular el funcionamiento de la tarjeta electrónica antes de su construcción final con lo que se reduce al mínimo las pérdidas de tiempo por defectos en la construcción y en el microcontrolador.

En esta etapa de diseño es importante tener claro que es lo que se desea construir por eso creemos pertinente tratar los siguientes puntos.

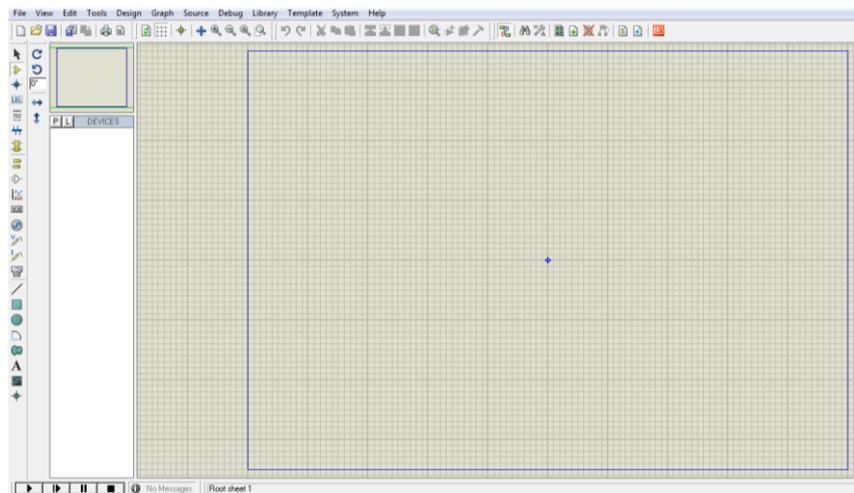
##### **3.2.1 Propósito**

Se tiene que definir de manera clara y precisa que funciones ejecutará la tarjeta electrónica y sobre todo mantener claro los límites de la misma. En nuestro caso la tarjeta electrónica permitirá la obtención de datos de los sensores que

intervienen en el sistema de inyección CRDI digitalizando las formas de onda, voltajes y temperatura en los casos correspondientes. La interface se limita a tomar datos y presentarlos en forma gráfica además de comandar 2 actuadores IMV y EGR.

### 3.2.2 Diseño

En este se debe incluir todas las características eléctricas como voltajes, amperajes, frecuencias, componentes, seguridades para los componentes etc. Nuestro diseño maneja entradas de voltaje de máximo 5 voltios y tiene que consumir como máximo 0.5 amperios que es la capacidad máxima del puerto USB de cualquier computador de donde se va a tomar la alimentación para este circuito, el comando de los actuadores se lo realizará por medio de relés ya que estos manejan 12 voltios. Como se dijo en la parte introductoria se utilizó la herramienta ISIS Proteus para el diseño de la placa y a continuación podemos mostrar el procedimiento.



**Figura 3.1** Pantalla de trabajo del ISIS Proteus

Fuente: creación de los autores

Con la pantalla desplegada como se muestra en la figura 3.1 podemos empezar a ubicar uno a uno los componentes que necesitaremos para elaborar nuestra placa. Como podemos apreciar en la parte izquierda existe una barra de herramientas donde se pueden encontrar los componentes y dando un clic sobre uno de ellos se puede acceder al mismo y para más detalles desde la opción **(P)**



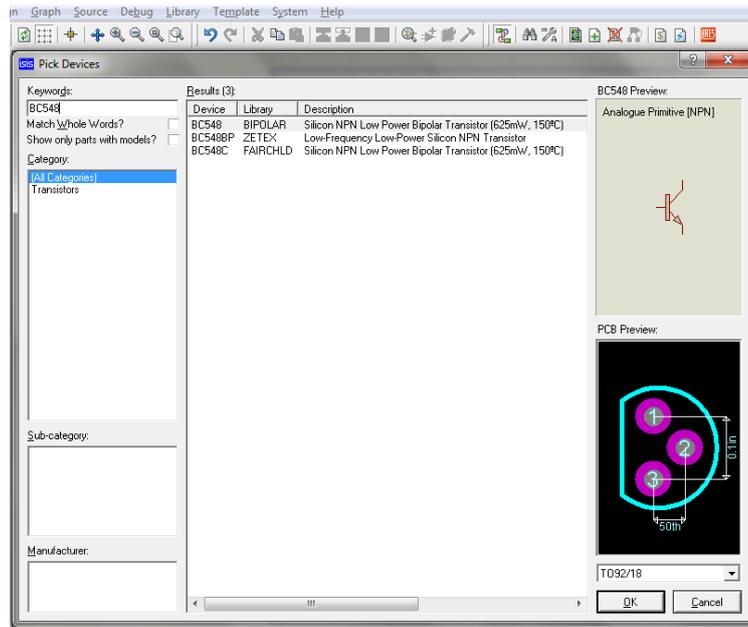


Figura 3.4 Selección de Capacitores

Fuente: Creación de los autores.

Hasta llegar a tener todos los elementos en la pantalla de trabajo del ISIS Proteus como se muestra en la figura 3.5.

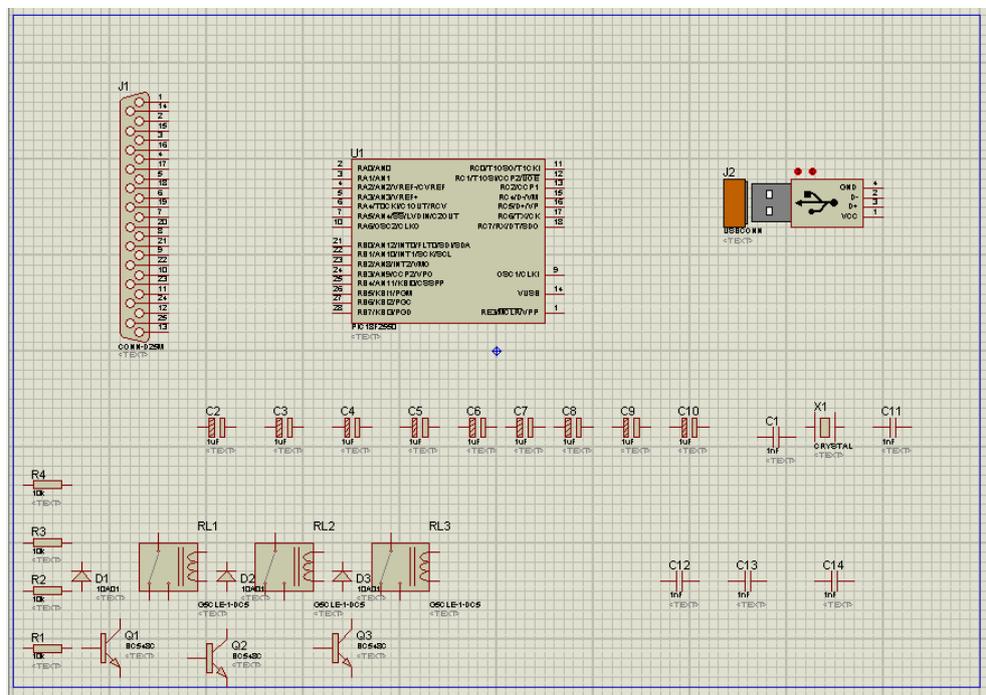


Figura 3.5 Componentes de la tarjeta

Fuente: Creación de los autores

Luego se los dispone de manera que queden totalmente ordenados para que no exista el cruce de líneas y se hace la respectiva conexión como se muestra a continuación en la figura 3.6.

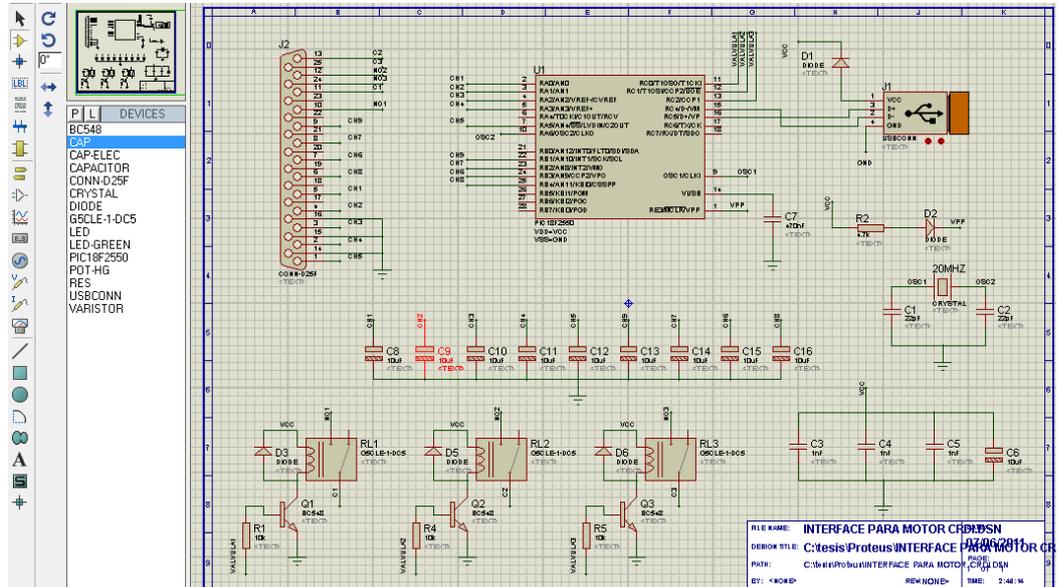


Figura 3.6 Componentes en su respectivo orden y conexión

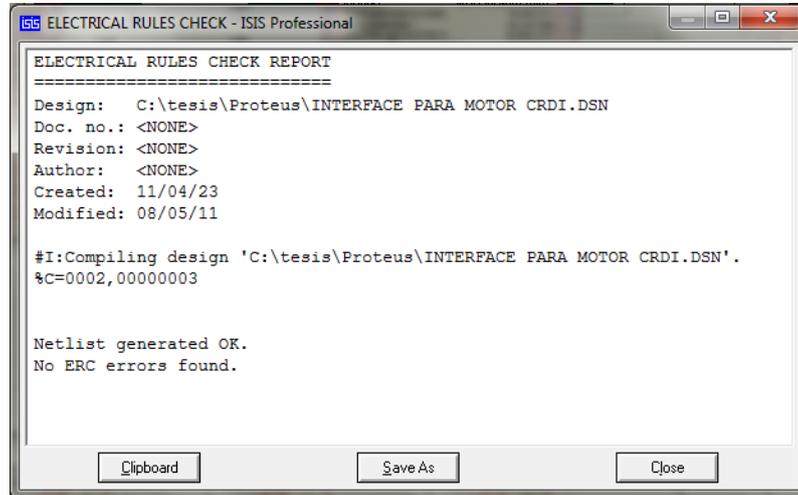
Fuente: Creación de los autores

De esta manera el diseño de la placa queda armado, cabe recalcar que para editar un componente cualquiera, basta con hacer doble clic sobre el mismo para que se despliegue la opción para cambiar como por ejemplo en un condensador su capacitancia. Las conexiones entre componentes se hacen solamente con un unir los extremos de los elementos que se quiere conectar.

### 3.2.3 Simulación

Siempre se debe simular el diseño antes de su construcción final, principalmente por tema económico y de tiempo, esto nos podrá garantizar la fiabilidad de la tarjeta y reducir errores sobre todo en la conectividad entre elementos en cuanto a la construcción de las pistas. Esto se realizará por medio del ISIS Proteus que también tiene la opción para poder simular el circuito ya diseñado.

Desde la herramienta (**Tools**) se selecciona la posición (**Electrical Rule Check**) comprobación de reglas eléctricas, para que se despliegue el reporte de errores como se muestra en la figura 3.7.



**Figura 3.7** Reporte de errores de la simulación

Fuente: Creación de los autores

### 3.2.4 Materiales

Para la construcción de esta tarjeta electrónica se requirió la siguiente lista de componentes con sus respectivas especificaciones, mostrados en la tabla 3.1

MATERIAL	CANTIDAD
Transistores NPN 3904	3
Condensadores cerámicos de 22 pF	2
Condensadores cerámicos de 1nF	3
Condensadores electrolíticos de 10uF	10
Condensador electrolítico de 47uF	1
Conector DB25	1
Cristal de 20 MHz	1
Diodos	4
Relés de 10A 28 voltios	3
Microcontrolador 18F2550	1
Resistencias de 10 K $\Omega$	3

Resistencias de 4.7 K $\Omega$	1
Conector USB tipo B	1
Sócalo maquinado	1
Baquelita recubierta de cobre de 11x6.7cm	1

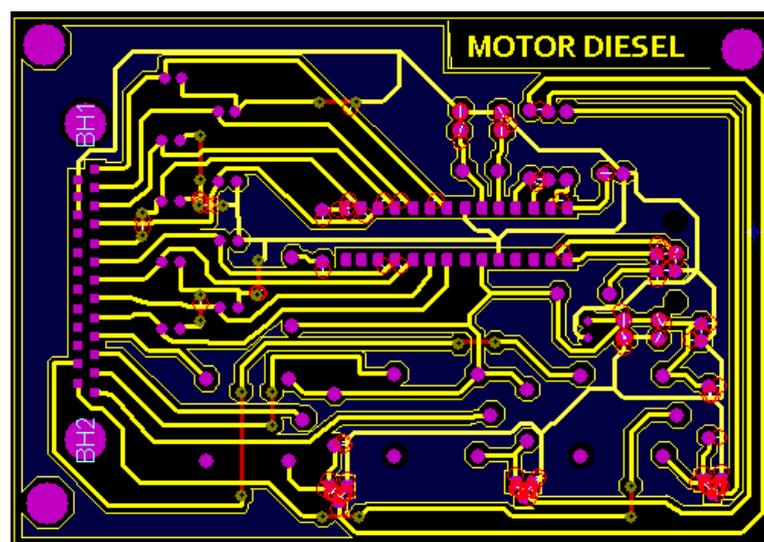
**Tabla 3.1** Listado de materiales empleados en la tarjeta electrónica

Fuente: Creación de los autores.

### 3.2.5 Fabricación

Superadas las tres primeras etapas se puede realizar la fabricación de una tarjeta de calidad que brinde la garantía de poder probar el microcontrolador únicamente sobre los errores que este pueda presentar.

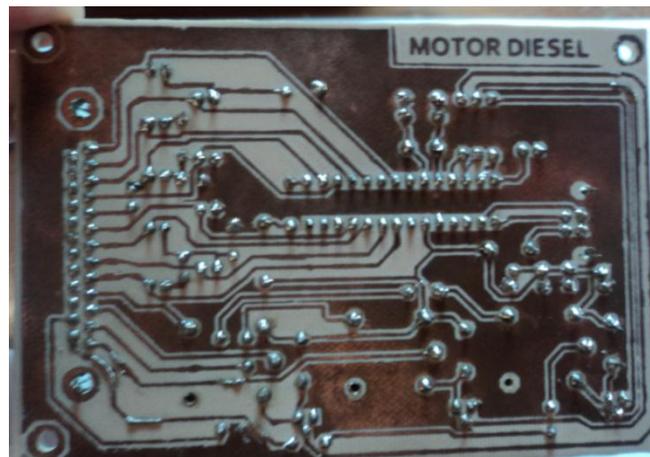
La fabricación de la placa se la hace en una baquelita con recubrimiento de cobre para esto es necesario hacer la impresión del diseño del rotulado de la placa que se genera en el programa ARES de Proteus como se muestra en la figura 3.8, esta impresión tiene que ser del mismo tamaño de la baquelita donde se va hacer el circuito impreso.



**Figura 3.8** Rotulado de la Placa

Fuente: Creación de los autores

La impresión del rotulado se la puede hacer en papel calco y se la lleva a la baquelita de cobre para con la aplicación de calor pasar el rotulado a la baquelita y que de esta manera quede dibujado el rotulado en las partes de cobre, para luego con un marcador permanente o tinta de tóner repasar dicho rotulado. Cuando este proceso se ha terminado se sumerge la placa en percloruro de hierro para que el cobre que no ha sido aislado con el marcador se desprenda de la baquelita, con lo que queda construida la placa como se muestra en la figura 3.9.



**Figura 3.9** Rotulado de la placa en la baquelita de cobre

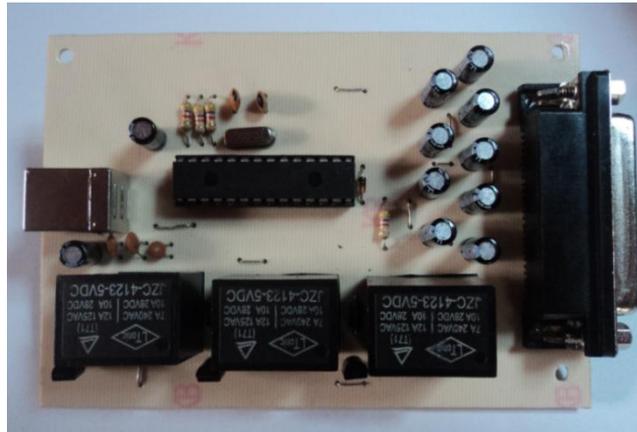
Fuente: creación de los autores

Posteriormente se taladra los huecos por donde pasaran los pines de los componentes para posteriormente soldarlos como se indica en la figura 3.10 y 3.11 con la tarjeta armada.



**Figura 3.10** Soldado de los componentes en la placa

Fuente: Creación de los autores



**Figura 3.11** Tarjeta armada completamente

Fuente: Creación de los autores.

### 3.2.6 Pruebas de Funcionamiento

Su objetivo es determinar si se está cumpliendo con el propósito definido. En una primera etapa con la llave en la posición de **ON** se registran los primeras gráficas y datos que no tendrán variación puesto que el motor aún no está en funcionamiento.

La finalidad de esta prueba es verificar que se está leyendo correctamente los datos y que hay conexión con el motor, esto lo podemos ver en la siguiente figura 3.12.



**Figura 3.12** Pantalla de trabajo de la interface

Fuente: Creación de los autores

En una segunda etapa se enciende el motor, la conexión no se corta puesto que la alimentación de la interface no se la toma del motor si no del PC externo por medio del puerto USB, lo único que sucede es que se inicializan todos los valores y gráficas. Cuando el motor se enciende se empieza a ver la variación en los datos y gráficas como se muestra en la figura 3.13.

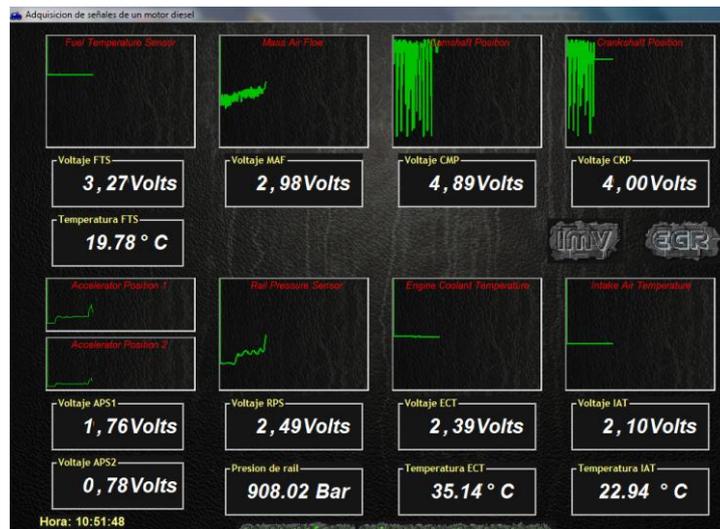


Figura 3.13 Lectura de datos en la pantalla

Fuente: Creación de los autores.

Cuando se ha verificado que existe la recepción de datos y gráficas podemos probar la variación para algunos de estos sensores así tenemos los siguientes valores y gráficas mostrados en la figura 3.14.

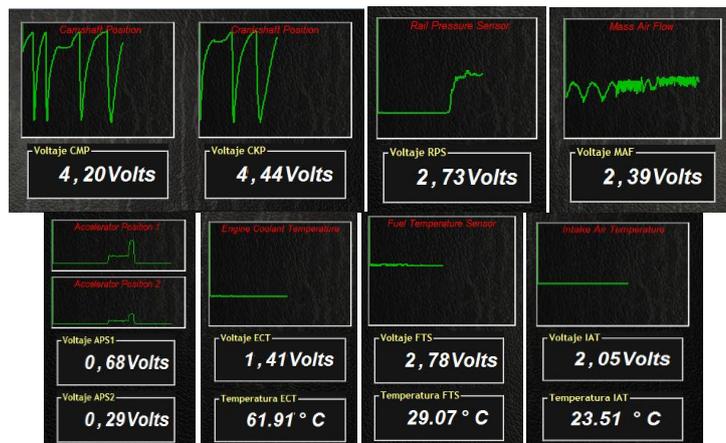


Figura 3.14 Graficas y valores de los diferentes sensores.

Fuente: Creación de los autores

Todas estas pruebas son comprobables por medio de la conexión de un escáner automotriz donde se puede verificar que los datos presentados en la pantalla son los mismos a los que se puede acceder desde el scanner. Hechas estas pruebas de funcionamiento y con la verificación antes descrita podemos decir que la interface se encuentra a punto para su funcionamiento.

### 3.3 Descripción del software

El software grabado en el microcontrolador le permite a la interface de comunicación ser el nexo entre el usuario del banco didáctico y el motor, por medio de un PC portátil o de escritorio, en dicho computador se instala el ejecutable de este software que presentará la información de los siguientes sensores: FTS, IAT, ECT RPS, MAF, APS, CKP y CMP, desde este mismo programa se podrá comandar las válvulas IMV y EGR. La información será presentada gráficamente por medio de la forma de onda del sensor y nominalmente en cuanto a los valores de voltaje, temperatura y presión según el tipo de sensor, como de detalla en la tabla 3.2

TIPO DE SENSOR	DATOS A VISUALIZAR
FTS(Sensor de temperatura del combustible)	Forma de onda
	Voltaje en (V)
	Temperatura de combustible en °C
IAT(Temperatura del aire de entrada)	Forma de onda
	Voltaje (V)
	Temperatura del aire en °C
ECT(Temperatura del refrigerante del motor)	Forma de onda
	Voltaje (V)
	Temperatura del aire en °C
RPS(Sensor de presión de la riel)	Forma de onda
	Voltaje (V)
	Presión de la riel en (bar)
MAF(Flujo de la masa de aire)	Forma de onda
	Voltaje (V)
APS(Sensor de posición del acelerador)	Forma de onda del APS 1 y APS 2

	Voltaje del APS1 y APS 2 (V)
CKP(Sensor de posición de cigüeñal)	Forma de onda
	Voltaje (V)
CMP(Sensor de posición del árbol de levas)	Forma de onda
	Voltaje (V)

**Tabla 3.2** Señales que serán digitalizadas por la tarjeta electrónica

Fuente: Creación de los Autores

Los estados de operación de las válvulas se presentan en la tabla 3.3.

TIPO DE VALVULA	ESTADO
EGR(Recirculación de gases de escape)	Activada
	Desactivada
IMV(Actuador de llenado de la bomba AP)	Activada
	Desactivada

**Tabla 3.3** Estados de operación de las válvulas EGR e IMV

Fuente: Creación de los Autores

### 3.3.1 El Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene toda la arquitectura de un microcomputador es decir memoria RAM, ROM y CPU incluidos los circuitos de entrada y salida, también pueden disponer convertidores analógico-digitales, lo que lo convierte en un sistema autónomo e independiente capaz de controlar uno o más procesos. El microcontrolador es el “cerebro” de la interface ya que en este está grabado el programa que hace funcionar a la misma.

El siguiente diagrama de bloques representa de manera general un sistema microcontrolado donde los dispositivos de entrada pueden ser los sensores de

donde vamos a tomar las señales y los dispositivos de salida puede ser la pantalla grafica donde se visualizará los datos de los mismos.



**Figura 3.15** Diagrama de bloques del microcontrolador 18F2550

Fuente: creación de los autores

Existen características propias de cada microcontrolador que pueden explicar su utilización dentro del desarrollo de proyectos electrónicos, algunas de ellas pueden ser las siguientes:

**Beneficios.-** Gracias a su tamaño reducido y bajo costo su implementación puede hacerse en casi todos los sistemas que antes no tenían microcontrolador

**Confiabilidad.-** Al tratarse de un circuito integrado de muchos elementos puede reemplazar una mayor cantidad de componentes reduciendo las interconexiones en la tarjeta y consecuentemente el riesgo de fallas.

**Reutilizable.-** Gracias a que el control del microcontrolador se hace por medio de un software, la modificación solo necesita cambios en la programación o en el borrado y posterior grabado de un nuevo software.

**Espacio.-** Al reducir el tamaño total de la placa disminuyendo su volumen y consecuentemente la mano de obra con reducciones significativas para el tiempo de desarrollo del diseño electrónico.

Tomando en cuenta estos aspectos podemos decir que la elección del microcontrolador depende de los procesos que se quiere controlar, el voltaje, amperaje, frecuencia de trabajo, el tipo de conectividad que se desea tener, su capacidad de configuración de entradas y un algunas variables que tienen que tomarse en cuenta a la hora de escoger un microcontrolador.

Es así que para nuestro caso se tuvo que analizar aspectos como:

- **El número de entradas a manejar.-** Se manejarán 9 entradas que están en función de los sensores de los cuales se va a obtener los datos como CKP, CMP, MAF, IAT, ECT, FTS, RPS, APS1 y APS2, además se tiene que manejar 2 salidas para poder operar las válvulas IMV y EGR.
- **El voltaje de operación de las entradas.-** Al tratarse de señales de sensores el voltaje que se maneja varía entre 0 y 5 voltios y 12 voltios para las válvulas IMV y EGR
- **Tipo de entradas, analógicas o digitales.-** En este aspecto las entradas del CKP y CMP son digitales y las del MAF, IAT, ECT, FTS, RPS, APS1 y APS2 son analógicas
- **La frecuencia a la que puede trabajar.-** Se tiene que considerar que la frecuencia máxima de trabajo para el CMP es de 30 Hz a 4000 rpm y del CKP cuya frecuencia máxima es de 4KHz
- **Qué tipo de conectividad maneja.-** Se requiere que tenga conectividad de tipo USB ya que la misma toma la alimentación directamente del puerto de la computadora y no se necesitaría ninguna alimentación externa, reduciendo el uso de componentes.

Basados en estos requerimientos se escogió un microcontrolador 18F2550 cuyas características principales se resumen en la siguiente tabla 3.4.

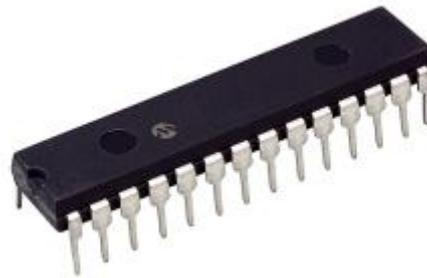
CARACTERISTICAS	PIC18F2550
Frecuencia de operación	48MHz-DC
Interface USB de alta velocidad	12 Mbit/s
10-Bit analógico-digital	10 canales de entrada
Memoria de programa	32 Kb
Memoria RAM	2048 bytes
EEPROM	256 bytes

Voltaje de operación	2 a 5.5 v
Total de pines	28

**Tabla 3.4** Características del PIC 18F2550

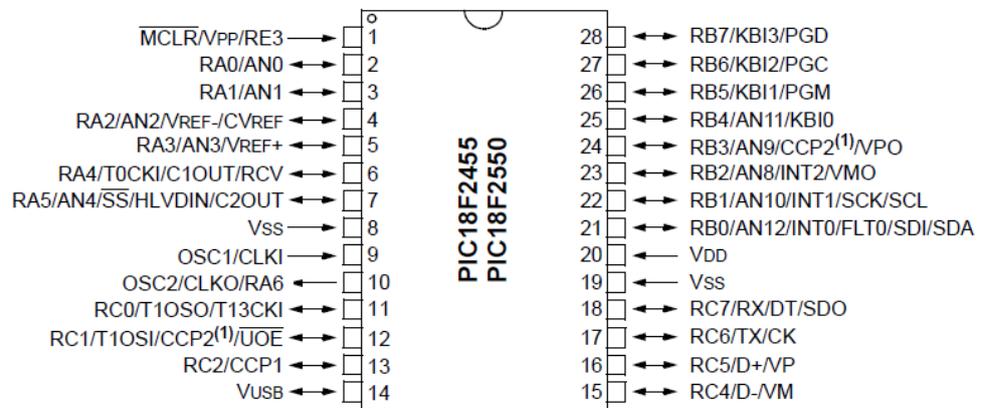
Fuente: <http://www.microchip.com/TechDoc.aspx?type=datasheet>

En la figura 3.16 se muestra el PIC 18F2550 y en la 3.17 la configuración interna del microcontrolador.



**Figura 3.16** Microcontrolador 18F2550

Fuente: <http://www.electronicaracing.es/18f2550-virgen-p-582.html>



**Figura 3.17** Configuración interna del microcontrolador 18F2550

Fuente: <http://www.microchip.com/TechDoc.aspx?type=datasheet>

Todas las características antes descritas nos permiten garantizar el correcto procesamiento de la información que el microcontrolador va a manejar tanto en los procesos de recepción de datos del motor hacia el usuario y viceversa. Un aspecto a tomar en cuenta también fue su capacidad de recambio pues se trata de

un PIC que se encuentra con facilidad en el mercado y cuyo costo no supera los \$5 dólares americanos.

### **3.3.2 Programación del Microcontrolador**

En la actualidad se han desarrollado un sin número de lenguajes para poder programar un microcontrolador, dentro de los más usados tenemos el Ensamblador, Basic y C. Un microcontrolador no puede desarrollar ningún proceso por sí solo, debido a que cuando vienen de fábrica su memoria interna de programas está vacía por ello necesita ser programado para que haga algo.

Estos lenguajes son los encargados de transformar nuestros requerimientos de programación en un lenguaje entendible para el microcontrolador de ceros (0) y unos (1) pertenecientes al sistema binario. El lenguaje ensamblador, conocido como un lenguaje de bajo nivel, trabaja con grupos de caracteres alfanuméricos que expresan órdenes y tareas a realizar por el microcontrolador. La programación en este tipo de lenguaje suele ser compleja, pero por otra parte se puede desarrollar programas eficientes y de ejecución más rápida.

Un lenguaje de alto nivel como el de Basic hoy en día es la opción más adecuada para la programación de un microcontrolador, este lenguaje permite la compilación del código fuente de una manera fácil, rápida y con menos líneas de programación, la facilidad que se presenta en este tipo de lenguaje es que sus instrucciones son muy parecidas al lenguaje humano lo que lo hace más práctico y fácil de manejar.

Tomando en cuenta este aspecto, la programación del microcontrolador 18F2550 se la realizo en Micro Code Studio Plus cuya pantalla de trabajo se muestra en la figura 3.18 que nos permite diseñar el programa que se grabara en el PIC y compilarlo, el compilador nos permite verificar si las rutinas y subrutinas de la programación están escritas sin errores de sintaxis.

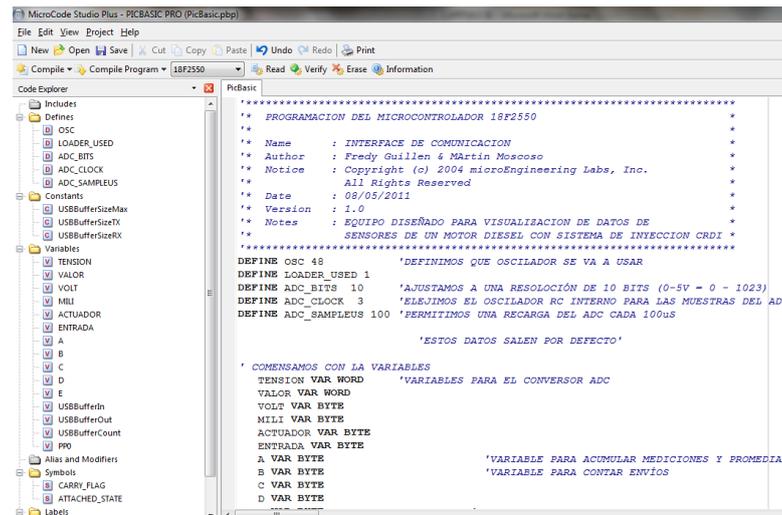


Figura 3.18 Pantalla de programación de MicroCode Studio Plus

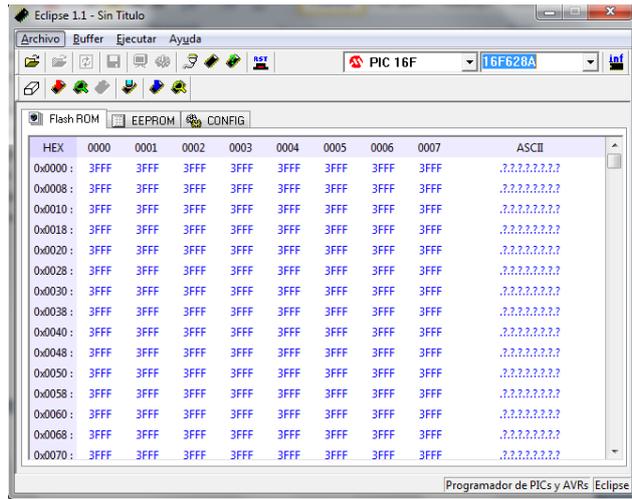
Fuente: Creación de los autores

### 3.3.3 Grabación del programa en el Microcontrolador

Grabar el programa en el microcontrolador implica descargar el software hacia la memoria interna del microcontrolador, esto puede hacerse por medio de un circuito externo más conocido como *programador o quemador de PIC* a través de un programa que en nuestro caso es el Eclipse.

El software a cargarse en el micro como ya se explicó anteriormente tiene que ser en un lenguaje que los microcontroladores entiendan por eso en el momento en que se compila el programa desde el Micro Code Studio se crea un archivo PIC Basic con extensión (.HEX), este archivo no es otra cosa que la programación ya compilada transformada a un lenguaje Hexadecimal. Este archivo es abierto desde el programa Eclipse.

En las siguientes figuras se muestra este proceso de grabación del microcontrolador.

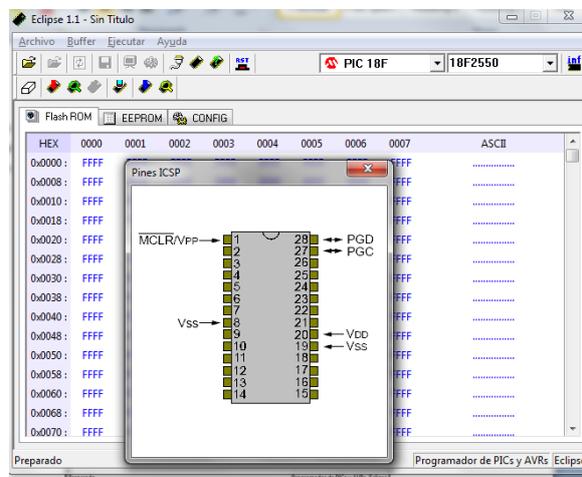


**Figura 3.19** Pantalla de trabajo del programa Eclipse

Fuente: Creación de los autores

Con el programa Eclipse abierto lo primero que debe hacerse es cargar el tipo de microcontrolador que se va a grabar ya que por defecto siempre aparece precargado el PIC 16F628A como se muestra en la figura 3.19. En la primera pestaña se escoge la familia 18F que es a la que pertenece este micro y en la segunda el tipo 2550.

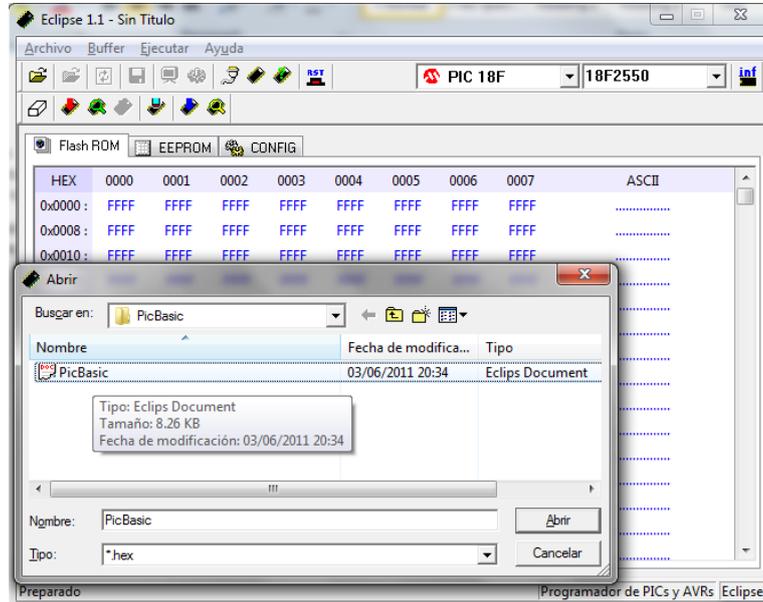
Para verificar que el microcontrolador que se ha cargado es el que estamos necesitando hacemos Click en la opción (**Pines ICPS**) y aparecerá la gráfica correspondiente a este PIC con su respectiva distribución de pines como indica la figura 3.20.



**Figura 3.20** Carga del PIC 18F2550 al programa Eclipse.

Fuente: Creación de los autores

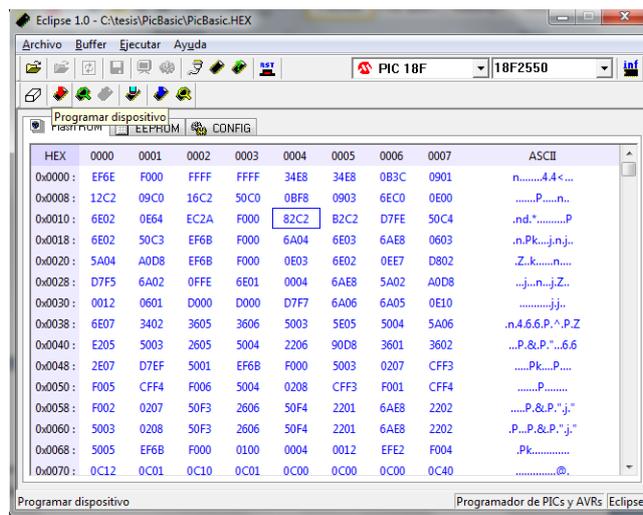
Desde la opción **abrir** se busca en la carpeta PicBasic un archivo con la extensión **(.HEX)** y se la importa hacia el programa como lo indica la figura 3.21.



**Figura 3.21** Importación del archivo Pic Basic al programa Eclipse

Fuente: Creación de los autores

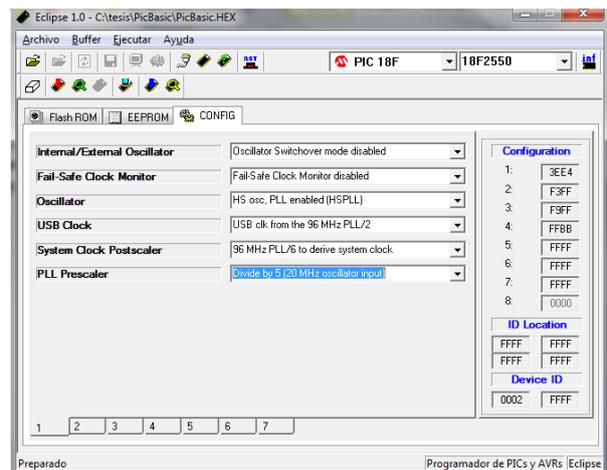
Cuando se ha cargado el archivo **(.HEX)** en el programa Eclipse, inmediatamente aparece en la pantalla del mismo en sistema hexadecimal el software que será grabado en el PIC como se muestra en la figura 3.22.



**Figura 3.22** Programa a ser grabado en el PIC

Fuente: Creación de los autores

Antes de realizar la grabación se tiene que terminar de configurar el microcontrolador en particular con la frecuencia que va a trabajar el oscilador, esto se hace en la pestaña (**CONFIG**) y en la opción **1** en(**PLL Prescaler**) se escoge la opción de (**Divide by 5 (20 MHz) oscillator input**) como se muestra en la figura 3.23



**Figura 3.23** Configuración de la frecuencia del oscilador

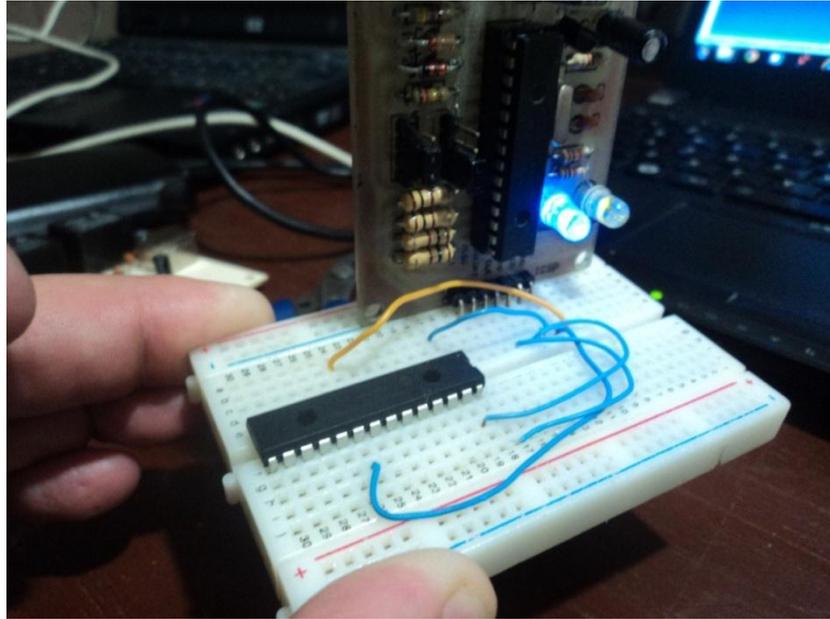
Fuente: Creación de los autores

Luego se coloca el PIC en el quemador externo como se muestra en la figura 3.24 y 325 y se manda a grabar el software desde el programa Eclipse, con lo que el PIC queda listo para funcionar en la tarjeta.



**Figura 3.24** Grabador de microcontroladores externo.

Fuente: Creación de los autores

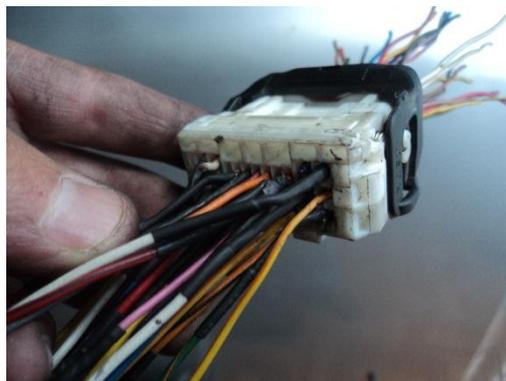


**Figura 3.25** Grabación del PIC por medio del grabador externo.

Fuente: Creación de los autores

### 3.4 Conectividad de la interface

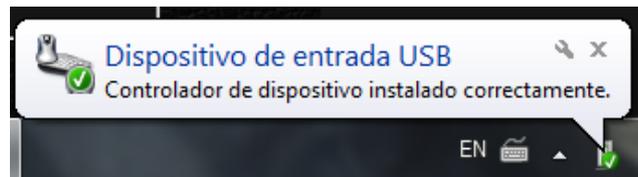
La interface se conecta al motor por medio de un cable multipar, en uno de sus extremos se encuentra un puerto DB 25 “macho” para la entrada de datos, del lado del motor se utiliza un conector de 25 pines cuyos cables han sido aislados con fundente térmico de 2mm para evitar la sulfatación de los mismos como se muestra en la figura 3.26.



**Figura 3.26** Conector de 25 pines

Fuente: Creación de los autores

Para la conexión al PC de escritorio o portátil se utiliza un puerto USB que es de donde la tarjeta tomará la alimentación. La conectividad está ligada al reconocimiento del dispositivo por parte del PC. Para esto se conecta el dispositivo directamente a cualquier puerto USB y se espera su reconocimiento, como se muestra en la figura 3.27.



**Figura 3.27** Reconocimiento de la interface por el PC.

Fuente: Creación de los autores.

Cuando el dispositivo ha sido instalado correctamente la conectividad entre la interface y el computador está garantizada hasta su desconexión, momento en el cual la pantalla gráfica de la interface aparecerá sin valores ni gráficas.

### **3.5 Usos y prestaciones**

La interface de comunicación entre el motor y el usuario del banco didáctico, tiene como objetivo primordial recolectar la información generada por los principales sensores que intervienen en el sistema de inyección electrónica CRDI: CKP, CMP, MAF, IAT, ECT, FTS, RPS, APS1 y APS2 y permitirá comandar a actuadores como la IMV y la EGR. Los datos serán presentados a usuario en forma clara y precisa para su comprensión, análisis y posterior interpretación, permitiéndole familiarizarse con el funcionamiento de los mismos para en lo posterior poder orientar un adecuado diagnóstico y reparación sobre este sistema.

Los fines didácticos de esta interface están plenamente justificados pero su uso no se puede limitar a aquello, sino que también se puede utilizar como un probador de componentes electrónicos de otros motores, tomando en cuenta que los mismo deben ser de similares características. Convirtiendo a la interface en una unidad no solo de visualización, sino también de pruebas, permitiendo un diagnóstico más rápido y sencillo.

El uso de esta tarjeta es exclusivo para el motor Hyundai J3 con sistema de inyección CRDI, en ningún momento se debe intentar conectar la misma a otro motor pues se podrían provocar daños severos especialmente en el PIC o peor aún físicamente en la tarjeta.

Para poder utilizar la interface previamente se tendrá que instalar el software en la computadora que servirá de enlace entre el usuario y el motor, la instalación del programa se hará directamente desde el CD de instalación, cuando se ha terminado la instalación se ejecuta el programa desde el icono que se muestra en la figura.



**Figura 3.28** Icono para iniciar el programa

Fuente: Creación de los autores

Este ejecutable permite el acceso al programa de visualización, así con el motor encendido, por medio del conector de la figura 3.26 se conectada la interface al motor y de manera inmediata se empieza a visualizar los datos. Como medida de seguridad siempre se debe encender el motor antes de conectar la interface para evitar que la caída de tensión producida por el arranque del mismo cause algún daño en la tarjeta electrónica, un procedimiento parecido al de conectar un scanner automotriz.

### **3.6 Conclusión.**

El diseño de la tarjeta electrónica se fundamentó en un proceso cronológico de actividades para reducir al mínimo los fallos por defectos en la fabricación definiéndose claramente el propósito de la misma y sus limitaciones para que el equipo sea lo más fiable, compacto y funcional posible.

## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

#### 4.1 Introducción

Las pruebas de funcionamiento están basadas en los problemas más frecuentes con los que se puede encontrar el técnico en el momento de diagnosticar y reparar daños en el sistema de inyección CRDI y del motor. Para ello se sigue un proceso de prueba y error comenzando desde lo más sencillo hacia lo más complejo, respetando las recomendaciones hechas por el fabricante. Las pruebas de funcionamiento tienen como objetivo reducir los tiempos de mantenimiento y aumentar la eficiencia siguiendo un orden lógico para establecer de la manera más técnica un daño o avería.

#### 4.2 Problemas que presenta el motor y sus posibles causas

En el siguiente cuadro se muestran los problemas más frecuentes en el sistema, así como sus posibles causas. Este cuadro servirá de guía para poder realizar un mejor diagnóstico del problema que está ocurriendo y orientar una solución. Tomando como punto de partida la realización de una lectura de defectos con un escáner automotriz, el mismo que nos dará información valiosa para el diagnóstico.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA
El motor no enciende	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de combustible en el sistema, presencia de agua o aire</li> <li>• Fuga de combustible en el sistema de alta presión</li> <li>• Revisión de fusibles</li> <li>• Inyectores abiertos o sin codificación</li> <li>• Sensor ECT fuera de rango</li> <li>• Sensor RPS fuera de rango</li> <li>• Sensor CKP y CMP fuera de rango</li> <li>• Válvula IMV obstruida</li> <li>• Válvula EGR bloqueada o fuera de rango</li> <li>• Arneses de conexión en conexión intermitente</li> <li>• Mal calado de la correa de distribución</li> <li>• Compresión del motor baja</li> </ul>

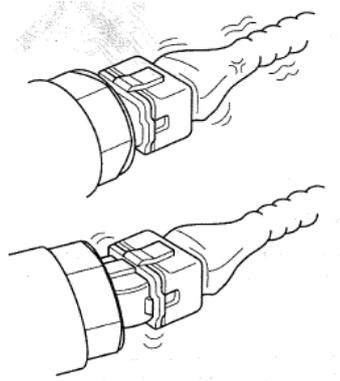
<p>El motor prende con dificultad</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustible de mala calidad, presencia de agua o aire en el mismo</li> <li>• Fuga de combustible en el sistema de alta presión</li> <li>• Inyectores sucios o con depósitos de carbón</li> <li>• Filtro de aire tapado</li> <li>• Sensor ECT fuera de rango</li> <li>• Sensor RPS fuera de rango</li> <li>• Voltaje del alternador deficiente</li> <li>• Compresión del motor baja</li> </ul>
<p>Encendido dificultoso a temperatura de trabajo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Codificación errónea de los inyectores</li> <li>• Sensor RPS fuera de rango</li> <li>• Sensor ECT fuera de rango</li> <li>• Válvula EGR bloqueada o fuera de rango</li> <li>• Válvula IMV obstruida</li> <li>• Filtro de aire tapado</li> <li>• Combustible de mala calidad, presencia de agua o aire en el mismo</li> <li>• Inyectores sucios o con depósitos de carbón</li> <li>• Retorno del circuito de la bomba obstruido</li> <li>• Arneses de conexión en conexión intermitente</li> <li>• Compresión del motor baja</li> </ul>
<p>Ralentí inestable</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Codificación errónea de los inyectores</li> <li>• Sensor RPS fuera de rango</li> <li>• Sensor MAF fuera de rango</li> <li>• Filtro de aire tapado</li> <li>• Combustible de mala calidad, presencia de agua o aire en el mismo</li> <li>• Inyectores sucios o con depósitos de carbón</li> <li>• Fuga de combustible en el sistema de alta presión</li> </ul>
<p>Emisiones de humo negro, azul y blanco</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Codificación errónea de los inyectores</li> <li>• Sensor RPS fuera de rango</li> <li>• Sensor MAF fuera de rango</li> <li>• Filtro de aire tapado</li> <li>• Combustible de mala calidad, presencia de agua o aire en el mismo</li> <li>• Inyectores sucios o con depósitos de carbón</li> <li>• Válvula IMV obstruida</li> <li>• Válvula EGR bloqueada o fuera de rango</li> <li>• Compresión del motor baja</li> <li>• Excesivo aceite en el motor</li> <li>• Gasolina en el diesel</li> <li>• Inyectores flojos</li> </ul>

**Tabla 4.1** Problemas en el motor y sus posibles causas

Fuente: Creación de los autores

### 4.3 Diagnostico de sensores

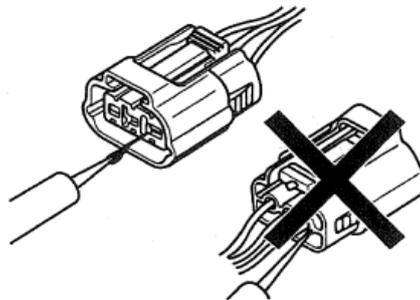
Para un diagnóstico correcto de los sensores del motor el primer paso a seguir es la utilización de un escáner automotriz, este nos guiará a las posibles fallas del sistema en el momento que se realice la lectura de códigos de avería. Luego se procede con una inspección visual del estado físico así como de la conexión del mismo como se detalla en la siguiente gráfica 4.1.



**Figura 4.1** Estado físico de una conexión

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-7

Cuando se ha verificado que el estado físico y las conexiones de los sensores son las correctas se procede a comprobar que las señales de entrada al sensor son las ideales, teniendo en cuenta que la comprobación se la realiza con el conector desconectado y por la parte frontal del mismo con la herramienta adecuada como se indica en la siguiente figura 4.2.

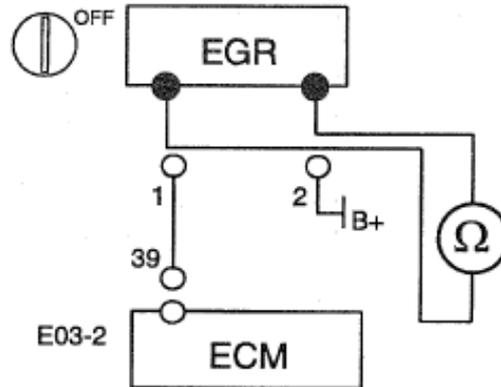


**Figura 4.2** Como se debe comprobar las señales de entrada en un sensor

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-8

### 4.3.1 Válvula EGR

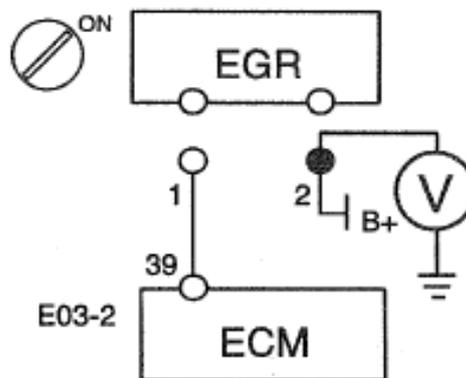
En primer lugar con la válvula desconectada se tiene que medir la resistencia entre el pin 1 y el pin 2 de la válvula EGR cuyo a valor a 20°C debe ser entre 15 a 16  $\Omega$ , como se muestra en la figura 4.3 Si la resistencia no se encuentra dentro de estos valores reemplace la válvula.



**Figura 4.3** Medición de la resistencia de la válvula EGR

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-85

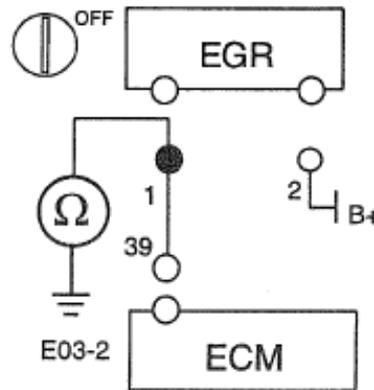
Si el valor medido de resistencia es el correcto, se comprueba la alimentación de la misma con el interruptor de encendido en ON entre el pin 2 y tierra obteniéndose un valor referencial de batería como lo indica la figura 4.4. Si no existiera el voltaje referencial de batería revise la línea de alimentación.



**Figura 4.4** Comprobación de la alimentación de la válvula EGR

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-84

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 de la EGR y el pin 39 de la ECM como se muestra en la figura 4.5. De no existir continuidad revise la línea



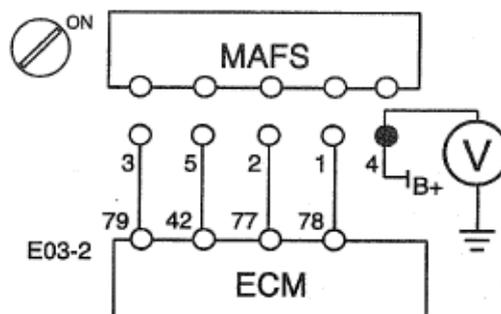
**Figura 4.5** Continuidad entre conector de la EGR y módulo ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-85

Si los valores de resistencia de la EGR así como de alimentación y continuidad de las líneas son las correctas la avería se encuentra en el módulo ECM.

### 4.3.2 Sensor MAF

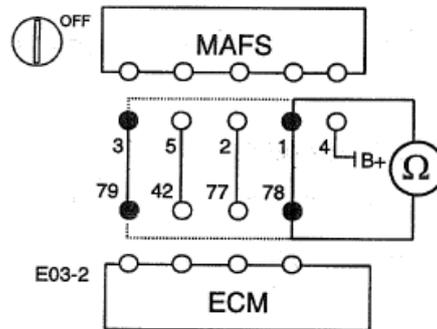
La primera comprobación es la verificación de la alimentación del sensor, con el interruptor de encendido en ON en el pin 4 y tierra se debe tener un voltaje referencial de batería como se muestra en la figura 4.6. Si no existiera el voltaje referencial de batería revise la línea de alimentación.



**Figura 4.6** Verificación del voltaje de referencia del MAF

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-39

Si la alimentación es la correcta se debe comprobar la continuidad entre el pin 1 del MAF y 78 de la ECM así como la del pin 3 del MAF y 79 de la ECM como se indica en la figura 4.7. Si dicha continuidad no existe revise las líneas.



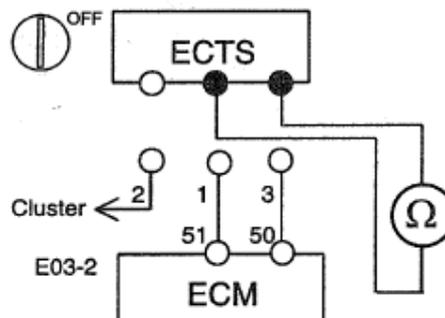
**Figura 4.7** Continuidad del conector del MAF a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-39

Con la ayuda de un multímetro se mide directamente en el terminal 2 del sensor MAF y tierra con el vehículo encendido los valores generados por este, deben variar en ralentí 1.8V, media carga 3.2V y en plena carga 4V. Si esta variación no existe habiendo revisado lo anterior reemplace el MAF.

### 4.3.3 Sensor ECT.

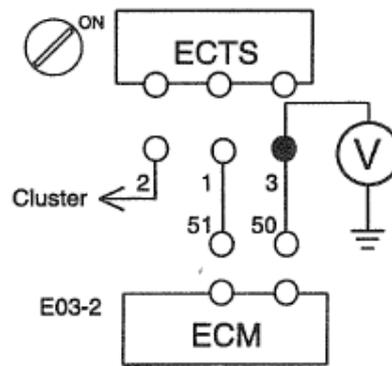
En primer lugar con el sensor desconectado se tiene que medir la resistencia entre el pin 1 y el pin 3 del sensor ECT como se muestra en la figura 4.8, cuyo valor a 20°C debe ser entre 2.3 a 2.6 KΩ. Si la resistencia no se encuentra dentro de estos valores reemplace el sensor.



**Figura 4.8** Comprobación de la resistencia del sensor ECT

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-44

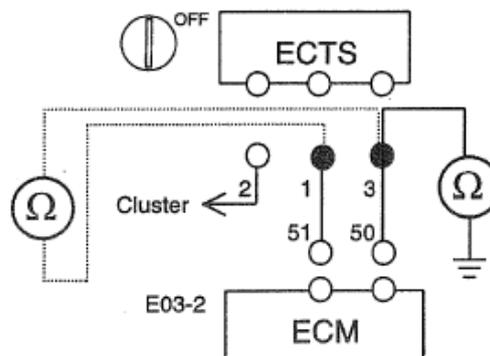
Si el valor medido de resistencia es el correcto, se comprueba la alimentación de la misma con el interruptor de encendido en ON entre el pin 3 y tierra con un valor de 5V como se muestra en la figura 4.9. Si no existiera este voltaje revise la línea de alimentación.



**Figura 4.9** Comprobación de la línea de alimentación del ECT

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-44

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 del ECT y el pin 51 de la ECM así como la del pin 3 del ECT y el pin 50 de la ECM como se muestra en la figura 4.10. De no existir continuidad revise las líneas.



**Figura 4.10** Continuidad de las líneas del conector ECT a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-44

Si los valores de resistencia del ECT así como de alimentación y continuidad de las líneas son correctas la avería se encuentra en el módulo ECM.

### 4.3.4 Sensor FTS

En primer lugar con el sensor desconectado se tiene que medir la resistencia entre el pin 1 y el pin 2 del sensor FTS cuyo valor a 20°C de ser entre 2.3 a 2.7 KΩ como lo indica la figura 4.11. Si la resistencia no se encuentra dentro de estos valores reemplace el sensor.

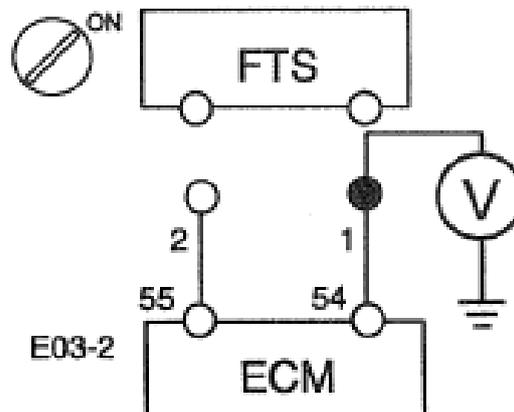
#### SPECIFICATION

Temperature [°C (°F)]	-30(-22)	-20(-4)	0(32)	20(68)	40(104)	60(140)	80(176)
Resistance (kΩ)	22.2 ~ 31.8	13.2 ~ 18.1	5.2 ~ 6.6	2.3 ~ 2.7	1.1 ~ 1.3	0.54 ~ 0.65	0.30 ~ 0.32

**Figura 4.11** Valores de resistencia y temperatura del FTS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-50

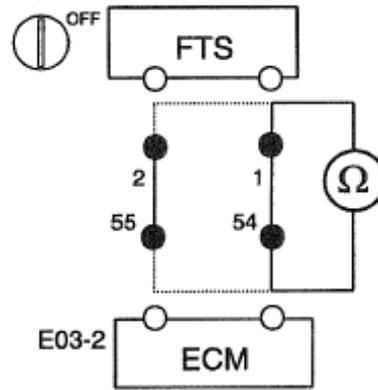
Si el valor medido de resistencia es el correcto, se comprueba la alimentación de la misma con el interruptor de encendido en ON entre el pin 1 y tierra con un valor de 5V como se muestra en la figura 4.12. Si no existiera este voltaje revise la línea de alimentación.



**Figura 4.12** Revisión del voltaje de alimentación del FTS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-52

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 del FTS y el pin 54 de la ECM así como la del pin 2 del FTS y el pin 55 de la ECM como lo indica la figura 4.13. De no existir continuidad revise las líneas.



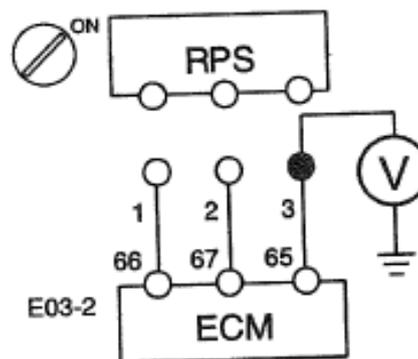
**Figura 4.13** Continuidad de las líneas del conector del FTS a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-52

Si los valores de resistencia del FTS así como de alimentación y continuidad de las líneas son correctas la avería se encuentra en el módulo ECM.

#### 4.3.5 Sensor RPS

La primera comprobación es la verificación de la alimentación del sensor, con el interruptor de encendido en ON en el pin 3 y tierra se debe tener un voltaje de 5V como lo indica la figura 4.14. Si no existiera el voltaje indicado revise la línea de alimentación.

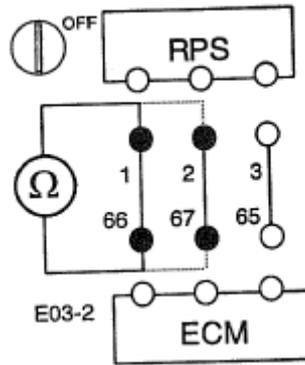


**Figura 4.14** Voltaje de alimentación del sensor RPS

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-56

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 del RPS y el pin 66 de la ECM así como la del pin 2 del RTS y el pin 67 de la ECM y pin 3

del RPS y el pin 65 de la ECM como lo indica la figura 4.15. De no existir continuidad revise las líneas.



**Figura 4.15** Continuidad del conector del RPS a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-56

Si los valores de alimentación del RPS así como la continuidad de las líneas son correctos, con ayuda de un multímetro y el vehículo encendido sobre el pin 3 del RPS y tierra verificamos la variación de voltaje según la tabla 4.2. Si esta variación no existe habiendo revisado lo anterior reemplace el RPS.

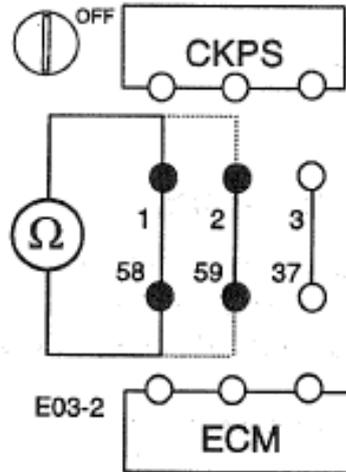
REGIMEN DEL MOTOR	VOLTAJES DE REFERENCIA (V)
RALENTI	1.0
MEDIA CARGA	2.0
PLENA CARGA	3.1

**Tabla 4.2** Variación del voltaje del RPS

Fuente: Creación de los autores

### 4.3.6 Sensor CKP

Verifique la continuidad entre el pin 1 del CKP y el pin 58 de la ECM así como la del pin 2 del CKP y el pin 59 de la ECM como lo indica la figura 4.16. De no existir continuidad revise las líneas. Con ayuda de un foco testigo y el vehículo encendido y haciendo puente en el pin 1 del CKP y tierra verifique pulsaciones del mismo. Si dichas pulsaciones no existieran y la continuidad de las líneas es la correcta, tomando en cuenta que la calibración del CKP con respecto a la rueda dentada está entre 0.5-1.5 mm de separación, reemplace el CKP

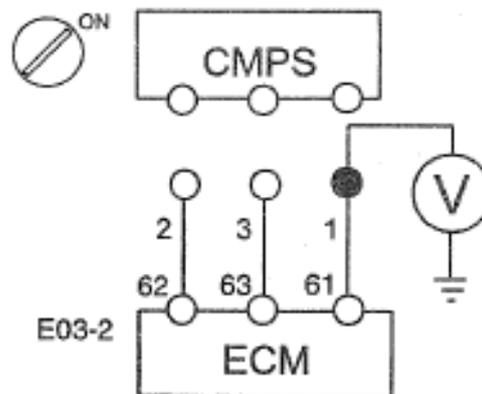


**Figura 4.16** Continuidad de las líneas del conector del CKP a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-69

#### 4.3.7 Sensor CMP

La primera comprobación es la verificación de la alimentación del sensor, con el interruptor de encendido en ON en el pin 1 y tierra se debe tener un voltaje de 5V como se muestra en la figura 4.17. Si no existiera el voltaje indicado revise la línea de alimentación.

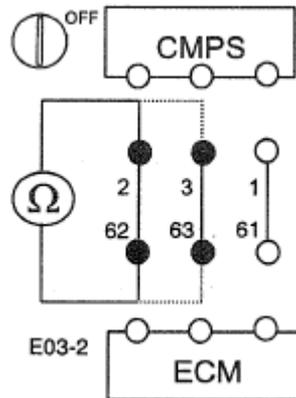


**Figura: 4.17** Verificación de la alimentación del sensor CMP

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-75

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 del CMP y el pin 61 de la ECM así como la del pin 2 del CMP y el pin 62 de la ECM y

pin 3 del CMP y el pin 63 de la ECM como lo indica la figura 4.18. De no existir continuidad revise las líneas.



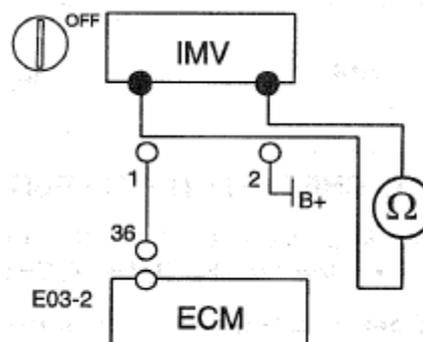
**Figura 4.18** Continuidad de las líneas del conector del CMP a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-75

Si los valores de alimentación del CMP así como la continuidad de las líneas son correctos y luego de verificar que el calado de la distribución sea el correcto, reemplace el CMP

#### 4.3.8 Válvula IMV

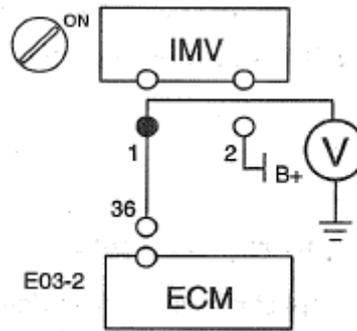
En primer lugar con la válvula IMV desconectado se tiene que medir la resistencia entre el pin 1 y el pin 2 de la válvula cuyo valor a 20°C de ser 5.5 $\Omega$  como lo muestra la figura 4.19. Si la resistencia no se encuentra dentro de estos valores reemplace la válvula.



**Figura 4.19** Verificación resistencia de la válvula IMV

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-97

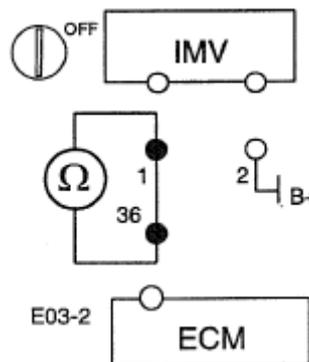
Si el valor medido de resistencia es el correcto, se comprueba la alimentación de la misma con el interruptor de encendido en ON entre el pin 2 y tierra obteniéndose un valor referencial de batería como lo muestra la figura 4.20. Si no existiera este voltaje revise la línea de alimentación.



**Figura 4.20** Verificación de la alimentación de la IMV

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-96

Si la alimentación es la correcta verifique la continuidad entre el pin 1 de la IMV y el pin 36 de la ECM como se muestra en la figura 4.21. De no existir continuidad revise la línea.



**Figura 4.21** Continuidad de las líneas del conector de la IMV a la ECM

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-96

#### 4.4 Archivo de códigos de falla

CÓDIGO DE FALLA	DESCRIPCION
P0100	Mal funcionamiento del control de la EGR
P0101	Mal funcionamiento del circuito del sensor MAF

P0102	Sensor MAF fuera de rango
P0115	Mal funcionamiento del circuito del sensor ECT
P0120	Mal funcionamiento del circuito del sensor APS 1
P0180	Mal funcionamiento del circuito del sensor FTS
P0190	Sensor RPS fuera de rango
P0201	Mal funcionamiento del circuito del inyector 1
P0202	Mal funcionamiento del circuito del inyector 2
P0203	Mal funcionamiento del circuito del inyector 3
P0204	Mal funcionamiento del circuito del inyector 4
P0220	Mal funcionamiento del circuito del sensor APS 2
P0226	Sensor APS fuera de rango
P0325	Mal funcionamiento del circuito del sensor KS
P0335	Mal funcionamiento del circuito del sensor CKP
P0340	Mal funcionamiento del circuito del sensor CMP
P0400	Mal funcionamiento del circuito del solenoide de la válvula EGR
P0560	Mal funcionamiento del circuito del voltaje de la batería
P0600	Error en la comunicación de la red CAN
P1119	Mal funcionamiento del control de la válvula IMV
P1120	Mal funcionamiento del circuito de la válvula IMV
P1140	Mal funcionamiento del circuito del sensor IAT
P1300	Error en la especificación de los datos de los inyectores
P1458	Error en el interruptor de encendido del A/C
P1500	Mal funcionamiento del circuito del sensor VSS
P1543	Error en la señal del interruptor de freno
P1608	Fallo del ECM
P1614	Error en la programación de la ECM
P1620	Mal funcionamiento del circuito del relé del A/C

P1640	Mal funcionamiento del relé principal
P1674	Mal funcionamiento del circuito del relé del ventilador del A/C
P1786	Error en la salida del tacómetro
P2264	Mal funcionamiento del circuito del sensor de agua en el filtro
P2269	Mal funcionamiento del circuito de la lámpara indicadora del sensor de agua en el filtro

**Tabla 4.3** Archivos de código de fallas

Fuente: MANUAL DE SERVICIO, Hyundai Diesel Engine J3, pp. FLB-30-35

#### **4.5 Conclusión**

El capítulo de pruebas de funcionamiento es un manual de comprobación de funcionamiento y reparación del sistema CRDI cuyo contenido es similar al manual de reparaciones del fabricante, el mismo será de gran utilidad para la ejecución de las prácticas que se realicen en este banco didáctico.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

- Los objetivos planteados en el proyecto de tesis se han cumplido en su totalidad, el sustento teórico y técnico sobre el sistema de inyección CRDI permitirá conocer más acerca del funcionamiento y operación de este tipo de tecnología de una forma rápida y precisa.
- La estructura que soporta el motor garantiza la operación del banco didáctico en todos los rangos de funcionamiento del motor, además de poseer la funcionalidad requerida para el acceso a todos sus componentes con un adecuado margen de seguridad en el caso de ser utilizado en prácticas del laboratorio de inyección diesel.
- La tarjeta de adquisición de datos permite digitalizar las señales de los sensores que intervienen en el sistema de inyección CRDI y presentarlas en una PC para que el usuario se familiarice con las mismas y se consoliden los conocimientos teóricos en la práctica.
- El capítulo de pruebas de funcionamiento servirá para poder orientar de una manera más rápida y segura el diagnóstico de algunos tipos de averías que pueden presentarse en este sistema, el mismo incluye un archivo de cogidos de falla que se puede utilizar en el desarrollo de prácticas dentro del taller
- Para un correcto uso del banco didáctico se recomienda evitar la manipulación de la tarjeta electrónica ya que la misma es operada por el microcontrolador que a su vez tiene injerencia directa sobre el funcionamiento del mismo.
- También se debe evitar la manipulación de las cañerías de alta presión durante el funcionamiento del motor, y aun después de que este se encuentre apagado, se debe esperar un tiempo prudencial de 20 minutos para que la alta presión presente en el sistema disminuya. El tomar en cuenta esta recomendación podría ocasionar graves lesiones al usuario del banco didáctico.

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias bibliográficas:

- Manual CRDI DELPHI, Principios de Funcionamiento
- Manual de taller, Bomba Common Riel (DFP1)-Procedimiento de Reparación
- Manual de taller, Inyector Common Riel (DFP1)-Procedimiento de Reparación
- Manual del vehículo Hyundai Terracan.
- Manual Técnico de Fuel Inyection Tomo 1
- Manual Técnico de Fuel Inyection Tomo 2
- Manual Técnico de Fuel Inyection Tomo 3
- Curso completo de electrónica, Centro de Estudios Electrónicos.
- Sistemas de inyección diesel GIL, Hermogenes.
- Sistemas de diesel por acumulador common riel.
- Bombas de inyección diesel
- Gestión electrónica de la inyección diesel.
- Inyección electrónica en los motores diesel.
- Circuitos electrónicos en el automóvil.
- Regulación electrónica diesel.

### Referencias electrónicas:

- [www.naikontuning.com/mecanica/alimentacion-diesel/bomb-inyc/](http://www.naikontuning.com/mecanica/alimentacion-diesel/bomb-inyc/).
- [www.mecanicavirtual.org](http://www.mecanicavirtual.org).
- [www.brighthub.com/engineering/marine/articles/42648.aspx](http://www.brighthub.com/engineering/marine/articles/42648.aspx).
- [www.thegeminigeek.com/what-is-a-crdi-engine](http://www.thegeminigeek.com/what-is-a-crdi-engine).
- [www.seminarprojects.com/Thread-crdi-common-riel-direct-injection-full-report](http://www.seminarprojects.com/Thread-crdi-common-riel-direct-injection-full-report).
- [www.wikipedia.org/wiki/Common-riel](http://www.wikipedia.org/wiki/Common-riel).
- [www.mailxmail.com/curso-motores-combustion-interna/sistema-inyección-electronica-combustible](http://www.mailxmail.com/curso-motores-combustion-interna/sistema-inyección-electronica-combustible).
- [www.motoresdelmundo.com/es/produktgroep/brandstofsysteem](http://www.motoresdelmundo.com/es/produktgroep/brandstofsysteem)
- [www.scribd.com/doc/35933954/El-Sistema-de-Common](http://www.scribd.com/doc/35933954/El-Sistema-de-Common)
- [www.wikilingue.com/pt/Common-riel](http://www.wikilingue.com/pt/Common-riel)
- [www.wapedia.mobi/es/Common\\_riel](http://www.wapedia.mobi/es/Common_riel)
- [www.domotica.us/Common-riel](http://www.domotica.us/Common-riel)

- [www.diccionario.sensagent.com/common-riel/es-es/](http://www.diccionario.sensagent.com/common-riel/es-es/)
- [www.diesauto.com.br/esp/?t=artigos/artigo11](http://www.diesauto.com.br/esp/?t=artigos/artigo11)
- [www.microcaos.net/ocio/motor/el-motor-diesel-todo-sobre-motores-diesel/](http://www.microcaos.net/ocio/motor/el-motor-diesel-todo-sobre-motores-diesel/)

ANEXO

Anexo1: Planos del banco didáctico

